

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ "КИЕВСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ"

Романов А.И.

## Основы теории телекоммуникационных сетей

Киев  
2002год

ББК

УДК 621.39

**Романов А.И.**

Основы теории телекоммуникационных сетей: Учебное пособие  
для вузов - К., 2002 – 152с., ил.84

В учебном пособии рассматриваются основы теории телекоммуникационных сетей, их основные характеристики и принципы организационно – технического построения. Даются элементы математического аппарата, позволяющего производить оценку качества функционирования телекоммуникационных сетей, а также решать простейшие задачи анализа и синтеза их элементов. Анализируются методы управления процессами функционирования сетей, способы защиты их от перегрузок и алгоритмы взаимодействия элементов системы управления в ходе решения возложенных на них задач.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину "Основы теории телекоммуникационных сетей", а также может быть полезно специалистам, работающим в области проектирования телекоммуникационных сетей и методов управления ими.

С замечаниями и предложениями обращаться по адресу:  
02217 Киев-217 ул. Маяковского 14/13 кв 133  
тел. 515-73-84  
290-65-84  
291-23-23

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение

**Глава 1. Основные элементы телекоммуникационных сетей, их назначение и функции.**

- 1.1 Назначение и состав телекоммуникационных сетей.
- 1.2 Терминалы телекоммуникационных сетей.
- 1.3 Линии связи.
- 1.4 Системы коммутации телекоммуникационных сетей.
- 1.5 Виды оперативной коммутации на телекоммуникационных сетях.
- 1.6 Особенности функционирования сетей с КП в режиме виртуальных соединений и датаграммном режиме.
- 1.7 Классификация телекоммуникационных сетей.

**Глава 2. Математическое описание телекоммуникационных сетей.**

- 2.1 Цели и задачи математического описания телекоммуникационных сетей.
- 2.2 Морфологическое описание телекоммуникационной сети с помощью графа
- 2.3 Морфологическое описание телекоммуникационной сети в матричной форме.
- 2.4 Задачи функционального описания телекоммуникационных сетей.
- 2.5 Поточковая модель телекоммуникационной сети.
- 2.6 Вероятностная модель телекоммуникационной сети.

**Глава 3 Структурно-топологическое описание телекоммуникационных сетей.**

- 3.1 Сущность структурно-топологического описания телекоммуникационных сетей..
- 3.2 Структура телекоммуникационных сетей и формы ее представления.
- 3.3 Типы и свойства элементарных структур телекоммуникационных сетей.
- 3.4 Типы и свойства сложных структур

- 3.5 Топология телекоммуникационных сетей
- 3.6.Стереология телекоммуникационных сетей

**Глава 4 Трафик телекоммуникационных сетей и его свойства**

- 4.1 Потоки заявок, их типы и свойства
- 4.2 Среднее время обслуживание заявок. Интенсивность обслуживания.
- 4.3 Нагрузка телекоммуникационных сетей.

**Глава 5 Показатели качества обслуживания заявок на телекоммуникационных сетях.**

- 5.1 Модель обслуживания заявок.
- 5.2 Способы обслуживания заявок.
- 5.3 Показатели качества обслуживания заявок в системах с потерями.
- 5.4 Показатели качества обслуживания заявок в системах с ожиданием.

**Глава 6 Методы расчета параметров систем распределения информации**

- 6.1 Способы включения обслуживающих приборов (каналов) в системах распределения информации.
- 6.2 Расчет параметров полnodоступных систем с потерями при поступлении простейшего потока заявок
- 6.3 Расчет параметров полnodоступных систем с потерями при поступлении примитивного потока заявок.
- 6.4 Расчет параметров полnodоступных систем с ожиданием
- 6.5 Расчет параметров полnodоступных систем.

**Глава 7 Приоритетное обслуживание заявок в телекоммуникационных сетях.**

- 7.1 Определение понятия категория заявки или источника информации.
- 7.2 Ценность информации, содержащейся в сообщении.

7.3 Пути обеспечения требуемого качества обслуживания категорированных заявок.

7.4 Показатели качества обслуживания заявок при абсолютном приоритете.

## **Глава 8 Основные характеристики телекоммуникационных сетей**

8.1 Пропускная способность телекоммуникационных сетей

8.2 Функционирующая нагрузка телекоммуникационных сетей

8.3 Соотношение между пропускной способностью и функционирующей нагрузкой в телекоммуникационных сетях

8.3 Живучесть телекоммуникационных сетей

8.4 Надежность функционирования телекоммуникационных сетей

## **Глава 9 Эффективность использования оборудования на телекоммуникационных сетях**

9.1 Понятие эффективности использования телекоммуникационных сетей.

9.2 Показатели эффективности использования телекоммуникационных сетей

9.3 Степень использования каналов на ветви телекоммуникационной сети

9.4 Показатели использования каналов на сети связи

## **Глава 10 Постановка задач и порядок расчета основных параметров телекоммуникационных сетей**

10.1 Постановка задач расчета параметров пропускной способности телекоммуникационных сетей.

10.2 Условия, ограничения и допущения, используемые при расчете пропускной способности телекоммуникационных сетей.

10.3 Постановка задачи расчета и оценки надежности функционирования телекоммуникационной сети.

10.4 Постановка задачи расчета живучести телекоммуникационной сети.

## **Глава 11 Методы расчета параметров телекоммуникационных сетей**

11.1 Расчет пропускной способности некоммутируемой телекоммуникационной сети

11.2 Порядок расчета надежности функционирования коммутируемой телекоммуникационной сети.

11.3. Порядок расчета пропускной способности коммутируемой телекоммуникационной сети. Прямая задача.

11.4 Расчет канальной емкости ветвей коммутируемой телекоммуникационной сети. Обратная задача оценки пропускной способности

## **Глава 12 Применение метода имитационного моделирования при исследовании телекоммуникационных сетей**

12.1 Методы моделирования телекоммуникационных сетей.

12.2 Предпосылки к применению метода ИМ

12.3 Общая задача имитационного моделирования и ее составляющие.

12.4 Краткая характеристика языков имитационного моделирования телекоммуникационных сетей.

12.5 Формирование исходных данных для имитационного моделирования.

12.6 Разработка алгоритма моделирования.

12.6 Разработка алгоритма моделирования.

## **Глава 13 Принципы организационно - технического построения телекоммуникационных сетей.**

13.1 Признаки, определяющие принцип организационно - технического построения телекоммуникационных сетей.

13.2 Анализ использования принципа прямых связей при построении телекоммуникационных сетей.

13.3 Использование базовой некоммутируемой сети при построении телекоммуникационных сетей по принципу прямых связей.

13.4 Построение телекоммуникационных сетей по принципу использования базовой коммутируемой сети.

13.5 Сравнительная оценка принципов организационно - технического построения телекоммуникационных сетей.

13.6 Пути автоматизации сетей связи.

## **Глава 14. Принципы зонообразования и адресования на телекоммуникационных сетях.**

- 14.1 Предпосылки и условия зонообразования на телекоммуникационных сетях.
- 14.2 Зонообразование на международной телекоммуникационных сетях.
- 14.3 Принципы зонообразования на государственной и ведомственных телекоммуникационных сетях.
- 14.3 Назначение системы адресования на телекоммуникационных сетях.
- 14.4 Переменная система адресования.
- 14.5 Постоянная система адресования.
- 14.6 Зоновая система адресования

## **Глава 15 Задачи управления на телекоммуникационных сетях и решающие их системы**

- 15.1 Цели и задачи управления на телекоммуникационных сетях
- 15.2 Системы управления на телекоммуникационных сетях
- 15.3 Обобщенная модель процесса управления телекоммуникационной сети
- 15.4 Классификация систем управления телекоммуникационными сетями.
- 15.5 Детализация задач системы управления телекоммуникационными сетями.
- 15.6 Алгоритмическая структура функционирования СУТС.
- 15.7 Классификация систем управления установлением соединений
- 15.8 Алгоритмическая структура функционирования СУУС.

## **Глава 16. Организационно-техническое построение систем управления телекоммуникационными сетями**

- 16.1 Централизованные системы управления телекоммуникационными сетями.
- 16.2 Зоновые системы управления телекоммуникационными сетями.
- 16.3 Децентрализованные системы управления телекоммуникационными сетями.
- 16.4 Комбинированные системы управления телекоммуникационными сетями.

## **Глава 17. План распределения нагрузки и методы его формирования.**

- 17.1 Формы представления плана распределения нагрузки.
- 17.2 Формирование плана распределения нагрузки в неавтоматизированных сетях связи.
- 17.3 Матричный метод формирования ПРН в автоматизированных сетях.
- 17.4 Формирование плана распределения нагрузки методом "рельефов".
- 17.5 Игровой метод формирования плана распределения нагрузки.

## **Глава 18 Методы управления установлением соединений**

- 18.1 Влияние обходных путей на качество функционирования телекоммуникационных сетей.
- 18.2 Пороговые методы управления использованием обходных путей.
- 18.3. Метод перестроений
- 18.4 Метод маршрутного приоритета
- 18.5 Волновой способ установления соединения на сетях с коммутацией каналов.
- 18.6 Волновой способ установления соединений на сетях с коммутацией пакетов.

## **Глава 19 Управление сетями связи в условиях перегрузки**

- 19.1. Динамика распространения перегрузки в сетях связи
- 19.2. Использование метода объемного приоритета для защиты сетей связи от перегрузок.

### **Введение**

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину "Основы теории телекоммуникационных сетей" в институте телекоммуникационных систем Национального Технического Университета Украины "КПИ". Основное содержание учебной дисциплины направлено на изучение принципов построения и функционирования

## Введение

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину "Основы теории телекоммуникационных сетей" в институте телекоммуникационных систем Национального Технического Университета Украины "КПИ". Основное содержание учебной дисциплины направлено на изучение принципов построения и функционирования телекоммуникационных сетей, их аналитических и имитационных моделей, анализу задач управления сетями и способов их решения, а также освоение основных методов расчета и оценки параметров этих сетей.

Дисциплина является составной частью теории сложных организационно - технических систем, использует знания, полученные студентами при изучении специальных разделов математики, развивает их в направлении углубления вопросов теории телетрафика применительно к телекоммуникационным сетям. Она обеспечивает системный подход к изучению средств и комплексов различных видов и родов связи, а также строящихся на их основе первичных и вторичных телекоммуникационных сетей.

Учебная дисциплина «Основы теории телекоммуникационных сетей» имеет целью дать студентам теоретические знания по принципам структурно - топологического и организационно - технического построения телекоммуникационных сетей, основным закономерностям их функционирования, и наиболее распространенным методам расчета сетевых параметров, необходимым для системного проектирования и исследования, как конкретных сетей связи, так и их типовых компонентов.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- теоретические основы построения телекоммуникационных сетей;
- основные характеристики и параметры телекоммуникационных сетей;
- основные типы моделей телекоммуникационных сетей и протекающие в них типовые процессы;
- принципы организационно - технического построения телекоммуникационных сетей;

- основные закономерности функционирования телекоммуникационных сетей;

- основные методы и методики расчета и оценки параметров телекоммуникационных сетей и их составляющих;

- основные задачи, принципы построения и основы функционирования систем управления телекоммуникационным сетями;

- методы решения задач управления на телекоммуникационных сетях.

Уметь:

- производить расчет и оценку основных параметров телекоммуникационных сетей;

- проводить анализ и синтез телекоммуникационных сетей;

- технически грамотно обеспечивать распределение и применение средств на телекоммуникационных сетях;

- технически грамотно нормировать показатели основных характеристик телекоммуникационных сетей.

Быть ознакомленным с основными направлениями и перспективами развития телекоммуникационных сетей.

