

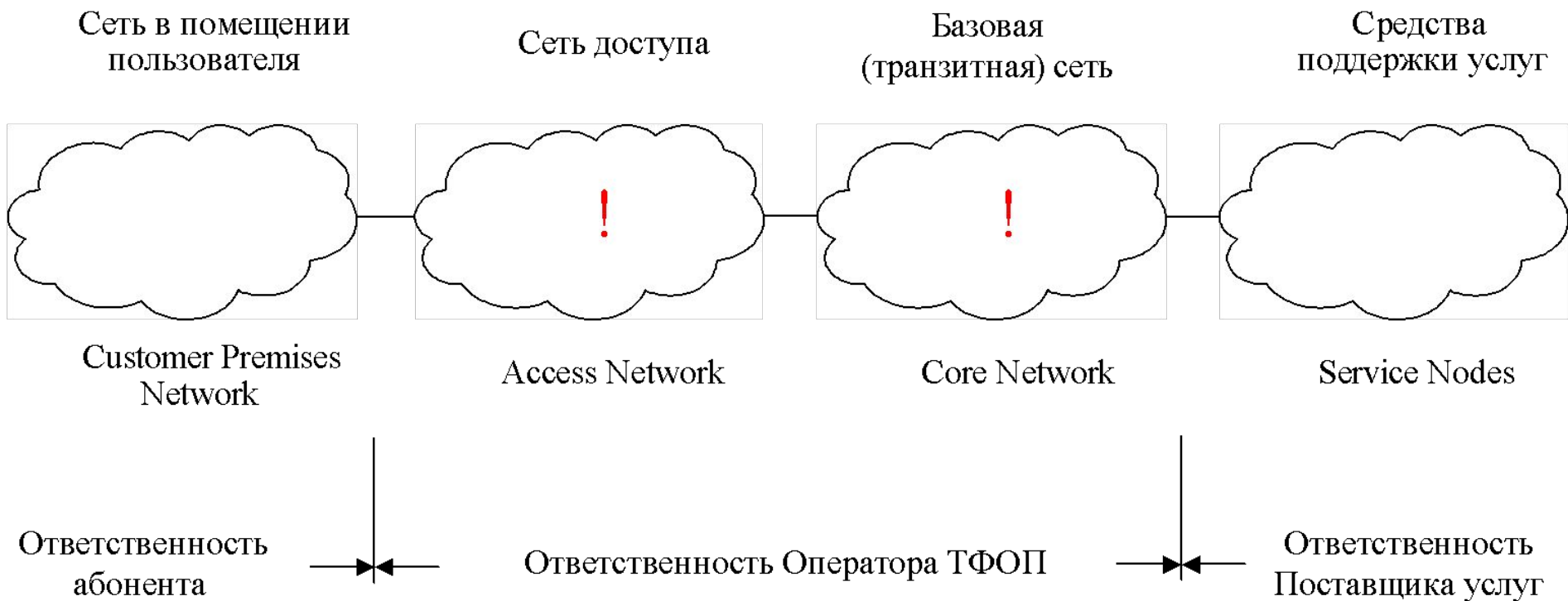
Основы построения телекоммуникационных систем и сетей

Лекция №13

«Методы анализа и синтеза структуры сети»

профессор Соколов Н.А.

Модель сети, предложенная МСЭ



Общие понятия (1)

Структура сети электросвязи определяет значительную часть важнейших характеристик инфокоммуникационной системы. По этой причине задачи анализа и синтеза структуры сети электросвязи образуют самостоятельное направление среди прикладных исследований, проводимых в интересах всех участников инфокоммуникационного рынка. Безусловно, анализ и синтез структуры сети электросвязи нельзя полностью отделить от других процессов создания и развития инфокоммуникационной системы. Тем не менее, для изучения сложного объекта или процесса необходимо выделить в нем ряд самостоятельных задач.

