

Принципы выбора структуры сети

План лекции

1. Структура сети электросвязи.
2. Анализ и синтез структуры сети электросвязи.
3. Факторы построения и развития сетей электросвязи.
4. Методы оптимизации.
5. Структурные характеристики транспортной сети, исследуемой посредством графа.
6. Задачи синтеза структуры сети.
7. Изменение оптимальной структуры сети.
8. Об устойчивости решений по выбору структуры сети
9. Подход к получению комплексных оценок качества функционирования сети.

10. Замечания относительно ранжирования ССПСОП согласно критериям, выраженным количественными характеристиками.
11. Замечания относительно ранжирования коммутаторов относительно критерия «Применимые сетевые функции».
12. Планирование инфокоммуникационного бизнеса

Структура сети электросвязи

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.

Анализ и синтез структуры сети электросвязи

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.

Факторы построения и развития сетей электросвязи

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

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.

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.

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.

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 $f(x)$.

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 :

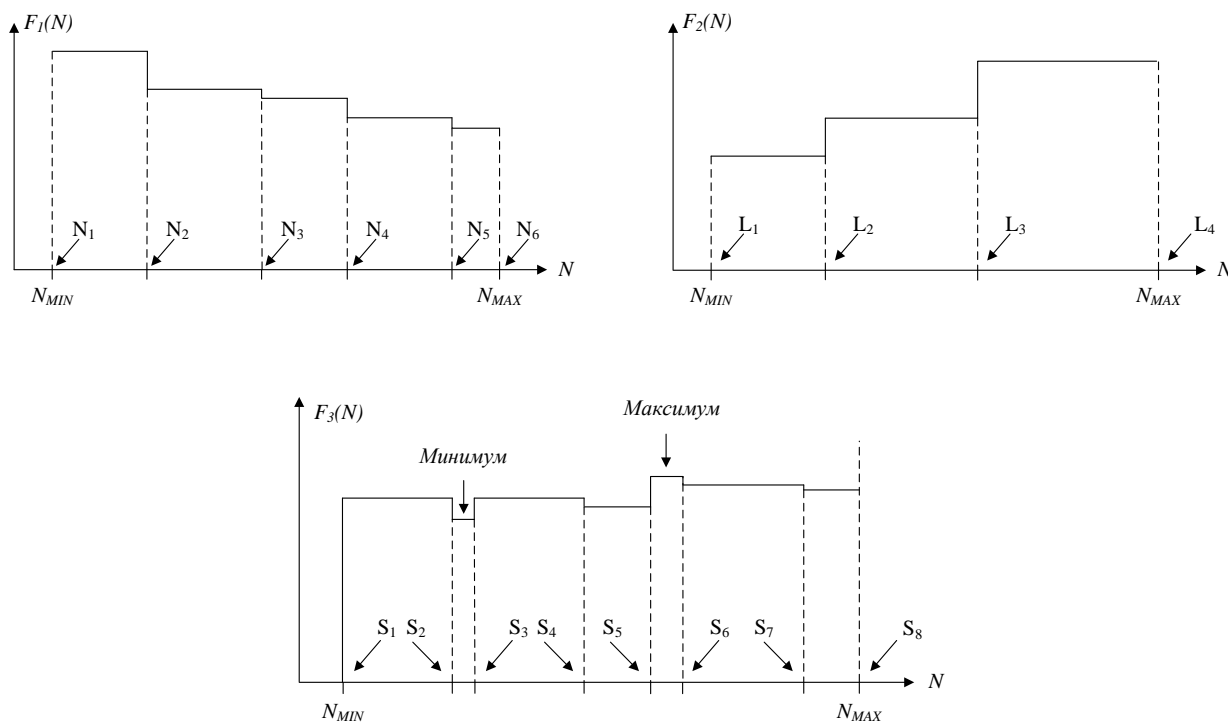
$$x_k = a + (k-1) \frac{b-a}{N}, \quad k = \overline{1, N+1}.$$

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



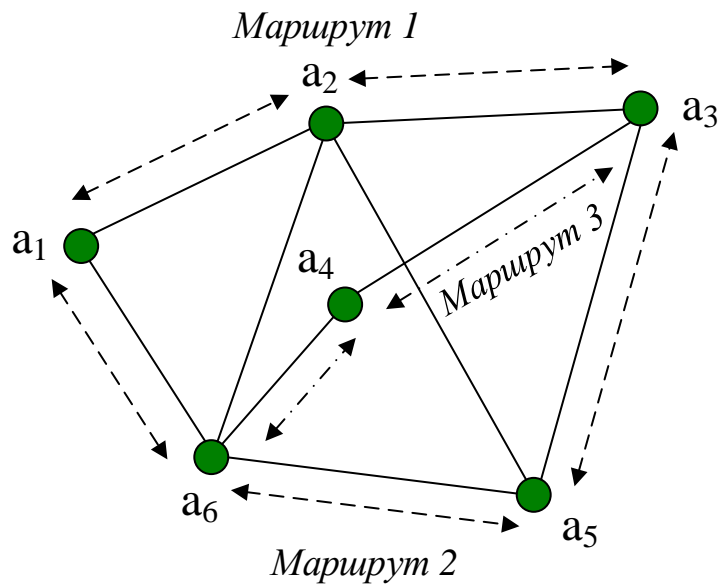
Структурные характеристики транспортной сети, исследуемой посредством графа.

