

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г.Локтионова

02 2018 г.

**РАСЧЁТ НАГРУЗКИ И ОБОСНОВАНИЕ
ОБОРУДОВАНИЯ И ИНТЕРФЕЙСОВ СЕТИ ДОСТУПА**

Методические указания
по подготовке и проведению практического занятия
для студентов, обучающихся по направлению подготовки
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
по дисциплине «Проектирование оптических систем доступа»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, Д. С. Коптев

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

Расчет нагрузки и обоснование оборудования и интерфейсов сети доступа: методические указания по подготовке и проведению практического занятия / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, Д.С. Коптев. - Курск, 2018. – 22 с.: ил. 1, табл. 8. – Библиогр.: с. 22.

Методические указания по выполнению практической работы содержат теоретические сведения о методике расчёта нагрузки в сетях доступа, выборе оборудования и интерфейсов для построения сети доступа, предназначенной для предоставления конкретных видов услуг связи, а также задания для выполнения работы и перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Полученные знания в результате выполнения работы дают возможность сформировать целостную картину информационного взаимодействия в современных телекоммуникационных системах доступа. Данное методическое указание направлено на формирование у студентов следующих профессиональных компетенций: ПК-6, ПК-12.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Проектирование оптических систем доступа», утверждённой методическими комиссиями по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Проектирование оптических систем доступа» очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.02.18 . Формат 60x841/16.

Усл. печ. л. 1,34 .Уч.-изд. л. 1,21 . Тираж 100 экз. Заказ. 998 Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

1 Цели работы.....	4
2 Краткие теоретические сведения.....	4
3 Расчет нагрузки шлюзов сети доступа.....	9
4 Задание на практическую работу.....	21
5 Контрольные вопросы.....	22
6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию.....	22

- изучение технических требований по оборудованию и интерфейсам сетей доступа;
- освоение методики расчёта нагрузки в сетях доступа.

2 Краткие теоретические сведения

Для подключения различных пользователей к мультисервисной сети на уровне сети доступа используются два типа оборудования:

- медиашлюзы – для подключения линий и терминального оборудования пользователей, не работающего с пакетными технологиями; основное назначение медиашлюзов – преобразование пользовательской и сигнальной информации в пакетный вид на базе стека протоколов TCP/IP, пригодный для передачи в транспортной сети NGN.

- пакетные коммутаторы/маршрутизаторы – предназначенные для подключения линий и конечного оборудования пользователей, работающего с пакетными технологиями на базе стека протоколов TCP/IP.

Различают несколько видов медиашлюзов в зависимости от типа подключаемых линий и терминального оборудования пользователей:

- резидентный шлюз доступа RAGW (ResidentAccessGateway) – для непосредственного включения абонентских линий, например аналоговых телефонных линий, к которым могут подключаться терминалы телефонной сети связи общего пользования (ССОП), такие как традиционные телефонные аппараты, аналоговые модемы, факсимильные аппараты, модемы xDSL и цифровых абонентских линий ISDN, к которым подключается терминальное оборудование базового доступа, например, цифровые телефонные аппараты ISDN, видеотелефоны через интерфейс BRI (2B+D) и др.

Интерфейс базового уровня (Basic Rate Interface, BRI) предоставляется для связи аппаратуры абонента и ISDN-станции два В-канала и один D-канал. В стандартном режиме работы BRI могут быть одновременно использованы оба В-канала по 64 кбит/с (например, один для передачи данных, другой для передачи голоса) или один из них. При одновременной работе каналов они могут обеспечивать соединение с разными

абонентами. Максимальная скорость передачи данных для BRI интерфейса составляет 128кбит/с. D-канал используется только для передачи управляющей информации.

Шлюз доступа AGW (Access Gateway) – предназначен для включения сетей доступа AN (Access Network) через интерфейс V5.2, который может включать от 2 до 16 первичных потоков E1, или УПАТС (учрежденческая производственная автоматическая телефонная станция связи) через интерфейс первичного доступа PRA сети ISDN (30B+D).

Интерфейс V5 служит для подключения к АТС сетей доступа, построенных на базе ИКМ трактов с пропускной способностью 2048 кбит/с. Кроме так называемых несущих каналов, т.е. каналов 64 кбит/с, каждый из которых обеспечивает перенос через интерфейс информации, передаваемой/принимаемой пользователем по В каналу ISDN или по абонентской линии ТфОП, в интерфейсе предусмотрен и ресурс, который служит для переноса через него служебной информации – сигнальной и контрольно-управляющей, обеспечивающей, в частности, управление портами ТфОП и ISDN (под портом в данном случае понимается совокупность ресурсов АТС и сети доступа, поддерживающих один интерфейс «пользователь - сеть» – UNI-интерфейс).