Задачи анализа и синтеза структуры сети электросвязи объединяются общностью конечных целей, методологическим подходом и математическим аппаратом. Конечная цель этих задач – построение эффективной инфокоммуникационной системы, которая обеспечивает выполнение установленных функций и способна развиваться. Слово "эффективная" указывает на тот факт, что структура сети близка к оптимальной.

Методологический подход к анализу и синтезу структуры сети электросвязи можно считать общим в силу универсальности и неразрывности возникающих задач. Математический аппарат, используемый для решения возникающих задач, идентичен.

Общие понятия (2)

Задачи анализа структуры, как правило, решаются для эксплуатируемой сети электросвязи. Цель анализа обычно состоит в выявлении "узких мест", свойственных сети, в разработке предложений по развитию сети (качественному и количественному), в оценке ее стоимости при продаже бизнеса. В каждом из этих трех случаев используется разный подход. Тем не менее, математический аппарат анализа структуры сети остается неизменным.

Задачи синтеза структуры сети электросвязи предшествуют процессу создания или радикальной модернизации инфокоммуникационной системы. Для этих двух случаев используемый математический аппарат может различаться весьма существенно. Структура большинства сетей уже создана. Поэтому задачи модернизации инфокоммуникационной системы представляются в настоящее время более актуальными.

Для задач анализа и синтеза структуры сети электросвязи следует учитывать три важных фактора, которые сформировались в последние годы. Эти факторы оказывают существенное влияние на постановку и решение многих важных задач.

Общие понятия (3)

Во-первых, большинство сетей начали формироваться очень давно. Их структура, определяемая многими внешними (например, принципы градостроения) и внутренними (например, стоимость отдельных компонентов сети) факторами, не всегда близка к оптимальной. Математические методы оптимизации подробнее рассматриваются в следующем разделе настоящей лекции. Здесь необходимо выделить такой аспект: точная оптимизация некой функции $f(t)$, поведение которой прогнозируется с весьма низкой достоверностью, невозможна.

Во-вторых, новые технологии оказывают очень существенное влияние на принципы построения сетей. Поэтому представление структуры сети в виде графа и проведение соответствующих операций с такой моделью чревато значительными ошибками. Физическая природа технологий требует ее учета при анализе и синтезе современной инфокоммуникационной системы.

В-третьих, представление функций стоимости отдельных компонентов сети при помощи монотонно возрастающих или убывающих кривых (данная практика используется в течение многих лет) часто приводит к большим погрешностям. Такой подход был разработан до широкого распространения вычислительной техники. В настоящее время он должен быть пересмотрен для получения более точных результатов.

Методы оптимизации (1)

Оптимизация – как раздел математики – существует не одно столетие. Практическая цель оптимизации заключается в выборе одного варианта из нескольких возможных вариантов или в уточнении какого-либо решения.

Прикладные задачи оптимизации, как правило, очень сложны. Современные методы оптимизации не всегда справляются с решением реальных задач без помощи человека. Не существует такой теории, которая способна учесть любые особенности исследуемого объекта или процесса за исключением очень простых случаев.

Телекоммуникационная сеть считается одной из самых сложных систем, созданных руками человека. Поэтому простые задачи встречаются в этой области знаний крайне редко.

Методы оптимизации (2)

Однако для решения практически важных задач необходимы численные оценки – даже весьма приближенные. При этом необходимо понять если не величину ошибки, то хотя бы ее порядок. В ряде случаев допустимы значительные ошибки. Это обусловлено характеристиками используемых технических средств. Например, в начале XX века для организации линии связи между двумя коммутационными станциями использовались многопарные кабели. Было важно точнее оценить число пар, которое, в значительной мере, определяло стоимость проекта. Допустимая ошибка измерялась единицами процентов. В начале XXI века для организации линии связи между двумя коммутационными станциями применяются кабели с оптическими волокнами. Задача состоит в выборе типа системы передачи, величины пропускной способности которых образуют числовой ряд. Каждый член этого ряда предыдущему, умноженному на четыре. Это означает, что допустимая ошибка в расчете необходимого числа каналов измеряется не процентами, а разами.

