## Введение

В последние годы между операторами связи, действующими в Таджикистане, развернулась борьба за рынок телекоммуникаций. Активно работают все компании сотовой связи. В принципе, каждая из них сейчас может предоставлять потребителям многие современные услуги связи, однако из-за проблемы "последней мили" зона действия услуг ограничена, а их стоимость для клиентов - по-прежнему высока.

На базе данной мультисервисной сети возможно и необходимо создавать принципиально новые дополнительные услуги, востребованные современным обществом. Уже с 1998 года ГТС предоставляет наряду с базовой услугой (коммутация двух абонентов) - дополнительные услуги, среди которых, в свою очередь следует выделить два направления: *дополнительные услуги электронных АТС* (переадресация звонка, конференцсвязь, будильник и т.п.) и *информационные услуги*. Причем наибольшим спросом стали пользоваться как раз информационные услуги. Эти услуги предоставляются ГТС на основе технологии компьютерной телефонии и программного обеспечения, разработанного специалистами отдела информатизации. В свою очередь, в информационных услугах все более отчетливо выделяется направление *социально-значимых информационных услуг,* в основе которых лежит ориентация не на прибыль, а на социальное партнерство с обществом. При этом прибыль реализуется по так называемому “нулевому" варианту, когда расходы на эти услуги компенсируются получаемым доходом, а в случае получения прибыли - она распределяется на дальнейшее развитие социальных услуг. Такая схема, направлена на удовлетворение скрытых социальных потребностей общества и является согласно международным стандартам высшей ступенью качества предоставления услуг. Впрочем, такие услуги не противоречат основам экономики современного предприятия, так как, через заинтересованность потребителей увеличивается капитализация предприятия.

## 1. Технология ATM

Главная идея технологии АТМ была высказана достаточно давно - этот термин ввела лаборатория Bell Labs ещё в 1968 году. Основной разрабатываемой технологией тогда была технология TDM с синхронными методами коммутации, основанными на порядковом номере байта в объединённом кадре. Главный недостаток технологии TDM, которую также называют технологией синхронной передачи STM, заключается в невозможности перераспределять пропускную способность объединённого канала между подканалами. В те периоды времени, когда по подканалу не передаются пользовательские данные, объединённый канал всё равно передаёт байты этого подканала, заполненные нулями.

Попытки загрузить периоды простоя подканалов приводят к необходимости введения заголовка для данных каждого подканала. В промежуточной технологии STDM, которая позволяет заполнять периоды простоя передачей пульсаций трафика других подканалов, действительно вводятся заголовки, содержащие номер подканала. Данные при этом оформляются в пакеты, похожие по структуре на пакеты компьютерных сетей. Наличие адреса у каждого пакета позволяет передавать его асинхронно, так как местоположение его относительно данных других подканалов уже не является его адресом. Асинхронные пакеты одного подканала вставляются в свободные тайм-слоты другого подканала, но не смешиваются с данными этого подканала, так как имеют собственный адрес.

Технология АТМ совмещает в себе подходы двух технологий - коммутации пакетов и коммутации каналов. От первой она взяла на вооружение передачу данных в виде адресуемых пакетов, а от второй - использование пакетов небольшого фиксированного размера, в результате чего задержки в сети становятся более предсказуемыми. С помощью техники виртуальных каналов, предварительного заказа параметров качества обслуживания канала и приоритетного обслуживания виртуальных каналов с разным качеством обслуживания удаётся добиться передачи в одной сети разных типов трафика без дискриминации. Хотя сети ISDN также разрабатывались для передачи различных видов трафика в рамках одной сети, голосовой трафик явно был для разработчиков более приоритетным. Технология АТМ с самого начала разрабатывалась как технология, способная обслуживать все виды трафика в соответствии с их требованиями .

Гетерогенность - неотъемлемое качество любой крупной вычислительной сети, и на согласование разнородных компонентов системные интеграторы и администраторы тратят большую часть своего времени. Поэтому любое средство, сулящее перспективу уменьшения неоднородности сети, привлекает пристальный интерес сетевых специалистов. Технология АТМ разработана как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг - B-ISDN.

По планам разработчиков единообразие, обеспечиваемое АТМ, будет состоять в том, что одна транспортная технология сможет обеспечить несколько перечисленных ниже возможностей:

передачу в рамках одной транспортной системы компьютерного и мультимедийного (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам, причём для каждого вида трафика качество обслуживания будет соответствовать его потребностям;

иерархию скоростей передачи данных, от десятков мегабит до нескольких гигабит в секунду с гарантированной пропускной способностью для ответственных приложений;

-общие транспортные протоколы для локальных и глобальных сетей;

-сохранение имеющейся инфраструктуры физических каналов или физических протоколов: Т1/E1, T3/E3, SDH STM-n, FDDI;

-взаимодействие с унаследованными протоколами локальных и глобальных сетей: IP, SNA, Ethernet, ISDN.

Службы верхних уровней сети B-ISDN должны быть примерно такими же, что и у сети ISDN - это передача факсов, распространение телевизионного изображения, голосовая почта, электронная почта, различные интерактивные службы, например проведение видеоконференций. Высокие скорости технологии АТМ создают гораздо больше возможностей для служб верхнего уровня, которые не могли быть реализованы сетями ISDN - например, для передачи цветного телевизионного изображения необходима полоса пропускания в районе 30 Мбит/с. Технология ISDN такую скорость поддержать не может, а для АТМ она не составляет больших проблем.

Разработку стандартов АТМ осуществляет группа организаций под названием ATM Forum под эгидой специального комитета IEEE, а также комитеты ITU-T и ANSI. АТМ - это очень сложная технология, требующая стандартизации в самых различных аспектах, поэтому, хотя основное ядро стандартов было принято в 1993 году, работа по стандартизации активно продолжается. Оптимизм внушает тот факт, что в ATM Forum принимают участие практически все заинтересованные стороны - производители телекоммуникационного оборудования, производители оборудования локальных сетей, операторы телекоммуникационных сетей и сетевые интеграторы.

## 1.1Основные принципы АТМ

Сеть АТМ имеет классическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами нижнего уровня, которые в свою очередь соединяются с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20-байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов. Для частных сетей АТМ определён протокол маршрутизации PNNI (Private NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически. В публичных сетях АТМ таблицы маршрутизации могут строиться администраторами вручную или могут поддерживаться протоколом PNNI.