Интерфейс V5 представляет собой семейство интерфейсов V5.1 и V5.2, характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики интерфейсов V5.1 и V5.2

V5.1	V5.2
Позволяет подключать к АТС один тракт E1 (30 В-каналов)	Позволяет подключать к АТС группу до 16 трактов 2048 кбит/с
Без функции концентрации нагрузки абонентских линий. Прямое соответствие между канальными интервалами тракта E1 и терминалами пользователя	Поддержка функции концентрации нагрузки абонентских линий. Динамическое назначение канальных интервалов
Не поддерживает первичный доступ ISDN	Поддерживает первичный доступ ISDN
Не обеспечивает функции	Обеспечивает резервирования

резервирования при отказе тракта интерфейса	при отказе тракта путем переключения на другой тракт интерфейса
-	Управление трактами интерфейса
Сигнализация осуществляется по общему каналу в тракте интерфейса	Для каждого доступа (2048 кбит/с) предусмотрено несколько каналов сигнализации

Интерфейс V5.1 не предусматривает концентрации нагрузки (допускается лишь статическое мультиплексирование).

Интерфейс V5.2 предусматривает возможность концентрации нагрузки. Для этого разработан специальный протокол назначения несущих каналов, который при наличии зафиксированного в порту запроса соединения назначает для В канале этого порта один из свободных канальных интервалов ИКМ тракта, соединяющего сеть доступа и станцию. Обладая высокой пропускной способностью (до 16 ИКМ трактов), интерфейс V5.2 позволяет, кроме базового доступа, обеспечить подключение к АТС и оборудования первичного доступа ISDN. Спецификации сигнализации и управления для V5.2 не отличаются от таковых для V5.1, но т.к. V5.2 позволяет концентрировать нагрузку, его применение помогает добиться высокой эффективности использования ресурсов сети связи.

Часто конструктивно резидентный шлюз и шлюз доступа реализуются в виде единого мультисервисного узла доступа MSAN (Multi-Service Access Node). В состав такого MSAN обязательно входит пакетный коммутатор Ethernet, в который включаются непосредственно все источники нагрузки, работающие по пакетным технологиям: локальные вычислительные сети LAN и мультимедийные терминалы на базе протоколов SIP, H.323 (рисунок 1).

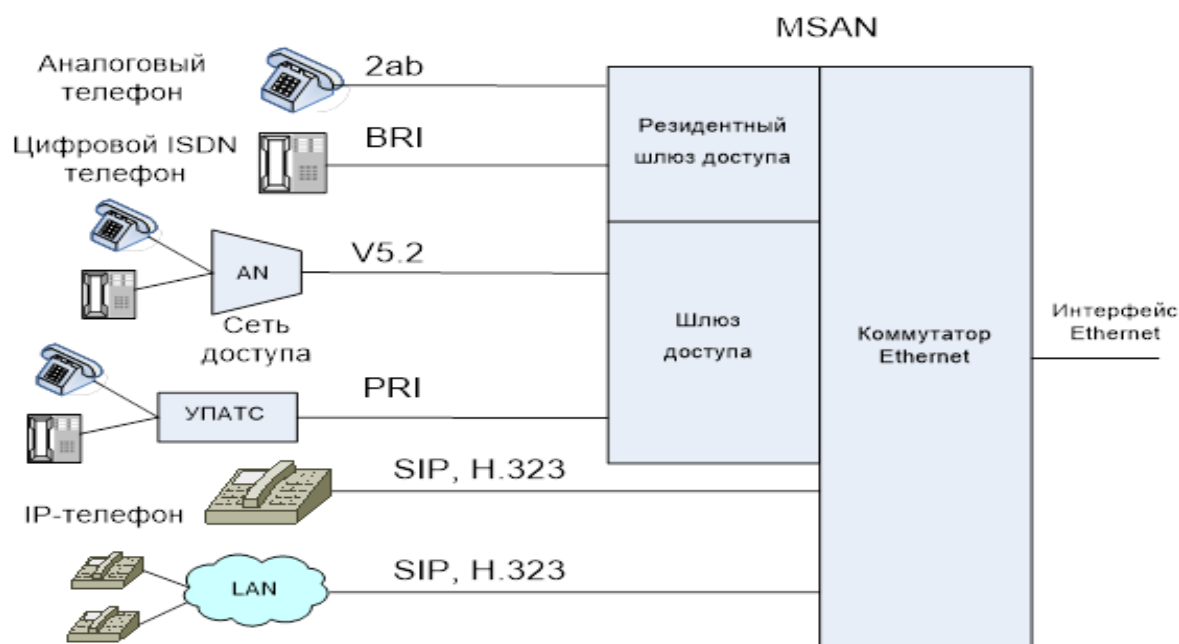


Рисунок 1 – Структура мультисервисного узла доступа (MSAN)

Исходными данными проектирования сети доступа являются:

1. Количество источников нагрузки различных типов, подключение которых планируется реализовать при формировании сети доступа.

