

Подходы к планированию сети. Основные задачи планирования системы телефонной связи

План лекции

1. Принципы создания, эксплуатации и развития телефонной сети
2. Пример особенностей проектирования систем связи
3. Показатели качества обслуживания абонентов. Явные и условные потери.
4. Понятия системы инфокоммуникаций. Иерархическая организация структурно-функционального построения сети инфокоммуникаций на примере ССПСОП стандарта GSM. Формализация структурно-функционального построения сети связи в виде графа.
5. Подходы к моделированию большой и сложной системы. Моделирование структуры первичной сети связи посредством графа. Задачи планирования топологии сети.
6. Моделирование магистрального и распределительного участков пассивной оптической сети (PON) в виде графа.

7. Представление графа в виде матрицы

Принципы создания, эксплуатации и развития телефонной сети

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.

Пример особенностей проектирования систем связи

Особенности проектирования систем связи

Процесс проектирования сети, в частности на участке абонентского доступа, имеет свои особенности в зависимости от структуры сети.

Так, в ССПСОП, количество физических каналов, выделяемых в зоне обслуживания сети, непосредственно определяется территориально-частотным планом, выбранного для определенного УКПС, сети в целом, а также схемой повторного использования частот. При этом, повторное использование частот имеет место, как в группах сот (БС) зоны обслуживания одного УКПС, так и между несмежными сотами различных УКПС, что представлено на нижеследующем рисунке *«Структурно-функциональное построение ССПСОП гипотетической конфигурации»*.

Повторное использование частот вызвано ограничением радиоресурса каждой планируемой сети и для обеспечения обслуживания вызовов с заданным качеством, требуется прибегать к подобной процедуре.

Рассмотрим пример радиочастотного планирования в сети стандарта GSM [1], в соответствии с которым для передачи информации от БС к ПС используется диапазон частот 935 – 960 МГц, в обратном направлении 890 – 915 МГц. Интервал между несущими соседних

каналов составляет 200 кГц. Если обозначить $F_l(n)$ – номер несущей частоты в полосе 890 – 915 МГц и $F_u(n)$ номер несущей частоты в полосе 935 – 960 МГц, то частоты каналов определяются так:

$$F_l(n) = 890,2 + 0,2(n-1) \text{ МГц},$$

$$F_u(n) = F_l(n) + 45 \text{ МГц},$$

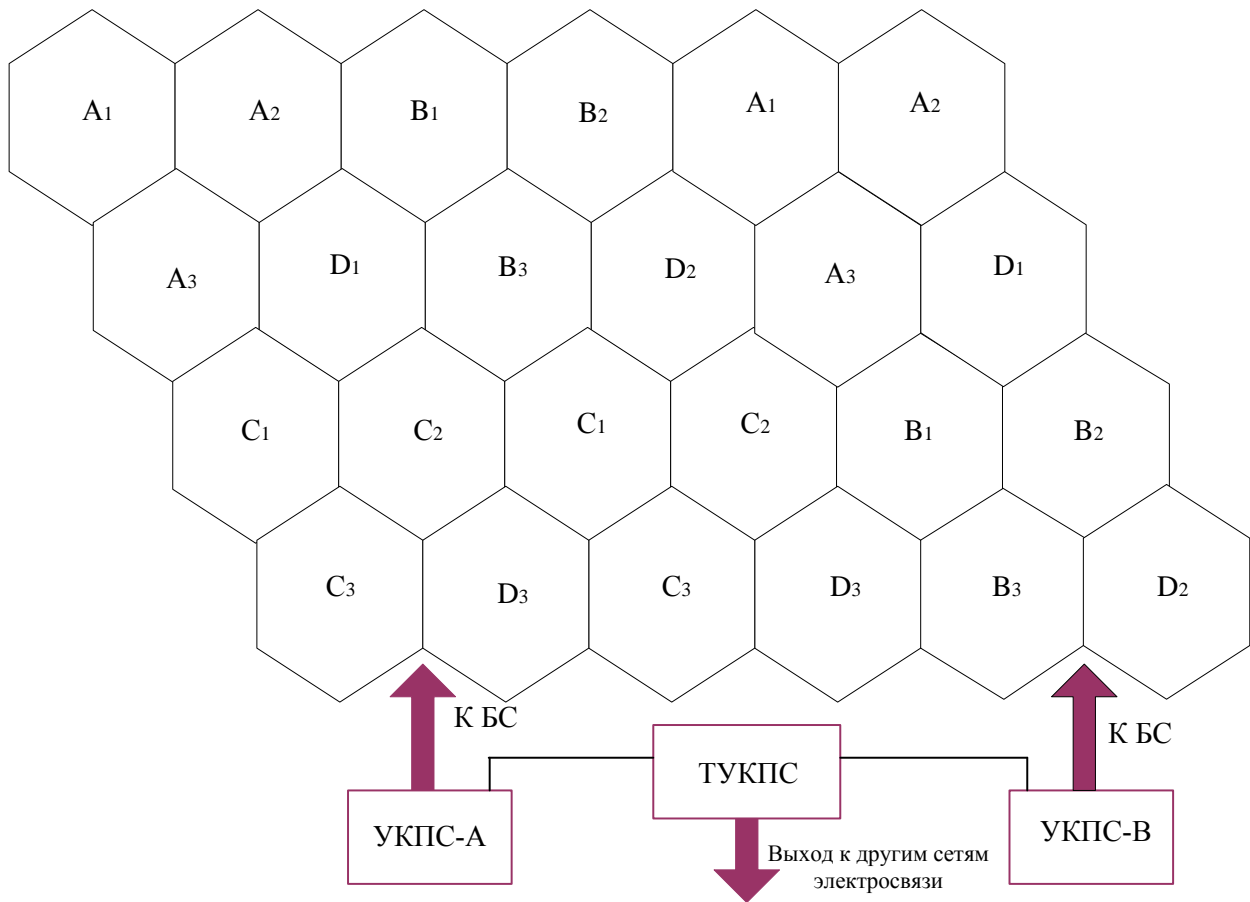
$$1 < n < 124$$

Следовательно, в указанном диапазоне можно организовать 124 дуплексных радиоканала, каждый из которых используется для организации 8 физических каналов. При этом могут быть использованы различные планы распределения частот между БС, включаемых в один УКПС, так например: 3/9, 4/12, 7/21.