### Обобщенная структура телекоммуникационных сетей.

По классификации проф. Давыдова Г.Б. [1], обобщенная структура телекоммуникационной сети (ТКС), обеспечивающей обмен информацией, содержит 4 макроуровня (см. рис.В1):

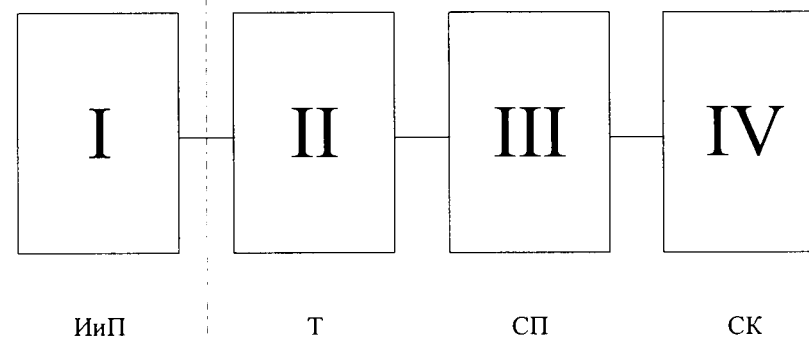


Рис.В1

-1-й уровень - источники и потребители информации (внешняя среда)

-2-й уровень – терминалы - это инструмент, с помощью которого источники и потребители информации осуществляют в/вывод сообщений (сообщением называется совокупность данных передаваемых средствами телекоммуникаций и имеющие признаки начала и конца)

-3-й уровень - системы передачи- обеспечивают доставку сообщений в виде сигналов электросвязи

-4-й уровень - системы коммутации - обеспечивают распределение сообщений по адресам и являются связывающим звеном ТКС и всей телекоммуникационной системы в целом Они во многом определяют показатели функционирования ТКС.

#### Общие требования к связи.

Со стороны потребителей к связи предъявляются ряд требований, основными из которых являются:

1.Обеспечение передачи заданного объема информации.

Уменьшение объема передаваемой информации по отношению к требуемому может резко снизить информативность переданного сообщения.

2.Доставка сообщений по заданному адресу.

Ошибочная доставка сообщения ведет не только к потере информации, но и возможно нежелательное разглашение сведений содержащихся в сообщении.

3.Своевременность доставки сообщений.

Задержка в передаче сообщения сверх допустимой нормы ведет к потере ценности содержащейся в нем информации, а в определенных условиях возможна дезорганизация управления.

4.Обеспечение заданной достоверности передачи информации.

Искажения, допущенные при передаче информации, могут привести к извращению смысла переданного сообщения.

5.Соблюдение установленной дисциплины обслуживания абонентов при передаче сообщений в соответствии с положением, занимаемым абонентом в иерархии системы управления, или грифу срочности, содержащимся в сообщении.

В зависимости от вида передаваемого сообщения значимость тех или иных требований может изменяться.

#### Виды связи.

Основными видами связи, распространенными в настоящее время на Украине являются телефонная, телеграфная, факсимильная и передача данных. Предоставление абонентам того или иного вида связи обуславливается:

1.Удобством передачи информации.

2.Характером сообщений, подлежащих передаче.

3.Способами хранения и дальнейшего использования сообщений.

Сообщения различных видов связи предъявляют специфические требования к их передаче.

Так, *телефонные сообщения* не допускают заметных задержек в передаче отдельных элементов сообщения (звуков слов фраз). При этом мнения специалистов о величине допустимого значения  $T$  неоднозначны. В одних источниках указывается, что при  $T \leq 600$  мс качество диалога существенно не ухудшается, а при  $T > 900$  мс диалог становится не возможным. В других источниках отмечается, что допустимое значение  $T$  находится в диапазоне от 500 до 1000 мс, т.к. человеку свойственно адаптироваться к таким задержкам. В третьих уточняется о целесообразности величины  $T \leq 300$  мс, т.к. при  $300 \text{ мс} < T \leq 600 \text{ мс}$  большое число абонентов затрудняется

вести диалог, а при  $T > 1000$  мс — диалог не возможен. Большинство специалистов сходятся, что наиболее целесообразно принять:  $T \leq 300$  мс. При этом в обязательном порядке должна сохраняться естественная последовательность следования речевых элементов, определяемая спецификой ведения переговоров абонентами.

Вместе с тем большая избыточность телефонного сообщения допускает значительную (по сравнению с сообщениями других видов связи) величину потерь его элементов без существенного снижения достоверности передачи (разборчивости и натуральности).

*Телеграфные сообщения и сообщения передачи данных*, наоборот, требуют большей достоверности передачи, но часто допускают значительную задержку как отдельных элементов (несколько секунд и более), так и сообщений в целом. Пример тому – телеграмма.

Требования к достоверности передачи сообщений данных видов связи определяются рядом факторов. Так, при передаче

смысловых сообщений эти требования могут снижаться. А при передаче цифровых данных, включающих в свой состав ключевую информацию, координаты точек на местности и т.д. требования к достоверности очень высоки.

*Объемы передаваемой информации* по каждому виду связи неодинаковы. Из всех видов связи, обеспечивающих обмен информацией между потребителями, наибольший объем передается с помощью телефонной связи. Это связано с тем, что речевое сообщение передает несколько видов информации: смысловую (текст сообщения), информацию о говорящем лице (признаки, позволяющие узнать говорящего по голосу) и информацию об эмоциональных факторах (интонационные признаки). В связи с этим данный вид связи наиболее приближен к личному общению и имеет самое широкое использование.

Неодинаковы и темпы роста объемов информации, передача которой обеспечивается различными видами связи. Бурное развитие в последнее время средств вычислительной техники и автоматизированных систем управления обуславливает тенденцию ускорения роста объема сообщений данных.

При выборе абонентом того или иного вида связи им учитывается ряд факторов:

1. Доступность средства связи
2. Удобство пользования им.
3. Требования к документированию приема
4. Стоимость и др.

Использование телефонной связи, имеет по сравнению с другими видами связи наибольшее приближение к личному общению. При этом применяются сравнительно простые оконечные устройства. Это обеспечивает абоненту удобство пользования средствами связи и оперативность ввода-вывода информации. В связи с этим при обеспечении повседневного обмена информацией между людьми телефонной связи уделяется первоочередное внимание.

Передача данных, телеграфная и факсимильная связь относятся к документальным видам связи. Передаваемые и принимаемые сообщения могут иметь вид телеграмм (кодограмм, шифрограмм) или прямых переговоров между абонентами и документироваться на соответствующем носителе. В большинстве случаев абонент вводит телеграфное сообщение в систему через третьих лиц (операторов). При этом от момента возникновения заявки на передачу сообщения до вручения

телеграммы адресату промежуток времени может составлять до нескольких секунд до нескольких суток. Это позволяет несколько упростить системы передачи и распределения информации и повысить эффективность использования каналов ТКС

Обмен информацией между ЭВМ (межмашинный обмен), а также между человеком и ЭВМ способствовал широкому использованию передачи данных. Данным сетям также присуща своя специфика, которая зависит от того входят ли ЭВМ в состав единого вычислительного центра или являются элементами автоматизированных систем управления различного назначения, или распределенной базы данных и т.д.

При изучении данной дисциплины основное внимание будет уделено рассмотрению сети телефонной связи.

## Глава 2. Математическое описание телекоммуникационных сетей.

### 2.1 Цели и задачи математического описания телекоммуникационных сетей.

Телекоммуникационные сети относятся к классу сложных систем. Этим системам присущ ряд свойств, основными из которых являются:

- разнородность составляющих элементов, каждый из которых решает свою частную задачу в рамках единой цели функционирования всей системы;
- сложность взаимосвязей между элементами системы и описывающими их параметрами;
- многоплановость решения задач;
- случайный характер протекающих в системе процессов;
- многопараметрическое описание системы;
- зависимость качества функционирования системы от множества разнородных фактов и т.д.

Выявление закономерностей построения и функционирования таких систем, а также разработка методов анализа и синтеза требуют их описания в формализованном виде, с помощью различных математических моделей. В этих моделях должны достаточно полно отображаться основные признаки, свойства и характеристики предмета исследования. Телекоммуникационной сети может быть дано морфологическое и функциональное описания [2]. Под морфологическим понимается описание состава, конфигурации сети и взаимосвязей ее элементов. Под функциональным понимается описание процесса функционирования телекоммуникационной сети и закономерностей изменения ее параметров.

### 2.2 Морфологическое описание телекоммуникационной сети с помощью графа

Распространенной моделью ТКС, дающей ее морфологическое описание, является граф. При этом в качестве инструмента исследования может быть использован математический аппарат теории графов. Введем наиболее часто встречающиеся определения и понятия, связанные с сетевыми приложениями графов.

Граф  $G(N, M)$  состоит из конечного множества вершин  $N$  и ребер  $M$ . При этом  $N$  соответствует числу коммутационных центров в сети, а  $M$  - связывающим эти КЦ ветвям. Граф называется помеченным, если его вершины и ребра имеют некоторые отличительные друг от друга надписи.

Если существует ребро  $m_{ij}$ , то говорят что вершины  $n_i$  и  $n_j$  смежные. Ребро  $m_{ij}$  является инцидентным (прилегающим) для вершин  $n_i$  и  $n_j$ .

При наличии в графе ориентированных ребер, помеченных стрелками, граф называется ориентированным.

Подграфом графа  $G(N, M)$  называется граф  $G_1(N_1, M_1)$ , для которого  $N_1 \subset N, M_1 \subset M$ .

Используя свойства можно произвести их декомпозицию. То есть любой граф может быть представлен в следующем виде:  
 $G(N, M) = G(N^0, M^0) \cup G(N^T, M^T)$ .

Иначе говоря, граф  $G(N, M)$  может быть разбит на два подграфа:  $G(N^0, M^0)$  и  $G(N^T, M^T)$ . Подграф  $G(N^T, M^T)$ , соответствующий сети, состоящей из транзитных КЦ и связывающих их ветвей. Подграф:  $G(N^0, M^0)$  соответствующий совокупности оконечных КЦ с инцидентными им ветвями. Это свойство оказывается важным при решении различных задач управления ТКС, например, при формировании ПНР.

Одна и та же структура сети может быть изображена различными изоморфными графами. Два графа называются изоморфными, если между множеством их вершин и ребер существует однозначное соответствие. На рис.2.1 графы  $G(N, M)$  и  $G'(N, M)$  изоморфны, если есть соответствие вершин  $n_i \leftrightarrow n'_i$  и ребер  $m_{ij} \leftrightarrow m'_{ij}$ .

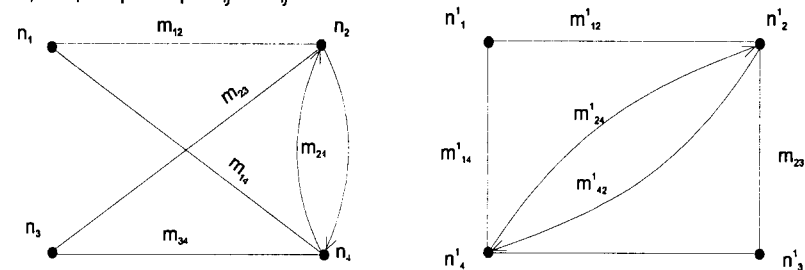


Рис.2.1

Важными понятиями в сетях связи являются понятия маршрута (пути) и связности графов.

Маршрутом  $\mu$  в графе называется чередующаяся последовательность вершин и ребер. Эта последовательность



начинается и оканчивается вершиной. При этом каждое ребро последовательности инцидентно двум вершинам. Так как любое ребро графа может быть обозначено через связываемые им вершины, то

$$\mu = n_1 \cup n_2 \cup n_3 \cup \dots \cup n_{k-1} \cup n_k,$$

где  $n_k \in N$ .

На рис. 2.2 одним из путей между вершинами  $n_1$  и  $n_3$  является

$$\{n_1, n_2, n_3\} \in \mu_k \quad (2.1)$$

Пути в графе могут быть независимыми и зависимыми. При наличии двух любых путей  $\mu_1$  и  $\mu_2$ , принадлежащих одному направлению связи, безусловно к их взаимной зависимости должно выполняться условие  $n_1(\mu_1) = n_1(\mu_2)$  и  $n_k(\mu_1) = n_k(\mu_2)$ .

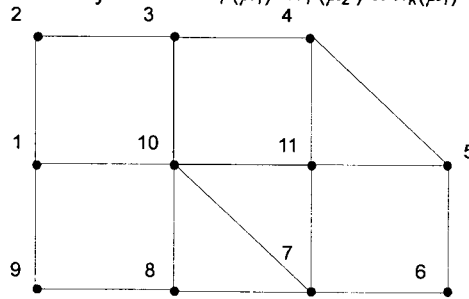


Рис.2.2

Считается, что пути  $\mu_1$  и  $\mu_2$  являются независимыми, если  $n_i(\mu_1) \notin N(\mu_2)$  и  $n_i(\mu_2) \notin N(\mu_1)$ . То есть для независимых путей пересечение составляющих их подмножеств  $N(\mu_1) \cap N(\mu_2) = \emptyset$ , а для зависимых  $N(\mu_1) \cap N(\mu_2) = N(\mu_2) \cdot N(\mu_1) \neq \emptyset$ .