К источникам нагрузки относятся:

- абоненты, использующие подключение по аналоговым абонентским линиям и подключаемые в резидентный шлюз доступа (RAGW);

- абоненты, использующие подключение через базовый доступ ISDNBRA и подключаемые в RAGW;

- абоненты, использующие пакетные терминалы SIP и подключаемые в пакетную сеть на уровне коммутатора Ethernetшлюза доступа AGW;

- абоненты, использующие пакетные терминалы H.323 и подключаемые в пакетную сеть на уровне коммутатора Ethernet шлюза доступа AGW;

- локальные вычислительные сети, осуществляющие подключение абонентов с терминалами SIP и H.323 и подключаемые в пакетную сеть на уровне коммутатора Ethernet шлюза доступа AGW;

- УПАТС, использующие внешний интерфейс ISDN-PRA и подключаемые в пакетную сеть через шлюз доступа AGW;

- оборудование сети доступа с интерфейсом V5,

подключаемое в пакетную сеть через шлюз доступа AGW;

– АТС телефонной сети, подключаемые к транзитному шлюзу.

2. Удельные нагрузки от перечисленных выше источников сетей с коммутацией каналов.

3. Удельные параметры передачи терминального оборудования пакетных сетей и удельные нагрузки, приведенные к параметрам передачи.

4. Типы кодеков в планируемом к внедрению оборудовании шлюзов.

Следует различать нагрузки: поступающую, обслуженную и потерянную.

Под поступающей нагрузкой понимается такая, которая была бы обслужена системой за рассматриваемый промежуток времени, если бы каждому поступающему вызову тотчас было предоставлено соединение со свободным выходом.

Обслуженная нагрузка представляет собой сумму времен занятия всех выходов системы, обслуживающей поступающий на ее входы поток вызовов за рассматриваемый промежуток времени.

Потерянная коммутационной системой в течение промежутка времени нагрузка представляет собой разность между поступающей и обслуженной нагрузками за рассматриваемый промежуток времени.

Интенсивность нагрузки – нагрузка за единицу времени (в телефонии, обычно за 1 ч). За единицу измерения интенсивности нагрузки принят эрланг (Эрл) по имени А. К. Эрланга. Один Эрл представляет собой нагрузку в одно часо-занятие за 1 ч.

Под часом наибольшей нагрузки понимают интервал времени, продолжительностью 60 минут, в течение которого нагрузка максимальна в среднем, за достаточно продолжительный интервал времени.

Удельная абонентская нагрузка это интенсивность нагрузки, создаваемой одним абонентом, в среднем в достаточно большой группе абонентов. Она также измеряется в эрлангах.

3 Расчет нагрузки шлюзов сети доступа

Число абонентских шлюзов определяется исходя из параметров критичности длины абонентской линии, расчетного значения предполагаемой нагрузки, топологии первичной сети (если таковая уже существует), наличия помещений для установки, технологических показателей типов оборудования, предполагаемого к использованию.

Исходя из критерия критичности длины абонентской линии, зона обслуживания резидентного шлюза доступа должна создаваться таким образом, чтобы максимальная длина абонентской линии не превышала 3-4 км. Если шлюз производит подключение оборудования сети доступа интерфейса V5, LAN либо УПАТС, то зона обслуживания шлюза включает в себя и зоны обслуживания подключаемых объектов.

Исходя из зоны обслуживания определяются емкостные показатели шлюза, которые отражают общее количество абонентов и емкости каждого из типов подключений.

Рассчитаем нагрузки, поступающие на каждый вид шлюзов.

1. Общая нагрузка, поступающая на резидентный шлюз доступа RAGW, обеспечивающий подключение аналоговых абонентов ССОП и абонентов базового доступа ISDN, равна:

$$Y_{RAGW} = Y_{CCOП} + Y_{ISDN} = y_{CCOП} \cdot N_{CCOП} + y_{ISDN} \cdot N_{ISDN}, \text{ Эрл} \quad (1)$$

где $Y_{CCOП}$ – общая нагрузка, поступающая на шлюз доступа от абонентов ССОП;

Y_{ISDN} – общая нагрузка, поступающая на шлюз доступа от абонентов ISDN;

$y_{CCOП}$ – удельная нагрузка на одного абонента ССОП, равна 0,1 Эрл;

y_{ISDN} – удельная нагрузка на одного абонента ISDN, равна 0,2 Эрл;

$N_{CCOП}$ – число абонентов, использующих подключение по аналоговой абонентской линии к ССОП;

N_{ISDN} – число абонентов, использующих подключение по базовому доступу ISDN.

