

*Установочная лекция по дисциплине
«Математические методы расчета
инфокоммуникаций» (ММРИКС)*

План лекции

1. Введение в курс лекций «Математические методы проектирования инфокоммуникационных систем».
2. Видение задач курса.
3. Итеративный подход к планированию сети, предложенный МСЭ и предмет курса.
4. Основные задачи планирования системы телефонной связи, характеристики надежности АТС.
5. Нормирование линейного затухания в PON.
6. Понятие системы, основные свойства системы. Модель большой и сложной системы.
7. Ключевые понятия и термины процессов планирования сетей инфокоммуникаций.
8. Объект и его модель.
9. Математическая модель экземпляра процесса обслуживания вызовов сетью инфокоммуникаций.
10. Интеграционные процессы и интеграция сетей электросвязи.

11. Эффективность коммуникаций.

Введение в курс лекций «Математические методы проектирования инфокоммуникационных систем»

В настоящий момент времени в нашей стране отсутствует какая-либо цельная программа и методика проектирования инфокоммуникационных систем. Чтобы понять, как мы пришли к такому итогу развития отрасли, необходимо кратко обозреть историю создания и проектирования инфокоммуникационных систем.

В отличие от любой другой отрасли, как например, строительство дорог, тоннелей, многоэтажных зданий, *проектирование систем связи является многомерным процессом*, - оперирующим такими мерами, как затухание речевого сигнала на различных участках устанавливаемого соединения, среднее количество попыток вызова в час наибольшей нагрузки, количество и тип предоставляемых системой связи абонентских услуг, объем сетевого/станционного оборудования различных типов, количество разговорных и сигнальных каналов между узловыми и опорными АТС, требуемыми для

обслуживания абонентской нагрузки с заданным качеством.

Кроме того, существует еще множество задач технологического проектирования кабельных трасс, их прокладки в коллекторах, колодцах и в пределах зданий, установки здания АТС и размещения оборудования связи, электропитания, систем передачи, кроссов и т.д. в пределах автозалов и ЛАЦов, требования к монтажу оборудования, климатические нормы эксплуатации оборудования.

В отдельные задачи можно выделить организацию технического обслуживания оборудования сети/АТС, расчет ЗИП, организацию резервирования управляющего, коммутационного, оконечного и периферийного оборудования АТС и/или сетевых элементов, выбор режима и организация сети синхронизации.

Отдельная задача – обеспечить сопряжение проектируемого оборудования с существующими сетями электросвязи в части систем сигнализации, обеспечить соблюдение всех электрических норм и параметров абонентских и соединительных линий, требований к заземлению коммутационного оборудования АТС.

В общем, проектирование инфокоммуникационной системы требует учета всего, что есть в электросвязи

вообще и если проводить аналогии с медициной, то курс проектирования системы инфокоммуникаций можно сравнить с курсом физиологии человека или курсом неонатологии.

На данном этапе, ввиду мировых процессов глобализации и сложной экономической ситуации в нашей стране, централизованное проектирование и планирование систем связи практически отсутствует. Определенные заделы в данном направлении были сделаны в 80-е годы прошлого века – период бурного развития цифровой техники и АТС с управлением по записанной программе.

Был разработан математический аппарат расчета нагрузочных и вероятностно-временных характеристик системы управления узла коммутации и решен ряд промежуточных задач организации взаимодействия устройств управления установлением соединений в Цифровом Коммутационном Поле. Параллельно с этим, Гипросвязь занималась проектированием АТСКУ, расчетом требуемого оконечного и группового оборудования для обслуживания абонентской нагрузки, для заранее определенных районов административного деления ГТС и назначения коммутационного оборудования. Естественно, наряду с вторичной коммутируемой сетью, также учитывалась и транспортная первичная

сеть, которая также принималась во внимание и проектировалась.

Однако, развития данные прикладные исследования, не говоря уже о переходе к Системе Автоматизированного Проектирования (САПР) так и не получили, что было связано с тем, что акценты тогда были сделаны на разработке отечественной цифровой системы коммутации. Период изыскательских работ и эскизного проектирования заняли несколько лет (приблизительно 1986 – 1990 годы), в результате чего за прототип цифровой подстанции с замыканием внутреннего трафика была взята ПСЭ производства фирмы Nokia DX-210.

За прототип городской ОПТС, реализующей полный набор абонентских услуг Цифровой Сети с Интеграцией Служб, была взята АТС той же фирмы Nokia DX-200. В качестве систем межстанционной и абонентской сигнализации были реализованы системы ОКС 7 и DSS 1. Окончательно разработка была завершена в 1995-1996 годах и получила наименование АТСЦ-90, которая была далее сертифицирована в качестве сельской АТС и использовалась, как Оконечная и Узловая станция СТС.

Далее, параллельно с TDM системами стали развиваться сети ПД, а также сети, объединяющие

технологии коммутации каналов и коммутации пакетов, в том числе и Сети Сухопутной Подвижной Связи Общего Пользования. Так, фирма Алкатель разработала Беспроводной Вызывной Сервер (WCS-Wireless Call Server), составивший ядро Сухопутной Подвижной Связи Общего Пользования Нового Поколения или же кратко «мобильный NGN (New Generation Network)».

Кроме того, у фирмы Алкатель была разработана ССПСОП с функциями GPRS третьего поколения.

Фирмой Алкатель-Люсент был также разработан Контроллер Мультимедийных Шлюзов (MGC-5020), который, в свою очередь является ядром Стационарной Сети Связи нового Поколения, или же кратко «Фиксированного NGN».

Другие фирмы, такие как, например, «Siemens» или «Huawei» развивали свои продукты, являющиеся аналогичными приведенным выше.

Проектирование и планирование таких сетей массового сегмента практически полностью являлось прерогативой производителей оборудования и системных интеграторов.

Видение задач курса

I. Обзор основных принципов и особенностей построения ряда базовых сетей электросвязи, а именно:

- ТФОП и ЦСИО;
- ССПСОП первого поколения;
- ССПСОП второго поколения с функциями GPRS;
- ССПСОП нового поколения;
- Стационарная сеть связи нового поколения;

II. Построение содержательной модели функционирования сети и рассмотрение взаимодействия сетевых элементов (в том числе и прикладных сервисных элементов (ASE-Application Service Element)) в рамках семиуровневой модели взаимодействия открытых систем;

III. Показать принципиальное усложнение сетей связи нового поколения по сравнению с традиционной ТФОП – вынос системы управления установлением соединений и коммутационного

поля с системами передачи в отдельные сетевые элементы, связанные логическими и физическими каналами;