Методы оптимизации (3)

Для сетей связи общего пользования, как правило, минимизируется стоимостный показатель (обычно – капитальные затраты). При этом технические показатели и атрибуты сети играют роль ограничений. Если удастся выразить зависимость стоимости сети в виде функции одной переменной $f(x)$, то задача получения оптимального решения достаточно проста. Обычно задается область изменения аргумента x .

Наиболее известный метод оптимизации для функции одной переменной заключается в нахождении ее производной. Если в точке a производная равна нулю, то в этой точке $f(x)$ имеет минимум или максимум. Максимум достигается при условии, что $f''(a) < 0$. В противном случае (когда $f''(a) > 0$) исследуемая функция имеет минимум. При $f'(a) = 0$ говорят, что функция $f(x)$ при $x = a$ имеет стационарное значение. Точка $x = a$ называется стационарной.

Более общее условие формулируется в следующей форме: если существует производная $f^{(n)}(a)$, отличная от нуля, и если $f'(a) = f''(a) = \dots = f^{(n-1)}(a) = 0$, то функция $f(x)$ имеет в точке a

- максимум при n четном и $f^{(n)}(a) < 0$,
- минимум при n нечетном и $f^{(n)}(a) > 0$.

Это выражение определяет достаточные условия экстремума.

Методы оптимизации (4)

Для нахождения экстремумов функции $f(x) = x^3(x^2 - 1)$ в области $-1 \leq x \leq 2$ необходимо сначала найти ее производную:

$$f'(x) = 5x^4 - 3x^2 = x^2(5x^2 - 3).$$

Это уравнение имеет корни: $x = 0, x = \pm\sqrt{0,6}$. К этим корням надо присоединить граничные точки. В результате получается такой ряд:

$$x_1 = -1, x_2 = -\sqrt{0,6}, x_3 = 0, x_4 = \sqrt{0,6}, x_5 = 2.$$

Можно убедиться в следующем: в точке x_1 наблюдается граничный минимум, а в точке x_5 – граничный максимум. Точка x_2 определяет локальный максимум функции $f(x)$, а точка x_4 – локальный минимум. Для нулевого значения аргумента $f'''(a) \neq 0$. Это означает, что точка x_3 определяет место перегиба функции $f(x)$.

Методы оптимизации (5)

К сожалению, записать функцию стоимости в виде известной функции $f(x)$ не всегда возможно. Тем не менее, ее значения $f(x_k)$ в области определения на отрезке $[a, b]$ можно получить в виде отсчетов в точках x_k . Для этого отрезок $[a, b]$ разбивается на N равных частей, позволяющих элементарно вычислить x_k :