2. Общая нагрузка, поступающая на шлюз доступа AG,

обеспечивающий подключение сетей доступа СД через интерфейс V5 и УПАТС через интерфейс первичного доступа PRI, равна:

$$Y_{AGW} = \sum_{j=1}^J y_{V5} M_{j_V5} + \sum_{k=1}^K y_{УПАТС} M_{k_УПАТС}, \text{ Эрл} \quad (2)$$

y_{V5} – удельная нагрузка на один канал интерфейса V5.2, равная 0,7 Эрл;

M_{j_V5} – число каналов в интерфейсе V5.2 для подключения j -ой сети доступа (следует учитывать, что задано число первичных потоков E1 для подключения сетей доступа, которое необходимо пересчитать в число речевых каналов);

J – общее число сетей доступа;

$y_{УПАТС}$ – удельная нагрузка на один канал первичного доступа ISDNPRI для подключения УПАТС, равная 0,8 Эрл;

$M_{k_УПАТС}$ – число каналов в интерфейсе PRI для подключения k -ой УПАТС (следует учитывать, что задано число потоков PRI для подключения каждой УПАТС, которое необходимо пересчитать в число речевых каналов);

K – общее число УПАТС.

Если шлюз реализует одновременно функции резидентного шлюза доступа и шлюза доступа, то общая нагрузка, поступающая на такой медиашлюз, равна:

$$Y_{GW} = Y_{RAGW} + Y_{AGW}, \text{ Эрл.} \quad (3)$$

Пусть V_{COD_m} – скорость передачи кодека типа m при обслуживании речевого вызова. Значения V_{COD_m} для различных типов речевых кодеков приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики различных речевых кодеков

Кодек	Полоса пропускания кодека V_{COD_m} , кбит/с	Полоса пропускания с учетом подавлений пауз, кбит/с
G.711	84,80	42
G.726	37,69	19

G.729	14,13	12,2
-------	-------	------

Тогда транспортный ресурс, который должен быть выделен для передачи в пакетной сети голосового трафика, поступающего на шлюз, при условии использования кодека типа m будет равен:

$$V_{GW_COD} = k \cdot V_{COD} \cdot Y_{GW} \quad (4)$$

где k – коэффициент использования ресурса, $k = 1,25$;

V_{COD} – полоса пропускания заданного речевого кодека с учетом подавления пауз.

Например, если суммарная нагрузка от источников всех типов, поступающая на шлюз, равна 100 Эрл, и, если используется кодек G.711 без подавления пауз, то выделяемый ресурс должен составлять

$$V = 1,25 \cdot 84,8 \text{ кбит/с} \cdot 100 = 10,62 \text{ Мбит/с}$$

Если используется кодек G.729a с алгоритмом подавления пауз, то для обслуживания той же нагрузки потребуется ресурс

$$V = 1,25 \cdot 12,2 \text{ кбит/с} \cdot 100 = 1,615 \text{ Мбит/с}$$

Следует отметить, что для обслуживания той же нагрузки в режиме коммутации каналов потребовался бы ресурс

$$V = 1,25 \cdot 64 \text{ кбит/с} \cdot 100 = 8 \text{ Мбит/с}$$

что меньше, чем в случае использования кодеков G.711.

Если в оборудовании шлюза доступа реализована возможность подключения пользователей, использующих пакетные терминалы SIP, H.323 либо включение локальных вычислительных сетей LAN, осуществляющих подключение таких пользователей, то требуемый транспортный ресурс подключения шлюзов доступа должен быть увеличен. Доля увеличения транспортного ресурса V_{paket} за счет предоставления базовой услуги пакетной телефонии таким пользователям может быть определена в зависимости от используемых кодеков и числа пользователей. Дополнительный

транспортный ресурс шлюза для обслуживания терминалов пакетной телефонии равен:

$$V_{paket} = V_{LAN} + V_{SH} = y_{paket} \cdot V_{COD} (N_{LAN} \cdot M_{LAN} + N_{SH}) \quad (6)$$

где y_{paket} – удельная нагрузка от терминала SIP/Н.323, которая равна 0,2 Эрл.

N_{SH} – число абонентов с терминалами SIP/Н.323, использующих подключение по Ethernet–интерфейсу на уровне коммутатора Ethernet шлюза;

M_{j_V5} – число пользовательских каналов в j -ом интерфейсе V5, где j – номер сети доступа;

M_{i_LAN} – число абонентов речевых услуг, подключаемых к i -ой LAN, где i – номер LAN;

N_{V5} – число сетей доступа интерфейса V5, подключаемых к шлюзу доступа;

$M_{k_УПАТС}$ – число пользовательских каналов в интерфейсе подключения PRI k -ой УПАТС, где k – номер УПАТС;

N_{LAN} – число LAN, подключаемых к Ethernet–коммутатору на уровне шлюза доступа.