Коммутация пакетов происходит на основе идентификатора виртуального канала (VCI - Virtual Channel Identifier), который назначается соединению при его установлении и уничтожается при разрыве соединения. Адрес конечного узла АТМ, на основе которого прокладывается виртуальный канал, имеет иерархическую структуру, подобную номеру в телефонной сети, и использует префиксы, соответствующие кодам стран, городов, сетям поставщиков услуг и так далее, что упрощает маршрутизацию запросов установления соединения, как и при использовании агрегированных IP-адресов в соответствии с техникой CIDR.

Виртуальные соединения могут быть постоянными (PVC - Permanent Virtual Circuit) и коммутируемыми (SVC - Switched Virtual Circuit). Для ускорения коммутации в больших сетях используется понятие виртуального пути - Virtual Path, который объединяет виртуальные каналы, имеющие в сети АТМ общий маршрут между исходным и конечным узлами или общую часть маршрута между некоторыми двумя коммутаторами сети. Идентификатор виртуального пути (VPI - Virtual Path Identifier) является старшей частью локального адреса и представляет собой общий префикс для некоторого количества различных виртуальных каналов. Таким образом, идея агрегирования адресов в технологии АТМ применена на двух уровнях - на уровне адресов конечных узлов (работает на стадии установления виртуального канала) и на уровне номеров виртуальных каналов (работает при передаче данных по имеющемуся виртуальному каналу).

Соединения конечной станции АТМ с коммутатором нижнего уровня определяются стандартом UNI (User Network Interface). UNI определяет структуру пакета, адресацию станций, обмен управляющей информацией, уровни протокола АТМ, способы установления виртуального канала и способы управления трафиком. В настоящее время принята версия UNI 4.0, но наиболее распространённой версией, поддерживаемой производителями оборудования, является версия UNI 3.1

Стандарт АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Здесь он основывается на технологии SDH/SONET, принимая её иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети - это скорость OC-3 155 Мбит/с. Организация ATM Forum определила для АТМ не все иерархии скоростей SDH, а только скорости ОС-3 и ОС-12 (622 Мбит/с). На скорости 155 Мбит/c можно использовать не только волоконно-оптический кабель, но и неэкранированную витую пару категории 5. На скорости 622 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель, причём как одномодовый, так и многомодовый.

Имеются и другие физические интерфейсы к сетям АТМ, отличные от SDH/SONET. К ним относятся интерфейсы Т1/E1 и T3/E3, распространённые в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей - интерфейс с кодировкой 4В/5B со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/c, предложенный компанией IBM и утверждённый ATM Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/c определён так называемый "cell-based" физический уровень, то есть уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата АТМ, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу синхронизации приёмника с передатчиком на уровне ячеек.

Все перечисленные выше характеристики технологии АТМ не свидетельствуют о том, что это некая "особенная" технология, а скорее представляют её как типичную технологию глобальных сетей, основанную на технике виртуальных каналов. Особенности же технологии АТМ лежат в области качественного обслуживания разнородного трафика и объясняются стремлением решить задачу совмещения в одних и тех же каналах связи и в одном и том же коммуникационном оборудовании компьютерного и мультимедийного трафика таким образом, чтобы каждый тип трафика получил требуемый уровень обслуживания и не рассматривался как "второстепенный" [7].

## 1. 2 Интерфейсы сетей АТМ

Интерфейсы сети АТМ можно классифицировать в зависимости от назначения, определяющегося набором обязательных функций.

В зависимости от назначения различают интерфейсы АТМ:

-пользователь-сеть (UNI - User Network Interface) - обеспечивает взаимодействие оборудования пользователя с соответствующим ему сетевым узлом;

-интерфейс сетевого узла (NNI - Network Node Interface) - обеспечивает взаимодействие сетевых узлов между собой;

-интерфейс сеть-сеть (Network-Network Interface) - обеспечивает взаимодействие между двумя операторами сетей общего пользования.

Интерфейсы UNI ATM отличаются набором обязательных функций и классифицируются на:

UNI общего пользования - обеспечивает взаимодействие сетевого узла сети АТМ общего пользования с оборудованием пользователя или сетевым узлом сети АТМ ограниченного пользования, при этом используется протокол абонентской сигнализации DSS 2 (Digital Subscriber Signalling №2) или UNI 3.0/3.1/4.0;

UNI ограниченного пользования - обеспечивает взаимодействие сетевого узла сети АТМ ограниченного пользования с оборудованием пользователя, при этом используется протокол абонентской сигнализации UNI 3.0/3.1/4.0.

Интерфейсы NNI ATM отличаются набором обязательных функций и классифицируются на:

NNI общего пользования - обеспечивает взаимодействие сетевых узлов внутри сети общего пользования, при этом используется протокол межузловой сигнализации B-ISUP (Broadband Integrated Service User Part) или PNNI (Private Network Network Interface);

NNI ограниченного пользования - обеспечивает взаимодействие сетевых узлов внутри сети АТМ ограниченного пользования, при этом используется протокол межузловой сигнализации PNNI или IISP (Interim Interswitch Signalling Protocol).

Для обеспечения взаимодействия между сетями операторов общего пользования используется интерфейс B-ICI. Взаимодействие сетей АТМ общего пользования, принадлежащих различным операторам, должно осуществляться через интерфейс B-ICI (B-ISDN Inter Carrier Interface), созданный ATM Forum.

На интерфейсе B-ICI используются:

-формат ячеек NNI в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т I.361;

-функции уровня АТМ в соответствии со спецификацией ATM Forum UNI 3.0/3.1;

-протокол сигнализации B-ISUP, разработанный МСЭ-Т.

В качестве физических интерфейсов могут быть использованы: Е3, STM-1, STM-4.

Взаимодействие сетей АТМ может осуществляться по постоянным или коммутируемым соединениям.

Аппаратура АТМ поддерживает интерфейсы для работы по физическим линиям связи и системам передачи.

Интерфейсы для работы по физическим линиям связи можно разделить на:

-интерфейсы, работающие на линиях связи, протяжённостью несколько десятков километров;

-интерфейсы, работающие на линиях связи, протяжённостью несколько километров.