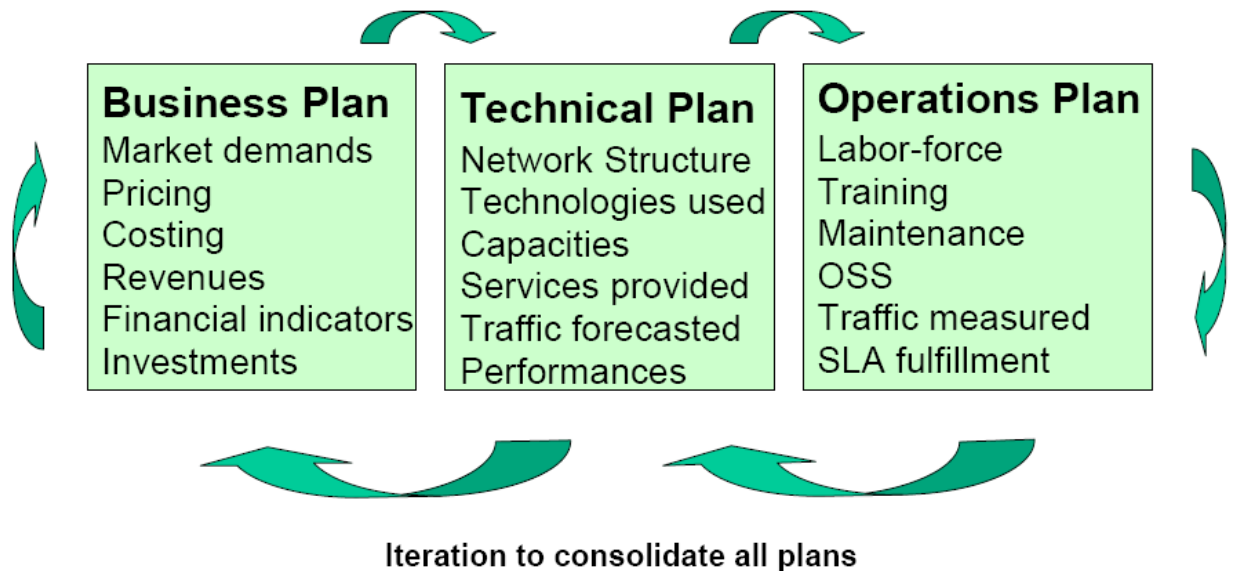
IV. Классификация исходных данных для расчета нагрузочных характеристик сети. Прогнозирование исходных расчетных данных. Методика определения ЧНН.

V. Показать применение математических методов на этапе анализа функционирования сети и оценки ее допустимой пропускной способности;

- Применение методов оптимизации при планировании сети и ее основных компонентов;
- Применение методов теории графов для оценки структурно-функционального построения сети;
- Построение вероятностно-временных характеристик функционирования сети и ее отдельных компонент для оценки вероятности превышения допустимого времени нахождения в сети заявки на обслуживание.

VI. Рассмотрение задачи выбора структуры транспортной сети.

Итеративный подход к планированию сети, предложенный МСЭ и предмет курса (www.itu.int)



Итерации для консолидации всех планов.

Бизнес план (Business Plan)

- Требования рынка;
- Ценообразование;
- Издержки;
- Доходы;
- Финансовые индикаторы;
- Инвестиции;

Технический план

- Структура сети;
- Используемые технологии;
- Емкости;
- Обеспеченные услуги;
- Прогнозируемый трафик;
- Технические характеристики;

План эксплуатации

- Трудозатраты;
- Обучение;
- Техническое обслуживание;
- OSS;
- Измеренная нагрузка;
- Выполнение SLA

I. Общие принципы планирования на примере системы телефонной связи (разделы «*Business Plan*» и «*Technical Plan*»).

II. Задачи прогнозирования при планировании сетей (разделы «*Business Plan*», «*Technical Plan*» и «*Operation Plan*»).

III. Принципы выбора структуры сети (разделы «*Business Plan*» и «*Technical Plan*»).

IV. Задачи, связанные с качеством обслуживания (разделы «*Business Plan*», «*Technical Plan*» и «*Operation Plan*»).

Основные задачи планирования системы телефонной связи

Понятие "система телефонной связи" обычно относится к базовым принципам создания, эксплуатации и развития телефонной сети. Эти принципы обычно включают следующие положения:

- назначение системы;
- поддерживаемые услуги;
- структура сети;
- показатели качества обслуживания;
- план нумерации;
- организация технической эксплуатации;
- требования к оборудованию;
- основные направления развития системы.

Характеристики надежности АТС

Готовность АТС

Готовность может оцениваться с помощью отношения суммарного времени, в течение которого станция (или ее часть) способна функционировать

должным образом, к периоду статистически значащей длительности, называемому заданной продолжительностью работы

$\Gamma = \text{Суммарная продолжительность исправного состояния} / \text{заданная продолжительность работы} =$

$\text{Суммарная продолжительность исправного состояния} / (\text{суммарная продолжительность исправного состояния} + \text{суммарная продолжительность неисправного состояния})$

Неготовность (Н) = 1 – Γ

Причины неготовности (рассматривается окончное оборудование)

При рассмотрении причин неготовности требуется учитывать аппаратные и программные сбои, в результате наступления которых происходят следующие основные типы событий:

I. Планируемые простои

Учитываются неисправности, вызвавшие неготовность, непреднамеренные простои, обусловленные действиями персонала, реализующего плановые процедуры модификации аппаратных и/или программных средств АТС.

II. Непланируемые простои

При рассмотрении надежности характеристик АТС учитываются такие характеристики, как *собственная и эксплуатационная неготовность АТС*.

Собственная неготовность АТС (или ее части) – неисправность самой станции (или ее блока), включая задержку материально-технического обеспечения (время доставки, отсутствие запасных частей) и планируемые простои.

Эксплуатационная неготовность АТС (или ее части) – ввиду неисправности самой станции (время доставки, отсутствие запасных частей).

При этом неготовность АТС может быть *полной* или же *частичной*.

Полная неготовность АТС затрагивает все сетевые и абонентские окончания АТС, в то время как частичная неготовность затрагивает только некоторые станционные окончания.

Численное значение средней суммарной продолжительности неисправного состояния (неготовности) для определенного периода времени не должно зависеть от емкости АТС и ее пропускной способности.

В статистическую (и возможную аналитическую) оценку неготовности входят те неисправности, которые влияют на процесс обслуживания вызовов на рассматриваемой станции. Непродолжительные неисправности (возможно сбои), приводящие лишь к задержке вызовов, во внимание не принимаются.

Собственная продолжительность неисправного состояния и нормы неготовности

Средняя суммарная продолжительность неисправного состояния для отдельного окончания не должна превышать 30 мин. в год.

Первоначальная готовность станции

В течении ограниченного периода времени после ввода в эксплуатацию, нормы могут не выполняться.

Нормы надежности аппаратуры

Все неисправности на АТС учитываются независимо от того, приводят они или нет к ухудшению качества обслуживания вызовов.

Имеется следующее обобщенное аналитическое выражение для определения количества неисправностей различных типов, с целью сравнения их с установленными на аппаратуру нормативными показателями.

$$H_{\max} = K_o + \sum_{i=1}^n k_i o_i, \text{ где}$$

H_{\max} - максимально допустимое количество неисправностей оборудования в единицу времени;

o_i - число окончаний типа i ;

n - число различных типов окончаний;

K_o - подлежит определению с учетом всех неисправностей, независящих от емкости АТС;

k_i - коэффициенты для окончаний типа i , отражающие число неисправностей, связанных с отдельными окончаниями данного типа. Различная аппаратура,

используемая с окончаниями различных типов, дает различные значения k_i .