Путь называется *простой цепью*, если все его вершины различны. *Замкнутая цепь* называется *циклом*. Тогда  $\{n_1, n_2, n_3\} \in \mu_v$  называется *цепью*, а  $\{n_1, n_2, n_3, n_1\}$  - *простым циклом*.

Граф называется *связанным*, если любая пара его вершин может быть соединена простой цепью.

*Длиной пути* в графе называется число входящих в него ребер. *Длина кратчайшего пути* между двумя вершинами графа есть минимальное расстояние между этими вершинами, выраженное в числе ребер. Обозначается  $d(i, j)$ .

Для графа, представленного на рис. 2.2 длина кратчайшего пути между вершинами  $n_{10}$  и  $n_5$  равна  $d(10, 5) = 2$ .

*Диаметром* графа  $D$  называется минимальное расстояние между наиболее удаленными вершинами:

$$D = \min \max_{i, j} (i, j)$$

Диаметр графа, представленного на рис. 2.2, равен  $D=4$ .

С каждой вершиной графа связано число-степень вершины, равное числу инцидентных ребер  $\deg n_i$ :

$$\sum_{i=1}^M \deg n_i = 2N.$$

При  $\deg n_i = 2N/M = a$  граф является однородным степени  $a$ . Величина

$$\left[ \frac{\sum_{i=1}^M \deg n_i}{M} \right] = a$$

называется *средней степенью* вершины графа, где  $[x]$  – целая часть величины  $x$ . Если  $\deg n_i = 1$ , то вершина *оконечная*.

Любой граф может характеризоваться сечением. *Сечение графа*  $G(N, M)$  по вершинам  $n_i$  представляет собой  $N^{(c)} \in N$  вершины, удаление которых приводит к образованию несвязных подграфов  $G(H)$  и  $G(N - H - N^{(c)})$ .

Максимальное число  $v_{\max(i, j)}$  независимых путей в направлении связи  $J_{ij} = J_{ji}$  определяется соотношением:

$$v_{\max(i, j)} \leq N^{(c)}_{\min(i, j)},$$

где  $i \in G(H)$ ,

$$j \in G(N - H - N^{(c)}).$$

Минимальное число элементов  $\{n_k\}$ , удаление которых приводит к разрыву связности графа  $G(N, M)$ , образует его минимальное сечение.

Для графа сети, представленного на рис. 2.2, рассмотрим возможное сечение одного из направлений связи, например  $J_{15}$ . В данном направлении связи могут быть выделены  $v=3$  независимых пути:

$$\mu_{15}(I) = \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5\};$$

$$\mu_{15}(II) = \{n_1, n_{10}, n_{11}, n_5\};$$

$$\mu_{15}(III) = \{n_1, n_9, n_8, n_7, n_6, n_5\}.$$

При этом  $\mu_{15}(H) \in d(1,5) = 3$ , т.е. данный путь является кратчайшим.

Минимальное сечение графа при наличии  $v=3$  независимых путей должно содержать три элемента, в частности  $\{n_3, n_{10}, n_7\}$ .

Из рис. 2.3 видно, что сечение  $N_{\min}^{(c)} = \{n_3, n_{10}, n_7\}$  производит разделение графа  $G(N,M)$  на два подграфа:  $G(H)$  и  $G(N-H-N^{(c)})$ , где  $H = \{n_1, n_2, n_8, n_9\}$ ,  $N-H-N^{(c)} = \{n_4, n_5, n_6, n_{11}\}$ .

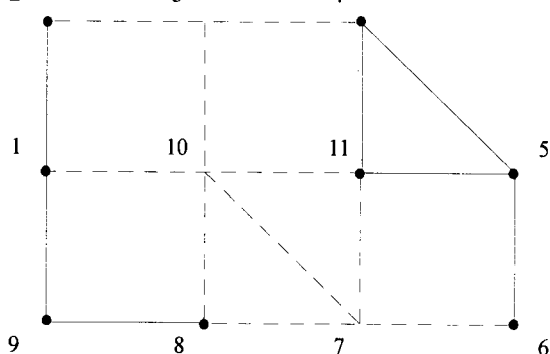


Рис.2.3

Совокупность ребер, удаление которых приводит к образованию двух независимых подграфов  $G(H)$  и  $G(N-H-N^{(c)})$ , называется реберным сечением. Минимальное число ребер, удаление которых нарушает связность графа, называется минимальным сечением по ребрам -  $N_{\min}^{(c)}$ . Как и при рассмотрении  $N_{ij}^{(c)}$  сечение по ребрам привязывают к соответствующему направлению  $J_{ij}$  связи -  $M_{ij}^{(c)}$ . Один из возможных вариантов минимального реберного сечения для направления  $J_{15}$  связи является:

$$M_{15}^{(c)} = \{m_{3-4}, m_{10-11}, m_{7-11}, m_{6-7}\}.$$

Как видно на рис.2.4, данное сечение обуславливает разделение графа  $G(N,M)$  на два подграфа, у которых  $H = \{n_1, n_2, n_3, n_7, n_8, n_9, n_{10}\}$  и  $H = \{n_4, n_5, n_6, n_{11}\}$ .

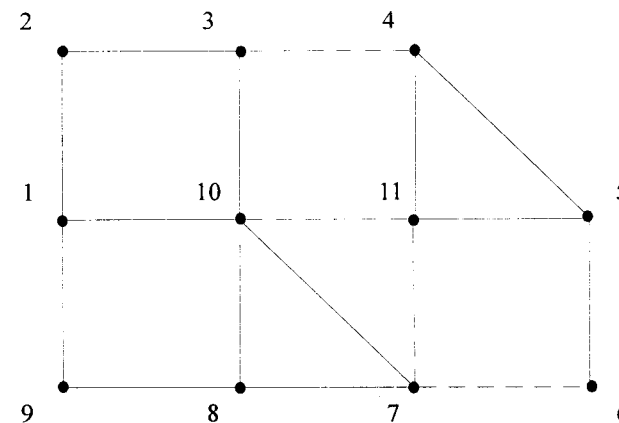


Рис 2.4

Представление телекоммуникационной сети в виде графа является удобным при моделировании комбинаторных свойств сети связи, при математических преобразованиях с целью получения каких либо эквивалентных параметров.

### 2.3 Морфологическое описание телекоммуникационной сети в матричной форме.

Другими моделями, позволяющими производить морфологическое описание телекоммуникационных сетей, являются матрицы. Их удобно использовать при аналитических методах исследования. С этой целью используются матрицы связности  $\|A\|$ , мощностей ветвей  $\|V\|$  и инцидентий  $\|B\|$ . Матрицы  $\|A\|$  и  $\|V\|$  имеют размерность  $N \times N$ :

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nj} & \dots & a_{NN} \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2j} & \dots & V_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{i1} & V_{i2} & \dots & V_{ij} & \dots & V_{iN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{N1} & V_{N2} & \dots & V_{Nj} & \dots & V_{NN} \end{pmatrix}.$$

Элемент матрицы может принимать следующие значения:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если КЦ}i \text{ и КЦ}j \text{ соединены ветвью;} \\ 0, & \text{если КЦ}i \text{ и КЦ}j \text{ не соединены ветвью} \end{cases}$$

Элемент  $v_{ij}$  представляет собой параметр мощности, равный количеству каналов в ветви  $m_{ij}$ .

Если  $ij=ji$ , то матрицы могут быть записаны в треугольной форме:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & a_{NN} \end{pmatrix}, V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1N} \\ & V_{22} & \dots & V_{2j} & \dots & V_{2N} \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & V_{ij} & \dots & V_{iN} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & V_{NN} \end{pmatrix}$$

Следует отметить, что

$$a_{ij}, V_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если внутренняя связь между КЦ отсутствует} \\ > 0, & \text{если внутренняя связь есть.} \end{cases}$$

Не редко при решении задач анализа и синтеза телекоммуникационных сетей внутренняя связь между абонентами КЦ не учитывается. В этом случае в четырехугольных матрицах телекоммуникационных сетей с односторонними каналами  $a_{ji} = V_{ij} = 0$ , а для описания сетей с двухсторонними каналами могут быть использованы наддиагональные матрицы

$$A = \begin{pmatrix} a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1N} \\ & a_{23} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2N} \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & a_{ij} & \dots & a_{iN} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & a_{(N-1)N} \end{pmatrix}, V = \begin{pmatrix} V_{12} & V_{13} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1N} \\ & V_{23} & \dots & V_{2j} & \dots & V_{2N} \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & V_{ij} & \dots & V_{iN} \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & V_{(N-1)N} \end{pmatrix}$$

Для сети, представленной графом на рис.2.2 треугольная матрица имеет вид:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3			0	1	0	0	0	0	0	1	0
4				0	1	0	0	0	0	0	1
5					0	1	0	0	0	0	1
6						0	1	0	0	0	0
7							0	1	0	1	1
8								0	1	1	0
9									0	0	0
10										0	1
11											0

В наддиагональной матрице будут отсутствовать элементы главной диагонали и последней строки

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
2		1	0	0	0	0	0	0	0	0
3			1	0	0	0	0	0	1	0
4				1	0	0	0	0	0	1
5					1	0	0	0	0	1
6						1	0	0	0	0
7							1	0	1	1
8								1	1	0
9									0	0
10										1

Матрицей инцидентий, называется матрица  $B = \{b_{ij}\}$  размерности  $N \times M$ , элементами которой являются:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ветвь } m_{ij} \text{ инцидентна } n_i; \\ 0, & \text{если ветвь } m_{ij} \text{ не инцидентна } n_i. \end{cases}$$

С целью повышения компактности записи матрицы инцидентий, произведём обозначения ветвей графа,

представленного на рис.3.3. Ветвь  $m_{1,2}$ , соединяющую вершины 1 и 2, обозначим  $m_1$ , и далее соответственно  $m_{1-9} - m_2$ ,  $m_{1-10} - m_3$ ,  $m_{2-3} - m_4$ ,  $m_{3-4} - m_5$ ,  $m_{3-10} - m_6$ ,  $m_{4-5} - m_7$ ,  $m_{4-11} - m_8$ ,  $m_{5-6} - m_9$ ,  $m_{5-11} - m_{10}$ ,  $m_{6-7} - m_{11}$ ,  $m_{7-8} - m_{12}$ ,  $m_{7-10} - m_{13}$ ,  $m_{7-11} - m_{14}$ ,  $m_{8-9} - m_{15}$ ,  $m_{8-10} - m_{16}$ ,  $m_{10-11} - m_{17}$ . С учётом введенных обозначений матрица инцидентий графа, представленного на рис. 3.3, имеет вид:

$$B = \begin{matrix} & m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & m_6 & m_7 & m_8 & m_9 & m_{10} & m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} & m_{17} \\ \begin{matrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \\ n_7 \\ n_8 \\ n_9 \\ n_{10} \\ n_{11} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Между матрицами связности и инцидентий одного и того же графа существует взаимно-однозначное соответствие

$$A = B^T B - 2I,$$

где:  $B^T$  - транспонированная матрица инцидентий;

$I$  - единичная матрица размерности  $M \times M$ .

Принято считать, что между КЦ  $n_i$  и  $n_j$  имеется путь передачи информации, существует последовательность  $a_{ik}, a_{kl}, \dots, a_{lp}, a_{pj}$  ( $v_{ik}, v_{kl}, \dots, v_{lp}, v_{pj}, b_{ik}, b_{kl}, \dots, b_{lp}, b_{pj}$ ), в которой ни один элемент не равен нулю.

Если возникает необходимость произвести сечение по определенным КЦ, в матрицах  $\|A\|$ ,  $\|V\|$  и  $\|B\|$  вычеркиваются все элементы строк и столбцов, соответствующие номерам этих КЦ.