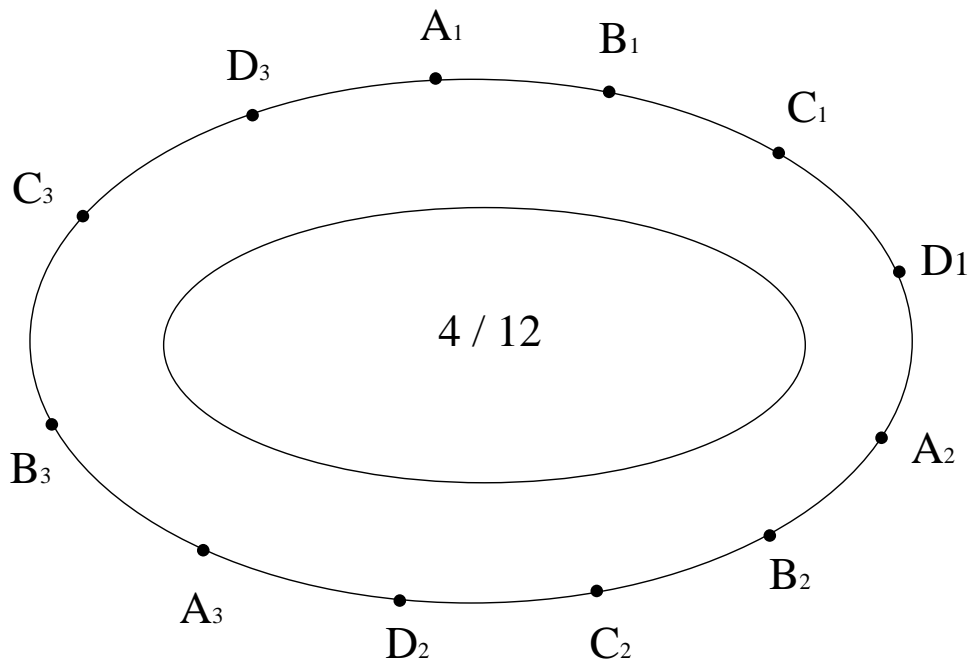
Рассмотрим в качестве примера вариант 4/12. Рассматриваемая ССПСОП представлена на нижеследующем рисунке «*Структурно-функциональное построение ССПСОП гипотетической конфигурации*» и включает в себя транзитный узел коммутации подвижных станций (ТУКПС) и два УКПС, имеющие смежные зоны обслуживания. В свою очередь, зона обслуживания каждого УКПС включает в себя три зоны местонахождения, каждая из которых содержит четыре БС. Каждая БС взаимодействует с внешним окружением посредством радиоэфира и проводных линий

электросвязи, где внешним окружением соответственно являются ПС и УКПС. При этом, предполагается, что в зоне обслуживания сети распределено 24 радиоканала, при территориально-частотном плане 4/12 и их повторном использовании в зоне обслуживания другого УКПС (УКПС-В).

Структурно-функциональное построение ССПСОП гипотетической конфигурации



Круговая диаграмма распределения радиочастот для УКПС ССПСОП гипотетической конфигурации



Другой особенностью ССПСОП является переменное количество абонентов N в ПОВ в зоне обслуживания, как отдельной компоненты, так и сети в целом. Прогнозирование количества абонентов N – источников разговорной и сигнальной нагрузки является само по себе отдельной задачей. Данная задача имеет место и в ТФОП, однако здесь она отличается, что связано с тем, что ПОВ сильно децентрализован и в обработке разговорной и сигнальной информации ПОВ, могут участвовать различные сетевые компоненты, которые могут собственно иметь и различные ЧНН.

О определении ЧНН мы поговорим в рамках последующей лекции.

Могу только сказать, что проектировщики ССПСОП при расчете сетевых нагрузочных характеристик обычно учитывают процент визитных абонентов, выделяя для

них определенную емкость БД и ресурсы сети. Так, по некоторым оценкам, в зоне обслуживания сети может быть до 40 % абонентов визитеров.

Показатели качества обслуживания абонентов

Если рассматривать показатели качества обслуживания, то их возможно разделить на две большие категории:

- Явные потери;
- Условные потери;

Первая и вторая категории потерь нормируются национальными и международными рекомендациями и должны учитываться при планировании сети, расчете ее нагрузочных характеристик. О том, каким образом они рассчитываются, мы поговорим в рамках последующих лекций. Здесь же я только хотел бы упомянуть о некоторых нормах, устанавливаемых национальными рекомендациями.

Согласно национальным рекомендациям, нормированию подлежат следующие объекты связи:

- городские декадно-шаговые и координатные АТС и узлы связи;
- Городские программно управляемые АТС и узлы;
- Сельские координатные АТС;
- Сельские программно управляемые АТС;

Нормированию подлежат участки сети, так например нормы потерь в ЧНН между входами соседних станций (узлов) составляют 0,005.

Нормы потерь в ЧНН от абонентского входа исходящей опорной станции или централизованно управляемой подстанции в направлении к другим станциям, также составляют 0,005.

При этом суммарные расчетные потери от абонента до абонента из-за занятости линий, каналов и соединительных устройств не должны превышать при связи абонентов ГТС 0,03.

Обратите внимание, что потери, установленные между входами узлов сети заведомо ниже (0,005), чем потери на участке между абонентскими терминалами (0,03), так как расстояние между терминалами может существенно превышать расстояние между узлами, не говоря уже о том, что участок магистральной и распределительной абонентской сети может по протяженности быть более 5 км., а в некоторых случаях достигать 10-12 км., что в

частности характерно для *пассивных оптических сетей (PON)*.

Кроме того, нормируется доля вызовов, не закончившихся разговором из-за занятости абонентской линии вызываемого абонента и его неответа, доля вызовов, не закончившаяся разговором из-за ошибок абонента и по техническим причинам.

Условные потери

Рекомендации МСЭ-Т рассматривают два типа нагрузки:

а) Эталонная нагрузка А

При этом удельная нагрузка по всем входящим каналам составляет 0,7 Эрл.

Количество попыток вызова/1 час = $0,7 \times$
Количество вх. каналов/Среднее время занятия в часах;

Чтобы понять смысл приведенного выше соотношения, необходимо вспомнить, что представляет из себя удельная нагрузка (a) отдельно взятого разговорного канала.

$$\frac{\bar{c} \times \bar{t}}{3600} \times [\text{Количество каналов}] = \frac{\text{Общее количество занятий}}{\text{ЧНН}}$$

Величина среднего времени занятия в часах в левой части приведенного выше соотношения (\bar{t}) сокращается, в результате чего приведенное выше равенство соблюдается и мы получаем общее число всех занятий разговорных каналов в ЧНН.

б) Эталонная нагрузка В

Удельная нагрузка по всем входящим каналам составляет 0,8 Эрл.

В терминах количества попыток вызова в ЧНН, нагрузка данного типа в 1,2 раза превышает эталонную нагрузку типа А.

Рекомендации Q.543 вводят вероятность некорректной обработки попытки вызова в

зависимости от типа соединения, что приводится в нижеследующей таблице:

Таблица 1

Значения потерь в зависимости от типа соединения при различных эталонных нагрузках

Тип соединения	Эталонная нагрузка А	Эталонная нагрузка В
Внутристанционная	10^{-2}	4×10^{-2}
Исходящая	5×10^{-3}	3×10^{-2}
Входящая	5×10^{-3}	3×10^{-2}
Транзитная	10^{-3}	10^{-2}

Условные потери нормируются для ряда этапов обслуживания вызова, определенных в терминах рекомендаций МСЭ-Т Q.543 [2].

Например, «Задержка входящего отклика» является этапом обслуживания вызова, использующего сигнализацию по выделенному сигнальному каналу. Данная величина определяется, как интервал от момента распознавания сигнала занятия входящего канала до передачи АТС в обратном направлении

сигнала подтверждения успешной обработки принятого сигнала.

Рекомендованные значения, а именно среднее значение нормируемой случайной величины

$t_{\text{задержка входящего отклика}}$ и $P(\gamma > t_{\text{задержка входящего отклика}}) <$

0,05 и соответственно $(\gamma < t_{\text{задержка входящего отклика}}) >$

0,95 сведены в следующую таблицу.

Таблица 2

Вероятностно-временные характеристики задержки входящего отклика АТС

	Эталонная нагрузка А	Эталонная нагрузка В
Средние значения	≤ 300 мс.	≤ 400 мс.
Вероятность 0,95 не превышения	400 мс.	600 мс.