Каждый терминал пользователя характеризуется параметрами телетрафика:

- интенсивность входящего потока заявок на предоставление услуг (вызов/час), $\gamma^{(k)}_{термин}$, где $k = 1, 2, \dots$ – номера услуг;

- средняя длительность сеанса связи $T^{(k)}_{сеанс}$;

- удельная интенсивность нагрузки:

$$\rho^{(k)}_{термин} = \gamma^{(k)}_{термин} \cdot T^{(k)}_{сеанс} / 3600 \text{ (Эрл)}$$

Для служб с изменяющимся трафиком для описания скорости передачи используются следующие параметры:

- пиковая или максимальная битовая скорость передачи $B^{(k)}_{макс}$;

- средняя битовая скорость $B^{(k)}_{ср}$;

- пачечность, $K^{(k)}_{нач} = B^{(k)}_{макс} / B^{(k)}_{ср}$;
- среднее время пика $T^{(k)}_{пик}$.

Для служб с постоянной скоростью передачи $B^{(k)}_{макс} = const$ на всем периоде сеанса.

Для выполнения расчетов пропускной способности цифровых фактов и оптических каналов, и производительности коммутаторов пакетов предполагается:

- поток заявок, поступающих по k-той услуге для доступа к коммутатору, является пуассоновским с функцией распределения вероятностей промежутка времени между поступлениями:

$$A^{(k)}(t) = 1 - \exp\left[-\gamma^{(k)}_{термин} \cdot t\right]$$

- скорости передачи терминалов k-ой услуги с переменной скоростью - случайные дискретные величины, принимающие значения $B^{(k)}_{макс}$ с вероятностью:

$$p^{(k)} = 1 / K^{(k)}_{нач}$$

или нулевое значение скорости с вероятностью:

$$q^{(k)} = 1 - p^{(k)}$$

При этом достигается максимум дисперсии $D^{(k)}_{макс}$ значения скорости передачи.

Среднее значение и дисперсия битовой скорости k-ой услуги при образовании $N^{(k)}_{вк}$ числа виртуальных каналов определяются:

$$B^{(k)}_{ср} = N^{(k)}_{вк} \cdot p^{(k)} \cdot B^{(k)}_{макс}$$

$$D^{(k)} = N^{(k)}_{вк} \cdot p^{(k)} \cdot B^{(k)}_{макс}^2$$

Среднее значение и дисперсия случайной величины битовой скорости передачи в цифровом тракте или оптическом канале, которая требуется для удовлетворения потребностей

пользователей, определяется по теореме сложения математических ожиданий и дисперсии:

$$B_{cp} = \sum_{k=1}^K B^{(k)}_{cp}$$

$$D = \sum_{k=1}^K D^{(k)}$$

Среднее значение и дисперсия пакетов, которые необходимы в единицу времени абоненту k -ой услуги для транспортировки трафика (производительность коммутатора):

$$R^{(k)}_{пак} = B^{(k)}_{макс} / L_{инф}$$

где $L_{инф}$ ёмкость пакета в битах (например, для ячейки АТМ 384 бита = 8бит*48байта полезной нагрузки из 53байт всей ячейки, для полной длины кадра Ethernet принято в примере 12144бит);

Учитывая, что число абонентов в СД достаточно велико (сотни пользователей на каждый коммутатор), можно условно считать закон распределения суммарной пропускной способности узла коммутации и цифровых трактов (оптических каналов) нормальным. В этом случае вероятность события, состоящего в том, что требуемая различными службами (услугами) скорость передачи информации превышает битовую скорость тракта, что может повлечь потерю пакетов:

$p(B > B_{макс тр}) = 1 - \Phi(U)$, где $\Phi(U)$ — интегральная функция нормального закона распределения,

$$U = (B_{макс тр} - B_{cp}) / \sqrt{D}$$

Тогда задаваясь значением $p(B > B_{макс тр})$ по таблице 3 можно найти значение U и вычислить $B_{макс тр}$:

$$B_{макс тр} = B_{cp} + U\sqrt{D}$$

Таблица 3 – Вероятность потери пакета в тракте передачи

$p(B > B_{\max tr})$	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
U	3,09	3,72	4,26	4,75	5,2	5,61	5,99	6,63

Вероятности потери пакетов и вероятности битовых ошибок по услугам приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры основных услуг

Услуги	Вероятность битовой ошибки	Вероятность потери пакета	Задержка передачи, мс
Телефония	10^{-7}	10^{-3}	25/500
Передача данных	10^{-7}	10^{-6}	1000
Телевидение	10^{-6}	10^{-8}	1000
Звуковое вещание	10^{-5}	10^{-7}	1000
Управление в базах данных	10^{-5}	10^{-3}	1000

Примеры характеристик некоторых видов трафика представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры трафика мультисервисных интерактивных услуг

Услуга	Класс пользователей	B_{\max} , кбит/с	Пачечность	Длительность сеанса связи		Входящая нагрузка в ЧНН, Эрл	Число вызовов в ЧНН
				$T_{\text{пик}}$, с	$T_{\text{сеанс}}$, с		
Телефония, включая IP-телефонию	КС	64	1	100	100	0,1	3,6
	ДС	64	1	100	100	0,4	14,4
	УАТС	64	1	100	100	4,5	162