Для примера, рассмотрим сечение по КЦ  $n_3, n_7, n_{10}$  для сети, представленной на рис.2.2. С этой целью вычеркнем из исходной треугольной матрицы связности  $\|A\|$  строки и столбцы, соответствующие КЦ  $n_3, n_7, n_{10}$ . Треугольная матрица связности, отражающая данное сечение, будет иметь вид

$$A = \begin{matrix} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & - & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 1 & - & 0 \\ & 0 & - & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & - & 0 \\ & & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ & & & 0 & 1 & 0 & - & 0 & 0 & - & 1 \\ & & & & 0 & 1 & - & 0 & 0 & - & 1 \\ & & & & & 0 & - & 0 & 0 & - & 0 \\ & & & & & & - & - & - & - & - \\ & & & & & & & - & - & - & - \\ & & & & & & & & 0 & 1 & - & 0 \\ & & & & & & & & & 0 & - & 0 \\ & & & & & & & & & & - & - \\ & & & & & & & & & & & - & - \\ & & & & & & & & & & & & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Матрица инцидентий  $\|B\|$ , отражающая тоже самое сечение, имеет вид:

$$B = \begin{matrix} & m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & m_6 & m_7 & m_8 & m_9 & m_{10} & m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} & m_{17} \\ \begin{matrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \\ n_7 \\ n_8 \\ n_9 \\ n_{10} \\ n_{11} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

При введении сечения в телекоммуникационной сети по ветвям, необходимо приравнять нулю элементы матриц, соответствующие номерам исключаемых ветвей.

Используя математический аппарат теории матриц можно достаточно строго и полно исследовать принципы построения и возможности сетей связи различного вида.

#### 2.4 Задачи функционального описания телекоммуникационных сетей.

Под функциональным понимается описание процесса функционирования телекоммуникационной сети и

закономерностей изменения ее параметров. Функциональное описание телекоммуникационных сетей характеризует их с точки зрения происходящих в них процессов, а именно:

1. Передачи сообщений.
2. Распределения информации.
3. Выхода из строя и восстановления элементов ТКС.
4. Качества обслуживания на ветвях сети и в направлениях связи и др.

Для функционального описания могут использоваться: потоковая модель, вероятностная модель и др.

## 2.5 Потоковая модель телекоммуникационной сети.

Потоковая модель ТКС характеризует способности сети к передаче сообщений от источников информации к ее потребителям. Данные способности во многом определяются возможностями элементов сети, а именно возможностями КЦ и ветвей.

Предположим ветвь  $m_{ij}$  обеспечивает за время  $t$  обслуживание  $C_{ij}$  сообщений. Для определенности положим, что все сообщения имеют фиксированный объем. Обслуживание сообщений производится с соблюдением определенных требований, заданных вероятностно-временным параметром  $p$ . Тогда возможности сети связи по передаче сообщений могут быть представлены матрицей  $|C|$

$$C = \begin{vmatrix} C_{11}(t, p_{11}) & C_{12}(t, p_{12}) & \dots & C_{1j}(t, p_{1j}) & \dots & C_{1N}(t, p_{1N}) \\ & C_{22}(t, p_{22}) & \dots & C_{2j}(t, p_{2j}) & \dots & C_{2N}(t, p_{2N}) \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & C_{ij}(t, p_{ij}) & \dots & C_{iN}(t, p_{iN}) \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & C_{NN}(t, p_{NN}) \end{vmatrix}$$

где  $C_{ij}(t, p_{ij})$  – количество сообщений, обслуживаемое ветвью  $m_{ij}$  за время  $t$  при соблюдении требований вероятностно-временного параметра  $p_{ij}$ .

Здесь  $C_{ij}(t, p_{ij})=0$  при  $a_{ij}=0$  и  $C_{ij}(t, p_{ij})=1$  при  $a_{ij}=1$ . Математическое ожидание одновременно функционирующих в ветвях сети сообщений определяется соотношением

$$C_{\Sigma} = \sum \sum C_{ij}(t, p_{ij}) \quad (2.1)$$

Для вторичных некоммутируемых сетей, в которых каждому направлению связи соответствует ветвь, математическое ожидание суммарного числа сообщений  $C_{\Sigma} \text{нк}(t)$  передаваемых от источников к потребителям информации, равно величине, получаемой из выражения (1), т.е.  $C_{\Sigma} \text{нк}(t) = C_{\Sigma}(t)$ . Во вторичных коммутируемых сетях связи одно сообщение от источника к потребителю информации проходит путь, содержащий  $m$  ветвей ( $m>1$ ), т.е. при  $m>1$  для передачи одного сообщения задействуется две и более ветвей. В связи с этим математическое ожидание суммарного числа сообщений в такой сети  $C_{\Sigma} \text{к}(t) < C_{\Sigma}(t)$

Обращаясь к понятию «сечение сети связи по ветвям», можно определить максимальную величину математического ожидания числа сообщений, передаваемых в направлении  $J_{ij}$ :

$$C_{ij \max}^{(c)}(t) = \sum_{l=1}^{M_{ij \min}^{(c)}} C_l(t, p_l)$$

где  $M_{ij \min}^{(c)}$  – минимальное сечение ТКС по ветвям через направление связи  $J_{ij}$ .

## 2.6 Вероятностная модель телекоммуникационной сети.

Функционирование сети связи во многом характеризуется состоянием ее ветвей в любой фиксированный момент времени  $t$  и вероятностями переходов из этого состояния за промежуток времени  $t, t+\Delta t$ . Если в момент  $t$  в ветви, состоящей из  $V$  каналов связи,  $x$  из них заняты под передачу сообщений, а  $V-x$  свободны, считается, что данная ветвь находится в состоянии  $x$ . При поступлении очередной заявки на передачу сообщения по данной ветви она из состояния  $x$  переходит в состояние  $x+1$ . Если в ветви, находящейся в состоянии  $x+1$ , один из каналов освобождается, данная ветвь переходит в состояние  $x$ . При отсутствии в рассматриваемый промежуток времени занятий или освобождений каналов состояние данной ветви не меняется. По известным значениям интенсивностей занятий  $S$  и освобождений  $m$  могут быть определены вероятности переходов

из одного состояния в другое, характеризующие процесс функционирования ТКС.

При решении задачи определения путей для передачи сообщений представляют интерес два состояния ветви ТКС:

- $x < V$ , т.е. в наличии имеются свободные каналы в ветви и имеется возможность установления требуемого соединения;

- $x = V$  т.е. все каналы заняты и возможность установить соединение отсутствует

При этом состояние  $x$  может зависеть как от числа каналов, занятых передачей сообщений, так и от числа неисправных каналов.

Для установившегося режима работы сети вероятности нахождения каждой ее ветви в состоянии  $x < V$  могут задаваться матрицей  $W(t)$  степени  $N$ . Для сетей связи с двухсторонними каналами такая матрица имеет вид:

$$W(t) = \begin{pmatrix} w_{11}(t) & w_{12}(t) & \dots & w_{1j}(t) & \dots & w_{1N}(t) \\ & w_{22}(t) & \dots & w_{2j}(t) & \dots & w_{2N}(t) \\ & & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & w_{ij}(t) & \dots & w_{iN}(t) \\ & & & & \dots & \dots \\ & & & & & w_{NN}(t) \end{pmatrix}$$

где -  $w_{ij}(t)$  – вероятность нахождения ветви  $m_{ij}$  в состоянии  $x < V$ .

Как и ранее  $w_{ij}(t) = 0$  при  $a_{ij} = 0$  и  $w_{ij}(t) \neq 0$  при  $a_{ij} = 1$ .

При обеспечении связи в направлении  $J_{ij}$  по одному пути, включающему  $n$  КЦ, вероятность установления соединения равна

$$w_{ij}(t) = \prod_{l=1}^{n-1} w_{ijl}(t).$$

Максимальное значение вероятности установления соединения при наличии  $\mu$  независимых путей

$$w_{ij}(t) = 1 - \prod_{q=1}^{\mu} \left[ 1 - \prod_{l=1}^{n-1} w_{ijlq}(t) \right].$$

## Глава 3 Структурно-топологическое описание телекоммуникационных сетей.

### 3.1 Сущность структурно-топологического описания телекоммуникационных сетей..

Решение задач практического проектирования ТКС требует описания их структурно-топологического построения. Такое описание должно отражать:

1. Состав ТКС.

2. Характер взаимосвязей элементов ТКС.

3. Расположение элементов ТКС на местности

4. Группирование каналов связи на участках ТКС и в направлениях связи.

5. Маршруты прохождения трасс линий связи на местности.

Многогранность такого описания обуславливает наличие целого ряда характеристик. Такими характеристиками ТКС в первую очередь являются их структура, топология и стереология.

Следует отметить, что в большинстве научно-технической литературы в основном используется понятие структуры сети. При этом подразумевается, что понятие топология является синонимом понятия структуры. Однако, как показано в [2] разграничение этих понятий позволяет производить более строгое описание ТКС

### 3.2 Структура телекоммуникационных сетей и формы ее представления.

Под *структурой* ТКС понимается характеристика, описывающая взаимосвязи коммутационных центров, обеспечивающих на этой сети распределение потоков сообщений, независимо от фактического расположения элементов сети на местности.

В соответствии с данным определением на структурах вторичных сетей показываются только КЦ, обеспечивающие все виды оперативной коммутации, а на структурах первичных сетей - те КЦ, которые осуществляют выделение и распределение каналов в интересах вторичных сетей.

Структура ТКС может задаваться числом коммутационных центров  $N$ , числом ветвей  $M$  и мощностью ветвей  $V$ ,

соответствующей их канальной ёмкости. Основными формами представления структуры сетей связи являются:

- схема взаимосвязи КЦ;
- граф сети связи;
- матрицы связности  $||A||$  мощностей  $||V||$  и инцидентий  $||B||$ ;
- таблица взаимосвязи КЦ.

Наибольшую наглядность представления структуры ТКС дает схема взаимосвязи, пример которой представлен на рис.3.1

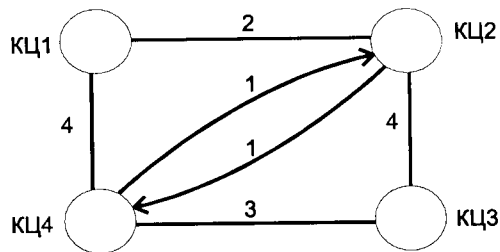


Рис.3.1

При наличии в сети связи односторонних (по вызову или направлению передачи) каналов, образуемые ими ветви показываются на схеме стрелками, соответствующими направлению передачи. В случае необходимости на схеме могут указываться мощности ветвей.

Иногда в процессе различных исследований структуру сети связи удобно представить в виде графа  $G(N,M)$ , в котором КЦ соответствуют вершинам, а ветви ребрам (рис.3.2). Удобством такой формы представления структуры является возможность использования математического аппарата теории графов.

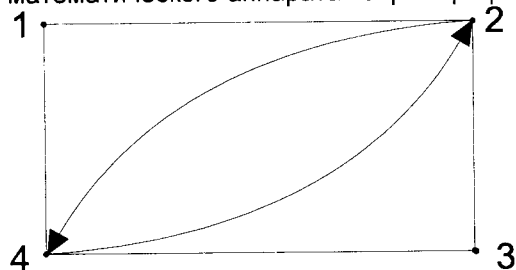


Рис.3.2

В аналитических методах, применяемых для описания структур ТКС, удобно использовать матричные формы их представления. С этой целью могут быть использованы матрицы связности  $||A||$ , мощностей ветвей  $||V||$  и инцидентий  $||B||$ .

кц1	кц2	кц3	кц4
● 2	●		
● 4			●
	● 4	● 3	●
	● 1	●	
	● 1	●	

Рис.3.3

Табличная форма представления структуры ТКС применяется для повышения удобства контроля за состоянием связи в требуемых направлениях на действующих ТКС. Она обычно используется должностными лицами, организующими и обеспечивающими реальную связь, при ведении рабочей документации. Структура ТКС, схема взаимосвязи которой показана на рис.3.1, в табличной форме имеет вид, представленный на рис.3.3.