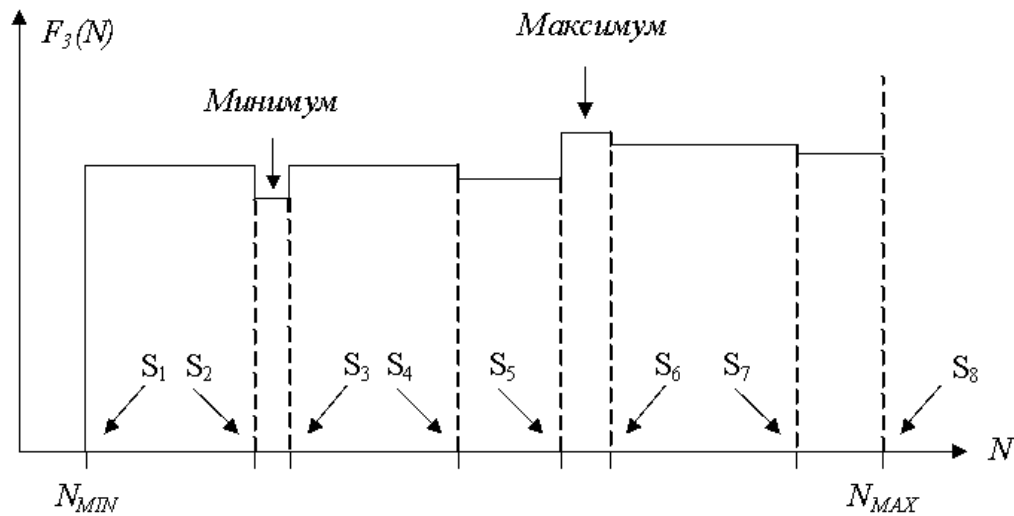
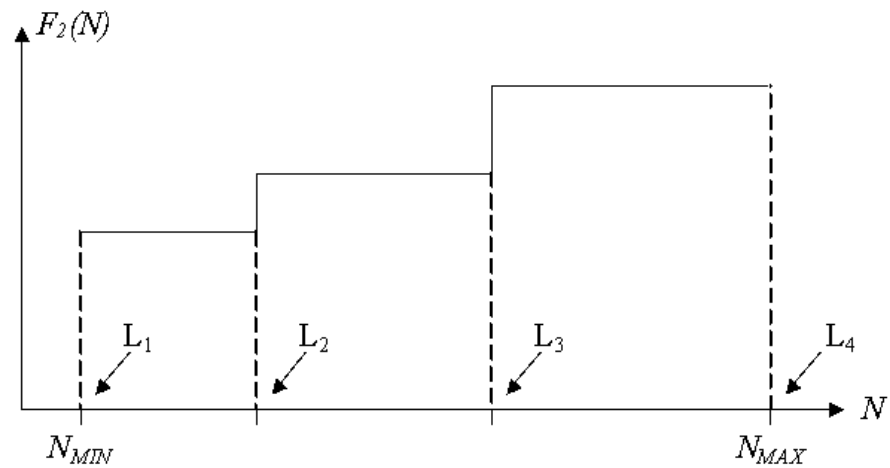
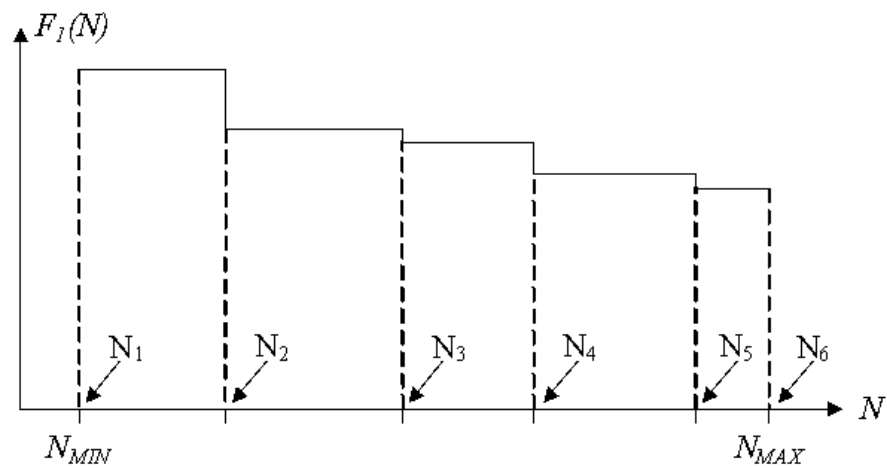
$$x_k = a + (k-1) \frac{b-a}{N}, \quad k = \overline{1, N+1}.$$

Из значений $f(x_k)$ необходимо выбрать экстремум (минимум или максимум). Точность локализации экстремума Δx при использовании полного перебора всех возможных решений определяется величиной N :

$$\Delta x = \frac{a-b}{2N}.$$

Достоинства данного метода – простота. Он может использоваться для функций любого вида, в том числе, имеющих разрывы. Очевидный недостаток этого метода заключается в большом объеме вычислений при необходимости добиться высокой точности результата. Иногда приходится варьировать m аргументов исследуемой функции. Тогда вычисления следует провести для числа точек, количество которых равно $(N+1)^m$.