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.

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



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

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.

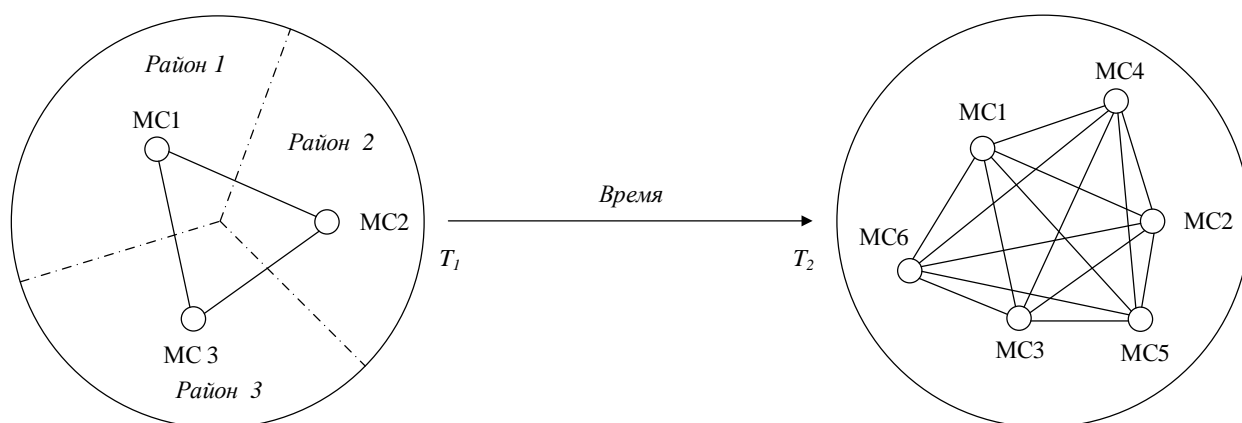
Иное положение свойственно сетям городской связи. В задачу планирования сети входит поиск мест размещения коммутационных станций. Кроме того,

затраты на коммутационное оборудование и линии связи соизмеримы.

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 рисунке показан пример объективных ошибок, вызванных ростом количества абонентов, возможность которого либо не учитывалась, либо была игнорирована.