При *планировании надежности* учитывают следующие характеристики процесса обслуживания вызовов:

- Среднее время отказа (характеристика доступности);
- Средняя интенсивность ошибок (характеристика надежности);
- Среднее время обнаружения ошибки;
- Среднее активное время ремонта;
- Средняя административная задержка;
- Средняя логическая задержка;

Нормирование качества обслуживания вызовов

Для цифровых СЛ со скоростью передачи 64 Кбит/с рекомендациями МСЭ-Е Q.504 установлены следующие нормы на качество обслуживания вызовов:

- *Преждевременное разъединение*

Вероятность преждевременного разъединения соединения за любой одноминутный интервал

$$P \leq 2 \times 10^{-5}$$

- *Несостоявшееся разъединение*

Вероятность того, что требуемое разъединение не произойдет

$$P \leq 2 \times 10^{-5}$$

- *Неправильное начисление оплаты или составление счетов*

$$P \leq 10^{-4}$$

- *Ошибочный выбор направления*

Вероятность попытки вызова, при которой вызов направляется по неверному маршруту после приема станцией правильного кода

$$P \leq 10^{-4}$$

- *Отсутствие тонального сигнала (КПВ)*

$$P \leq 10^{-4}$$

- *Другие неисправности*

$$P \leq 10^{-4}$$

Нормирование линейного затухания в PON

Результаты измерений не должны превышать расчетных значений ожидаемых затуханий в волокнах магистрального кабеля. Ожидаемый результат потерь оптической мощности в волокнах магистрального кабеля рассчитывается по формуле:

Для длины волны 1310 нм.

$$A_{ож} = L_{лин} \times 0,35 + N \times m + 2 \times 0,5$$

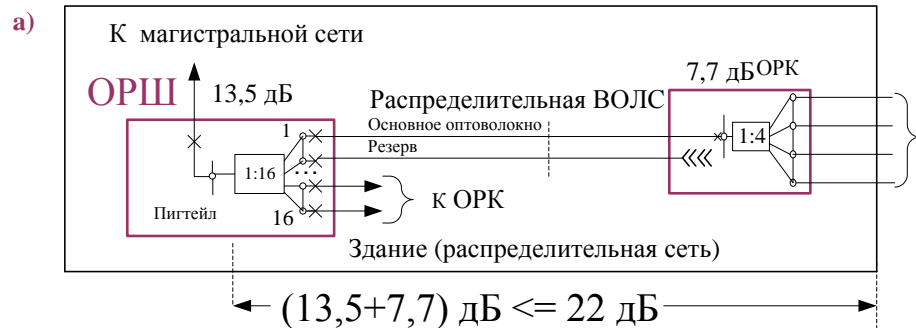
Для длины волны 1550 нм.

$$A_{ож} = L_{лин} \times 0,22 + N \times m + 2 \times 0,5$$

- $A_{ож}$ – ожидаемое затухание оптического сигнала магистрального ОК;
- $L_{лин}$ - ожидаемое затухание оптического сигнала магистрального ОК;
- N – количество неразъемных соединений (сварок) на магистральном ОК;
- m – максимальное значение затухания в сварном соединении;
- $2 \times 0,5$ – затухания на разъемных соединениях в ODF на опорном узле и в ОРШ;

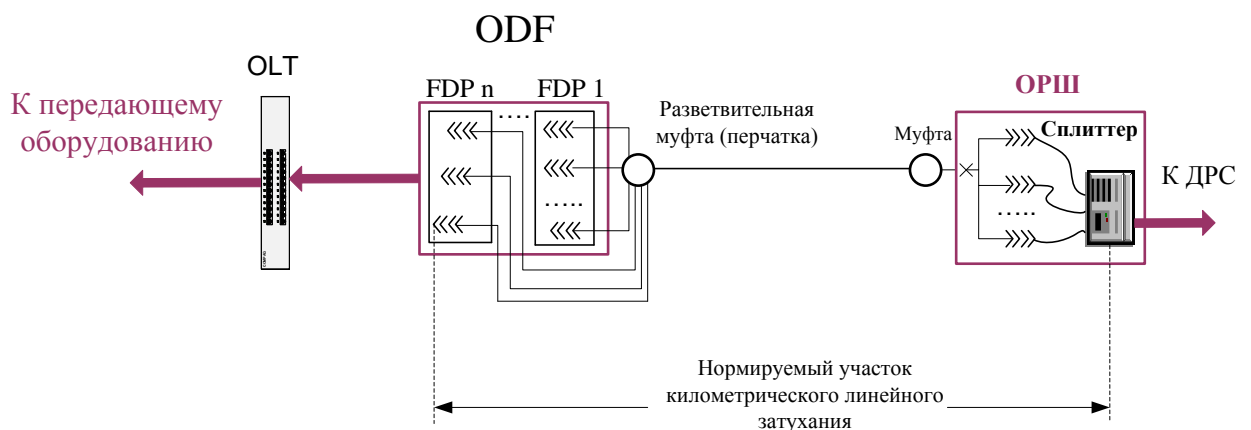
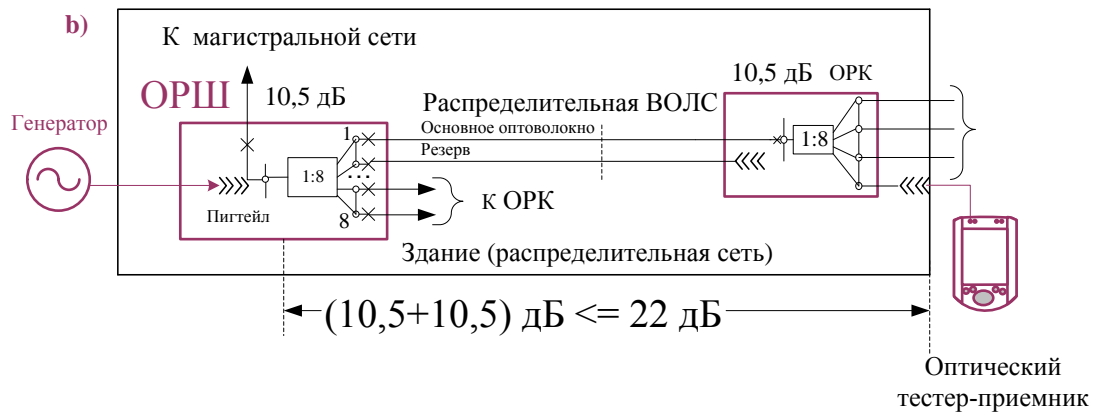
Распределение затухания в пассивной оптической сети представлено на нижеследующем рисунке «Примеры распределения затухания на участках распределительной и магистральной сети PON»

Примеры возможных измерений на распределительном и магистральном участках PON



При этом учитывается затухание в ОКУ ($\leq 0,5$ дБ), (оптические розетки), в местах сварных соединений ($\leq 0,05$ дБ)

Затухание по резервному оптоволокну также нормируется как ≤ 1 дБ



Примеры распределения затухания на участках распределительной и магистральной сети PON

Понятие системы, основные свойства системы.

Модель большой и сложной системы

Основные свойства системы:

- *целостность* (есть система и окружающая среда);
- *открытость* (система не изолирована от влияния окружающей среды);
- *внутренняя неоднородность* (наличие разных функциональных компонентов);
- *структурированность* (возможность выделения важных элементов и связей между ними);
- *функциональность* (ориентация на решение ряда заранее сформулированных задач);
- *консервативность* (постепенная эволюция — невозможность быстрых изменений);
- *развитие* (изменение во времени).