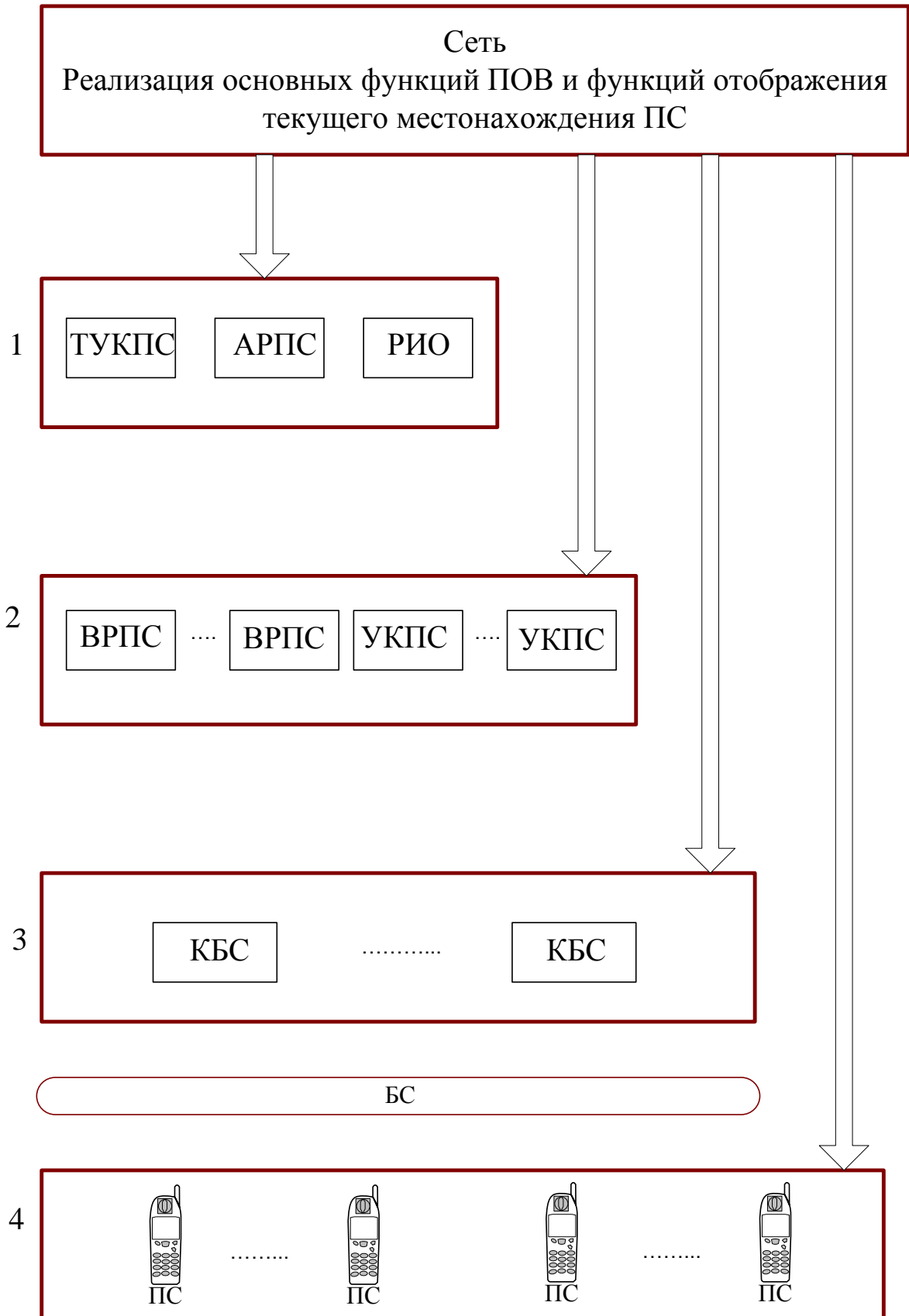
Понятие системы

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).

Пример иерархической организации структурно-функционального построения сети инфокоммуникаций приведем на примере ССПСОП, представленном в работе [3].

Иерархическая организация структурно-функционального построения ССПСОП



Структурированность системы т.е. возможность выделения важных элементов системы и связей между ними покажем на примере анализа иерархии структурно-функционального построения сети сухопутной подвижной связи.

Целью анализа структурно-функционального построения сети является его последующее формализованное представление, для чего предлагается решить ряд общих задач:

1. Определить общий состав компонент сети и их разделение на типы согласно их материальной структуры и характера происходящих в них процессов;
2. Определение функций, выполняемых каждой компонентой и степень участия каждой из них в процессе обслуживания вызовов. При этом требуется учитывать, что каждая компонента сети участвует в реализации определенной совокупности функциональных задач ПОВ и при необходимости взаимодействует с другими компонентами своей сети и других сетей электросвязи. Данное взаимодействие происходит согласно predetermined protocols систем сигнализации;
3. Определение принципов взаимодействия сетевых компонент;

Далее приведем пример решения задачи определения иерархии структурно-функционального построения сети сухопутной подвижной связи общего пользования. При представлении ССПСОП иерархической системой учитываются два фактора:

1. Степень участия в ПОВ, определяемая количеством функциональных задач, в решении которых принимают участие объединяемые в иерархическую структуру компоненты ССПСОП.
2. Наличие тесных территориальных связей, обусловленных логикой ПОВ и во многих случаях приводящее к информативным.

Так, согласно проведенному ранее анализу, наибольшее участие в реализации приведенных ранее функциональных задач ПОВ, принимает УКПС. При этом, для получения, требуемой при установлении соединения абонентской информации, он взаимодействует с ВРПС (VLR). ВРПС является абонентской базой данных, сохраняющей информацию относительно ПС, находящихся в зоне обслуживания конкретного УКПС. При этом ВРПС реализован в каждом УКПС сотовой сети связи.

Вследствии этого, ВРПС и УКПС предлагается расположить на одном уровне иерархии структурно-функционального построения ССПСОП.

ТУКПС (GMSC) играет в ССПСОП роль объединяющего элемента, принимающего при этом сигналы из внешнего окружения, и вследствие этого, несмотря на меньшую степень участия в ПОВ, расположен на первом уровне предлагаемой иерархии структурно-функционального построения ССПСОП. При этом, для маршрутизации входящих к ПС вызовов, требуется его взаимодействие с АРПС (HLR), являющемуся также как и РИО (EIR), централизованной абонентской базой данных, единой для всей сети. Вследствии этого, компоненты, которыми являются ТУКПС, АРПС и РИО, вынесены на первый уровень предлагаемой иерархии, а ВРПС и УКПС расположены на ее втором уровне.

Контроллер базовых станций (BSC) выносится на третий уровень структурно-функционального построения ССПСОП. Это обусловлено тем, что КБС частично разделяет функции УКПС. К этим функциям, например, относятся приведенные выше функции реализации измерения уровня приемопередачи радиосигнала ПС и переключения вызова.

ПС являются окончательными устройствами, составляющими в ССПСОП, наряду с другими сетями электросвязи, внешнее окружение. Исходя из этих соображений, они расположены на последнем четвертом уровне предлагаемой иерархии.

Роль приемопередающего элемента между третьим и четвертым уровнем можно определить как подуровень третьего уровня соответствующей иерархии. Предлагаемое представление соответствующих компонент иерархией структурно-функционального построения сети, представлено на приведенном выше рисунке *«Иерархическая организация структурно-функционального построения ССПСОП»*.