Поиск оптимума

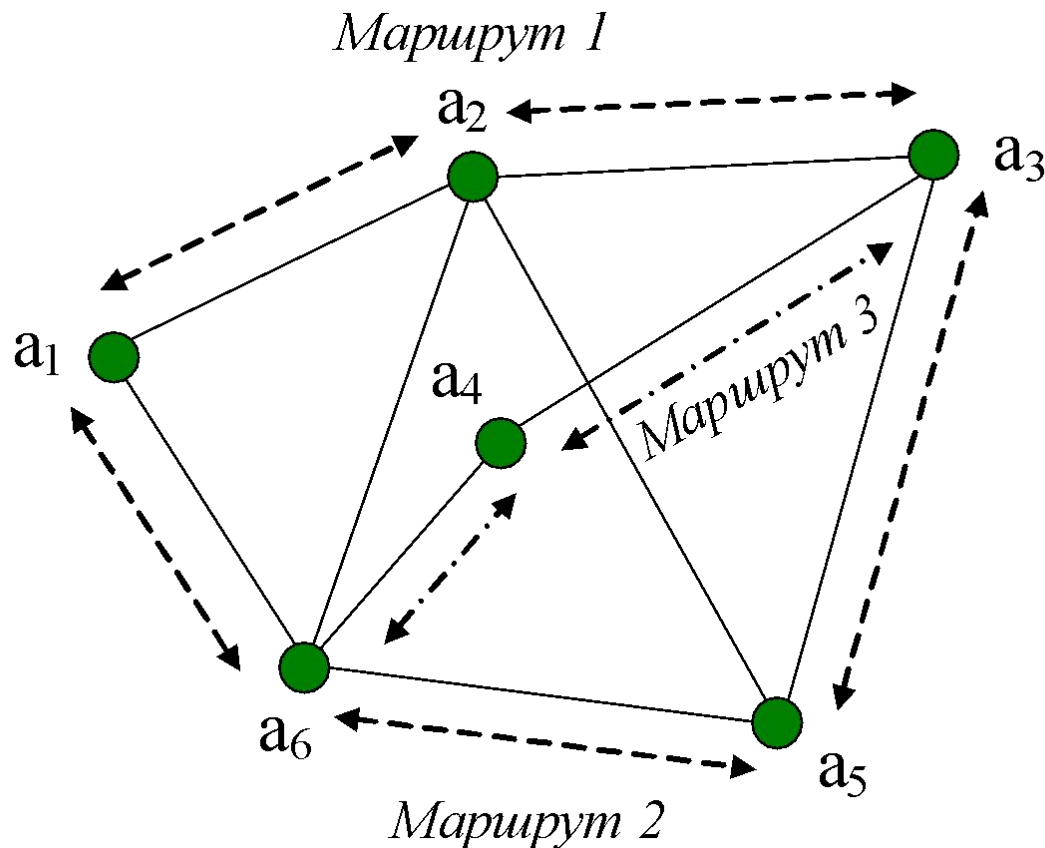


Структурные характеристики (1)

При анализе структуры сети электросвязи обычно решаются две задачи. Первая задача состоит в том, чтобы определить соответствие структуры сети требованиям, поставленным перед инфокоммуникационной системой в целом. Вторая задача связана с возможностью адаптации структуры сети к новым требованиям. Национальная сеть связи общего пользования всегда имеет иерархическую структуру. Выбор уровней иерархии обычно осуществлялся с учетом административного деления страны. Такое решение было принято по двум причинам. Во-первых, в математике еще не существует универсального метода оптимизации сложных иерархических систем. Исследованные модели либо носят частный характер, либо очень сложны для решения практических задач. Во-вторых, административное деление страны решает задачи управления государством. Сети общего пользования играют важную роль в решении задач управления. Поэтому выбор иерархических уровней – вне зависимости от условий оптимальности – следует рассматривать как заранее заданное ограничение при постановке задач анализа структурных характеристик телекоммуникационных сетей.

Структурные характеристики (2)

Анализ структурных характеристик осуществляется при помощи модели сети в виде графа. Примеры графа были приведены в восьмой лекции. На рисунке показан граф произвольной структуры. Эта модель хорошо представляет фрагмент IP сети.