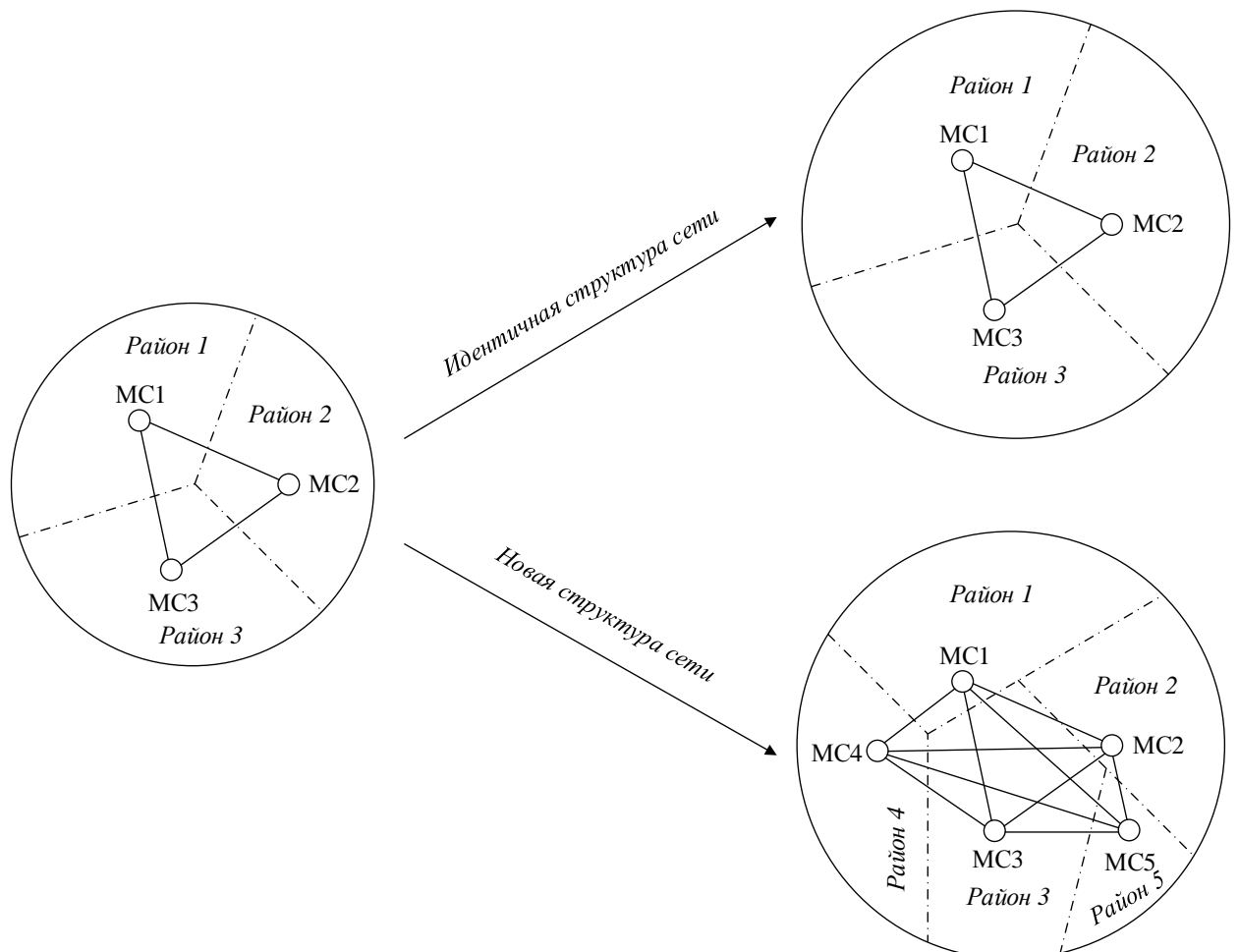


В левой части рисунка показана сеть, в которой установлены три конечные станции. Каждая из станций обслуживает абонентов одного района. Структура сети, показанная в левой части модели, сложилась к моменту T_1 . Возможно, что выбор количества конечных станций, мест их размещения, емкости линий связи были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

В перспективе – к моменту времен T_2 – возросла численность абонентов. Предположим, что емкость всех трех оконечных станций не могла быть увеличена. Такая ситуация была характерна для телефонных сетей, построенных на декадно-шаговом оборудовании. В результате приходится ввести еще несколько оконечных станций. В правой части рисунка показаны три новые станции. Очевидно, что наличие прогнозных 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

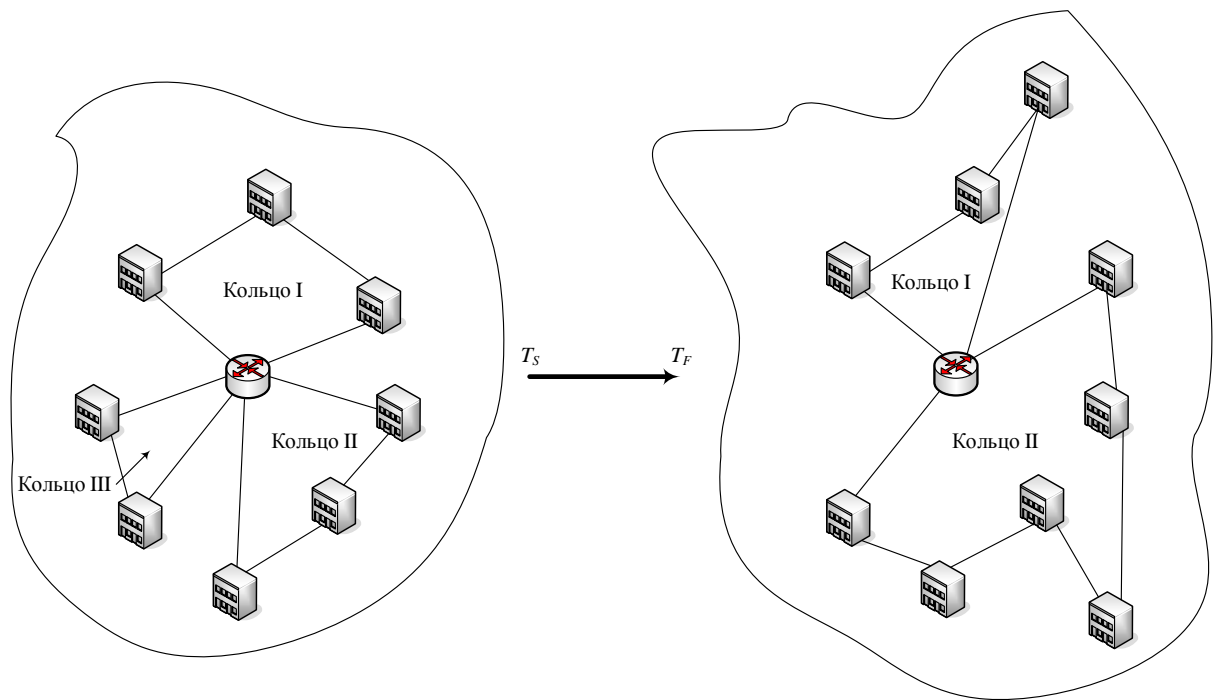
В правой верхней части рисунка показана та же структура сети, но зона обслуживания каждой оконечной станции расширена. Подобное решение требует повышения емкости всех оконечных станций. Тогда оптимизационная задача заключается в определении емкости всех оконечных станций. Это означает, что расширяются 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.