Формализовать приведенное выше четырехуровневое описание структурного и функционального построения ССПСОП, наиболее удобным представляется в терминах теории графов.

Граф структурного и функционального построения ССПСОП $G_{сфп} = (S, E)$ приведен на нижеследующем рисунке *«Граф структурно-функционального построения ССПСОП»*.

. При этом, описанные выше уровни иерархии соответствуют $k, k+1, k+2, k+3$ уровням. Множество вершин графа $G_{сфп}$ S соответствует компонентам сети, а его дуги отражают логические связи между ними. Множество вершин S состоит из подмножеств S^k , причем

$$S^k \subset S; \quad \bigcup_k S^k = S; \quad S^k = \{S_j^k : j \in J^k\},$$

где $k = 1, 2, \dots, N$

S^k - множество компонентов сети на уровне k ;

k – номер уровня;

J^k - конечное множество значений индексов на уровне k ;

Множество дуг E состоит из подмножеств, соединяющих вершины различных уровней, в том числе и вершины одного и того же уровня.

$$(E^{k+1} \cup E^{k+2} \cup E^{k+3} \cup E_{rj}^k \cup E_{rj}^{k+1}) \subset E$$

$$E^{k+1} = \bigcup_{j \in J^k} E_j^{k+1}$$

$$E_j^{k+1} = \bigcup_{i \in I_j^{k+1}} E_{ij}^{k+1}$$

$$E^{k+2} = \bigcup_{i \in I_j^{k+2}} E_{ij}^{k+2}$$

$$E_{11}^{k+1} = (S_1^{k+1}, S_1^k)$$

$$E^{k+3} = \bigcup_{i \in I_j^{k+3}} E_{ij}^{k+3}$$

$$E_{11}^{k+2} = (S_1^{k+2}, S_1^{k+1})$$

$$E_{ij}^{k+3} = (S_i^{k+3}, S_j^{k+2})$$

$$E_{11}^{k+2} = (S_1^{k+2}, S_1^{k+1})$$

$$E_{rj}^{k+1} = (S_r^{k+1}, S_j^{k+1})$$

В приведенной выше системе обозначений r обозначает компоненту, откуда исходит дуга графа, при связи компонент на одном уровне $G_{\text{сфп}}$;

$$R^k = (S_r^k: r \in J^k), \text{ где}$$

$$k=1,2,\dots,K,$$

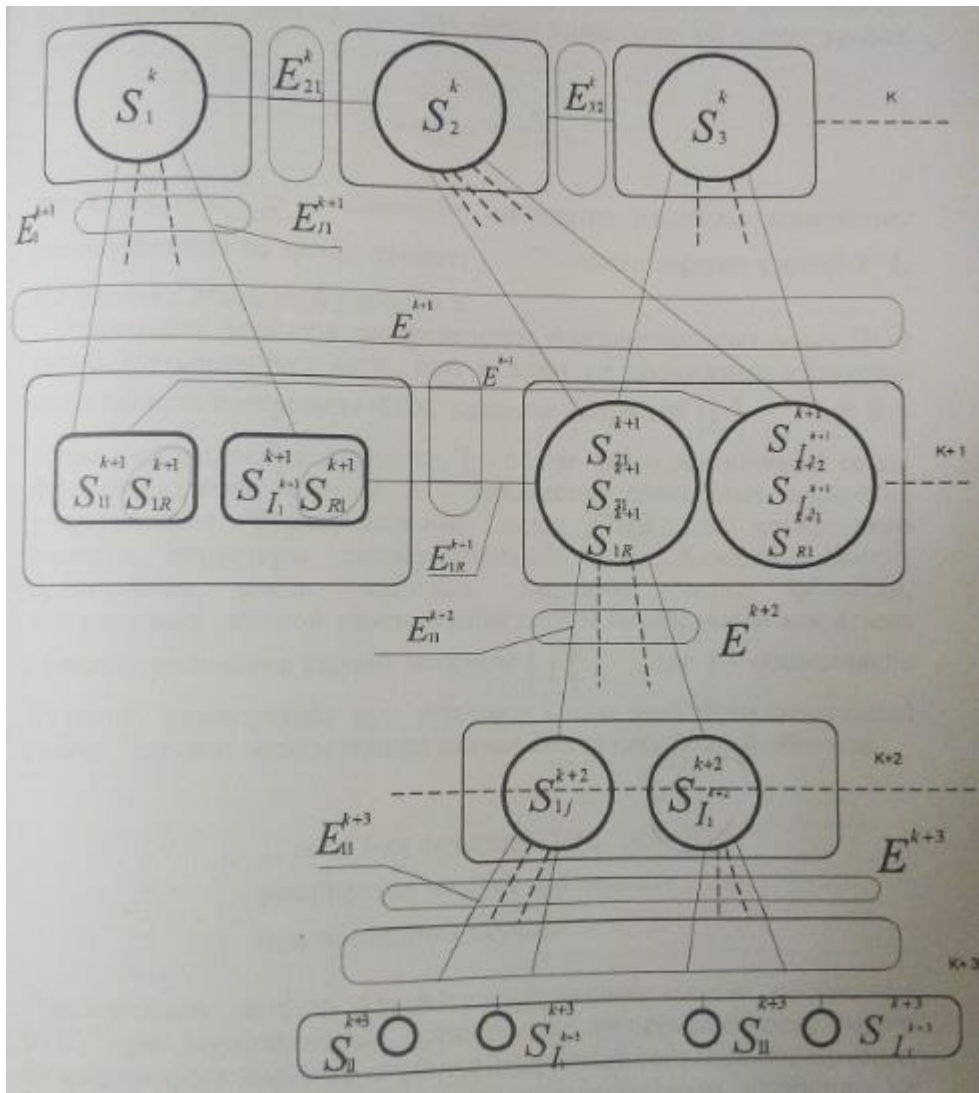
R^k - конечное множество индексов компонент, расположенных на одном уровне;

I_j^{k+1} - число вершин уровня $k+1$, связанных с вершиной j уровня k .

Так, к примеру, множество вершин, представленное на уровне $k+2$ $G_{\text{сфп}}$ имеет следующую математическую нотацию:

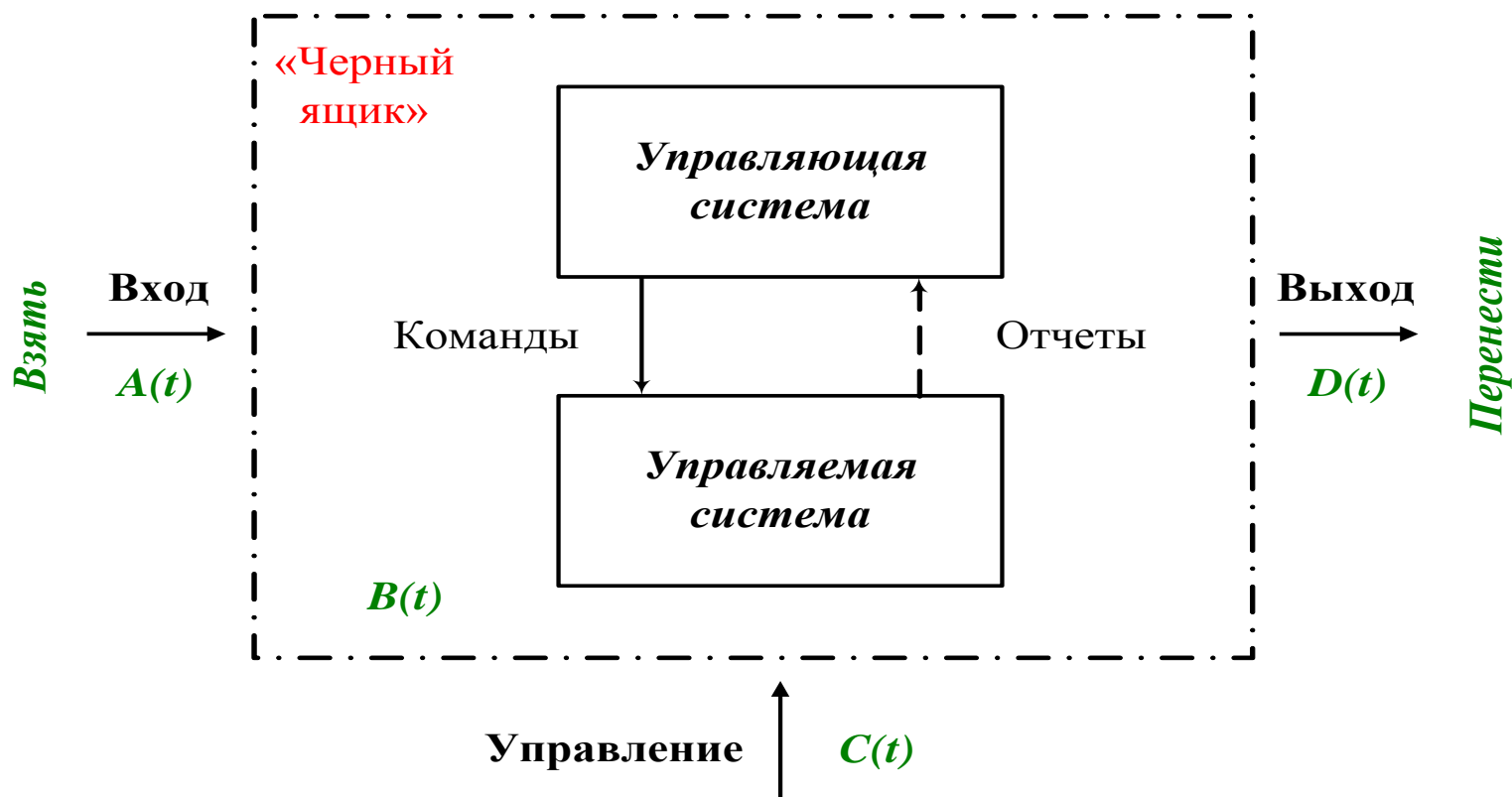
$S_{I_1}^{k+2} = S^{k+2}$, что обозначает число вершин уровня $k+2$, связанных с первой вершиной уровня $k+1$;

E_{11}^{k+3} обозначает логическую связь первой вершины уровня $k+2$ с первой вершиной уровня $k+3$;



Граф структурно-функционального построения ССПСОП

Подходы к моделированию большой и сложной системы.



Большая и сложная система

Модель, приведенная на 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 (сигналы) 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 О&М 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 (активация) звеньев/групп звеньев сигнализации ОКС 7 и т.д. Отчеты в общем

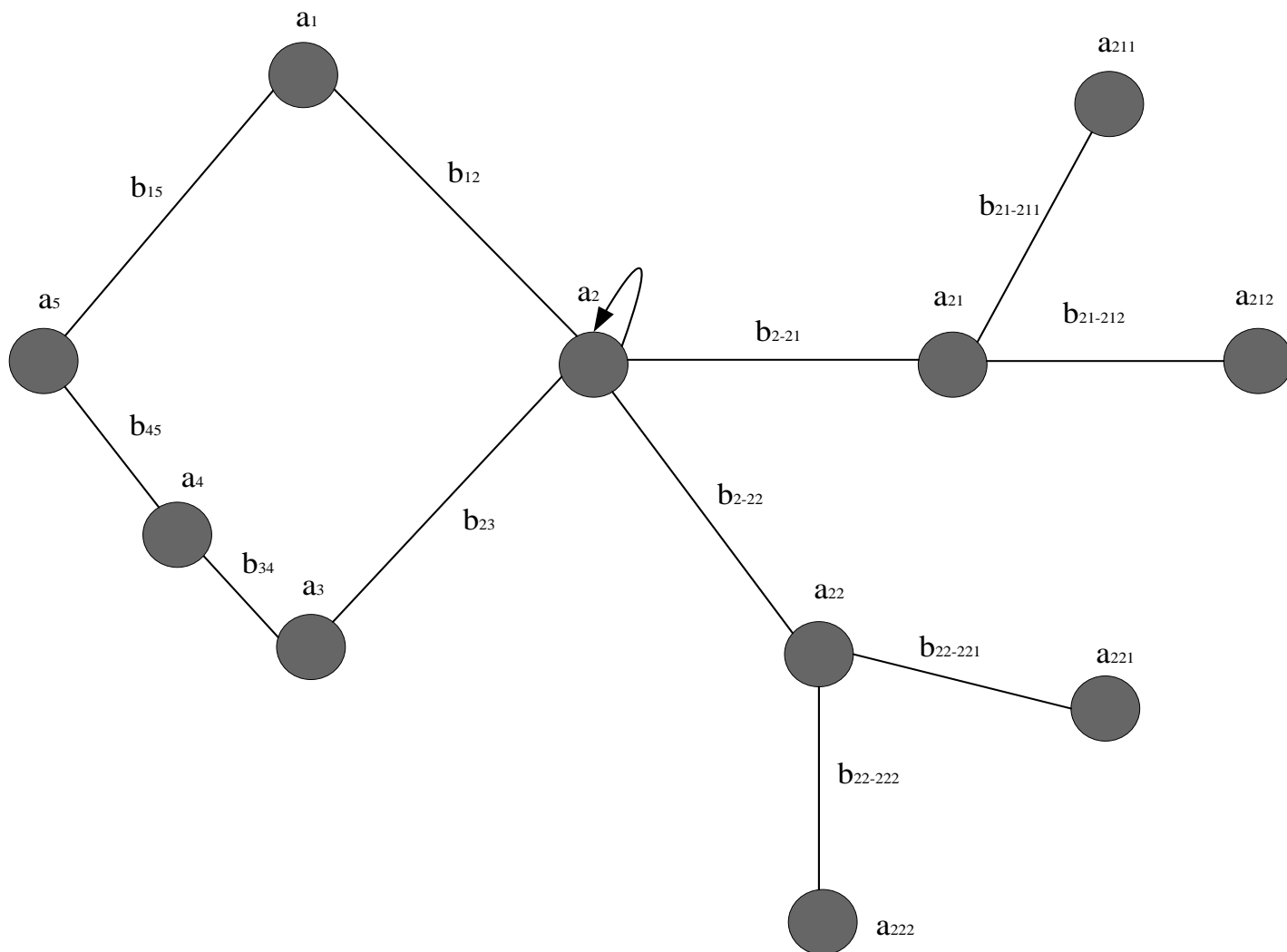
случае включают в себя информацию о результатах выполнения команд.

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.

Моделирование структуры первичной сети связи посредством графа. Задачи планирования топологии сети.