Структурные характеристики (3)

Совокупность маршрутов между каждой парой узлов сети – важное свойство телекоммуникационной сети. На графе оно обычно оценивается при помощи матрицы путей. Если пути неравнозначны (как предполагается на рассматриваемой модели), то устанавливается вес маршрута. Он может быть выражен длиной пути или его стоимостью. Кроме того, выделяется степень вершины графа – количество входящих и исходящих ребер. Для графа, представленного выше, степень вершины a_1 равна двум, а a_3 – трем. В произвольном графе каждая из N вершин может иметь разную степень W_i . Среднее значение степени вершин графа \bar{W} определяется следующим образом:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i .$$

Неравноценность вершин графа может быть оценена при помощи дисперсии исследуемой оценки σ_W^2 и коэффициента вариации k_W :

$$\sigma_W^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{W} - W_i)^2 , \quad k_W = \frac{\sigma_W}{\bar{W}} .$$

Общая тенденция развития телекоммуникационных сетей заключается в снижении числа иерархических уровней и количества вершин на каждом уровне иерархии. Это означает, что возрастает величина \bar{W} и постепенно снижается уровень k_W .

Задачи синтеза структуры сети (1)

Для сети междугородной связи места размещения конечных коммутационных станций определены территориальным делением государства. Основная задача планирования сети заключается в определении мест размещения транзитных станций и оптимальной структуры линий связи. Затраты на линии связи составляют доминирующую долю стоимости междугородной сети.

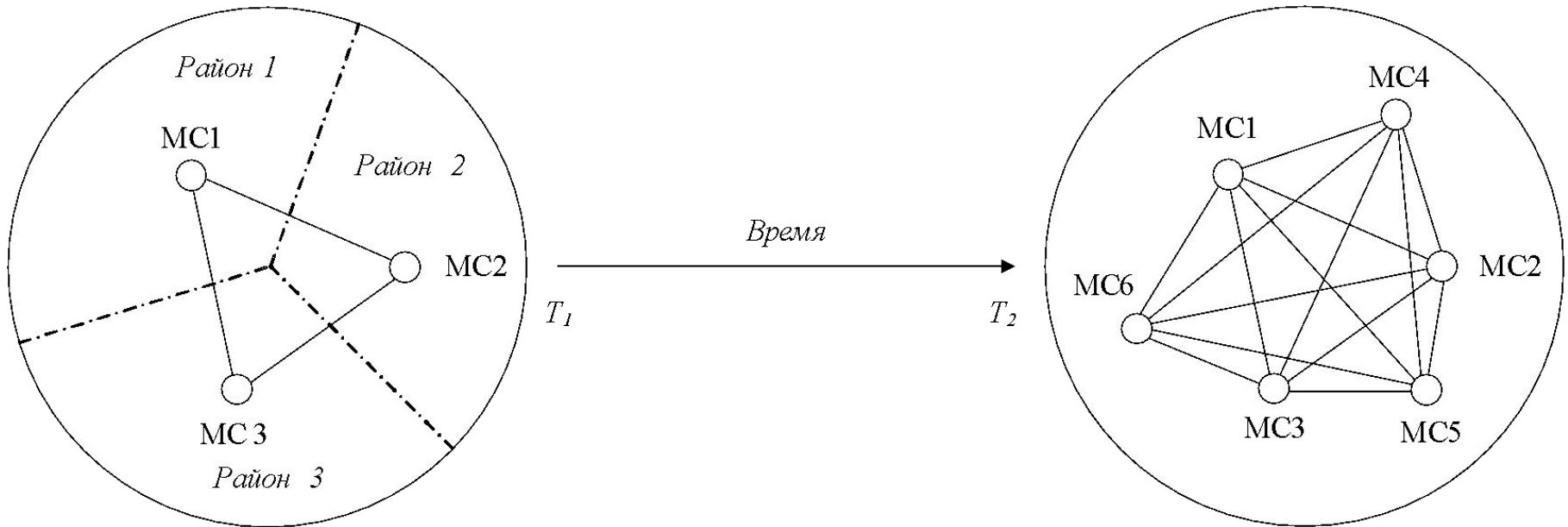
Похожая ситуация складывается с сетями сельской связи. Места размещения опорных коммутационных станций определены исторически сложившимися обстоятельствами. Затраты на линии связи составляют существенную долю стоимости сельской сети. Иное положение свойственно сетям городской связи. В задачу планирования сети входит поиск мест размещения коммутационных станций. Кроме того, затраты на коммутационное оборудование и линии связи соизмеримы.