Изменение оптимальной структуры сети

Территория пристанционного участка



Для определения критерия рациональности структуры сети целесообразно ввести функцию ее стоимости $F(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_n)$. Данная функция введена в работе [4], где автор рассматривает x_1, x_2, \dots, x_m в качестве «ключевых» переменных, влияющих на функцию стоимости сети, а переменные y_1, y_2, \dots, y_n являются второстепенными, не влияющими на изменение введенной функции стоимости. Таким образом, если рассматривать введенную выше функцию стоимости как элемент построенной математической

модели, то она является не чувствительной к изменению параметров y_1, y_2, \dots, y_n .

Условие существования рационального решения автор [4] определяет в форме следующих условий при задании ограничений функции стоимости снизу и сверху:

$$F(x_1^{\min}, x_2^{\min}, \dots, x_m^{\min}, y_1, y_1, \dots, y_n) \geq \Psi_{\min}$$

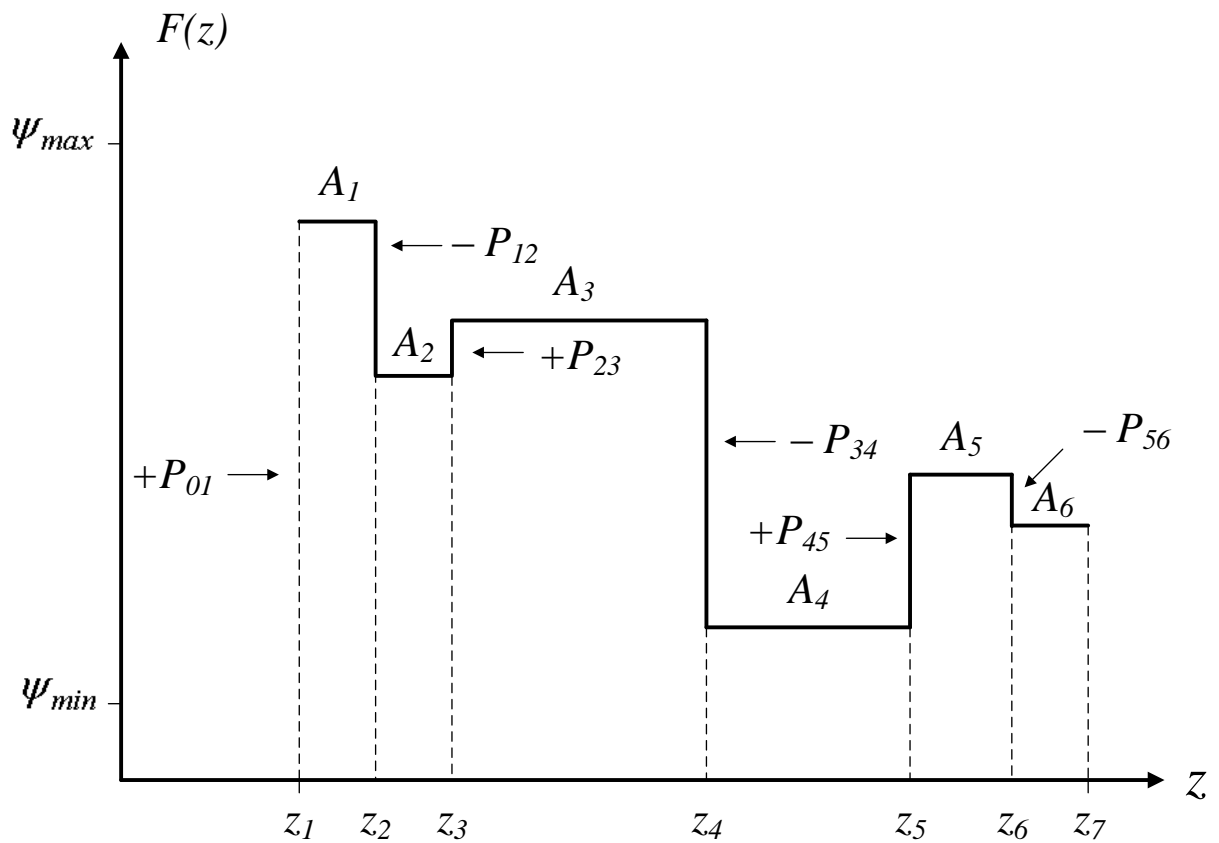
$$F(x_1^{\max}, x_2^{\max}, \dots, x_m^{\max}, y_1, y_1, \dots, y_n) \leq \Psi_{\max}$$

В приведенном ниже графике, в отличие от работы [4], где по оси абсцисс рассматривается время t , здесь введено значение z , обозначающее z -й вариант модернизации сети. В приведенном ниже графике, данный параметр является ключевым. Изменения функции $F(z)$ происходят при смене варианта z . На протяжении времени действия z -о варианта, значение функции $F(z)$ остается неизменным и равным A_j , что характеризует ступенчатую функцию.

События, происходящие при смене варианта z_i происходят с вероятностью P_{ij} , где i является индексом текущего варианта, а j индексом нового варианта z_j .