### 3.3 Типы и свойства элементарных структур телекоммуникационных сетей.

Существует множество различных структур сетей связи. Однако базой для построения и исследования структуры ТКС любой сложности является так называемая элементарная структура. В качестве элементарных выделяют структуры двух типов: радиальную (РЭС) и кольцевую (КЭС). Каждый тип элементарной структуры характеризуется определенным

соотношением структурных параметров. Это количество КЦ –  $N$  и количество ветвей –  $M$ .

Для РЭС соотношение между параметрами  $M$  и  $N$  имеет вид  $M=N-1$ . При этом минимальное значение  $N$  равно двум, т.е.  $N \geq 2$ .

Для КЭС аналогичное соотношение имеет несколько другой вид, а именно  $M=N$  при  $N=3$ .

Таким образом, базовым параметром для обоих видов элементарных структур является число  $N$ . Примеры пятиэлементной РЭС и КЭС представлены на рис. 3 а и б соответственно.

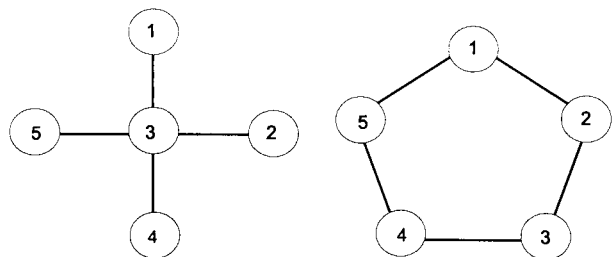


Рис.3.4

Важным параметром при характеристике элементарных структур является число ветвей прилегающих к каждому КЦ. Особенностью РЭС является то, что в них имеется один коммутационный центр, которому инцидентна  $N-1$  ветвь. Такой КЦ получил название базового. Остальным КЦ данного вида структуры инцидентна лишь одна ветвь. Для КЭС каждому КЦ инцидентны две ветви. Как показано в [], указанные свойства позволяют распознавать РЭС и КЭС при их матричном изображении. Так, матрица связности  $|A|$  порядка  $N$ , у которой все элементы  $a_{ij}$  (кроме элемента  $a_{ii}=a_{jj}=0$ ) одной строки и одного столбца равны 1, а остальные элементы равны 0, относится к  $N$ -элементной элементарной структуре радиального типа. При этом число единиц в такой матрице равно  $2(N-1)$ . Номер строки и столбца указанных матриц, в которых все элементы  $a_{ij}=1$ , является номером базового КЦ в сети рассматриваемой РЭС.

В качестве примера на рис.5 приведена прямоугольная матрица связности  $|A|$  пятиэлементной РЭС с базовым КЦ<sub>3</sub>.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис.3.5

В КЭС все КЦ равнозначны с точки зрения количества инцидентных каждому из них ветвей. В них признаком, по которому можно определить, что данная матрица описывает КЭС, является наличие двух единиц в любой строке или столбце. При невыполнении этого условия описываемая матрицей связности структура не является КЭС.

В качестве примера на рис.6 приведена прямоугольная матрица связности  $|A|$  пятиэлементной КЭС.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Рис.3.6

Каждый тип элементарной структуры обладает определенными возможностями по образованию путей установления соединений. Так, в сети с РЭС, в любом направлении связи может быть выделен только один путь установления соединения. В отличие от РЭС в сети с КЭС в каждом направлении связи имеется два пути установления соединения, что значительно повышает ее возможности.

### 3.4 Типы и свойства сложных структур

На базе РЭС и КЭС могут быть построены более сложные структуры. Например, при использовании только РЭС получают структуры, получившие название древовидных (рис. 3.7). Для данных структур, так же как и для РЭС сохраняются следующие свойства:  $M=N-1$ ; число возможных путей передачи информации - 1.



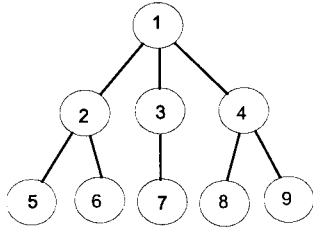


рис.3.7

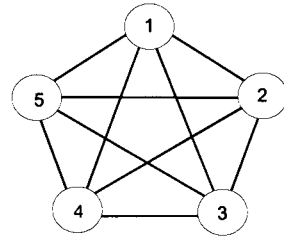


рис.3.8

Кольцевые элементарные структуры служат основой для построения нескольких типов сложных структур. К ним относятся полностью связные (рис.3.8), с соотношением параметров  $M=N(N-1)/2$  и неполностью связные с соотношением параметров  $N+1 \leq M < (N(N-1))/2$  (рис. 3.9).

Среди множества неполностью связных структур можно выделить ряд типизированных, получивших специальные названия. К ним относятся "решетка", "соты" (рис. 10 и 11 соответственно) и др.

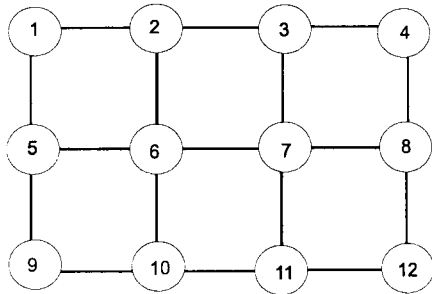


Рис.3.10

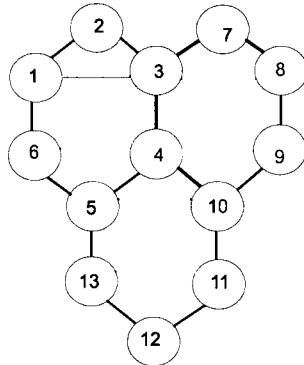


Рис.3.11

Совместное использование РЭС и КЭС позволяет строить сети связи более сложной произвольной структуры. Чаще других создаются сети узловой и радиально-узловой структур. Сеть узловой структуры (рис.3.12) образуется несколькими РЭС, корневые КЦ которых объединены кольцевой структурой.

Радиально-узловые структуры (рис.3.13) строятся на основе нескольких структур типа дерево, у которых КЦ одного класса объединены КЭС.

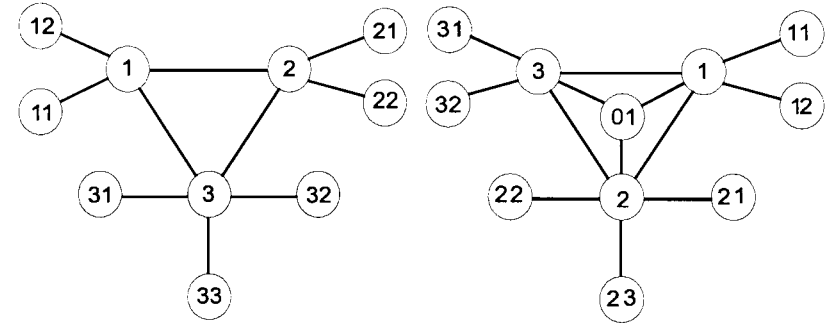


Рис.12

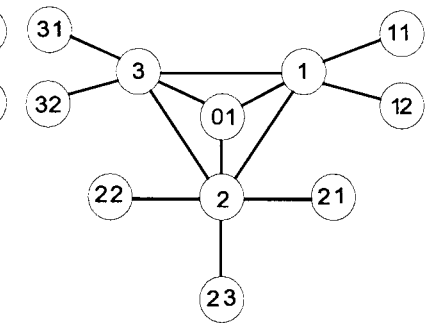


Рис.13

### 3.5 Топология телекоммуникационных сетей

При решении практических задач организации связи, предполагающих развертывание коммутационных центров и строительство линий связи, нередко необходимо знание топологии и стереологии сетей связи, охватывающих более широкий круг вопросов, чем структура.

Под *топологией* сети связи понимается характеристика, описывающая состав сети, взаимное соединение и расположение всех КЦ, группировку каналов по ветвям и направлениям связи, а также маршруты прохождения трасс линий связи на местности. На топологии показываются КЦ, выполняющие все виды оперативной и долговременной коммутации. В зависимости от полноты данных о сети связи различают общую, полную и частную топологии.

*Общая топология* раскрывает взаимное расположение всех КЦ, способы их соединения линиями связи, а также характер распределения образуемых на этих линиях каналов и групповых трактов по ветвям и направлениям связи. Пример схемы общей топологии сети, структура которой показана на рис.3.1, приведена на рис.3.14.

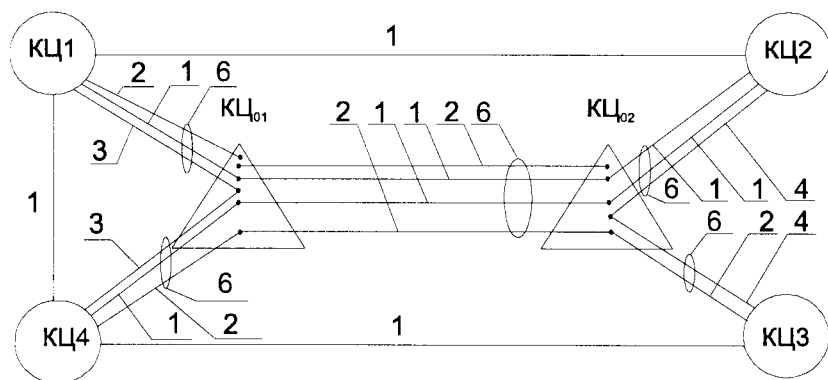


Рис.3.14

На данном рисунке видно, что кроме КЦ<sub>1</sub>... КЦ<sub>4</sub>, выполняющих оперативную коммутацию, на схеме общей топологии показаны КЦ<sub>01</sub> и КЦ<sub>02</sub>, обеспечивающие долговременное соединение каналов. Кроме того, можно видеть, что часть каналов различных направлений группируются в единых ветвях сети. Так, например, каналы трех направлений  $J_{14}, J_{24}, J_{34}$  образуют ветвь  $m_{1-01}$ . В то же время каналы направления связи  $J_{14}$  входят в различные ветви  $m_{1-01}$  и  $m_{1-3}$ . Общая топология объединяет структуры первичных и вторичных сетей связи и позволяет решать задачи распределения каналов между КЦ и направлениями связи, а в случае необходимости и принимать решение на маневр этими каналами.

*Полная топология* выполняется, как правило на карте и обеспечивает привязку элементов сети к местности. На ней указываются особенности прохождения трасс кабельных линий связи, места их перехода через естественные преграды, пересечения с линиями электропередач, места расположения усилительных и ретрансляционных пунктов, радиорелейные и тропосферные вставки и т.д. Кроме того на полной топологии могут указываться объекты, не являющиеся элементами сети, но оказывающие влияние на её эксплуатацию и обеспечение: пункты снабжения, резерв средств связи, ремонтные органы и др.

В связи с тем, что схемы полной топологии нередко получаются слишком громоздкими и неудобными в работе, могут составляться полные топологии участков сети связи, которые называются *частными топологиями*. Частная топология составляется по тем же правилам, что и полная. При этом

возникает дополнительная возможность детализации отдельных сведений, необходимых конкретному исполнителю.

### 3.6. Стереология телекоммуникационных сетей

*Стереологией* называется характеристика описывающая пространственное расположение и перемещение элементов сетей связи. Данная характеристика становится необходимой при построении сети связи с использованием воздушных коммутационных центров (ВКЦ), т.е. КЦ расположенных на летательных объектах (самолетах, вертолётах, воздушных шарах и т.д.). Кроме того, работа некоторых наземных средств связи, таких как радиорелейные и тропосферные станции, во многом определяется не только расстоянием между ними, но и высотой антенн, и рельефом местности на трассе линий связи.

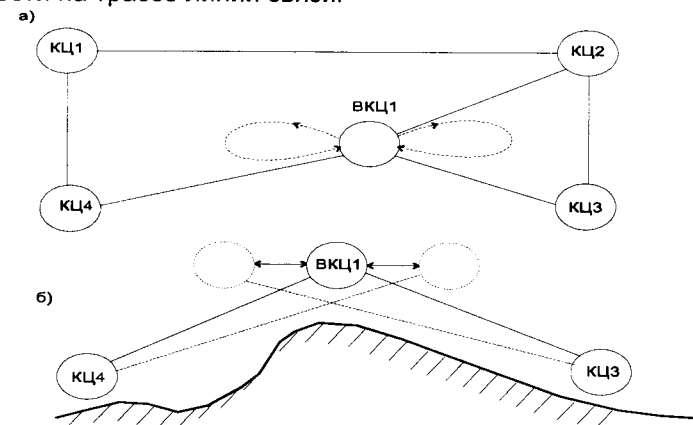


Рис.3.15

Особенностью организации связи при использовании ВКЦ является то, что летные средства, на которых размещаются элементы сети, как правило перемещаются по заданному курсу или в определённой зоне. Данный фактор должен учитываться, так как он может оказать существенное влияние на показатели качества связи. Поэтому плоские схемы, используемые для представления структуры и топологии сети связи, дают недостаточно полную информацию. Здесь целесообразно [2,10] использовать проекции стереологической схемы на горизонтальную и вертикальную плоскости (рис.3.15, а и б).