Задачи синтеза структуры сети (2)

Для синтеза структуры телекоммуникационных сетей, эксплуатируемых в настоящее время, были разработаны соответствующие математические методы. Они базировались на классических методах теории графов, оптимизации, управления запасами, принятия решений. Большинство принятых ранее решений нельзя изменить. Поэтому представляется целесообразным рассматривать задачи синтеза перспективных телекоммуникационных сетей как возможность минимизировать имеющиеся недостатки.

Сложившееся положение в значительной мере обусловлено объективными причинами. Правда, и субъективные ошибки, допущенные при планировании сетей, также нельзя игнорировать. Их анализ полезен с точки зрения предупреждения возможных ошибок при построении перспективных телекоммуникационных сетей. На следующем слайде показан пример объективных ошибок, вызванных ростом количества абонентов, возможность которого либо не учитывалась, либо была игнорирована.

Задачи синтеза структуры сети (3)



В левой части рисунка показана сеть, в которой установлены три конечные станции. Каждая из станций обслуживает абонентов одного района. Структура сети, показанная в левой части модели, сложилась к моменту T_1 . Возможно, что выбор количества конечных станций, мест их размещения, емкости линий связи были выбраны оптимально. Это означает, что структура сети оптимальная к моменту T_1 .

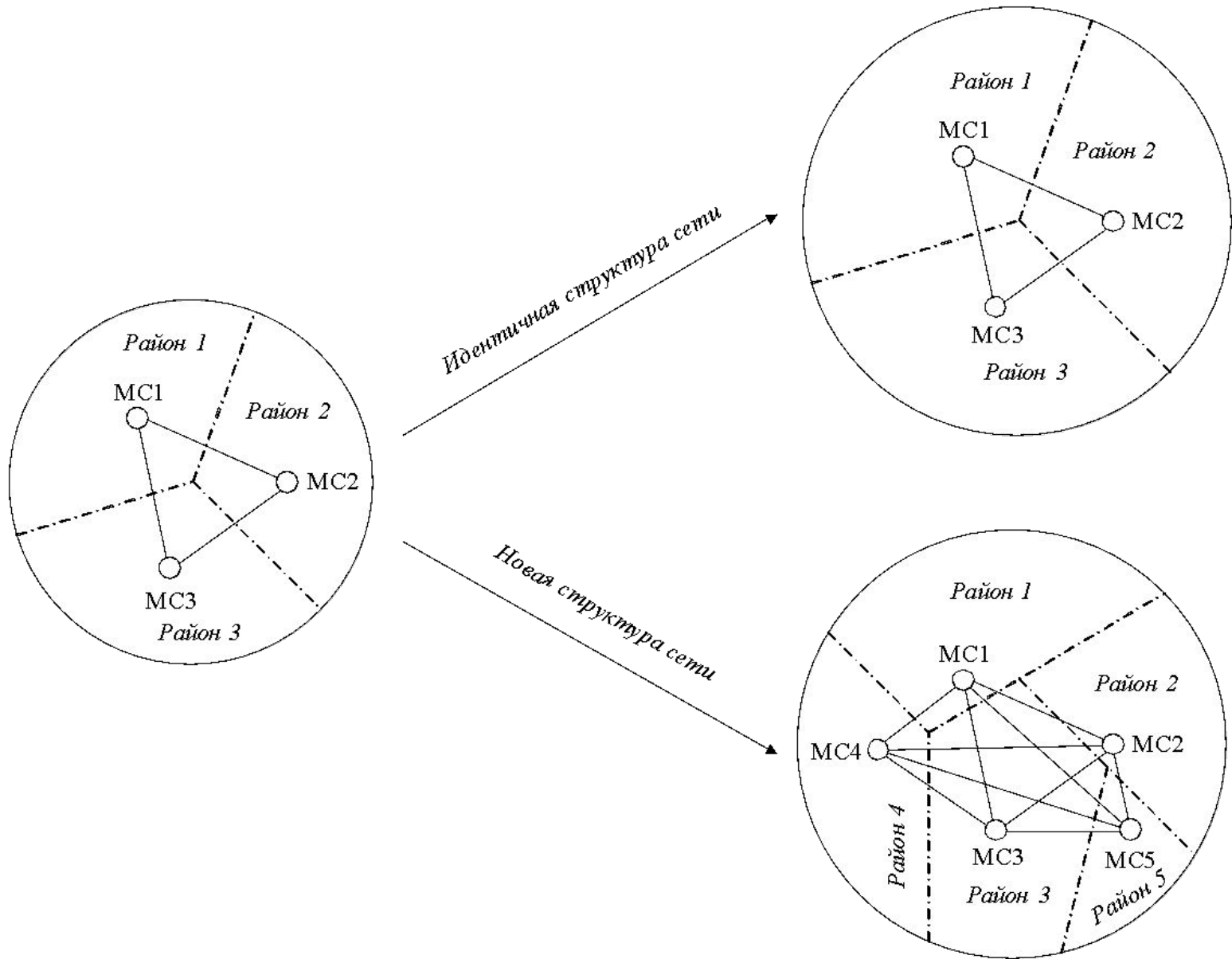
Задачи синтеза структуры сети (4)