Факс	ДС	2048	1	3	3	0,01	12
	УАТС	2048	1	3	3	0,03	12
Передача файлов, Интернет	ДС	2048	1	1	1	0,2	10,8
	УАТС	2048	1	1	1	2,7	10,8
Видеотелефон Видеоконференция	КС	10000	5	1	100	0,02	0,72
	ДС	10000	5	1	100	0,02	0,72
	УАТС	10000	5	1	100	0,1	3,6
Поиск видео VoD	КС	10000	54	10	540	0,03	0,2
	ДС	10000	18	10	180	0,1	2
IPTV	УАТС	10000	18	10	180	0,4	8
	Центр служб	10000	48	1	480	2,33	46,2
Поиск документов	КС	64	200	0,25	300	0,05	0,6
	ДС	64	200	0,25	300	0,25	3
	УАТС	64	200	0,25	300	0,5	6
	Центр служб	64	200	0,25	300	2,3	39,9
Данные по требованию	ДС	64	200	0,04	30	0,2	24
	УАТС	64	200	0,04	30	0,6	72

Поясним описанное выше на конкретном примере.

Задача: определить требуемую скорость передачи данных и производительность узлов коммутации кольцевого участка сети доступа АТМ с общими заданными виртуальными каналами услуг для 100 терминалов. В сети используется 3 коммутатора (2 коммутатора вблизи абонентов ONU и 1 коммутатор в узле доступа CDN). Все коммутаторы должны иметь одинаковую производительность для гарантированного пропуска трафика в рабочем и в аварийном (защищенном) режимах работы сети.

Исходные данные для решения задачи представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные для решения задачи

№ п/п	Услуги	Число виртуальных каналов $N^{(k)}_{вк}$
1	Телефония КС	60
2	Передача файлов ДС	20
3	Видеотелефон ДС	40
4	Поиск документов ЦС	100

Решение задачи производится в следующем порядке:

1) Вычисляется средняя битовая скорость передачи данных каждого вида услуг с учетом пачечности:

$$B_{cp}^{(1)} = N_{вк}^{(1)} \cdot p^{(1)} \cdot B_{макс}^{(1)} = 60 \cdot 1 \cdot 64 \cdot 10^3 = 384 \cdot 10^4 \text{ бит} / \text{с}$$

$$B_{cp}^{(2)} = N_{вк}^{(2)} \cdot p^{(2)} \cdot B_{макс}^{(2)} = 20 \cdot 1 \cdot 2048 \cdot 10^3 = 4096 \cdot 10^5 \text{ бит} / \text{с}$$

$$B_{cp}^{(3)} = N_{вк}^{(3)} \cdot p^{(3)} \cdot B_{макс}^{(3)} = 40 \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 10^6 = 80 \cdot 10^6 \text{ бит} / \text{с}$$

$$B_{cp}^{(4)} = N_{вк}^{(4)} \cdot p^{(4)} \cdot B_{макс}^{(4)} = 100 \cdot 1/200 \cdot 64 \cdot 10^3 = 32 \cdot 10^3 \text{ бит} / \text{с}$$

2) Вычисляется дисперсия битовой скорости каждого вида услуг:

$$D^{(1)} = N_{вк}^{(1)} \cdot p^{(1)} \cdot B_{макс}^{(1)2} = 60 \cdot 1 \cdot 64 \cdot 10^3^2 = 0,24576 \cdot 10^{12}$$

$$D^{(2)} = N_{вк}^{(2)} \cdot p^{(2)} \cdot B_{макс}^{(2)2} = 20 \cdot 1 \cdot 2048 \cdot 10^3^2 = 83,886 \cdot 10^{12}$$

$$D^{(3)} = N_{вк}^{(3)} \cdot p^{(3)} \cdot B_{макс}^{(3)2} = 40 \cdot 0,2 \cdot 10 \cdot 10^6^2 = 800 \cdot 10^{12}$$

$$D^{(4)} = N_{вк}^{(4)} \cdot p^{(4)} \cdot B_{макс}^{(4)2} = 100 \cdot 1/200 \cdot 64 \cdot 10^3^2 = 2,048 \cdot 10^9$$

3) Вычисляется результирующая средняя скорость в цифровом тракте для всех видов услуг:

$$B_{cp} = \sum_{k=1}^K B_{cp}^{(k)} = 384 \cdot 10^4 + 4096 \cdot 10^5 + 80 \cdot 10^6 + 32 \cdot 10^3 = 493,472 \cdot 10^6 \text{ бит} / \text{с}$$

4) Вычисляется результирующая дисперсия битовой скорости для всех видов услуг:

$$D = \sum_{k=1}^K D^{(k)} = 0,24576 \cdot 10^{12} + 83,88 \cdot 10^{12} + 800 \cdot 10^{12} + 2,048 \cdot 10^9 = 884,138 \cdot 10^{12}$$