Кроме описания состава и взаимодействия элементов сети связи с ВКЦ на стереологии могут отмечаться области взаимного влияния средств связи, состояние окружающей среды, особенности местности и другие сведения.

## Глава 4 Трафик телекоммуникационных сетей и его свойства

### 4.1 Потоки заявок, их типы и свойства

Заявки, поступающие на обслуживание (объединяются) формируются в поток. Поток – это последовательность заявок, характеризующаяся моментами их поступления

$$t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_c$$

за определенный промежуток времени Т.

Промежуток времени

$$t_i - t_{i-1}$$

между поступления заявок может быть величиной заранее известной либо случайной. В первом случае поток заявок является детерминированным, во втором – стохастическим.

Чаще всего приходится иметь дело со стохастическим потоком заявок.

На практике реальные потоки заменяются приближенными моделями, существенно упрощающими их описание. В большинстве случаев, для описания процессов протекающих в ТКС, используются две модели:

1. Модель простейшего потока.
2. Модель примитивного потока.

Рассмотрим *простейший поток*. Впервые его описание простейшего потока дано Пуассоном через вероятность  $W(t,k)$  поступления за время  $t$  ровно  $k$  заявок:

$$W(t,k) = \frac{(Ct)^k}{k!} e^{-Ct} \quad (k=0,1,2,\dots) \quad (4.1)$$

Простейший поток характеризуется распределением длительности промежутков между смежными заявками по экспоненциальному закону:

$$F(\Delta t) = \begin{cases} 1 - e^{-C\Delta t} & \text{при } \Delta t > 0 \\ 0 & \text{при } \Delta t \leq 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Плотность такого распределения

$$f(\Delta t) = Ce^{-C\Delta t} \quad (4.3)$$

Простейший поток характеризуется одновременным проявлением свойств стационарности, ординарности и отсутствия последствия. *Стационарность* потока определяет

неизменность его статистических параметров во времени. Иначе говоря, для простейшего потока вероятность  $W(\Delta t)$  поступления заявки в промежуток времени  $\Delta t$  не зависит от расположения этого промежутка на оси времени, а зависит только от его величины, т.е. если

$$\Delta t_2 = \Delta t_3 < \Delta t_1,$$

то на основании свойства стационарности потока можно утверждать, что

$$W(\Delta t_1) = W(\Delta t_3) < W(\Delta t_2)$$

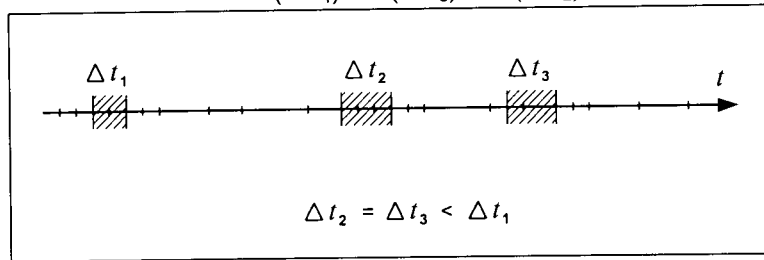


Рис.4.1

*Ординарность* потока говорит о том, что вероятность поступления двух и более заявок в промежуток времени  $\Delta t > 0$  есть величина более малого порядка чем  $\Delta t$ .

Рассматривая  $F(\Delta t)$ , как вероятность  $W(\Delta t)$  поступления заявки в промежуток времени  $\Delta t$ , разложим выражение (1) в ряд

$$W(\Delta t) = C\Delta t - \frac{C^2\Delta t^2}{2!} + \frac{C^3\Delta t^3}{3!} - \dots + \frac{(-1)^{i+1}C^i\Delta t^i}{i!} =$$

$$= C\Delta t + \sum_{i=2}^{\infty} \frac{(-1)^{i+1}C^i\Delta t^i}{i!}$$

где  $C$  - параметр потока.

Параметр потока определяется как предел отношения вероятности  $W_{>1}(\Delta t)$  поступления хотя бы одной заявки за  $\Delta t > 0$  к величине этого промежутка, т.е.

$$C = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W_{>1}(\Delta t)}{\Delta t}, \quad (4.5)$$

В выражении (4.4) первое слагаемое правой части может трактоваться, как вероятность поступления одной заявки за

промежуток  $\Delta t$ , а второе – как вероятность поступления двух и более заявок за тот же промежуток. Однако

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=2}^{\infty} \frac{(-1)^{i+1}C^i\Delta t^i}{i!} = 0 \quad (4.6)$$

Поэтому с достаточной степенью точности можно считать

$$W(\Delta t) = C\Delta t \quad (4.7)$$

*Отсутствие последствия* в потоке означает, что вероятность поступления заявки после произвольного момента времени  $t_1$  не зависит от характера поступления заявок до этого промежутка времени.

Простейший поток - единственный, для которого математическое ожидание  $M(C,t)$  поступления  $C$  заявок за время  $t$  равно дисперсии  $D(C,t)$ :

$$M(C,t) = D(C,t)$$

Отсюда справедливо и обратное утверждение: если для неизвестного потока выполняется равенство  $M(C,t) = D(C,t)$ , то этот поток - простейший.

Простейшие потоки создаются большими группами источников ( $\infty$ )

*Примитивный поток.*

При использовании модели примитивного потока вероятность  $W(t,k)$  поступления за время  $t$  ровно  $k$  заявок описывается биномиальным распределением:

$$W(t,k) = C_s^k (ct)^k (1-ct)^{S-k} \quad (4.8)$$

где  $S$ -число источников информации, формирующих поток заявок;

$c$  - интенсивность потока заявок от одного источника;

$C_s^k$  - число сочетаний из  $S$  по  $k$ .

Примитивный поток – это поток от ограниченного числа источников. Его особенностью является то, что вероятность  $W(t_x)$  поступления заявки в момент  $t_x$  зависит от соотношения в данный момент общего числа источников и числа свободных источников, т.е.

$$W(t_x) = \frac{S - S_x}{S} = 1 - \frac{S_x}{S}, \quad (4.9)$$

где  $S_x$  – число свободных источников.

#### 4.2 Среднее время обслуживание заявок. Интенсивность обслуживания.

Любое сообщение, поступающее на обслуживание в сеть связи, характеризуется моментом  $t_i$  поступления заявки на обслуживание и моментом  $t_{j+1}$  окончания его передачи. В системах телефонной связи для произвольного  $i$ -го сообщения  $t_{ci} = t_{j+1} - t_i$  есть величина случайная, распределенная в большинстве случаев по экспоненциальному закону. Среднее значение этой величины может быть определено как

$$\bar{t}_c = \frac{\sum_{i=1}^C t_{ci}}{C}.$$

Однако на реальных системах часто приходится рассматривать различные типовые ситуации, в которые попадает поступающая заявка. Наиболее типичными при обслуживании телефонного сообщения в телекоммуникационной сети могут считаться следующие ситуации.

1. Обслуживание заявки завершается требуемым соединением и разговором абонентов. На выполнение всех операций и ведение переговоров в этой ситуации затрачивается среднее время -  $\bar{t}_c^{(1)}$

2. Заявка остается не обслуженной, вследствие занятости вызываемого абонента. Для этой ситуации среднее время -  $\bar{t}_c^{(2)}$

3. Обслуживание заявки завершается соединением, но вызываемый абонент не отвечает. Для этой ситуации среднее время -  $\bar{t}_c^{(3)}$

4. Заявка остается не обслуженной по различным причинам, связанным с состоянием элементов телекоммуникационной сети. Среднее время нахождения сообщения в системе для этой ситуации -  $\bar{t}_c^{(4)}$ .

Каждая  $j$ -я ситуация проявляется вероятностью  $\gamma_j$ . Так как правильное определение среднего времени нахождения сообщения в системе возможно лишь при учете всех  $F$  возможных ситуаций, то должно выполняться условие

$$\sum_{j=1}^F \gamma_j = 1$$

Среднее время нахождения сообщения в системе по рассмотренной методике может быть определено из выражения

$$\bar{t}_c = \sum_{j=1}^F \bar{t}_c^{(j)} \gamma_j.$$

В ряде случаев при описании функционирования военной системы телефонной связи вместо среднего времени нахождения сообщения в системе используют обратную величину  $\mu = 1/\bar{t}_c$ , называемую *интенсивностью обслуживания заявок*.

#### 4.3 Нагрузка телекоммуникационных сетей.

Для расчета систем распределения информации необходимо знать объем передаваемой через них информации. Наиболее удобным показателем объема информации является время, необходимое для передачи этой информации.

*Суммарная длительность занятия всех приборов системы распределения информации за определенный период времени  $T$  называется нагрузкой на эти приборы.*

В соответствии с определением величина нагрузки  $A$  при обслуживании  $C$  заявок за период  $T$  может быть определена как

$$A(T) = \sum_{i=1}^{C(T)} t_i,$$

где  $t_i$  – время обслуживания  $i$ -той заявки.

Переходя от частных значений времени занятия приборов к среднему значению  $\bar{t}_c$  можно записать

$$A(T) = C(T) \bar{t}_c = C(T) \frac{1}{\mu}$$

Величина нагрузки, отнесенная к одному часу функционирования системы ( $T=1$  час) получила название интенсивности нагрузки.

Таким образом, *интенсивностью нагрузки называется суммарное время занятия приборов в течение одного часа. За*

единицу измерения интенсивности нагрузки принято одно часозанятие приборов за 1 час, получившее название Эрланг.

Различают три вида нагрузки: поступающую, исполненную (обслуженную) и потерянную.

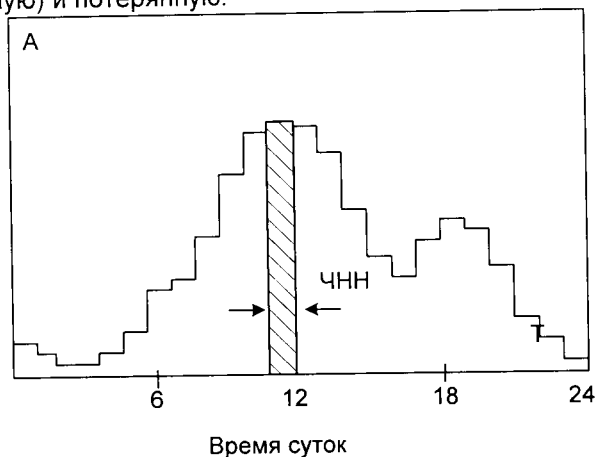


Рис.4.2

*Поступающей* называется такая условная нагрузка  $Z$ , которая могла бы быть обслужена в системе, если бы в ней каждому поступающему вызову предоставлялся свободный обслуживающий прибор. Величина поступающей нагрузки может быть определена как

$$Z = C_{\text{пост}} t_c,$$

где  $C_{\text{пост}}$  - интенсивность потока заявок, поступающих на обслуживание

*Исполненной* называется нагрузка  $Y$ , представляющая собой суммарное время действительного занятия приборов (каналов) системы при обслуживании всех поступающих в нее заявок

$$Y = C_{\text{исп}} t_c$$

Под *потерянной* нагрузкой  $R$  понимают такую условную нагрузку, которая могла бы быть дополнительно обслужена в системе, если бы и ней всем заявкам, получившим отказ в обслуживании был предоставлен обслуживающий прибор. Значение величины потерянной нагрузки может быть определено как

$$R = C_{\text{пот}} t_c,$$

где  $C_{\text{пот}}$  - интенсивность потока, получившего отказ в обслуживании.