Для решения задач, связанных со структурой сети и ее *количественными структурными характеристиками*, удобно представить модель сети телекоммуникаций в виде графа. Данная модель также используется для оценки параметров качества обслуживания абонентов сети. На приведенном ниже слайде «*Модель фрагмента сети в виде графа*» представлен фрагмент телекоммуникационной сети в виде графа, который состоит из множества вершин $\{a_i\}$ и множества ребер $\{b_{ij}\}$. Число вершин графа n может определять, например, количество узлов коммутации в сети. Место расположения вершины графа a_i позволяет указать координаты размещения оборудования коммутации. Длина ребра графа b_{ij} обычно определяет протяженность линии связи (АЛ или межстанционной линии связи в зависимости от решаемой задачи), ее пропускную способность или стоимость.



Модель фрагмента сети в виде графа - А

Граф $G\{A, B\}$, представленный на слайде «Модель фрагмента сети в виде графа» состоит из восьми вершин и девяти ребер. Этот граф называется неориентированным, так как начало и конец каждого ребра не маркированы. *Неориентированный граф* хорошо иллюстрирует возможность использования

линий связи при дуплексной передаче информации и организации двухсторонних соединений.

В *ориентированном графе* каждое ребро имеет стрелку, которая указывает направление либо передачи информации, либо установления соединения. *Смешанные графы* содержат ребра обоих типов.

Если ребро начинается и заканчивается в одной и той же вершине, то оно образует петлю. Обычно в теории сетей связи используются графы без петель, однако в некоторых моделях они могут использоваться. В частности, если *вершина* графа обозначает концентратор или УПАТС, то петля обозначает замыкание внутреннего трафика.

Ранг вершины $R(a_i)$ число инцидентных ей ребер. Для модели, показанной на слайде «*Модель фрагмента сети в виде графа*» $R(a_0)=6$, а $R(a_7)=1$. Две вершины, соединенные ребром, называются *смежными* вне зависимости от расстояния между ними. Путь μ_{ij} между двумя вершинами с номерами i и j это упорядоченный набор ребер, который начинается в a_i и заканчивается в a_j .

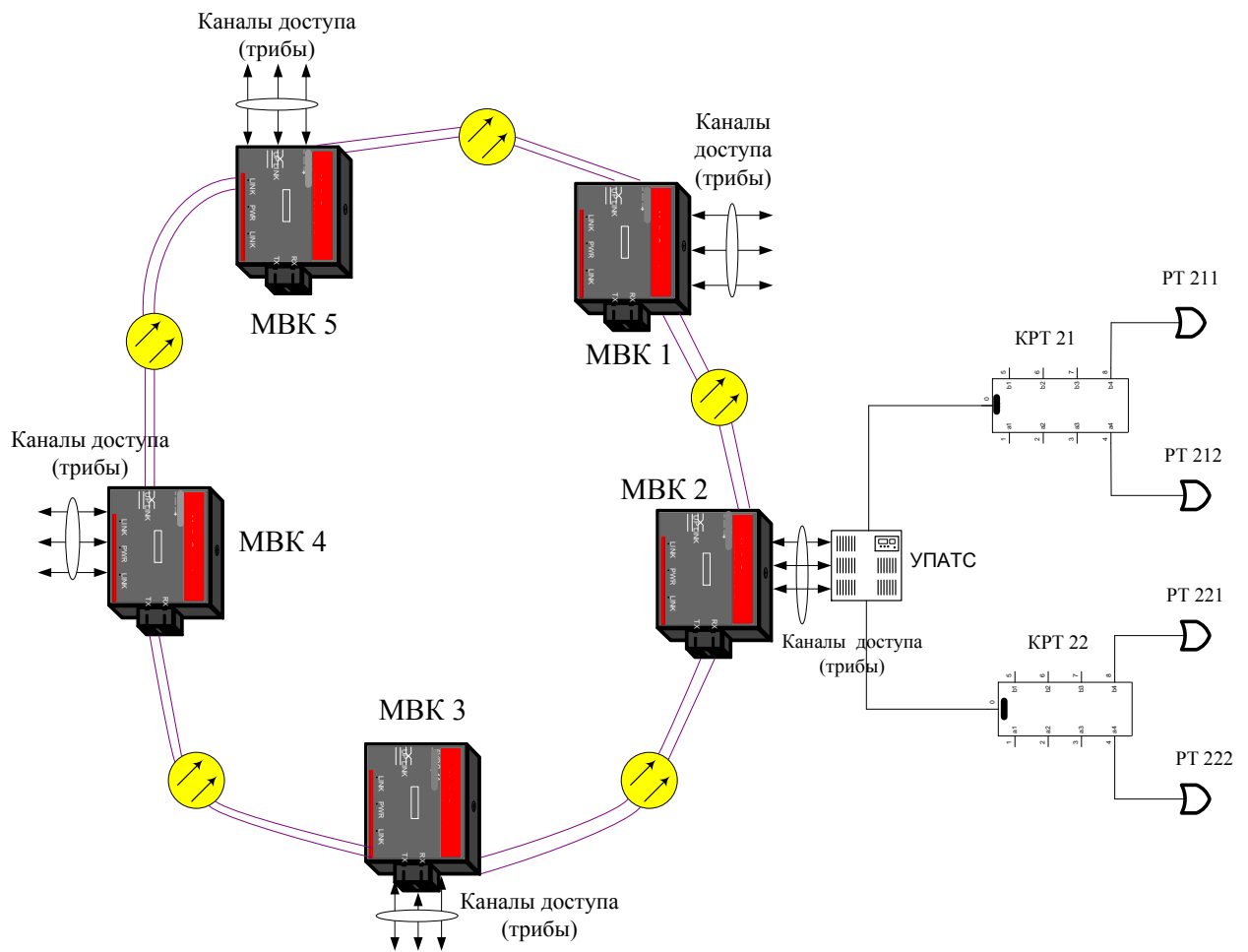
В любом пути ни одна вершина не должна встречаться дважды. Между каждой парой вершин может существовать несколько путей. Если эти пути содержат непересекающиеся множества вершин и ребер, то их называют *независимыми*. Путь, выбранный для передачи информации, именуется маршрутом. Процесс выбора такого пути известен по термину «маршрутизация». Ранг пути $R(\mu_{ij})$ – число ребер между вершинами a_i и a_j .

Эта величина не может быть меньше единицы, исключая ситуации, когда некоторые вершины графа изолированы. На слайде «*Пример графа, как модели сети доступа*» показан пример графа, служащего моделью для сети доступа. Рассматривается модель сети доступа, создаваемая операторами ТФОП. Тем не менее, созданные транспортные ресурсы могут использоваться и в интересах других коммутируемых сетей.

В верхней части рисунка «*Пример графа как модели сети доступа*» представлено кольцо, образованное пятью мультиплексорами ввода/вывода каналов (МВК)

(англоязычная аббревиатура *ADM – Add Drop Multiplexer*), объединяемыми, например посредством ВОЛС. МВК устанавливается для обеспечения транспортными ресурсами УПАТС или концентратора. Варианты построения сети абонентского доступа между РК и МВК могут быть различными. В качестве примера приведем два варианта.

- Традиционная двухпроводная абонентская линия (распределительный 20 парный кабель расшиваемый на КРТ по квартирам абонентов). Распределительный кабель на участке МВК – РК не резервируется;



Магистральный и распределительный участки сети абонентского доступа, А

Между любой парой вершин a_i и a_j при условии, что $i \neq j$ существует два независимых пути передачи информации. Такая возможность обеспечивается кольцевой топологией. В правой части слайда показаны два пути обмена информацией между вершинами a_2 и a_5 .