Предусмотрены следующие интерфейсы АТМ, предназначенные для работы на линиях связи, протяжённостью несколько десятков километров:

-STM-1 (155,52 Мбит/с) в формате SDH для одномодовых оптических линий средней (15-20 км) длины и длинных (40-45 км);

-STM-4 (622,08 Мбит/с) в формате SDH для одномодовых оптических ли-ий средней (15-20 км) длины и длинных (40-45 км);

-с прямой передачей ячеек (cell based) на скорости 155,52 Мбит/с для одномодовых оптических линий;

-с прямой передачей ячеек (cell based) на скорости 622,08 Мбит/с для одномодовых оптических линий.

Для построения протяжённых оптических линий на сети АТМ можно устанавливать регенераторы или оптические усилители.

Интерфейсы АТМ, предусмотренные для работы на линиях связи длиной несколько десятков километров могут быть использованы для работы на линиях протяжённостью несколько километров. Так же для работы на физических линиях связи протяжённостью несколько километров можно использовать интерфейсы АТМ:

-Е1 (2,048 Мбит/с) в формате PDH для симметричных цепей;

-Е3 (34,368 Мбит/с) в формате PDH для коаксиальных цепей;

-для симметричных цепей для передачи на скорости 25,6 Мбит/с;

-STM-1 (155,52 Мбит/с) в формате SDH для симметричного и коаксиального кабеля, многомодовых и одномодовых "коротких" оптических линий;

-STM-4 (622,08 Мбит/с) в формате SDH для многомодовых и одномодовых "коротких" оптических линий;

-с прямой передачей ячеек (cell based) на скорости 155,52 Мбит/с для коаксиальных цепей.

Сеть АТМ может быть построена на базе существующих систем передачи:

-SDH;

-PDH.

В этом случае сеть АТМ должна обеспечить подключение аппаратуры АТМ к системам передачи.

Для взаимодействия с системами передачи PDH предусмотрены физические интерфейсы АТМ:

-Е1 (2,048 Мбит/с) в формате PDH для симметричных цепей;

-Е3 (34,368 Мбит/с) в формате PDH для коаксиальных цепей.

Для взаимодействия с системами передачи SDH предусмотрены физические интерфейсы АТМ:

-STM-1 (155,52 Мбит/с) в формате SDH для симметричного и коаксиального кабеля, многомодовых и одномодовых оптических линий;

-STM-4 (622,08 Мбит/с) в формате SDH для многомодовых и одномодовых оптических линий.

В настоящее время для построения ВОЛС сетей АТМ общего пользования ETSI и МСЭ-Т стандартизировали физические интерфейсы АТМ для одномодовых линий. Физические интерфейсы АТМ для многомодовых линий стандартизированы ATM Forum .

## 1. 3 Нумерация и адресация в сетях АТМ

Для установления коммутируемых виртуальных соединений в сети АТМ необходимо каждому интерфейсу подключения оборудования АТМ к сети АТМ назначить адрес АТМ оконечной системы AESA (ATM End System Address). В качестве базового формата AESA используется структура адреса Network Service Access Point (NSAP), разработанная для открытых систем. На основе NSAP ATM Forum специфицировал три варианта формата AESA: NSAP E.164, NSAP DCC (Data Country Code), NSAP ICD (International Code Designator). Эти форматы AESA зависят от международной организации, ответственной за выделение идентифицирующих кодов организаций или стран, регулирующих адреса АТМ в национальных сетях.

В формате NSAP E.164 идентифицирующие коды выделяются МСЭ-Т. Д.ля нумерации сетевых объектов используется формат номера в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т Е.164.

В формате NSAP DCC идентифицирующие коды выделяются ISO.

В формате NSAP ICD идентифицирующие коды выделяются Институтом Стандартов Великобритании.

В рекомендациях МСЭ-Т предусматривается использование в сети АТМ двух из указанных форматов AESA: NSAP E.164 и NSAP DCC.



20 октетов

AFI

HO-DSP

E.164

ESI

SEL

IDI

IDP

DSP

4

6

8

1

1

AFI

HO-DSP

DCC

ESI

SEL

IDI

IDP

DSP

10

6

2

1

1

20 октетов

Рисунок .1 – Форматы адресов NSAP E.164 и NSAP DCC

Адресом конечного узла в коммутаторах АТМ является 20-байтный адрес. Этот адрес может иметь различный формат, описываемый стандартом ISО 7498. При работе в публичных сетях используется адрес стандарта Е.164, при этом 1 байт составляет АFI, 8 байт занимает IDI - основная часть адреса Е.164 (15 цифр телефонного номера), а остальные 11 байт части DSР (Domain Specific Part) распределяются следующим образом:

4 байта занимает поле старшей части DSР - Нigh-Order Domain Specific Part (НО-DSP), имеющее гибкий формат и представляющее собой номер сети АТМ, который может делиться на части для агрегированной маршрутизации по протоколу РNNI, подобной той, которая используется в технике СIDR для сетей IP;

6 байт занимает поле идентификатора конечной системы - Еnd System Identifier (ЕSI), которое имеет смысл МАС-адреса узла АТМ, причем формат его также соответствует формату МАС-адресов IЕЕЕ.

1 байт составляет поле селектора, которое не используется при установлении виртуального канала, а имеет для узла локальное назначение.

Идентификатор формата адреса (AFI) определяет тип формата AESA (NSAP E.164 или NSAP DCC), а также является ли данный адрес групповым или индивидуальным.

Таблица 1 - Значения AFI для индивидуального и группового адреса AESA

 Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| AFI | Индивидуальный адрес | Групповой адрес |
| E.164 | 45 | C3 |
| DCC | 39 | BD |

Идентификатор начальной части области/домена (IDI) определяет страну, ответственную за структуру и значение поля HO-DSP.

Поле HO-DSP содержит адресную информацию, используемую для маршрутизации в сети АТМ. Структуру HO-DSP определяет национальная администрация связи.

В формате NSAP E.164 поле E.164 представляет собою номер B-ISDN. Вопрос регулирования номеров B-ISDN в МСЭ-Т в настоящее время не решён, поэтому применение этого формата пока не рассматривается.

При работе в частных сетях АТМ обычно применяется формат адреса NSAP DCC, соответствующий домену международных организаций, причем в качестве международной организации выступает АТМ Forum. В этом случае поле IDI занимает 2 байта, которые содержат код АТМ Forum, данный ISО, а структура остальной части DSР соответствует описанной выше за исключением того, что поле НО-DSР занимает не 4, а 10 байт.