Модель, приведенная на нижеследующем рисунке «*Большая и сложная система*» обычно называется «черным ящиком» («black box»). Модель была введена для упрощения исследования сложных систем. Представление системы в виде черного ящика не требует знания принципов ее работы. Как правило, достаточно изучить процессы на входе и выходе системы. Далее такой «черный ящик» будет именоваться системой массового обслуживания (СМО). В качестве синонима термина «СМО» в технической литературе по электросвязи встречается также словосочетание «система телетрафика». Далее, наряду с аббревиатурой СМО, используется слово «система».

Процесс $A(t)$ на входе СМО обозначает такое понятие теории телетрафика, как *входящий «поток заявок»*. Вместо слово «заявка» в технической литературе также используются термины «требование» или «событие». Под заявкой понимается запрос на *обслуживание*, например, «Обновление данных местонахождения ПС»

принимаемая ССПСОП от подвижной станции в процессе обслуживания вызова, либо сообщение-отклик на широковещательный ARP (Address Resolution Protocol) запрос от коммутатора/маршрутизатора ЛВС (Локальной Вычислительной Сети) к хостам IP подсети.

В широком плане, процесс обслуживания, обозначенный на слайде, как $B(t)$ может включать в себя ряд функций (операций) установления соединения в рассматриваемой сети (ТФОП, ССПСОП, СПД), обработке информации, либо другом действии.

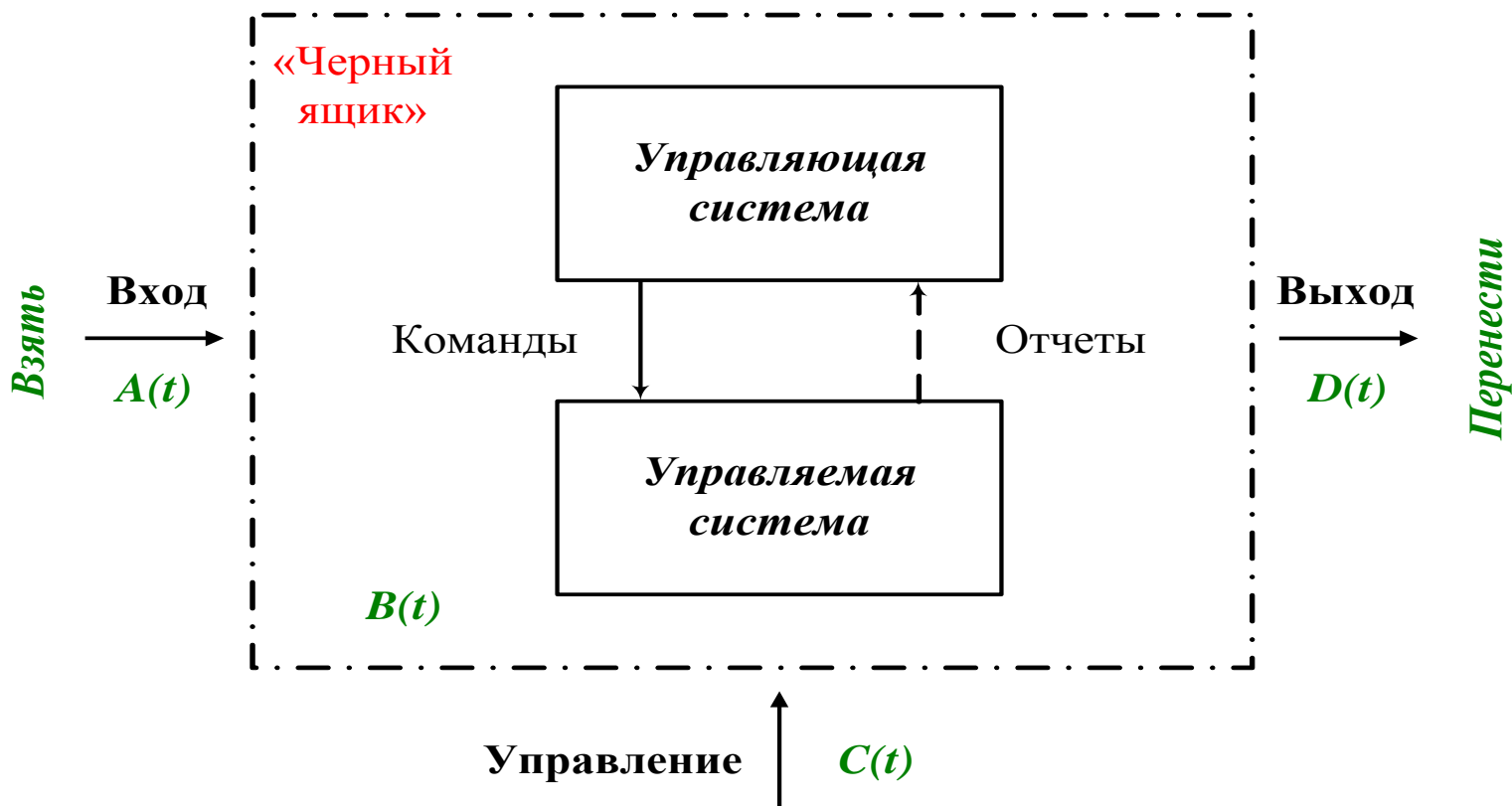
Успешно обслуженные заявки формируют поток, обозначенный на слайде символами $D(t)$. Этот поток принято называть *выходящим*. Модель большой и сложной системы может усложняться. Так в некоторых случаях заявка не может быть обслужена и она покидает СМО. Поток потерянных заявок обычно обозначается $P(t)$. Кроме того, в ряде СМО часть обслуженных заявок может снова поступать на вход системы. На данном слайде эти потоки заявок не показаны.

«Черный ящик» рассматриваемой сети разделяется на блоки управляющей и управляемой системы. Так, при рассмотрении сети в рамках O&M процесса, от терминала (локального или удаленного) сети управления сетью исходят команды, на которые ожидаются отклики (отчеты). Команды, например, могут включать в себя запросы на проверку состояния каналов между сетевыми узлами, распределение диапазонов логических каналов, установление звеньев/групп звеньев сигнализации ОКС 7 и т.д. Отчеты в общем случае включают в себя информацию о результатах выполнения команд.

Модель сети связи в виде «черного ящика» для решения ряда задач, связанных с изучением откликов системы на внешние воздействия, которыми являются сигналы из внешнего окружения. Однако, методы проектирования сетей связи, ее компонент и фрагментов требуют решения двух больших категорий задач:

- Задачи анализа, связанные с изучением свойств и поведения системы в зависимости от ее структуры и значения параметров;
- Задачи синтеза, сводящиеся к выбору структуры и значения параметров, исходя из заданных свойств системы.

Большая и сложная система



Ключевые понятия и термины процессов планирования сетей инфокоммуникаций

Модель – это упрощенное подобие объекта или процесса, которое воспроизводит интересующие нас свойства и характеристики оригинала.

Математическая модель – это система математических соотношений, описывающих изучаемый процесс или явление.

Моделирование – это построение, совершенствование, изучение и применение моделей реально существующих или проектируемых объектов, процессов, явлений.

БСЭ: Задача – вопрос, требующий решения на основании определенных знаний и размышлений.