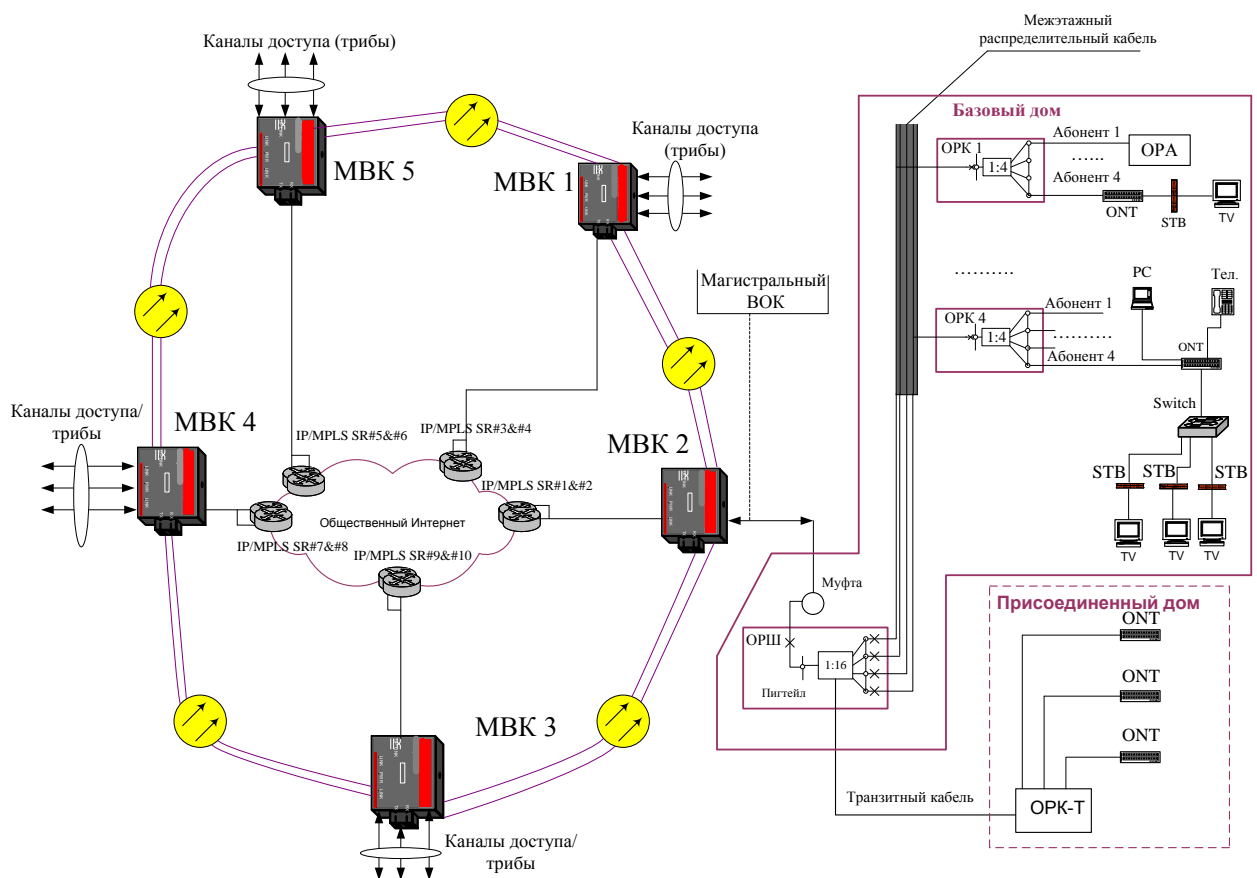
Они проходят через разное количество вершин графа. Следовательно и количество ребер между вершинами a_2 и a_5 для обоих путей также будет разным. Применение концентратора или УПАТС в сети телефонной связи объясняет наличие петли в вершине a_2 .

При рассмотрении абонентской распределительной телефонной сети между МВК и РК прокладывается распределительный кабель, который не резервируется. По этой причине между вершинами a_2 и a_{21} показано одно ребро – b_{2-21} . Индекс «2-21», содержащий разное число цифр, указывает на то, что ребро проложено между разными уровнями иерархии. Аналогично, для участка между РК₂₁ и телефонной розеткой (РТ), в которую включается терминал первого пользователя (вершины графа a_{21} и a_{211}), показано ребро b_{21-211} . Фрагмент графа между вершинами a_2 и a_{211} служит типичным примером древовидной топологии.

- Оптический кабель, проложенный по следующему маршруту: МВК – оптический кросс (ODF – Optical Distribution Frame) – распределительная муфта – ОРШ (оптический распределительный шкаф). Данный участок условно относится к *магистральной распределительной сети*. Обеспечивается «холодный» резерв магистрального кабеля по принципу N+N.
- Далее, участок ОРШ – ОРК (оптическая распределительная коробка) относится к распределительной абонентской сети. Обеспечивается «холодный» резерв распределительного кабеля по принципу 1+1. В ОРК монтируются сплиттеры (абонентские разветвители), подключаемые с одной стороны к ОРШ, а с другой стороны через оптические розетки к абонентскому оборудованию (стационарная абонентская розетка, либо

оптическое сетевое окончание (в англоязычной аббревиатуре *ONT – Optical Network Termination*).

Применение одной или другой (или обеих) технологий доступа существенно не повлияют на конфигурацию графа структурно-функционального построения данного участка сети абонентского доступа. Вы их можете видеть на нижеследующем рисунке «*Магистральный и распределительный участки сети абонентского доступа, В*».



Магистральный и распределительный участки сети абонентского доступа, В

Ниже представлен рисунок, отображающий модель пассивной оптической сети в виде графа. Принцип его построения аналогичен приведенному выше. Однако, в данном случае, граф является более разветвленным, что обусловлено более сложной структурой сети на участке «последней» мили. Так, например, такие устройства сети, как ОРШ, ОРК, ONT, коммутатор (switch) и STB могут моделироваться на приведенном ниже рисунке такими вершинами графа, как a_{21} , a_{211} , a_{2111} , a_{21113} , a_{211134} .

- Полносвязная;
- Звездообразная;
- Сотовая;
- Решетчатая;

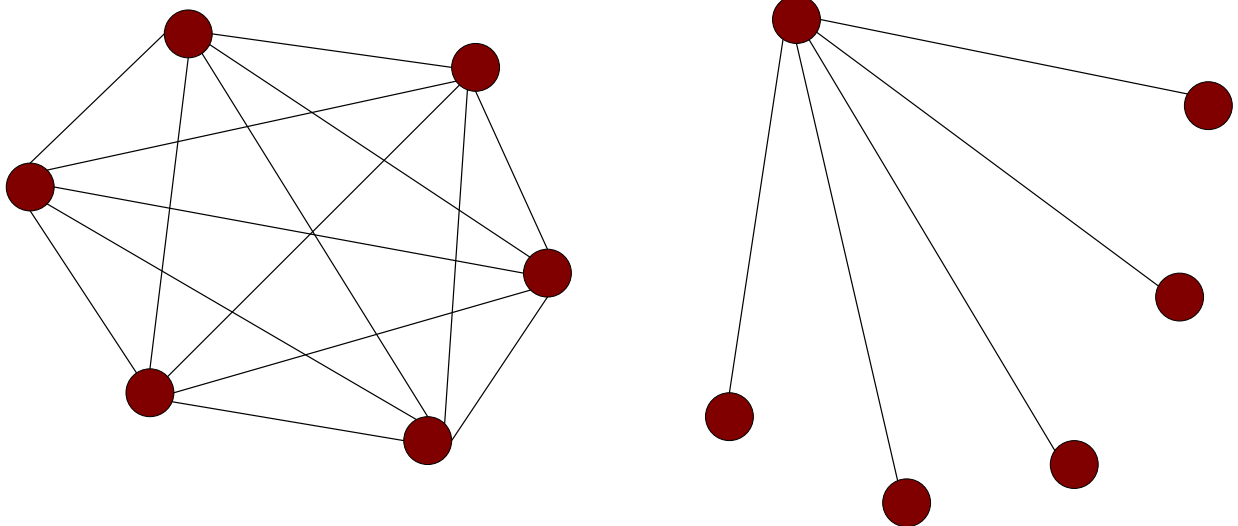
Примеры графов, основанных на перечисленных выше структурах, приведены на рисунке *«Примеры графов, используемых в качестве моделей телекоммуникационных сетей»*.