Увеличение значения функции $F(z)$ при смене варианта построения сети может означать либо линейное расширение емкости сети в части абонентских портов или портов СЛ, либо ввод новых абонентских сервисов и сетевых функций, включая прикладные функции сети сигнализации ОКС 7.

Уменьшение значения функции $F(z)$ при смене варианта построения сети может означать выбор более экономичных вариантов построения сети, например, в части транспортных функций переноса сигнальной информации (например, SIGTRAN), либо увеличение емкости вторичной сети, уменьшающей общую себестоимость построения сети за счет удельной (в расчете на один порт) стоимости коммутационных систем.



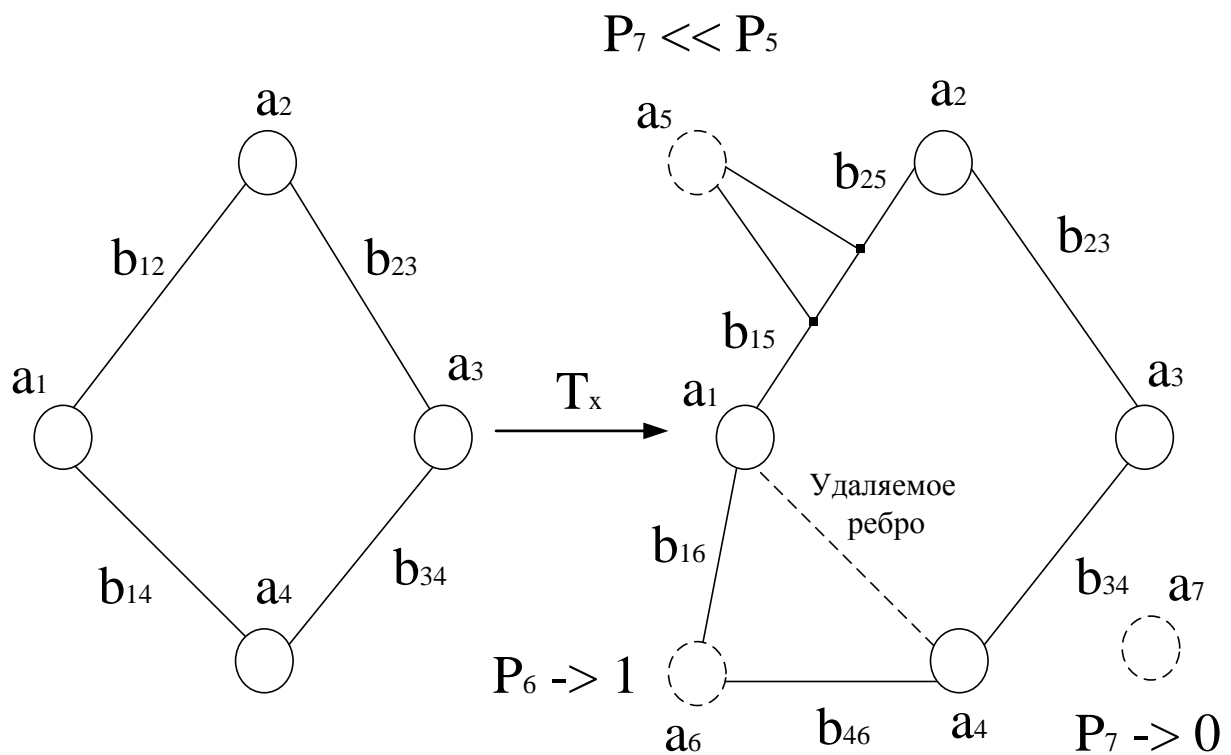
Об устойчивости решений по выбору структуры сети

Методологически, при планировании транспортной сети стремятся выбрать наиболее стабильное решение построения сети, где каждому сетевому узлу соответствует своя вероятность практической реализации. Ниже, в качестве примера, приводятся модели структуры эксплуатируемой и планируемой сети [4].

В правой части представлена модель сети, которая будет создана через период времени T_x . При разработке модели сети на период времени T_x используются три предположения:

I. С вероятностью близкой к «1» в графе появляется новая вершина a_6 . Если кабель между узлами a_1 и a_4 подлежит замене при модернизации сети, то ребро графа между вершинами a_1 и a_4 удаляется. Вместо него проектируется новый маршрут: « $a_1 - a_6 - a_4$ », состоящий из ребер b_{16} и b_{46} . Прямая трасса между узлами a_1 и a_4 сохраняется наряду с проектируемой, если кабель прямой трассы отвечает нормам качества обслуживания. Модель транспортной сети будет в этом случае состоять из двух колец.

II. Вероятность появления вершины a_7 - p_7 близка к «0», следовательно даже при необходимости замены кабеля на участке b_{34} , обходной маршрут через узел a_7 не планируется.



Модели структуры эксплуатируемой и планируемой сети

Вводится термин "стабильное решение" как перевод словосочетания "stable solution". Термин "стабильное решение" напрямую связан с анализом чувствительности (sensitivity analysis) – процессом определения влияния на результаты анализа одной или нескольких ключевых переменных. Анализ чувствительности рассматривается как формализованное определение серии вопросов типа "что если".