Адрес ЕSI присваивается конечному узлу на предприятии-изготовителе в соответствии с правилами IIЕЕ, то есть 3 первых байта содержат код предприятия, а остальные три байта - порядковый номер, за уникальность которого отвечает данное предприятие.

Конечный узел при подключении к коммутатору АТМ выполняет так называемую процедуру регистрации. При этом конечный узел сообщает коммутатору свой ЕSI-адрес, а коммутатор сообщает конечному узлу старшую часть адреса, то есть номер сети, в которой работает узел.

Кроме адресной части пакет САLL SETUP протокола Q.2931, с помощью которого конечный узел запрашивает установление виртуального соединения, включает также части, описывающие параметры трафика и требования QoS. При поступлении такого пакета коммутатор должен проанализировать эти параметры и решить, достаточно ли у него свободных ресурсов производительности для обслуживания нового виртуального соединения. Если да, то новое виртуальное соединение принимается и коммутатор передает пакет САLL SETUP дальше в соответствии с адресом назначения и таблицей маршрутизации, а если нет, то запрос отвергается.

## 1. 4 Сосуществование сетей АТМ с традиционными технологиями локальных сетей

Технология АТМ разрабатывалась сначала как "вещь в себе", без учета того факта, что в существующие технологии сделаны большие вложения и поэтому никто не станет сразу отказываться от установленного и работающего оборудования, даже если появляется новое, более совершенное. Это обстоятельство оказалось не столь важным для территориальных сетей, которые в случае необходимости могли предоставить свои оптоволоконные каналы для построения сетей АТМ. Учитывая, что стоимость высокоскоростных оптоволоконных каналов, проложенных на большие расстояния, часто превышает стоимость остального сетевого оборудования, переход на новую технологию АТМ, связанный с заменой коммутаторов, во многих случаях оказывался экономически оправданным.

Для локальных сетей, в которых замена коммутаторов и сетевых адаптеров равнозначна созданию новой сети, переход на технологию АТМ мог быть вызван только весьма серьезными причинами. Гораздо привлекательнее полной замены существующей локальной сети новой сетью АТМ выглядела возможность "постепенного" внедрения технологии АТМ в существующую на предприятии сеть. При таком подходе фрагменты сети, работающие по новой технологии АТМ, могли бы мирно сосуществовать с другими частями сети, построенными на основе традиционных технологий, таких как Ethernet или FDDI, улучшая характеристики сети там, где это нужно, и оставляя сети рабочих групп или отделов в прежнем виде. Применение маршрутизаторов IР, реализующих протокол Сlassical IP, решает эту проблему, но такое решение не всегда устраивает предприятия, пользующиеся услугами локальных сетей, так как, во-первых, требуется обязательная поддержка протокола IР во всех узлах локальных сетей, а во-вторых, требуется установка некоторого количества маршрутизаторов, что также не всегда приемлемо. Отчетливо ощущалась необходимость способа согласования технологии АТМ с технологиями локальных сетей без привлечения сетевого уровня.

В ответ на такую потребность АТМ Forum разработал спецификацию, называемую LAN emulation, LANE (эмуляция локальных сетей), которая призвана обеспечить совместимость традиционных протоколов и оборудования локальных сетей с технологией АТМ. Эта спецификация обеспечивает совместную работу этих технологий на канальном уровне. При таком подходе коммутаторы АТМ работают в качестве высокоскоростных коммутаторов магистрали локальной сети, обеспечивая не только скорость, но и гибкость соединений коммутаторов АТМ между собой, поддерживающих произвольную топологию связей, а не только древовидные структуры.

Спецификация LANE определяет способ преобразования кадров и адресов МАС-уровня традиционных технологий локальных сетей в ячейки и коммутируемые виртуальные соединения SVC технологии АТМ, а также способ обратного преобразования. Всю работу по преобразованию протоколов выполняют специальные компоненты, встраиваемые в обычные коммутаторы локальных сетей, поэтому ни коммутаторы АТМ, ни рабочие станции локальных сетей не замечают того, что они работают с чуждыми им технологиями. Такая прозрачность была одной из главных целей разработчиков спецификации LANE.

Так как эта спецификация определяет только канальный уровень взаимодействия, то с помощью коммутаторов АТМ и компонентов эмуляции LAN можно образовать только виртуальные сети, называемые эмулируемыми сетями, а для их соединения нужно использовать обычные маршрутизаторы.

Основными элементами, реализующими спецификацию, являются программные компоненты LЕС (LAN Emulation Client) и LES (LAN Emulation Server). Клиент LЕС выполняет роль пограничного элемента, работающего между сетью АТМ и станциями некоторой локальной сети. На каждую присоединенную к сети АТМ локальную сеть приходится один клиент LЕС.

Сервер LES ведет общую таблицу соответствия МАС-адресов станций локальных сетей и АТМ-адресов пограничных устройств с установленными на них компонентами LЕС, к которым присоединены локальные сети, содержащие эти станции. Таким образом, для каждой присоединенной локальной сети сервер LES хранит один АТМ-адрес пограничного устройства LЕС и несколько МАС-адресов станций, входящих в эту сеть. Клиентские части LЕС динамически регистрируют в сервере LES МАС-адреса каждой станции, заново подключаемой к присоединенной локальной сети.

Программные компоненты LЕС и LES могут быть реализованы в любых устройствах - коммутаторах, маршрутизаторах или рабочих станциях АТМ.

Когда элемент LЕС хочет послать пакет через сеть АТМ станции другой локальной сети, также присоединенной к сети АТМ, он посылает запрос на установление соответствия между МАС-адресом и АТМ-адресом серверу LES. Сервер LES отвечает на запрос, указывая АТМ-адрес пограничного устройства LЕС, к которому присоединена сеть, содержащая станцию назначения. Зная АТМ-адрес, устройство LЕС исходной сети самостоятельно устанавливает виртуальное соединение SVC через сеть АТМ обычным способом, описанным в спецификации UNI. После установления связи кадры МАС локальной сети преобразуются в ячейки АТМ каждым элементом LEC с помощью стандартных функций сборки-разборки пакетов (функции SAR) стека АТМ.