В полностью связанной структуре все вершины графа соединяются по принципу «каждая с каждой». Число ребер в графе с N вершинами равно $N(N-1)/2$. Сети с такой структурой отличаются самой высокой надежностью. Пример построения полностью связанной структуры – ГТС, построенная без применения узлов исходящих и входящих сообщений.

В графе со структурой «звезда» одна из вершин является центральной. Подобным топологиям свойственна небольшая величина суммарной длины ребер графа, но низкая надежность. Число ребер в графе с N вершинами равно $N-1$. Звездообразная

структура часто используется при построении сельских телефонных сетей (СТС), в частности на участке Оконечная Станция – Узловая станция, о чем мы говорили ранее при рассмотрении особенностей построения сельских телефонных сетей.

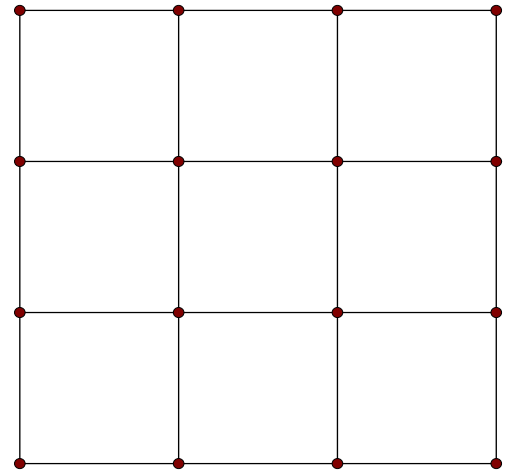
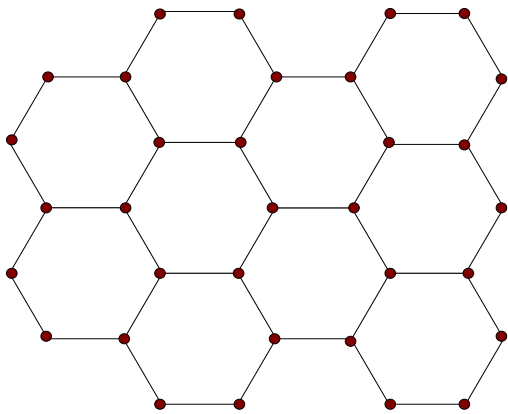
Модели сети телекоммуникаций посредством графов полностью связной и звездообразной структуры



Сотовая и решетчатая структуры похожи между собой. Сотовая топология известная по принципам создания современных сетей связи с подвижными объектами при использовании групп секториальных

антенн базовых станций при их разнесении под углом 60 градусов. При планировании и моделировании радиосети, считается, что радиопокрытие ССПСОП имеет в общем случае ячеистую сотовую структуру – отсюда и одноименное название самой сети.

В рассматриваемом примере *сотовая и решетчатая структуры* иллюстрируют возможные топологии транспортной сети.



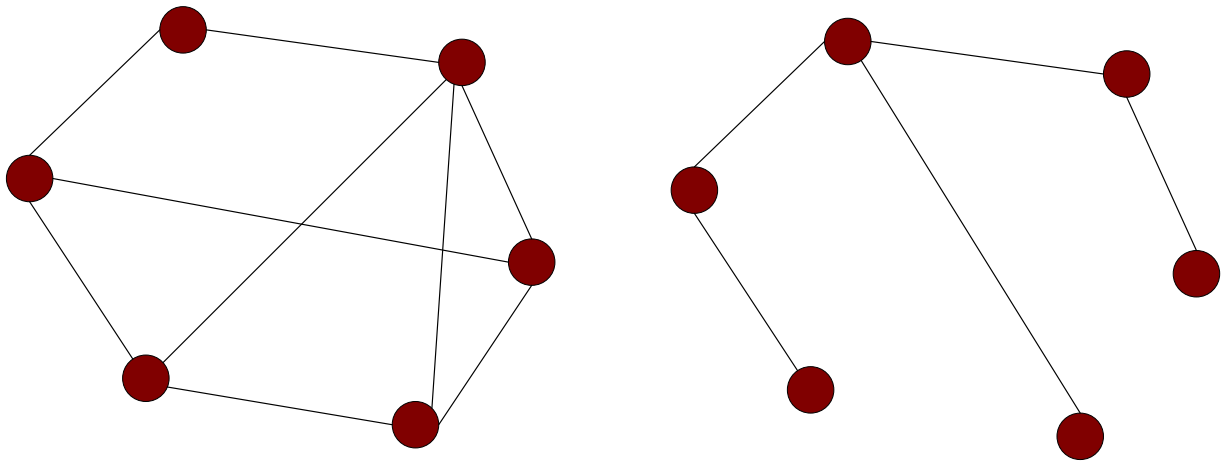
Сотовая и решетчатая структура графа сети

Они отличаются высокой надежностью и, как правило, большей экономичностью, нежели полносвязные структуры. Совокупность иерархических кольцевых топологий, на базе которых

строятся современные транспортные сети, можно рассматривать как сотовые или решетчатые структуры.

Модели, показанные на рисунке «Примеры графов, используемых в качестве моделей телекоммуникационных сетей», можно отнести к базовым. Другие модели образуются разными способами. Например, удаление некоторых ребер из полносвязной сети порождает граф произвольной структуры. Целенаправленное изъятие ряда ребер позволяет получить кольцевую, звездообразную и ряд других структур. Древовидная топология наилучшим способом отображает модель той сети доступа, которая была типичной для аналоговых автоматических телефонных станций (АТС). Два примера соответствующих графов показаны на рисунке *«Два дополнительных примера графов используемых в качестве моделей телекоммуникационных сетей»*.

Модели сети телекоммуникаций посредством графов
произвольной и древовидной структуры



*Модели сети телекоммуникаций посредством
графов произвольной и древовидной структуры*

Граф может быть представлен матрицей. Например,
графу произвольной структуры соответствует
матрица связности $\|G_{ij}\|$.

$$\|G_{ij}\| = \begin{vmatrix} - & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & - & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & - & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & - & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & - & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & - \end{vmatrix}$$

Знак «-» указывает на отсутствие петель в графе. Цифра «0» ставится в том случае, если ребро между вершинами графа отсутствует. Если элемент на пересечении координат « i » и « j » равен единице, то между вершинами графа a_i и a_j существует ребро b_{ij} . Вместо цифры «1» в матрице могут быть представлены иные величины, оценивающие расстояние между каждой парой вершин, стоимость линейных сооружений, пропускную способность каналов связи или другие атрибуты сети.