III. Вершина a_5 появится с вероятностью p_5 , которая далека от «1», но намного превышает p_7 ($P_7 \rightarrow \ll 0 \gg$). Возможным решением является выделением двух пунктов на ребре между сетевыми узлами a_1 и a_2 . Посредством этих пунктов будут созданы две трассы к вершине a_5 для формирования кольца.

Подход к получению комплексных оценок качества функционирования сети.

Для оценки качества функционирования сети оператора электросвязи, например ССПСОП, возможен комплексный подход, основанный на применении эвристических методов анализа и принятия решений [6]. Этот подход позволяет получить комплексную оценку качества

функционирования сетей электросвязи, согласно выбранным критериям.

В качестве критериев оценки качества функционирования сети могут рассматриваться следующие:

1. *Применяемые сетевые услуги* (SMS, USSD, голосовой почтовый ящик, приложения Java, услуги унаследованные от ТФОП/ЦСИО, например CH, CW, UCF, CFB, CFU, CUG, услуги обновления данных местонахождения, возможности переадресации входящего вызова, включение/выключение IMSI в процесс обслуживания вызовов, другие специфические функции ССПСОП.
2. *Потери вызовов* вследствие отсутствия свободных каналов в MSC/GMSC в ЧНН на участке соединения MS – BSS (согласно рекомендациям E.770, вероятность потери вызова 0,01).
3. *Потери вызовов* вследствие недостатка канальных ресурсов в MSC в ЧНН на участке соединения MSC/GMSC –

стационарные сети электросвязи
(согласно рекомендациям Е.770,
вероятность потери вызова 0,005)

4. Среднее значение «Задержка сигнала
ответ» в течении нормальных условий
сетевой нагрузки:

- Местное соединение (типы связи F-M,
M-F, согласно рекомендациям Е.771,
1 с.).
- Междугороднее соединение (типы
связи F-M, M-F, согласно
рекомендациям Е.771, 1,75 с.).

5. Среднее значение задержки
освобождения вызова в течении
нормальных условий сетевой нагрузки
для всех типов соединений всех
направлений, согласно рекомендациям
Е.771, составляет 1 с.

6. Среднее значение ожидания сигнала
обратного направления от момента
передачи сети адресной информации,

принимая во внимание запросы абонентских баз данных.

- Местное соединение (типы связи М-Ф, Ф-М, согласно рекомендациям Е.771, среднее значение времени ожидания сигнала обратного направления составляет 3 с.).
 - Междугороднее соединение (типы связи М-Ф, Ф-М, согласно рекомендациям Е.771, среднее значение времени ожидания сигнала обратного направления составляет 3 с.).
7. Вероятность неуспешной реализации процедуры переключения вызова согласно рекомендациям Е.771 составляет 0,005.
8. Разъединение соединения в течении активной фазы соединения менее или равна 2×10^{-5} .

9. Вероятность не успешного освобождения соединения менее или равна 2×10^{-5} .
10. Вероятность ошибочной тарификации или выписки счетов за услуги связи менее или равна 10^{-4} .
11. Вероятность ошибочной маршрутизации вызова менее или равна 10^{-4} . Имеется в виду вероятность попытки вызова, когда на станции прошел анализ адресной информации, в результате чего вызов направлен по не корректному маршруту.
12. Вероятность отсутствия тонального сигнала меньше или равна 10^{-4} .
13. Вероятность других неисправностей менее или равна 10^{-4} .

Конечно могут быть введены некоторые дополнительные критерии, чью важность достаточно трудно оценить. Это могут быть, например, масштабируемость оборудования,

проблемы сетевого (межсетевого) взаимодействия, количество жалоб абонентов и т.д. Предполагается оценивать аналогичные ССПСОП в части территориально-частотного плана, конфигурации сети, относящейся к обязательным и альтернативным сетевым интерфейсам, а также количество абонентских баз данных с предопределенным лимитом абонентов визитеров.

На первом этапе решения предполагается ранжирование сетевой функциональности, сведенное в матрицу попарных сравнений, с целью раскрыть вес каждого критерия среди всего множества критериев.

На втором этапе решения, эффективность функционирования ССПСОП реализуется посредством попарных сравнений для каждого введенного критерия по множеству рассматриваемых ССПСОП.

Конечным решением задачи является вектор относительных весов, где каждый

КОМПОНЕНТ вычисляется как результат произведения вектора-столбца весов введенных в модель критериев на матрицу относительных весов каждого критерия по ряду объектов (рассматриваемых ССПСОП). Более популярно, приведенная выше математическая операция может поясняться приведенной ниже таблицей 1, включающей в себя *гипотетический пример* оценки функционирования ряда ССПСОП согласно введенным в модель критериям.