БСЭ: Математическая модель – *приближенное* описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженного с помощью математической символики.

Теория (от греческого «Theoria» учение) – форма достоверных научных знаний:

- представляющая собой множество логически увязанных между собой *допущений* и *суждений*;
- дающая целостное представление о *закономерностях* и *существенных характеристиках* объектов;
- основывающаяся на *окружающей реальности*.

Парадигма – совокупность наиболее *общих идей* и *методологических установок* в науке, признанных данным научным сообществом. Парадигма обладает двумя важными свойствами:

- принята научным сообществом для *дальнейшей работы*;

- содержит «переменные» вопросы, то есть открывает простор для исследователей.

Инфокоммуникации – это отрасль экономики, объединяющая информационно-вычислительные и телекоммуникационные технологии.

Метод – это прием или способ действия.

Методика – это совокупность методов, приемов проведения какой-либо работы.

Методология – это совокупность методов, применяемых в какой-либо науке.

Эвристический - от греческого глагола «heurisken» - «находить». Переводится на современный русский язык, как «приближенный», «эмпирический».

Эвристический метод – метод решения задачи опытным путем.

Структура системы – это устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей между ними.

Устойчивость проекта (project stability) – это его эффективность при определенных изменениях условий реализации, то есть при выборе альтернативных сценариев. Проект считается абсолютно устойчивым («absolutely stable»), если он эффективен при всех сценариях. Выделяют также достаточно устойчивые («sufficiently stable») и неустойчивые («unstable»).

Информатика (от латинского “informatio” - разъяснение, изложение; “informate” - изображать, составлять понятие о чем-либо) – научная дисциплина, изучающая закономерности получения отбора, хранения, передачи, преобразования и применения информации в производственной, научной, общественно-политической и культурной деятельности людей.

Искусственный интеллект – это направление в информатике, областью исследования которого является выявление того, как система обработки информации (человек или машина) способна воспринимать, анализировать, передавать и обобщать то, чему ее обучают, а также методы формализации с

помощью полученных сведений описаний конкретных, не полностью определенных ситуаций принятия решений и методы оптимизации решений не полностью определенных задач.



Математические методы применяются не непосредственно к реальному объекту, а к его математической модели. В качестве реального объекта может рассматриваться сеть в целом или отдельный

сетевой элемент. *Модель* функционирования сети или отдельного сетевого элемента в процессе обслуживания заявок формализует процессы, в которых сетевой элемент принимает участие, взаимодействуя с другими сетевыми элементами и внешним окружением. Алгоритм данного взаимодействия непосредственно зависит от протоколов обмена сигнальной и служебной информацией, реализованного в рассматриваемом объекте посредством заданного *алгоритма*.

Переход от реального объекта к содержательной модели производится посредством *записи алгоритма*, которая может быть различной: словесной, в форме временной диаграммы, или на языке SDL (Semantic Description Language). Тот или иной вид записи алгоритма функционирования сети зависит от конкретной ситуации и целей, для которой производится эта запись.

Так, в ряде ситуаций анализа сетевых характеристик и параметров нагрузки, функционирование сети и ее сетевых элементов удобно описать моделью *конечного*

автомата. В качестве модели конечного автомата приведем модель Мура. Данная автоматная модель функционирует по следующему закону:

$$s(t+1) = x[s(t), x(t)]$$

$$y(t) = \psi [s(t)]$$

$s(t)$ и $s(t+1)$ являются внутренними состояниями автомата;

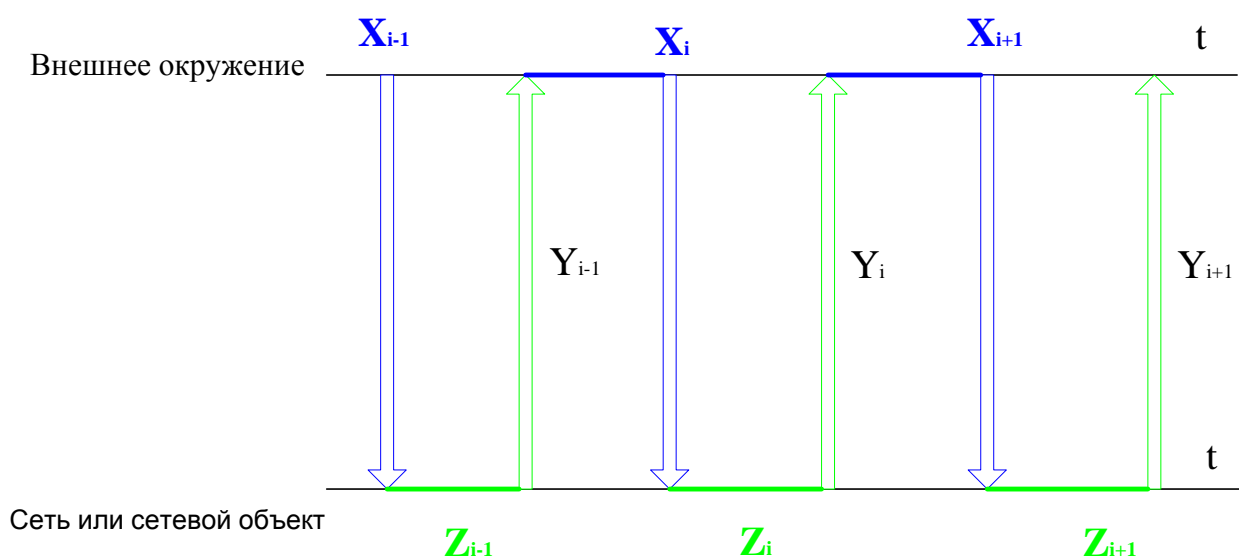
$\{X\}$ – множество входных сигналов;

$\{Y\}$ – множество выходных сигналов;

Последовательность внутренних состояний рассматриваемого объекта в процессе реакции на множество входных сигналов описывается множеством $\{Z\}$.

Принцип функционирования конечного автомата представлен на следующей временной диаграмме:

Принцип функционирования конечного автомата



Таким образом, последующее состояние конечного автомата $s[t+1]$ определяется предыдущим состоянием $s[t]$ и сигналом $x[t]$ принимаемым объектом из внешнего окружения. Сигнал $Y(t)$, выдаваемый конечным автоматом во внешнее окружение, определяется текущим состоянием автомата $s(t)$.

Таким образом, согласно принципу функционирования конечного автомата, имеется множество входных сигналов $\{X\}$, внутренних состояний $\{S\}$ и выдаваемых во внешнее окружение выходных сигналов $\{Y\}$.

Запись алгоритма в виде графа процесса обслуживания вызовов $G_{\text{пов}}$ позволяет установить логическую

взаимосвязь функциональных задач ПОВ между собой, а также учесть внутреннее состояние сети $\{Z\}$ в процессе реакции на множество входных сигналов $\{X\}$ для выдачи множества выходных сигналов $\{Y\}$. Вершинам графа $G_{\text{пов}}$ сопоставлены ЭОВ, а дуги отражают последовательность их выполнения. Сигналам, выдаваемым во внешнее окружение, соответствуют дуги графа, которые имеют двойное значение: соответствуют сигналу, выдаваемому сетью во внешнее окружение и отражают этап устойчивого состояния (ЭУС) автомата.