В перспективе – к моменту времен T_2 – возросла численность абонентов. Предположим, что емкость всех трех конечных станций не могла быть увеличена. Такая ситуация была характерна для телефонных сетей, построенных на декадно-шаговом оборудовании. В результате приходится ввести еще несколько конечных станций. В правой части рисунка показаны три новые станции. Очевидно, что наличие прогностических оценок относительно роста количества потенциальных абонентов могло бы способствовать более экономичному построению сети.

Допустим, что наличие таких оценок позволяет получить новый вариант структуры сети, состоящей, например, из пяти станций, расположенных не в тех точках, которые были выбраны при планировании сети. С практической точки зрения новый вариант структуры сети не представляет ценности. Задача планирования перспективной сети заключается в оптимальном развитии той структуры, которая уже создана.

Решение подобных задач целесообразно осуществлять с учетом как внешних, так и внутренних факторов. К внешним факторам относятся экономические прогнозы, позволяющие, например, определить платежеспособный спрос, ожидаемое расширение территории городов и сельских населенных пунктов, демографические изменения. Внутренние факторы связаны, в основном, с инфокоммуникационными технологиями, современными услугами и важнейшими тенденциями развития системы связи.

Задачи синтеза структуры сети (5)



Задачи синтеза структуры сети (6)

В правой верхней части рисунка показана та же структура сети, но зона обслуживания каждой оконечной станции расширена. Подобное решение требует повышения емкости всех оконечных станций. Тогда оптимизационная задача заключается в определении емкости всех оконечных станций. Это означает, что расширяются географические границы каждого района. По всей видимости, могут существенно измениться принципы построения сети доступа.

В правой нижней части рисунка изображена новая структура сети. Она состоит из пяти оконечных станций. В этом случае оптимизационная задача связана с выбором количества новых станций (цифра "5" указана условно), мест их расположения, а также организацией связи с действующими системами коммутации.

Для обоих вариантов могут использоваться различные методы оптимизации. В настоящее время существенный интерес связан с методами полного перебора возможных вариантов. Такой подход обусловлен тремя факторами. Во-первых, использование компьютеров во многих случаях позволяет сравнительно быстро перебрать возможные варианты решения задачи. Во-вторых, множество возможных решений часто ограничено несколькими вариантами. В-третьих, точность решения ряда задач перестала влиять на оптимальный выбор пути модернизации инфокоммуникационной системы в целом.

Вопросы?