Таблица 1

Название критерия	Относительные веса по оценкам критериев	Наименование объекта	Относительные веса по каждому критерию по объектам
Количество абонентских сервисов (ДВО)	0,1739	Сеть А	0,1579
		Сеть В	0,6315
		Сеть С	0,2105
Доля потерь вызовов вследствие недостатка канальных ресурсов на участке соединения MS - BSS	0,1739	Сеть А	0,0769
		Сеть В	0,3077
		Сеть С	0,6154
Доля потерь вызовов вследствие недостатка канальных ресурсов на участке соединения MSC/GMSC – стационарные сети электросвязи	0,0869	Сеть А	0,6
		Сеть В	0,2
		Сеть С	0,2
Доля неуспешных переключений вызова	0,0434	Сеть А	0,2258
		Сеть В	0,6774
		Сеть С	0,0967
Среднее значение задержки сигнала ответ для местных соединений.	0,1739	Сеть А	0,4666
		Сеть В	0,4666
		Сеть С	0,066
Количество несоблюдений SLA	0,3478	Сеть А	0,8536
		Сеть В	0,1219
		Сеть С	0,0244

Примечание:

←————→ обозначает операцию матричного умножения, в результате которой «сеть А» оценивается по ряду критериев и можно видеть «какое значение веса вносит каждый из критериев» при рассмотрении сети А по каждому из критериев.

Аналогичному умножению подлежит вектор-столбец относительных весов критериев для сетей В и С (в таблице данное умножение не показано), в результате чего будет получен вектор относительных весов оценок качества функционирования рассматриваемых сетей по всем введенным в модель критериям.

Далее, кратко изложим математический аппарат получения комплексных оценок функционирования сетей связи.

Допустим, что веса соответствующих критериев равняются a_1, a_2, \dots, a_n . Предполагается, что результаты попарных сравнений, согласно этим весам, выражены в следующей матрице.

$$|A| = \begin{vmatrix} a_1/a_1 & a_1/a_2 & \dots & a_1/a_n \\ a_2/a_1 & a_2/a_2 & \dots & a_2/a_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n/a_1 & a_n/a_2 & \dots & a_n/a_n \end{vmatrix}$$

Далее, необходимо найти вектор относительных весов ω , удовлетворяющий следующим равенствам:

$$A\omega = n\omega$$

$$(A - n \times I)\omega = 0$$

В результате вычисляется следующий вектор относительных весов: $\omega^{(\lambda_{\max})} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$

Второй этап решения задачи состоит в вычислении вектора относительных весов, когда степень важности рассматриваемых объектов (ССПСОП) проходит попарные сравнения согласно каждому введенному ранее критерию. Соответствующие формы матриц выглядят в общем виде следующим образом:

Критерий 1

$$|A| = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ a_1 & \left| \begin{array}{c} a_1 / a_1 \\ a_1 / a_2 \\ \dots \\ a_1 / a_n \end{array} \right. & & & \\ a_2 & \left| \begin{array}{c} a_2 / a_1 \\ a_2 / a_2 \\ \dots \\ a_2 / a_n \end{array} \right. & & & \\ \dots & & & & \\ a_n & \left| \begin{array}{c} a_n / a_1 \\ a_n / a_2 \\ \dots \\ a_n / a_n \end{array} \right. & & & \end{matrix}$$

.....

Критерий n

$$|A| = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ a_1 & \left| \begin{array}{c} a_1 / a_1 \\ a_1 / a_2 \\ \dots \\ a_1 / a_n \end{array} \right. & & & \\ a_2 & \left| \begin{array}{c} a_2 / a_1 \\ a_2 / a_2 \\ \dots \\ a_2 / a_n \end{array} \right. & & & \\ \dots & & & & \\ a_n & \left| \begin{array}{c} a_n / a_1 \\ a_n / a_2 \\ \dots \\ a_n / a_n \end{array} \right. & & & \end{matrix}$$

В соответствующей матричной записи, значения a_1, a_2, \dots, a_n выражают степень важности соответствующей PLMN (а именно, $PLMN_1, PLMN_2, \dots, PLMN_n$) согласно определенному критерию. Также вычисляется максимальное собственное число и вектор относительных весов оценок для каждой из приведенных выше матриц.

Заключительно, имеется следующее произведение вектора относительных весов,

основанное на матрице попарных сравнений весов критериев и степеней важности объектов, сведенных в матрицы относительных весов, согласно каждому критерию.

$$\begin{array}{c|cccc} \omega_{11} & \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2n} \\ \omega_{31} & \omega_{31} & \omega_{32} & \dots & \omega_{3n} \\ \omega_{41} & \omega_{41} & \omega_{42} & \dots & \omega_{4n} \end{array} \times \begin{array}{c|cccc} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2n} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \dots & \omega_{3n} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \dots & \omega_{4n} \end{array} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$$

при условии $\sum_{i=1}^I \omega_i = 1$

Количество столбцов во втором приведенном выше множителе соответствует количеству введенных критериев. В свою очередь, каждая строка соответствует одной из рассматриваемых ССПСОП.