В соответствии с приведенными определениями соотношение между различными видами нагрузки имеет вид

$$Z = Y + R.$$

Величина нагрузки, поступающей на обслуживание в телекоммуникационные системы различного назначения, не является постоянной. Пример изменения нагрузки в течение суток приведен на рис.2. Период суток, равный 1ч (60 мин), в течении которого величина нагрузки имеет наибольшее значение, получил название часа наибольшей нагрузки (ЧНН). Все расчеты параметров телекоммуникационных сетей производятся для ЧНН.

Кроме суточных, имеют место колебания нагрузки, в различные дни недели (рис.4.3), месяцы года (рис.4.4), изменения сезонные, годовые, а также связанные с праздниками и другими массовыми мероприятиями.

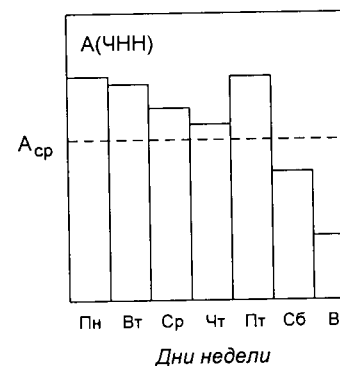


Рис.4.3

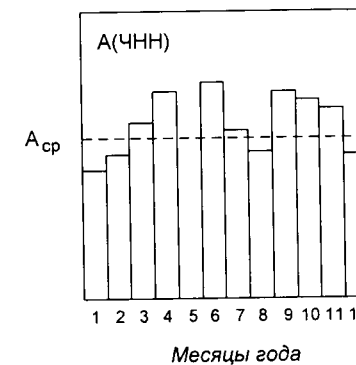


Рис.4.4

Поэтому превышение средней величины нагрузки в конкретный ЧНН не является событием исключительным и должно предусматриваться при оценке функционирования реальных систем телефонной связи. Для учета ожидаемого превышения значений реальной нагрузки ее среднестатистической величины используется так называемое расчетное значение нагрузки:

$$Z_p = Z + \eta \sqrt{Z}$$

где  $\eta$  - коэффициент, учитывающий превышение среднего значения нагрузки (для учета пятидесяти процентного превышения среднего значения нагрузки  $\eta = 0,6742$ ).

## Глава 5 Показатели качества обслуживания заявок на телекоммуникационных сетях.

### 5.1 Модель обслуживания заявок.

Под качеством обслуживания в ТКС понимается ее свойство обеспечивать обработку поступающих заявок с требуемыми вероятностно-временными характеристиками. Показатели качества обслуживания заявок в основном определяются способами обслуживания заявок, а также алгоритмами, реализующими эти способы.

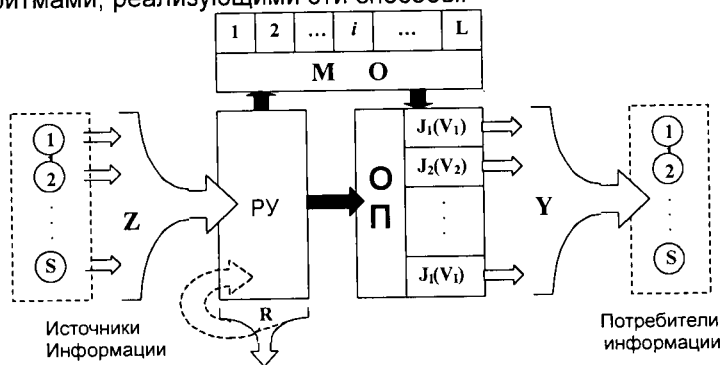


Рис.5.1

Процессы поступления и обслуживания заявок в ТКС могут быть рассмотрены на модели, представленной на рис.5.1. Модель включает три основные составляющие:

1. Источники и потребители информации (абоненты ТКС) с оконечными устройствами, обеспечивающими ввод-вывод сообщений.

2. Систему распределения информации (СРИ), обеспечивающую прием, хранение и распределение поступающих сообщений в соответствии с адресом, указанным в заявке. СРИ состоит из распределительного устройства (РУ) и мест для ожидания (МО) обслуживания заявок.

3. Обслуживающие приборы (ОП), которые могут распределяться группами  $V_1, V_2, \dots, V_l$  или по направлениям  $J_1, J_2, \dots, J_l$  связи.

Параметрами рассматриваемой модели являются:

- число абонентов -  $S$ ;
- число направлений связи (групп) -  $l$ ;

- число ОП в  $i$ -м направлении (группе), при этом общее число

$$\text{ОП} - v = \sum_{i=1}^l V_i;$$

- число мест для ожидания -  $L$ ;
- вероятность отказа  $p$  в обслуживании заявки из-за занятости ОП и занятости или отсутствия мест для ожидания;
- максимальное время ожидания обслуживания заявки (с заданной вероятностью) -  $t$ .

### 5.2 Способы обслуживания заявок.

Наибольшее распространение нашли следующие способы обслуживания заявок:

- без потерь и ожидания;
- с потерями;
- с ожиданием без ограничения длины очереди;
- с ожиданием при ограничении длины очереди;
- с формализованным ожиданием.

Рассмотрим сущность перечисленных способов обслуживания заявок.

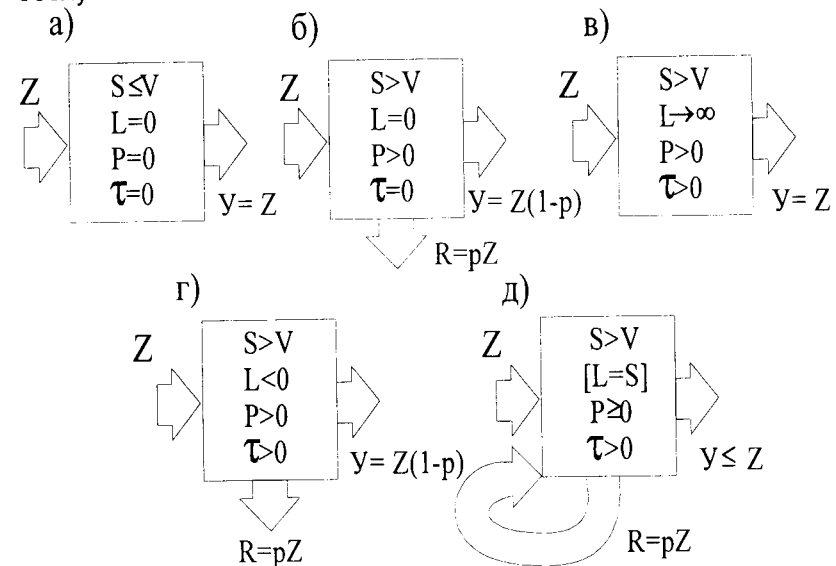


Рис.5.2

Способ обслуживания заявок *без потерь и ожидания* (см. рис.5.2а) предусматривает немедленную обработку каждой поступившей заявки с предоставлением обслуживающего прибора (канала) для передачи следующего за заявкой сообщения. Случай занятости всех ОП при поступлении заявки здесь исключен самим принципом построения системы. Однако для ее реализации требуются большие материально-технические затраты, часто выходящие за пределы разумно допустимых. Это ограничивает применения данного способа лишь единичными случаями обслуживания заявок источников особо важной и срочной информации. Значения параметров в системах, реализующих рассматриваемый способ, равны  $S=V$ ,  $Z=Y$ ,  $R=0$ ,  $p=0$ ,  $t=0$ ,  $L=0$ .

Способ обслуживания заявок *с потерями* (см. рис.5.2б) обуславливает немедленную обработку каждой поступающей заявки с предоставлением для передачи сообщения требуемого свободного прибора (канала). При поступлении заявки на обслуживание в момент, когда в заданном направлении все приборы (каналы) заняты, она получает отказ и теряется. При данном способе  $S > V$ ,  $Z > Y$ ,  $R > 0$ ,  $p > 0$ ,  $t=0$ ,  $L=0$ .

Способ обслуживания заявок *с ожиданием без ограничения длины очереди* (см. рис.5.2в) предполагает немедленную обработку каждой поступающей заявки, если в требуемом направлении имеется хотя бы один свободный обслуживающий канал (прибор). В противном случае, т.е. при занятости всех каналов в требуемом направлении, заявка ставится на ожидание и обслуживается в установленном порядке. В системе телефонной связи для обслуживания равнозначных заявок принят прямой порядок выборки заявок из очереди для обслуживания, т.е. реализуется принцип: заявка первой поступила - первой и обслуживается. Для данного способа характерно исполнение всей поступающей нагрузки, хотя часть ее из-за ожидания может быть исполнена со сдвигом во времени. Параметрами системы, отражающими данный способ обслуживания, являются:  $S > V$ ,  $Z=Y$ ,  $p=0$ ,  $t > 0$ ,  $L \rightarrow \infty$ .

Способ обслуживания заявок *с ожиданием при ограничении длины очереди* (см. рис.5.2г) так же, как и в предыдущем случае, предусматривает немедленную обработку каждой поступающей заявки при наличии свободных обслуживающих приборов (каналов). При занятости всех ОП в требуемом направлении, но наличии свободных мест для ожидания заявка ставится в очередь. Если же в момент

поступления заявки нет ни свободных ОП, ни свободных мест для ожидания, то данная заявка получает отказ и теряется. Для данного способа обслуживания характерно:  $S > V$ ,  $Z > Y$ ,  $p > 0$ ,  $t > 0$ ,  $L < S$ .

Способ обслуживания заявок *с формализованным ожиданием* (см. рис.5.2д) представляет собой модификацию уже известного способа с потерями. Однако заявки, получившие отказ, не покидают систему, а возвращаются через отрезок времени  $\Delta t \ll T$ , где  $T$  — промежуток времени, за который оценивается функционирование системы. Другим названием данного способа является способ обслуживания с повторными вызовами. Он описывается следующей совокупностью параметров:  $S > V$ ,  $Z=Y$ ,  $p=0$ ,  $t > 0$ ,  $L=S$ .

В реальных системах можно встретить разновидности рассмотренных способов, а также их различные комбинации.

В соответствии с принятым способом обслуживания заявок любая ТКС может характеризоваться определенным качеством обслуживания. При этом понятие "качество обслуживания заявок" имеет двойное толкование.

С одной стороны, оно трактуется как свойство конкретной системы обслуживания. Количественные изменения параметров системы могут привести к изменению самого свойства. Так, например, изменение соотношения  $S=V$  в системе, реализующей способ обслуживания без потерь, на соотношение  $S > V$  обуславливает переход в этой системе к способу обслуживания с потерями. Возвращение в систему получивших отказ в обслуживании заявок равносильно переходу от способа с потерями к способу с формализованным ожиданием при  $L=S$ .

С другой стороны, качество выступает как степень соответствия функционирования конкретной системы, реализующей определенный способ обслуживания заявок, предъявляемым к ней требованиям. Это позволяет оценить работу системы: высокое или низкое, удовлетворительное или неудовлетворительное качество обслуживания, соответствующее или несоответствующее нормам и т.п.. Для оценки функционирования ТКС при каждом способе обслуживания установлены соответствующие показатели качества обслуживания заявок.



### 5.3 Показатели качества обслуживания заявок в системах с потерями.

Показателем качества для способа обслуживания с потерями является вероятность  $q$  исполнения поступившей заявки. Однако на практике для оценки функционирования систем распределения информации более широко используется обратная величина  $p=1-q$  - вероятность отказа в обслуживании заявки из-за занятости обслуживающих приборов (каналов). Эта величина получила название потери. Различают три вида потерь:

1. Потери по вызовам (заявкам) -  $p_c$ .
2. Потери по нагрузке -  $p_R$ .
3. Потери по времени -  $p_t$ .

Потери по вызовам оцениваются отношением интенсивности потока потерянных вызовов (заявок)  $C_{пот}$  к интенсивности потока поступивших вызовов (заявок)  $C_{пост}$

$$p_c = \frac{C_{ном}}{C_{пост}} \quad (5.1)$$

Потери по нагрузке оцениваются аналогично, как отношение величин потерянной и поступающей нагрузок

$$p_R = \frac{R}{Z} = \frac{Z - Y}{Z} \quad (5.2)$$

Отсюда может быть получено соотношение между величинами поступающей и исполненной нагрузок

$$Y = Z(1 - p_R) \quad (5.3)$$

Потери по времени, оцениваются долей периода времени  $T$ , в течение которого все обслуживающие приборы (каналы) в требуемом направлении одновременно заняты и не могут быть использованы для обслуживания поступающих заявок

$$p_t = \frac{t_3}{T} \quad (5.4)$$

где  $t_3$ —время одновременной занятости всех приборов (каналов) за период  $T$ .