В спецификации LANE также определен сервер для эмуляции в сети АТМ широковещательных пакетов локальных сетей, а также пакетов с неизвестными адресами, так называемый сервер ВUS (Вroadcast and Unknown Server). Этот сервер распространяет такие пакеты во все пограничные коммутаторы, присоединившие свои сети к эмулируемой сети.

В рассмотренном примере все пограничные коммутаторы образуют одну эмулируемую сеть. Если же необходимо образовать несколько эмулируемых сетей, не взаимодействующих прямо между собой, то для каждой такой сети необходимо активизировать собственные серверы LES и ВUS, а в пограничных коммутаторах активизировать по одному элементу LЕС для каждой эмулируемой сети. Для хранения информации о количестве активизированных эмулируемых сетей, а также АТМ-адресах соответствующих серверов LES и BUS вводится еще один сервер-сервер конфигурации LECS (LAN Emulation Configuration Server).

Спецификация LANЕ существует сегодня в двух версиях. Вторая версия ликвидировала некоторые недостатки первой, связанные с отсутствием механизма резервирования серверов LES и ВUS в нескольких коммутаторах, что необходимо для надежной работы крупной сети, а также добавила поддержку разных классов трафика.

На основе технологии LANЕ работает новая спецификация АТМ Forum - Мultiprotocol Over АТМ, МРОА. Эта спецификация АТМ определяет эффективную передачу трафика сетевых протоколов - IP, IРХ, DECnet и других через сеть АТМ. По назначению она близка к спецификации Сlassical IP, однако решает гораздо больше задач. Технология МРОА позволяет пограничным коммутаторам 3-го уровня, поддерживающим какой-либо сетевой протокол, но не строящим таблицы маршрутизации, находить кратчайший путь через сеть АТМ. МРОА использует для этого серверный подход, аналогичный тому, что применен в LANЕ. Сервер МРОА регистрирует адреса (например, IР-адреса) сетей, обслуживаемых пограничными коммутаторами 3-го уровня, а затем по запросу предоставляет их клиентам МРОА, встроенным в эти коммутаторы. С помощью технологии МРОА маршрутизаторы или коммутаторы 3-го уровня могут объединять эмулируемые сети, образованные на основе спецификации LANЕ [6].

## 1.5 Использование технологии АТМ

Технология АТМ расширяет свое присутствие в локальных и глобальных сетях не очень быстро, но неуклонно. В последнее время наблюдается устойчивый ежегодный прирост числа сетей, выполненных по этой технологии, в 20-30%.

В локальных сетях технология АТМ применяется обычно на магистралях, где хорошо проявляются такие ее качества, как масштабируемая скорость (выпускаемые сегодня корпоративные коммутаторы АТМ поддерживают на своих портах скорости 155 и 622 Мбит/с), качество обслуживания (для этого нужны приложения, которые умеют запрашивать нужный класс обслуживания), петлевидные связи (которые позволяют повысить пропускную способность и обеспечить резервирование каналов связи). Петлевидные связи поддерживаются в силу того, что АТМ - это технология с маршрутизацией пакетов, запрашивающих установление соединений, а значит, таблица маршрутизации может эти связи учесть - либо за счет ручного труда администратора, либо за счет протокола маршрутизации РNNI.

Основной соперник технологии АТМ в локальных сетях - технология Gigabit Ethernet. Она превосходит АТМ в скорости передачи данных - 1000 Мбит/с по сравнению с 622 Мбит/с, а также в затратах на единицу скорости. Там, где коммутаторы АТМ используются только как высокоскоростные устройства, а возможности поддержки разных типов трафика игнорируются, технологию АТМ, очевидно, заменит технология Gigabit Ethernet. Там же, где качество обслуживания действительно важно (видеоконференции, трансляция телевизионных передач и прочее), технология АТМ останется. Для объединения настольных компьютеров технология ATM, вероятно, еще долго не будет использоваться, так как здесь очень серьезную конкуренцию ей составляет технология Fast Ethernet.

В глобальных сетях АТМ применяется там, где сеть Frame Relay не справляется с большими объемами трафика, и там, где нужно обеспечить низкий уровень задержек, необходимый для передачи информации реального времени.

Сегодня основной потребитель территориальных коммутаторов АТМ - это Internet. Коммутаторы АТМ используются как гибкая среда коммутации виртуальных каналов между IР-маршрутизаторами, которые передают свой трафик в ячейках АТМ. Сети АТМ оказались более выгодной средой соединения IР-маршрутизаторов, чем выделенные каналы SDН, так как виртуальный канал АТМ может динамически перераспределять свою пропускную способность между пульсирующим трафиком клиентов IР-сетей.

Сегодня по данным исследовательской компании Distributed Networking Associates около 85% всего трафика, переносимого в мире сетями АТМ, составляет трафик компьютерных сетей (наибольшая доля приходится на трафик IР - 32%).

Хотя технология АТМ разрабатывалась для одновременной передачи данных компьютерных и телефонных сетей, передача голоса по каналам СВR для сетей АТМ составляет всего 5% от общего трафика, а передача видеоинформации - 10%. Телефонные компании пока предпочитают передавать свой трафик непосредственно по каналам SDH, не довольствуясь гарантиями качества обслуживания АТМ. Кроме того, технология АТМ пока имеет недостаточно стандартов для плавного включения в существующие телефонные сети, хотя работы в этом направлении идут.

Что же касается совместимости АТМ с технологиями компьютерных сетей, то разработанные в этой области стандарты вполне работоспособны и удовлетворяют пользователей и сетевых интеграторов.

## 2 Технология IP

Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) - это промышленный стандарт стека протоколов, разработанный для глобальных сетей.

Стандарты TCP/IP опубликованы в серии документов, названных Request for Comment (RFC). Документы RFC описывают внутреннюю работу сети Internet. Некоторые RFC описывают сетевые сервисы или протоколы и их реализацию, в то время как другие обобщают условия применения. Стандарты TCP/IP всегда публикуются в виде документов RFC, но не все RFC определяют стандарты.