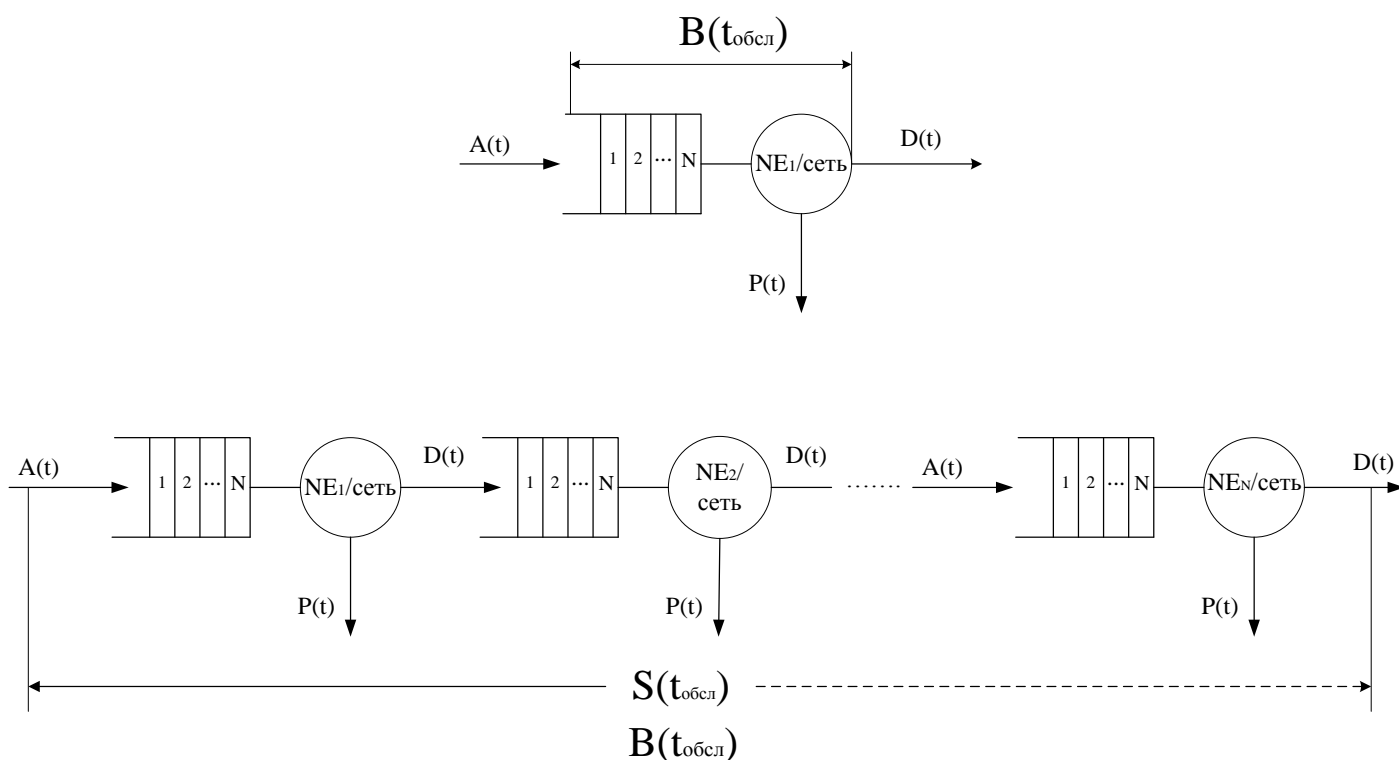
Применение оборудования, основанного на технологии коммутации пакетов приводит к задержкам процессов обмена информацией, что необходимо учитывать при построении математических моделей процесса обслуживания заявок. *В качестве модели* на рисунке ниже показана однолинейная СМО, на вход которой, в очередь заявок на обслуживание поступает поток заявок. Математическая модель характеризуется следующими параметрами:

- $A(t)$ – функция распределения интервалов времени между заявками, поступающими в СМО;

- $B(t_{обсл})$ - функция распределения времени обслуживания заявок $t_{обсл}$ на отдельном сетевом элементе или ряде сетевых элементов. При рассмотрении обслуживания заявок на ряде сетевых элементов время обслуживания заявок, дополнительно ко времени нахождения в очереди и времени обработки в НЕ, включает в себя периоды времени передачи между сетевыми элементами;
- $P(t)$ – функция распределения интервалов времени между потерянными заявками;
- $D(t)$ – функция распределения времени между заявками, покидающими СМО;
- N – количество мест для ожидания в очереди;
- $S(t_{обсл})$ – внутреннее состояние автомата при поступлении сигнала из внешнего окружения и его пребывании на обслуживании в $1...N$ сетевых элементах.

Математическая модель экземпляра процесса обслуживания вызовов сетью инфокоммуникаций.

Причины использования моделирования.



Использование моделирования

Три причины, по которым используется моделирование:

- сложность реальных объектов;

- необходимость проведения экспериментов;
- необходимость прогнозирования.

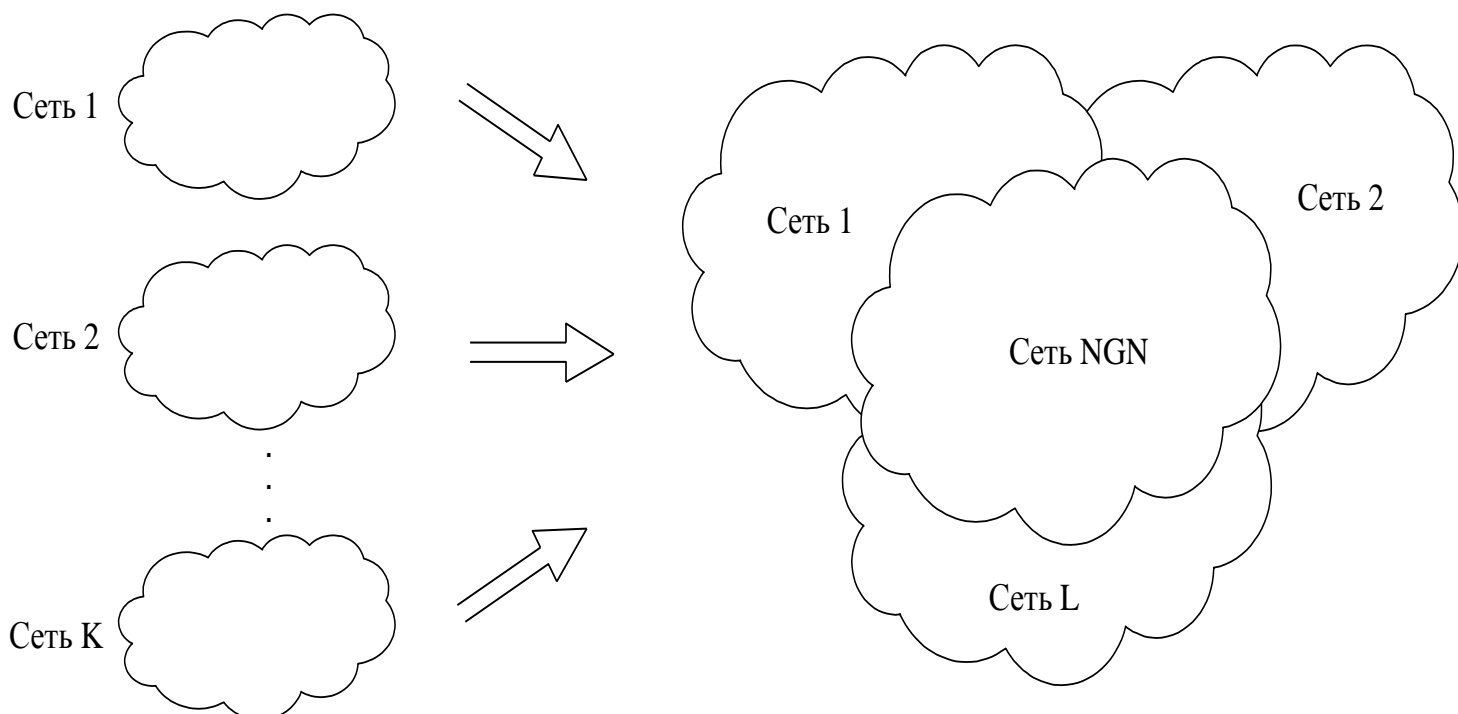
Среди *других причин* следует назвать:

- размеры объекта (очень мал или очень велик);
- время протекания процесса (очень короткий или очень длинный интервал времени);
- разрушение при проведении исследования.

Триада математического моделирования, которая была сформулирована академиком А.А. Самарским:

модель – алгоритм – программа.

Интеграционные процессы и интеграция сетей электросвязи



Практический пример интеграции сетей электросвязи представлен на нижеследующем рисунке «Практический пример интеграции сетей электросвязи», где показаны следующие сети:

- ССПСОП стандарта GSM (900/1800 МГц) с коммутацией каналов;
- ССПСОП стандарта GSM фазы 2+ с функциями GPRS;
- ССПСОП стандарта 3G;
- Магистральная IP сеть совместно используемая сетями сотовой подвижной связи;
- Сеть ССПСОП нового поколения (мобильный NGN);
- Сеть общеканальной системы сигнализации № 7 (ОКС 7), использующая на отдельных участках ССПСОП сеть Интернет в качестве транспорта (MSC – STP – HLR);

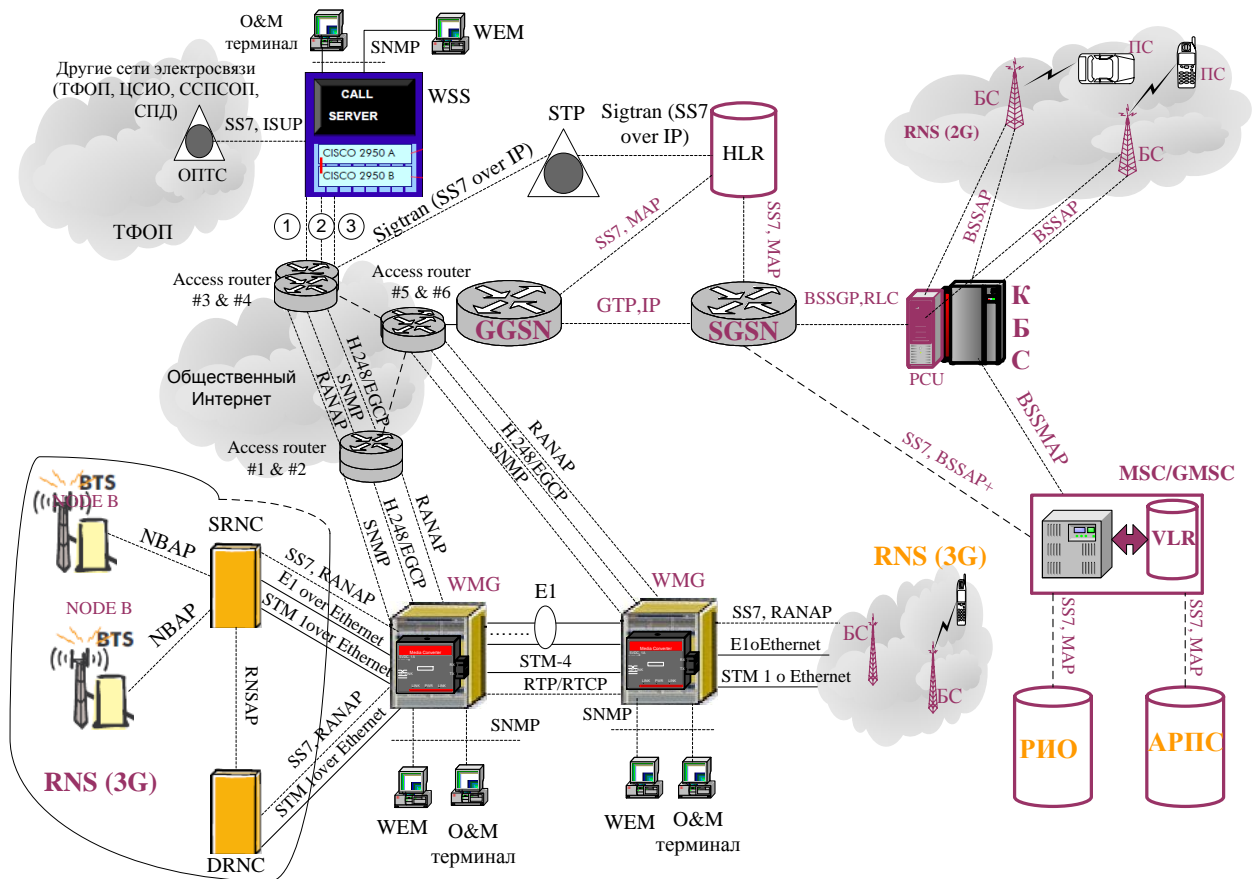
Приведенные выше сети различаются по типу (IP и TDM), принципам управления, степени

децентрализации функций вторичной сети и процесса обслуживания вызовов, а также пропускной способности.

При этом, возможности интеграции сетей электросвязи позволяют рассмотреть приведенные выше сети в разрезе *предназначения сетевых функций*, разделяемых различными сетевыми элементами, приведенными на рисунке «*Плоскости сетевого управления*». Рассматриваются следующие сетевые функции и соответствующие плоскости слайда N:

- Управление O&M функциями (*SNMP*);
- Установление соединений с коммутацией пакетов и каналов в ПОВ (*протокол H.248/EGCP*);
- Коммутация каналов (*TDM сеть*);
- IP телефония (передача пакетизированной речи через сеть ПД в РМВ), что соответствует так называемой пользовательской плоскости или «*User Plan*»;
- Установление соединений ПОВ в сети с коммутацией каналов (сеть ОКС 7, подсистемы пользователя сети с интеграцией служб/подсистемы пользователя сети подвижной связи - *ISUP/MAP*);

- Использование сети IP в качестве транспорта ОКС 7 (сообщений SIGTRAN сетевого и прикладного уровня).



Практический пример интеграции сетей электросвязи

Несколько слов про протоколы, поддерживаемые сетевыми компонентами 3G, а именно, NBAP, RNSAP и RANAP.