4) Вычисляется максимальная допустимая скорость передачи в тракте при вероятности потери пакета 10^{-3} .

$$V_{\text{макс тр}} = V_{\text{ср}} + U \sqrt{D} = 493,472 \cdot 10^6 + 3,09 \cdot \sqrt{884,138 \cdot 10^{12}} = 585,35 \cdot 10^6 \text{ бит} / \text{с}$$

5) Вычисляется производительность узлов коммутации для пакетов АТМс полезной емкостью 384 бит:

$$R_{\text{пак}}^{(k)} = B_{\text{макс}}^{(k)} / L_{\text{инф}} = 585,35148 \cdot 10^6 \text{ бит} / \text{с} / 384 \text{ бит} = 1,524 \cdot 10^6$$

пакетов в секунду.

Для узлов с коммутаторами Ethernet при полезной ёмкости кадра 12144 бит:

$$R_{\text{пак}}^{(k)} = B_{\text{макс}}^{(k)} / L_{\text{инф}} = 585,35148 \cdot 10^6 \text{ бит} / \text{с} / 12144 \text{ бит} = 48,2 \cdot 10^3$$

пакетов в секунду.

Для реализации максимальной скорости передачи потребуется физический тракт из 4 сцепленных контейнеров VC-4 SDH (599,040Мбит/с) в STM-4. В зависимости от дистанции передачи может быть выбран интерфейс (S, L, V, U).

По полученной величине производительности может быть выбран коммутатор АТМ, который обеспечит заданное количество виртуальных каналов.

Аналогичный расчёт может быть приведён для выбора коммутатора Ethernet и соответственно оптических линейных интерфейсов.

Например, при использовании технологии GERON полученная скорость оптического интерфейса не превышает техническую (1000Мбит/с), что может быть основанием для выбора технологии

GEPON для сравнения с другими технологиями и архитектурами СД. При этом в расчёт должно быть принято расстояние между OLT и ONT (ONU) и соответствующие оптические интерфейсы.

Для обоснованного выбора коммутационного оборудования сети доступа необходимо составить таблицу с указанием основных технических характеристик сравниваемых образцов и стоимостных показателей (по возможности). Пример данных коммутаторов Ethernet для выше приведённых расчётов представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Примеры характеристик коммутаторов Ethernet для сетей доступа

	Функции коммутатора / модель	ES-2108-LC	ES-2048	ES-3124PWR
1	Коммутация на уровне L2/L2+	*	*	*/*
2	Интерфейсы RJ-45 10/100 Base-TX, фиксир. RJ-45 10/100 Base-TX POE, фиксир. RJ-45 10/100/1000 Base-TX, фиксир. Dual personality (RJ-45 1000 Base-T или SFP) Порты 100 FX оптоволокно, фиксир. SFP - слоты	8 - - - 1 1 1	48 - - 2 - - -	- 24 2 2 - - -
3	Производительность Скорость коммутирующей матрицы, Гбит/с Пропускная способность кадров в секунду Буфер пакетов, байт Таблица MAC адресов	5,6 2,9*10 ⁶ 256К 8К	17 10,1*10 ⁶ 32М 16К	12,8 9,6*10 ⁶ 32М 16К
4	Отказоустойчивость Протокол STP/RSTP/IEEE 802.1w Протокол MRSTP	* -	* -	* *
5	Контроль трафика Динамич. VLAN/ статич. VLAN 802.1Q VLAN на основе портов и тегов 802.1Q Магистральные соединения VLAN Стыки VLAN (Q-in-Q) по 802.1Q	4К/256 * * -	4К/256 * * -	4К/256 * * -
6	Управление качеством обслуж. (QoS) Очереди приоритетов на порт 802.1p Метод организации очередей 802.1p Контроль широковещательных штормов Шаг регулировки скорости, кбит/с Приоритет по спискам доступа (L2-L4) Ограничение исходящего трафика	4 SPQ/WRR * 64 - *	8 SPQ/WFQ * 64 - *	8 SPQ/WFQ * 64 * *
7	Управление устройством Веб, кластер iStacking, Cisco CLI, RS-232, NTP	*	*	*

	Ретрансляцию DHCP	-	*	*
8	Физические и электрические характеристики Габариты, мм Потребляемая мощность, Вт	250/133/37 10	438/300/44 60	438/420/44 600

При этом предполагается, что все 100 терминалов пользователей подключаются в СД через интерфейсы 100BASE-TX.