Стек был разработан по инициативе Министерства обороны США (Department of Defence, DoD) более 20 лет назад для связи экспериментальной сети ARPAnet с другими сателлитными сетями как набор общих протоколов для разнородной вычислительной среды. Сеть ARPA поддерживала разработчиков и исследователей в военных областях. В сети ARPA связь между двумя компьютерами осуществлялась с использованием протокола Internet Protocol (IP), который и по сей день является одним из основных в стеке TCP/IP и фигурирует в названии стека.

Большой вклад в развитие стека TCP/IP внес университет Беркли, реализовав протоколы стека в своей версии ОС UNIX. Широкое распространение ОС UNIX привело и к широкому распространению протокола IP и других протоколов стека. На этом же стеке работает всемирная информационная сеть Internet, чье подразделение Internet Engineering Task Force (IETF) вносит основной вклад в совершенствование стандартов стека, публикуемых в форме спецификаций RFC.

Если в настоящее время стек TCP/IP распространен в основном в сетях с ОС UNIX, то реализация его в последних версиях сетевых операционных систем для персональных компьютеров (Windows NT 3.5, NetWare 4.1, Windows 95) является хорошей предпосылкой для быстрого роста числа установок стека TCP/IP.

Итак, лидирующая роль стека TCP/IP объясняется следующими его свойствами:

Это наиболее завершенный стандартный и в то же время популярный стек сетевых протоколов, имеющий многолетнюю историю.

Почти все большие сети передают основную часть своего трафика с помощью протокола TCP/IP.

Это метод получения доступа к сети Internet.

Этот стек служит основой для создания intranet - корпоративной сети, использующей транспортные услуги Internet и гипертекстовую технологию WWW, разработанную в Internet.

Все современные операционные системы поддерживают стек TCP/IP.

Это гибкая технология для соединения разнородных систем как на уровне транспортных подсистем, так и на уровне прикладных сервисов.

Это устойчивая масштабируемая межплатформенная среда для приложений клиент-сервер.

Основу транспортных средств стека протоколов TCP/IP составляет протокол межсетевого взаимодействия - Internet Protocol (IP). К основным функциям протокола IP относятся:

-перенос между сетями различных типов адресной информации в унифицированной форме,

-сборка и разборка пакетов при передаче их между сетями с различным максимальным значением длины пакета.

**2.2 Варианты построения сетей IP-телефонии**

Наиболее известным является подход, предложенный Международным

союзом электросвязи (ITU) в Рекомендации H.323. Сети, построенные на базе

протоколов H.323, ориентированы на интеграцию с телефонными сетями и могут рассматриваться как наложенные на сети передачи данных сети ISDN. В частности, процедура установления соединения в таких сетях IP-телефонии

базируется на Рекомендации ITU Q.931 и практически идентична данной процедуре в сетях ISDN.

Описанный вариант построения сетей IP-телефонии больше подходит для операторов телефонной связи, желающих использовать сети с маршрутизацией пакетов IP для предоставления услуг междугородной и международной связи.



Рис. 2. Архитектура сети, базирующейся на протоколе H.323

Причем IP-телефония будет для них основной предоставляемой услугой. Протокол RAS, входящий в набор протоколов H.323, обеспечивает операторам связи высокий уровень контроля за использованием сетевых ресурсов, поддержку аутентификации пользователей и начисление оплаты за предоставленные услуги. Кроме базового вызова в сетях, построенных на базе протоколов H.323, предусмотрено предоставление дополнительных услуг в соответствии c Рекомендациями ITU H.450.х.

Второй подход, связанный с использованием протокола SIP (Session Initiation Protocol), ориентирован на интеграцию услуги передачи речевого трафика по IP-сетям с остальными услугами Internet. Этот подход, предложенный телекоммуникационной стандартизирующей организацией IETF в документе RFC 2543, является намного более простым для реализации

в сравнении с H.323, но меньше подходит для организации взаимодействия с телефонными сетями. В основном это связано с тем, что сервер SIP не сохраняет сведений о текущих соединениях (Stateless), то время как узлы ТфОП напротив сохраняют информацию обо всех установленных соединениях (Statefull). Кроме того, сигнальный протокол SIP, базирующийся на основе протокола HTTP (RFC 2068), плохо согласуется с системами сигнализации, используемыми в ТфОП.

Этот вариант больше подходит для поставщиков услуг Интернет для предоставления еще одной услуги - Интернет-телефонии. Причем эта услуга будет являться всего лишь небольшой частью пакета услуг, и будет предоставляться, например, по фиксированным тарифам, при этом будет использоваться максимально упрощенная схема управления услугами.



Рис.3. Архитектура сети, базирующейся на протоколе SIP

Еще один подход, связанный с декомпозицией шлюзов, предполагает разбиение шлюзов на основные функциональные блоки: шлюз - MG (Media Gateway), устройство управления шлюзом - CA (Call Agent) и сигнальный шлюз - SG (Signalling Gateway), и определение интерфейсов между блоками. Весь интеллект декомпозированного шлюза: обработка сигнальной информации и логика контроля ресурсов - сосредоточен в устройстве управления. Сами шлюзы только выполняют функции преобразования речевой информации, поступающей со стороны ТФОП в вид пригодный для передачи по сетям с маршрутизацией пакетов IP: кодирование и упаковка речевой информации в пакеты RTP/UDP/IP, а также обратное преобразование. Один контроллер шлюзов CA управляет одновременно несколькими шлюзами.

Сигнальный шлюз выполняет функции STP . транзитного пункта сигнализации.

Третий подход, предлагаемый организацией IETF (рабочая группа MEGACO) достаточно хорошо подходит для развертывания глобальных сетей IP-телефонии, приходящих на смену традиционным телефонным сетям. Если распределенный шлюз подключается к ТФОП при помощи сигнализации по выделенным сигнальным каналам (ВСК), то сигнальная информация вместе с пользовательской информацией сначала поступает в транспортный шлюз, а затем передается в устройство управления без посредничества шлюза сигнализации. Одно из основных требований, предъявляемых к протоколу MGCP, состоит в том, что устройства, реализующие этот протокол, должны работать в режиме без сохранения информации о последовательности транзакций между устройством управления и транспортным шлюзом, т.е. в устройствах не требуется реализации конечного автомата для описания этой последовательности. Однако не следует распространять подобный подход на последовательность состояний соединений, сведения о которых хранятся в устройстве управления. Отметим, что протокол MGCP является внутренним протоколом,

поддерживающим обмен информацией между функциональными блоками распределенного шлюза. Протокол использует принцип master/slave (ведущий/ведомый), причем устройство управления шлюзами является ведущим, а транспортный шлюз – ведомым, выполняющим команды, поступающие от устройства управления. Подход на базе протокола MGCP обладает очень важным преимуществом перед подходом, предложенным ITU в Рекомендации H.323: поддержка управляющим устройством сети - CA сигнализации ОКС 7 и других видов сигнализации, а также прозрачная трансляция сигнальной информации по сети IP-телефонии. В Н.323 сигнализация ОКС7, как и любая другая сигнализация, конвертируется шлюзом в сигнальные сообщения Н.225.0 (Q.931).