Протокол *NBAP (Node B application part)* подробно описывается в рекомендациях 3G TS 25.433 выполняет следующие основные функции:

- Обработка и управление измерениями, выполняемыми терминальным оборудованием пользователя (UE);
- Управление звеньями радиосвязи, общим каналом и ресурсами;
- Синхронизация;
- Обработка ошибок;
- Протокол формирования кадров общего канала пакетной передачи (CPCH FP);
- Протокол формирования кадров совместно используемого канала восходящего звена (USCH FP);
- Протокол формирования кадров совместно используемого канала нисходящего звена (DSCH FP);
- Протокол формирования кадров вызывного канала (RCH FP);
- Протокол формирования кадров прямого доступа (FACH FP);

- Протокол формирования кадров канала случайного доступа (RACH FP);
- Протокол формирования кадров выделенного транспортного канала;
- Установка/освобождение выделенных транспортных связей через *Iur* интерфейс и передача данных для выделенных каналов.

Функции протокола *RNSAP* (*Radio Network Subsystem Application Part*) подробно описываются в рекомендациях *3G TS 25.423*. Данный протокол предназначен для связи между контроллерами радиосети (RNC), а также организации управления каналами для переключения вызова. В рамках данного протокола определено несколько глобальных множеств процедур:

- Множество процедур, используемых для управления мобильностью с UTRAN, а именно, перемещение SRNC, обновление сот между RNC, обновление зоны регистрации UTRAN;
- Процедуры D канала RNSAP. Множество процедур, используемых для обработки трафика выделенного канала (DCH, DSCH и TDD USCH) между двумя RNC. Обеспечивается поддержка передачи данных через интерфейс *Iur*, включая

установление, модификация и освобождение выделенного канала в DRNC вследствие аппаратного и программного переключения вызова, установка/освобождение выделенных транспортных связей через I_{ur} интерфейс и передача данных для выделенных каналов.

- Общие процедуры транспортного канала, а именно, множество процедур управления общим и совместно используемым нагрузочным каналом, включая DCH, DSCH и TDD USCH между RNC. В частности, это множество процедур обеспечивает установление и освобождение соединений общего транспортного канала через I_{ur} интерфейс.

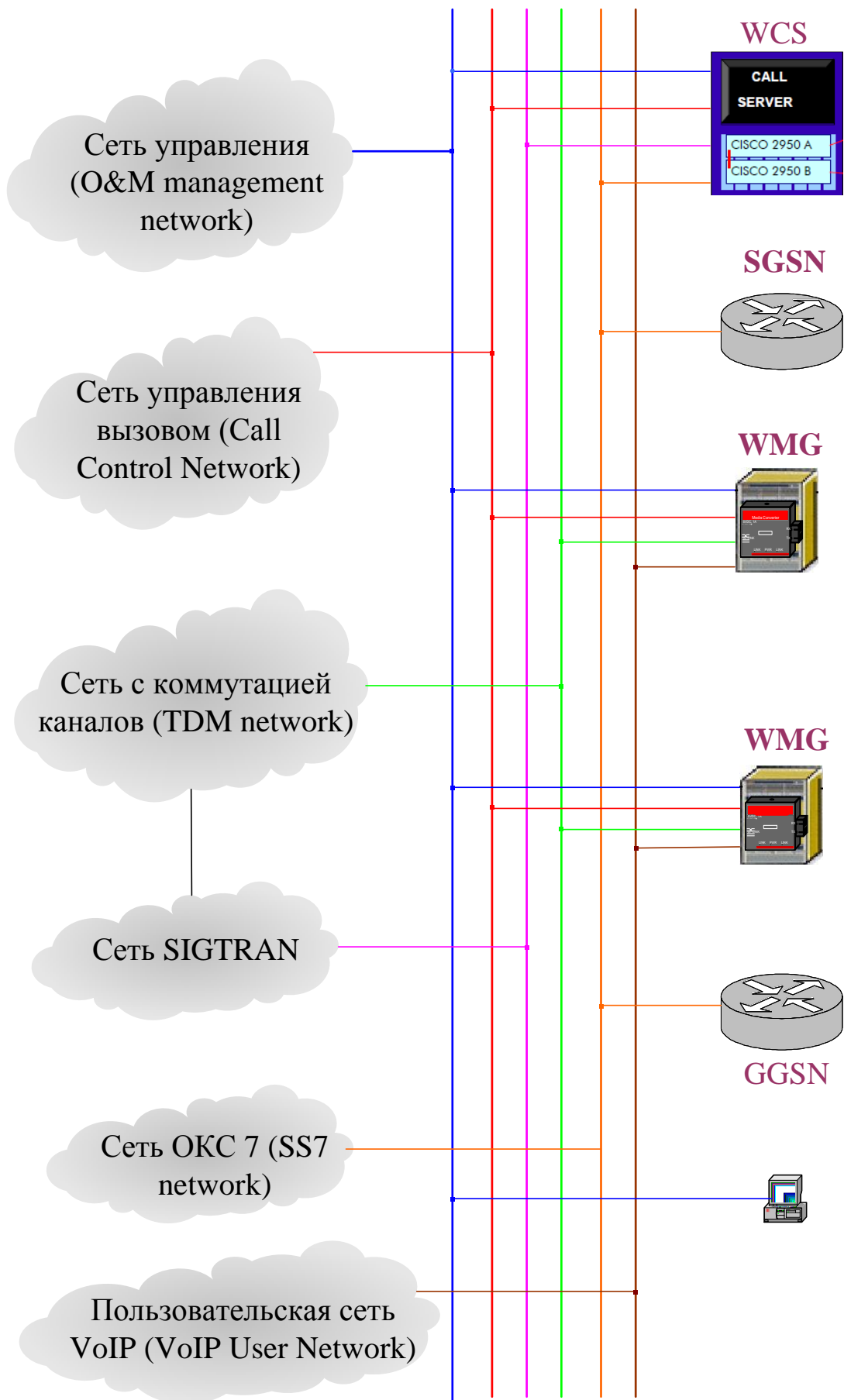
Функции RANAP детализированы в рекомендациях 3G TS 25.413. В целом, их можно разделить на следующие основные группы:

- *Услуги основного управления.* Они относятся ко всему участку I_{ur} интерфейса между RNC и логической областью базовой сети («Core Network»), при доступе к ней со стороны CN посредством точки доступа к услуге (SAP) основного управления. Они используют не ориентированный на соединение

транспортный сигнальный уровень по I_u интерфейсу;

- *Услуги извещения.* Они относятся к определенному пользовательскому оборудованию (UE), или ко всему пользовательскому оборудованию всей зоны обслуживания при доступе к данным услугам в CN посредством SAP извещения. Они используют не ориентированный на соединение транспортный сигнальный уровень по I_u интерфейсу.
- *Услуги выделенного управления.* Они относятся к одному пользовательскому оборудованию при реализации доступа к ним в CN посредством SAP выделенного управления. Функции RANAP, которые обеспечивают эти услуги, ассоциируются с сигнальным соединением I_u, которые поддерживаются для пользовательского оборудования, запрашивающего данные услуги.
- *Услуги управления MBMS.* Они относятся к одной услуге передачи мультимедийных данных на канальном и физическом уровне. Функции RANAP, которые обеспечивают эти услуги, ассоциируются с одним или

несколькими сигнальными соединениями по Iu интерфейсу.



Плоскости сетевого управления

Эффективность коммуникаций