Вес коммутаторы доступа технологии Ethernet подразделяют на следующие виды:

- неуправляемые и управляемые коммутаторы доступа, размещаемые в непосредственной близости от пользовательских терминалов, имеющие ёмкость 4-8 портов 10/100Мбит/с;

- управляемые коммутаторы 2 уровня доступа, размещаемые в непосредственной близости от терминалов пользователей или на некотором удалении, имеющие ёмкость 24-48 портов 100/1000Мбит/с и поддержкой различных VLAN;

- коммутаторы 2 уровня распределения для мультисервисных сетей с числом портов 24/48 портов 1000Мбит/с/10Гбит/с и поддержкой различных VLAN;

- управляемые коммутаторы 2 и 3 уровня доступа и распределения с числом портов 24/48 100/1000Мбит/с и поддержкой различных VLAN.

Вес коммутаторы, как правило, выполнены с учетом возможности установки электрических (для витых пар) и оптических (для модулей SFP, XFP) интерфейсов и возможностями поддержки различных конфигураций сетей доступа («Звезда», «Дерево», «Кольцо», P2P)

Возможна концентрация трафика в предлагаемом примере через неуправляемые концентраторы доступа на 4-8 входных портов (ONU1), которые удобно размещать вблизи пользовательских терминалов NT (не далее 100м) и подключать через медные кабели категории 3 и 5. В свою очередь концентраторы могут подключаться к коммутаторам уровня доступа с числом портов 24, 48 (ONU2) через медные кабели категории 5 или волоконно-оптические интерфейсы. Т.о. может потребоваться от 25 до 13 портов коммутаторов доступа с линейными электрическими или

оптическими интерфейсами на скорость 1Гбит/с и поддержкой функций защиты кольцевой транспортной распределительной сети.

Для стационарного узла OLT возможно использование коммутатора уровня распределения мультисервисной сети, который может одновременно поддерживать и несколько отдельных СД. Для последнего также необходим расчёт производительности.

В случае необходимости концентрирования трафика TDM (поток E1 от учрежденческих ЭАТС) и совмещение его с сетью доступа с пакетной передачей Ethernet или ATM должны быть применены конверторы TDM. Ethernet или TDM/ATM, например, гибкие мультиплексоры МАКОМ-MX с платами ToP, имеющими линейный интерфейс 100BASE-T или SFP - модуль.

Для выбора кабельной продукции необходимо определить требуемые длины участков, где будет использоваться оптический кабель с многомодовыми волокнами (стеклянными и/или пластиковыми), одномодовый кабель с волокнами стандартов G.652 или G.657, витые пары медных проводов с экранированием (STP) или без экранирования (UTP). Для медных кабелей длина не должна превышать 100м от терминала пользователя (NT) до блока концентрации нагрузки (ONU), что прописано в соответствующих характеристиках интерфейсов.

Однако если применяются модемы xDSL, эта рекомендация может не приниматься во внимание и необходимо произвести выбор соответствующих пар проводов по диаметру жил, по помехозащищённости после выполнения электрических расчетов.

4 Задание на практическую работу

В соответствии с таблицей 8 по вышеприведенной методике осуществить расчёт требуемой скорости передачи данных и производительности узлов коммутации кольцевого участка сети доступа Ethernet с заданным количеством виртуальных каналов.

Таблица 8 – Варианты заданий на практическую работу

Номер варианта	Услуги	Класс пользователей	Число виртуальных каналов $N_{вк}^{(k)}$
1	Телефония	УАТС	100

2	Видеоконференция	ДС	50
3	Поиск документов	УАТС	30
4	Факс	ДС	25
5	Поиск видео	КС	45
6	IPTV	УАТС	75
7	Данные по требованию	УАТС	70
8	Интернет	ДС	80
9	Поиск документов	Центр служб	90
10	Видеотелефон	ДС	145
11	IP-телефония	УАТС	170
12	Телефония	КС	24
13	Передача файлов	ДС	36
14	Видеоконференция	ДС	78
15	Передача файлов	КС	94

5 Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте назначение шлюзов в сети NGN.
2. Чем отличаются различные типы шлюзов сетей NGN: транзитный (транкинговый), сигнальный, доступа, резидентный доступа?
3. Перечислите основные задачи проектирования сети NGN.
4. Укажите основные варианты подключения оконечных пользователей к ССОП.
5. Перечислите необходимые исходные данные для расчета сети доступа.
6. Поясните методику расчетов оборудования шлюзов доступа.

6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию

1) Оптические телекоммуникационные системы [Текст] : учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов. - М: Горячая линия-Телеком, 2011.- 368 с.: ил. ISBN 978-5-9912-0146-9.

2) Скляр, Олег Константинович. Волоконно-оптические сети и системы связи [Текст] : учебное пособие / О. К. Скляр. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 272 с.

4) Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи [Текст] : монография / Р. Фриман ; Пер. с англ. Н. Н. Слепова. - 2-е изд. ; доп. - М. : Техносфера, 2004. - 496 с. - (Мир связи). - ISBN 5-94836

5) Фокин, В.Г. Проектирование оптической сети доступа [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Г. Фокин. - Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2012. - 311 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=431523>