Замечания относительно ранжирования ССПСОП согласно критериям, выраженным количественными характеристиками

Чтобы получить экспертные оценки функциональности ССПСОП согласно выбранным критериям, необходимо преобразовать параметры, выражающие их, посредством нормализации в диапазоне от 0 до 10, а именно:

$$a_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^I y_i} \times 10, \quad (1), \quad \text{где}$$

y_i - значения параметра, выражающего выбранный параметр для i -й рассматриваемой ССПСОП;

a_i - значение, выражающее степень важности объекта согласно соответствующего критерия;

При рассмотрении критерия, выражающего максимальные потери вызовов в ЧНН, предполагается оценить относительную точность, по сравнению с действительными и допустимыми потерями вызовов для каждой ССПСОП. В этом случае параметр, выражающий потери вызовов, перед нормализацией преобразуется следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_i = \frac{|P_r - P_a|}{|P_a|}, \quad \text{и } P_r \leq P_a; \quad 0 \leq a_i \leq 10; \\ a_i = 0, \text{ если } P_r = P_a \text{ и } Y_i = 0; \end{array} \right.$$

P_r – максимальные явные потери вызовов.

P_a – максимальные допустимые потери вызовов в ССПСОП;

Для a_i (см. выражение (1)) может быть применен подход аналогичный приведенному выше при оценках средних значений времен пребывания заявок MS в компонентах ССПСОП. В этом случае значения P_r и P_a должны быть заменены соответствующими значениями \bar{T}_r и \bar{T}_a

Замечания относительно ранжирования коммутаторов относительно критерия «Применимые сетевые функции»

Чтобы получить числовое значение, выражающее соответствующий критерий, предполагается использовать двухзначную логику, согласно которой, если в ССПСОП реализована рассматриваемая функция, то переменной присваивается значение «1», в противном случае «0». Далее, a_i определяется аналогичным способом.

При этом, чтобы исключить деление на «0» в матрице попарных сравнений степени

важности критериев, выражение (1) предлагается свести к следующему выражению (2)

$$a_i = \sum_{i=1}^I y_i \quad (2)$$

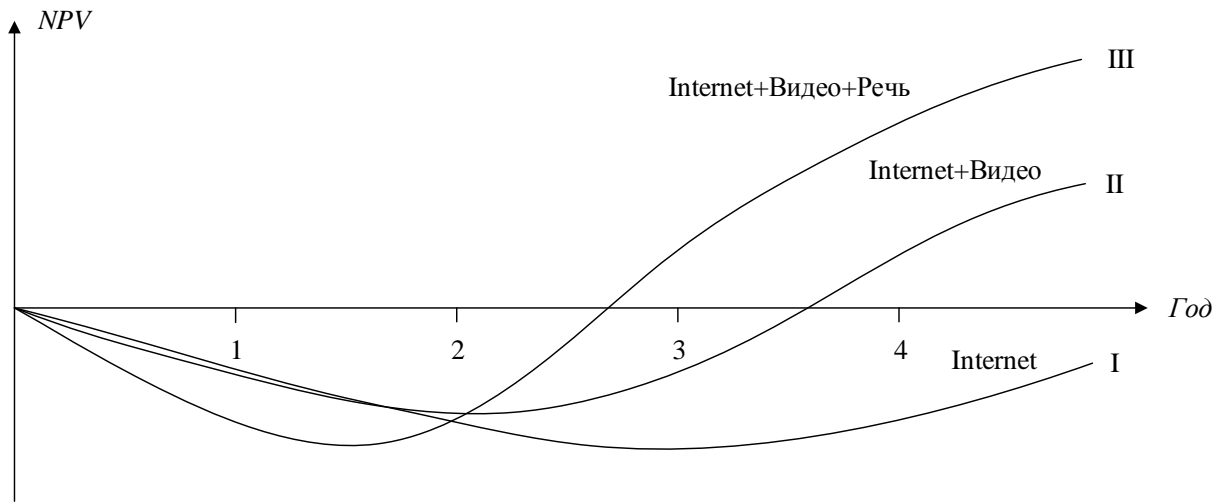
Планирование инфокоммуникационного бизнеса

На приведенном ниже рисунке [2] представлены три кривые *чистой текущей стоимости*. Они иллюстрируют возможные решения оператора по развитию инфокоммуникационного бизнеса. Стратегия ориентирована на один вид деятельности – поддержку услуг Интернет. Судя по характеру кривой, в течении пяти лет инвестиции оператора не окупятся. В некоторых проектах срок окупаемости устанавливается инвестором. Если предположить, что максимальный срок

окупаемости установлен на уровне 4 лет, то стратегия I не может быть принята, что характерно для принятия решений при планировании сети.

Если оператор будет предоставлять услуги Интернет и видеоинформации (стратегия II), то примерно за три с половиной года вложенные средства окупятся. В дальнейшем доходы оператора будут превышать издержки.

Стратегия III предусматривает еще обслуживание трафика речи. Судя по приведенному ниже графику, возврат инвестиций возможен менее чем за три года, при максимальных относительно первых двух стратегий доходов.



Три стратегии развития инфокоммуникационного бизнеса