Основным недостатком последнего подхода является незаконченность стандартов. Функциональные составляющие декомпозированных шлюзов,

Разработанные различными фирмами-производителями телекоммуникационного оборудования, практически не совместимы. Функции управляющего устройства - CA точно не определены. К недостаткам можно также отнести отсутствие стандартизированного протокола взаимодействия между CA. Кроме того, протокол MGCP является протоколом управления шлюзами, но он не предназначен для управления соединениями с участием терминального оборудования пользователей (IP-телефонами). Это означает, что в сети, построенной на базе протокола MGCP, должен присутствовать Привратник или сервер SIP для управления терминальным оборудованием. Стоит также отметить, что в существующих приложениях IP-телефонии: таких как предоставление услуг международной и междугородной связи, использовать протокол MGCP не целесообразно, в связи с тем, что подавляющее количество систем IP-телефонии сегодня построено на базе протокола H.323. Оператору придется строить отдельную сеть IP-телефонии, построенную на базе протокола MGCP, что связано со значительными капиталовложениями. В то время как, оператор связи, имеющий оборудование стандарта H.323, может подключиться к существующим сетям IP-телефонии. Стоит также отметить, что в проекте Рекомендации Н.323, версии 4 ITU ввел принцип декомпозиции шлюзов, описанный в последнем подходе.



Рис.4. Архитектура сети, базирующейся на протоколе MGCP

Также в проекте Рекомендации Н.323, версии 4 предусмотрена возможность прозрачной передачи сигнализации ОКС7 и других видов сигнализации по сетям IP-телефонии и обработка всех видов сигнализации Привратником без преобразования в сигнальные сообщения Н.225.0.

Вышеуказанное означает, что Рекомендация H.323 вбирает в себя все самое лучшее, что предлагается в альтернативных подходах к построению сетей IP-телефонии. Кроме того, поддержка Привратником сигнализации OKC7 обеспечивает возможность развертывания Интеллектуальных сетей связи (ИС) на базе сетей IP-телефонии.

**2.3 Основные принципы построение сети H.323**

Для того, чтобы предоставлять услуги IP-телефонии по dial-up, как минимум необходимо установить станционный шлюз, к которому подключаются телефонные линии городской АТС. Шлюз настраивается на оборудование оператора IP-телефонии. Клиенту предоставляется городской телефонный номер, и уникальный персональный код доступа (PIN. Шлюзы и объединяющая их IP-сеть являются необходимыми элементами для построения телефонной пакетной сети, однако на практике в состав операторского решения входит немало и других компонентов — контроллеры домена или привратники (gatekeeper), система биллинга, и т. п. Они не входят в число обязательных элементов сети, но существенно облегчают жизнь операторам.

**2.3.1. Шлюз**

Шлюз представляет собой связующее звено между телефонной сетью общего пользования и сетью с коммутацией пакетов, обеспечивает стандартный интерфейс для связи с ТФОП, преобразует речевые и факсимильные сигналы используя алгоритмы кодирования/декодирования (кодеки) из формата коммутации каналов в формат коммутации пакетов и обратно. Он работает с gatekeeper-ом по протоколу RAS для маршрутизации вызовов в сети.

С телефонной сетью общего пользования или учрежденческой связи шлюзы IP-телефонии взаимодействуют через интерфейс телефонной линии или ISDN. Цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processor, DSP) осуществляет, когда это необходимо, демультиплексирование (в случае линий T-1/E-1) иоцифровывание (в случае аналоговых линий), сжатие и кодирование речи и передачу упакованной речи дальше в сеть. Благодаря универсальности протокола IP, т. е. его способности использовать в качестве транспорта практически все что угодно, это может быть интерфейс Ethernet, Token Ring, ATM, SDH и т. д. Таким образом, шлюз IP-телефонии выполняет следующие пять основных функций:

1. функции интерфейса с УАТС, телефонной сетью общего пользования

и другими телефонными сетями;

2. базовые функции обслуживания вызовов (соединение/разъединение и

т. п.);

3. компрессию и декомпрессию речи в реальном времени;

4. упаковку и распаковку сжатой речи;

5. функции интерфейса с сетью IP.

Шлюз, в совокупности с привратником сети IP-телефонии, образует универсальную платформу для предоставления всего спектра услуг IP- телефонии.

**2.3.2. Привратник (gatekeeper)**

Использование привратника повышает возможности масштабирования, за счет централизации данных о маршрутах и планах нумерации, что облегчает процессы модификации и расширения сети. Привратник работает с адресной системой, определяет IP адреса удаленного шлюза, указанного в конфигурации для вызываемого номера. Данное устройство также управляет полосой пропускания и качеством услуг. Каждый привратник имеет понятие "зоны" административного контроля, в пределах которой он управляет множеством шлюзов. Такие зоны, как правило, устанавливаются соответственно границам географических зон. Привратник управляет маршрутизацией сигнальных сообщений между терминалами, расположенными в одной зоне: привратник может организовывать сигнальный канал напрямую между терминалами или же ретранслировать сигнальные сообщения от одного терминала к другому. В этом случае привратник в любое время знает состояние конечных пользователей, поэтому на него может возлагаться предоставление дополнительных услуг: переадресация, передача, постановка на ожидание и перехват вызова и т.д. При отсутствии в сети привратника, преобразование адреса вызываемого абонента в транспортный адрес IP-сети должно выполняться шлюзом.

**2.3.3. Серверы биллинга**

Серверы биллинга используются для проведения расчетов за предоставляемые оператором услуги связи. Для того, чтобы не использовать различные биллинговые системы для учета различных услуг, лучше всего остановиться на биллинговых системах нового типа, позволяющих учитывать все современные услуги связи.

RADIUS сервер выполняет функции идентификации, авторизации и учета (ААА). Сервер RADIUS собирает и сохраняет данные о вызовах, которые поступают от шлюзов VoIP. Серверы биллинга собирают эти данные с серверов RADIUS и обрабатывают данные с помощью специальных биллинговых приложений. Счета рассылаются абонентам через Интернет или по почте в зависимости от модели обслуживания, принятой у того или иного провайдера.

## 3. Выбор оборудования

**3.1 Модульный маршрутизатор Cisco 3660.**

Серия Cisco 3600 разработана для поддержки растущего числа удаленных офисов и подразделений которым необходим доступ в корпоративную сеть Интернет. Эта серия серверов доступа предлагает беспрецедентный уровень поддержки различных технологий удаленного доступа, включая передачу голоса и факсов через сети TCP/IP.

Модель Cisco 3660 имеет следующие технические характеристики:

-Количество доступных слотов - 1

-Объем оперативной памяти - до 32Мбайт

-Процессор (CPU) - 80МГерц IDT R 4700 Risc

Основные возможности

-Поддержка всех функции ПО Cisco IOSTM

-Модульная архитектура

-Поддерживается как передача голоса поверх протокола IP, так и передача голоса поверх протокола Frame Relay (стандарты FRF.11 и FRF.12)

-Широчайший спектр функций в рамках одного устройства

-Простой и гибкий метод замены программного обеспечения с использованием флеш-памяти

-Дополнительный отказоустойчивый источник питания

**3.2Мультисервисный коммутатор Cisco IGX 8400 Series Wide-Area Switch**

Мультисервисный коммутатор Cisco IGX 8400 Series Wide-Area Switch имеет неблокируемую емкость - 1,2 ГБ. Поддержка множества узкополосных и широкополосных приложений.

Масштабируемые интерфейсы АТМ и Frame Relay, интерфейсы для использования традиционных данных и аналоговых голосовых данных:

-ОС-3/STM-1, DS3/E3, DS1/E1 ATM;

-V.35, X.21, HSSI, DS1/E1 Frame Relay.

-T1/E1 для голосовых данных.

-RS-232, V.35, X.21, RS449 для технических данных.

-Модели: Cisco IGX 8410 с восемью слотами; Cisco IGX 8420 с 16 слотами; Cisco IGX 8430 с 32 слотами.

-Узкополосная транковая скорость передачи данных от 128 килобит в секунду до 2,048 мегабит в секунду.

-Широкополосная транковая скорость передачи данных от 2,048 до 155 мегабит в секунду.

-Компрессия голосовых данных (ADPCM и LDCELP) и средства обнаружения голосовых данных создают 8-кратную экономию по сравнению с передачей голосовых данных без компрессии.

-Голосовая коммутация.

-Стопроцентная избыточность для поддержания надежности на самом высоком уровне.

-Возможность загрузки программного обеспечения через сеть.

**3.3Cisco Catalyst 2900**

Серия коммутаторов Cisco Catalyst 2900 представляет собой высокопроизводительные коммутаторы фиксированной конфигурации для коммуникационных центров и центров обработки данных. Устройства этой серии базируются на технологиях серии коммутаторов Сatalyst 5000.

Основные достоинства:

-Модуль управления, обслуживающий шину с пропускной способностью 1,2 Гб/сек с тремя уровнями приоритетов и двумя портами 100BaseTX или двумя портам 100BaseFX

-Поддержка режима полного дуплекса на всех портах Ethernet

-Полная поддержка технологии виртуальных сетей, включая ISL и VTP

-Консольный порт для настройки и управления

-Контроль окружающей среды

-Встроенная поддержка четырех групп протокола удаленного управления (RMON). Поддержка протокола остового дерева для создания отказоустойчивых сетевых топологий.

## 3.4 Анализ суточного профиля интернет-трафика

Для оценки степени влияния интернет-трафика на качество обслуживания телефонного трафика было проведено обследование трафика интернета. В течение одного календарного месяца. Результаты обследования представлены на рисунке 5



Рисунок 4.1.3.1 - Среднее суточное значение нагрузки на 30 модемных линий

Было определенно местоположение ЧНН, и посчитана по формуле (3.4.1) средняя загрузка модемных линий в ЧНН.

, (3.4.1)

где v - число модемных линий.

Произведем расчет:



## 4. Безопасность жизнедеятельности

## 4.1 Требования безопасности в аварийных ситуациях

При появлении неисправностей машины необходимо прекратить работу, отключить машину от сети и сообщить о происшедшем руководителю подразделения. При отключении электроэнергии отключить компьютер от сети.

При пожаре или загорании немедленно сообщить в пожарную часть. Приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения. О пожаре доложить руководителю работ, а в его отсутствие руководителю предприятия.

При необходимости оказать медицинскую доврачебную помощь пострадавшим.

При несчастном случае сообщить руководителю работ, обратиться в медпункт или поликлинику.

## 4.2 Требования к защите от статического электричества и излучений

Требования к защите от статического электричества:

-для предотвращения образования и защиты от статического электричества в помещении при работе с компьютерной техникой необходимо использовать нейтрализаторы и увлажнители, полы должны иметь антистатическое покрытие;

-защита от статического электричества должна проводиться в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами допускаемой напряжённости электрического поля;

-допускаемые уровни напряжённости электростатических полей не должны превышать 20 кВ/м в течение одного часа (ГОСТ 12.1045-84).

Требования к защите от излучений:

-устройства визуального отображения генерируют несколько типов излучения, в том числе рентгеновское, радиочастотное, видимое и ультрафиолетовое. Однако, уровни этих излучений достаточно низки и не -превышают действующих норм (при условии соответствия дисплея требованиям международных стандартов ТСО 95 и/или ТСО 99);

-необходимо контролировать уровень аэроионизации. Следует учитывать, что мягкое рентгеновское излучение, возникающее при напряжении на аноде 20-22 кВ, а также высокое напряжение на токоведущих участках схемы вызывают ионизацию воздуха с образованием положительных ионов, считающихся неблагоприятными для человека;

-оптимальным уровнем аэроионизации в зоне дыхания работающего считается содержание лёгких аэронов обоих знаков от 1.5Ч102 до 5Ч103 в 1 см3 воздуха.