При измерении  $t_3$  в часах и  $T = 1$  ч можно записать  $p_t = |t_3|$ .

Следует иметь в виду, что при поступлении в систему простейшего потока вызовов, имеет место равенство  $p_c = p_R = p_t = p$ , а при поступлении потока от ограниченного числа источников - неравенство  $p_t > p_c > p_R$ .

### 5.4 Показатели качества обслуживания заявок в системах с ожиданием.

Показателем качества для способа обслуживания в системах с ожиданием является вероятность своевременного обслуживания поступающих заявок, т.е.  $q = P(t_{ож} > \tau)$  - вероятность того, что время  $t_{ож}$  ожидания обслуживания заявки не превысит заданной величины  $\tau$ . Аналогично случаю для способа обслуживания с потерями на практике более широко используется обратная величина

$$1 - q = P(t_{ож} > \tau) \quad (5.5)$$

Т.е. это вероятность того, что время ожидания превысит максимально допустимую величину  $\tau$ .

В связи с тем, что максимальная величина времени ожидания  $\tau$  задается потребителями связи, исходя из оперативных условий, определяющих максимально допустимые величины времени задержки в передаче информации, рассмотренные показатели качества выступают как мерилло соответствия возможностей конкретной системы распределения информации заданным требованиям.

Для оценки качества обслуживания заявок при использовании способа с ожиданием н ограниченной длине очереди кроме показателя, записанного выражением (5.5), применяется также показатель потерь (один из показателей, описываемых выражениями 5.1, 5.2 или 5.4), возникающих из-за занятости всех обслуживающих приборов и мест для ожидания.

## Глава 6 Методы расчета параметров систем распределения информации

### 6.1 Способы включения обслуживающих приборов (каналов) в системах распределения информации.

Одним из факторов, существенно влияющим на характер и показатели функционирования ТКС, является способ включения каналов и приборов на КЦ. В общем случае можно выделить два способа включения: полное и неполное.

При полном включении обслуживающих приборов каждый из них может быть предоставлен любому источнику информации. На рис.6.1 показано полное включение  $V$  обслуживающих приборов, каждый из которых может быть подключен для обслуживания любого из  $S$  источников информации.

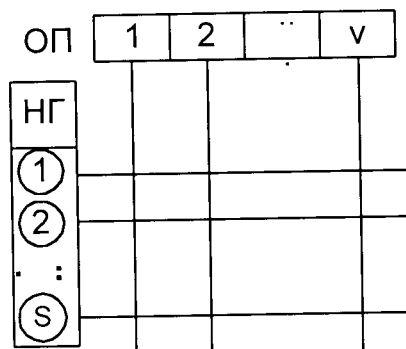


Рис.6.1

Отказ в обслуживании заявки при полном включении ОП наступает только в случае одновременной занятости всех  $V$  приборов.

В случае *неполного* включения ОП они разделяются на изолированные группы. На группы, называемые *нагрузочными группами* (НГ), разделяются также источники информации. Различают несколько способов неполного включения ОП: идеальное неполное включение, ступенчатое и др. При *идеальном неполном включении* число групп ОП равно числу нагрузочных групп, причем, каждая группа ОП закрепляется за одной нагрузочной группой (см. рис. 6.2).

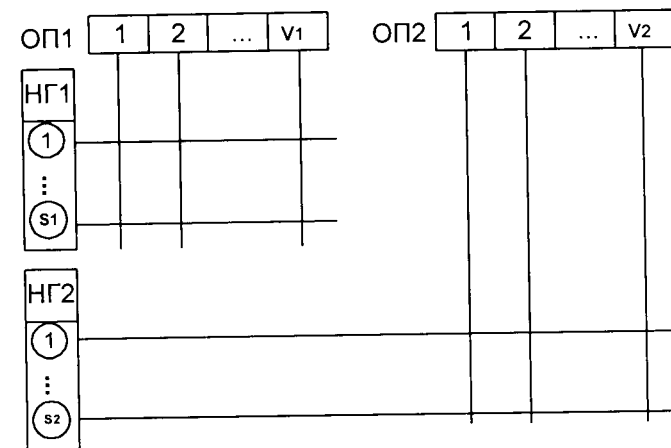


Рис.6.2

Обслуживание любого источника информации определенной нагрузочной группы может осуществляться только приборами закрепленными за этой группой. Отказ в обслуживании заявки при данном способе группировки ОП наступает в случае одновременной занятости всех ОП, закрепленных за нагрузочной группой. В других группах ОП в это время может быть любое число свободных приборов.

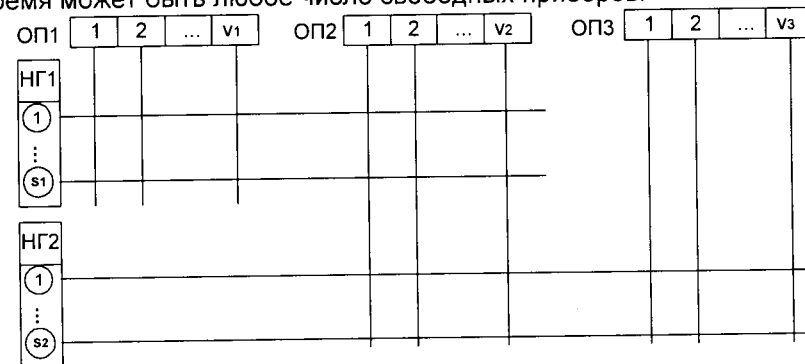


Рис.6.3

При ступенчатом включении наряду с группами ОП, закрепленными за одной нагрузочной группой, создаются группы ОП, закрепленные за двумя, тремя и т. д. нагрузочными группами (рис. 6.3). В этом случае отказ поступившей заявке наступает при

одновременной занятости всех приборов всех групп, обслуживающих данную нагрузочную группу.

Для количественной оценки влияния способа включения обслуживающих приборов (каналов) на показатели коммутационных центров и ТКС в целом используется специальный параметр, получивший название *доступность*. Под доступностью  $d$  понимается число обслуживающих приборов (каналов), каждый из которых доступен (может быть подключен) к каждому источнику одной нагрузочной группы (группы источников информации).

При полном доступном включении  $V$  обслуживающих приборов (каналов) имеет место равенство  $V=d$ . В случае разбиения источников информации на  $q$  нагрузочных групп при идеальном неполнодоступном включении общее число приборов

$$V = \sum_{i=1}^q V_i \text{ и } d_i = V_i, \text{ а при ступенчатом - найдется хотя бы одна (} i\text{-}$$

тая) нагрузочная группа, для которой  $V > d_i > V_i$ .

Разные условия обслуживания заявок в рассмотренных типах группировок ОП обуславливают различную величину исполненной нагрузки равным числом приборов при одинаковой фиксированной вероятности потерь. На рис. 6.4 показана зависимость  $Y=f(V, p=\text{const})$ .

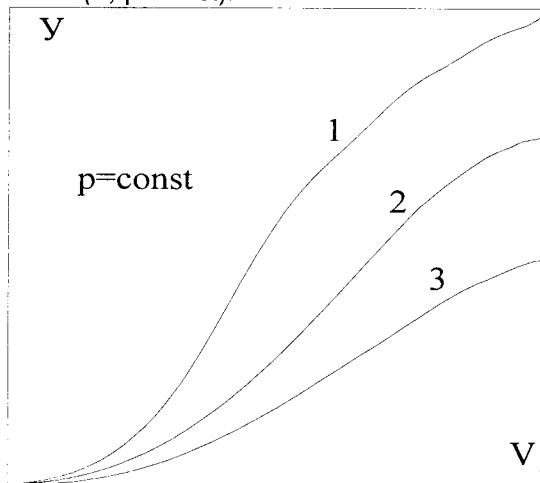


Рис.6.4

Кривая 1 соответствует полному доступному включению, кривая 3 - идеальному неполнодоступному включению и кривая 2

- неполнодоступному ступенчатому включению обслуживающих приборов.

## 6.2 Расчет параметров полноступенчатых систем с потерями при поступлении простейшего потока заявок

Подавляющее большинство задач по разработке, планированию и оценке функционирования систем телефонной связи, а также обеспечения их нормальной эксплуатации в заданных режимах, связаны с расчетом параметров этих систем. Выбор метода расчета определяется рядом факторов и условий:

- принятым способом обслуживания заявок;
- видом включения обслуживающих приборов (каналов);
- типом потока заявок, определяемым, например, составом группы источников информации;
- перечнем известных данных.

В настоящее время широкое применение в практике решения прикладных задач нашли следующие два метода:

1. Метод расчета параметров полноступенчатых систем с потерями при поступлении простейшего потока заявок
2. Метод расчета параметров полноступенчатых систем с потерями при поступлении примитивного потока заявок

Рассмотрим первый из них.

Задача сводится к установлению однозначного соответствия между параметрами системы:  $Z$  - величиной поступающей (или исполненной -  $Y$ ) нагрузки;  $V$  - количеством обслуживающих приборов (каналов) и  $p$  - вероятностью потерь как показателем качества обслуживания. Для решения поставленной задачи широкое применение нашел метод Эрланга. Метод основывается на использовании известной из теории массового обслуживания первой формулы Эрланга:

$$W_V = \frac{Z^V}{V!} \cdot \frac{1}{\sum_{i=0}^V \frac{Z^i}{i!}}. \quad (6.1)$$

Показатель  $W_V$  определяет вероятность занятости всех  $V$  обслуживающих приборов при поступлении на них нагрузки  $Z$ .

Потери могут возникать лишь при совпадении двух событий:

- все  $V$  приборы заняты (с вероятностью  $W_V$ );
- поступает хотя бы еще одна заявка на передачу сообщения (с вероятностью  $W_1$ ).

При условии независимости этих событий, можно определить вероятность потерь как  $p = W_V W_1$ . Первая вероятность рассчитывается по выражению (6.1). Вторая вероятность  $W_1$  может быть определена как отношение числа свободных источников  $S - V$  к общему числу источников вызова

$$W_1 = (S - V) / S = 1 - V / S \quad (6.2)$$

Однако, как уже указывалось, при поступлении в систему простейшего потока заявок характерно  $S \rightarrow \infty$ , что обуславливает значение отношения  $V/S \rightarrow 0$ , а  $W_1 \rightarrow 1$ . Отсюда с достаточной для практических расчетов точностью можно записать

$$P = W_V \cdot 1 = W_V \quad (6.3)$$

Следовательно, первая формула Эрланга (6.1) с учетом (6.3) устанавливает жесткую зависимость между параметрами  $Z$ ,  $V$  и  $p$ . Расчет сводится к определению неизвестного параметра по двум известным. Однако по формуле (6.1) возможно лишь решение прямой задачи  $p = f(Z, V)$ . Условная запись, принятая для обозначения этой зависимости, имеет вид  $E_V(Z)$ . Для задач, определяемых зависимостями вида  $V = \Phi(Z, p)$  и  $Z = \Psi(V, p)$ , используются численные методы решения. С этой целью выражение (6.1) протабулировано. Таблицы, получившие название по фамилии их автора – таблицы Пальма, в диапазоне значений рассмотренных параметров, наиболее встречающихся в прикладных задачах, приведены в книге [4]. По таблицам Пальма построены номограммы. В ряде случаев представляет интерес соотношение между параметрами  $Y$ ,  $V$ ,  $p$ , где  $Y = Z(1-p)$ . Такие соотношения также раскрыты номограммами и таблицами.

### 6.3 Расчет параметров полноступных систем с потерями при поступлении примитивного потока заявок.

Особенностью задачи расчета параметров элементов ТКС с полноступным включением обслуживающих приборов,

реализующих способ обслуживания с потерями при поступлении на них потока заявок от ограниченного числа источников, является влияние численности  $S$  нагрузочной группы на значения других параметров. В результате чего постановка рассматриваемой задачи обуславливает установление соотношений между всеми параметрами  $S$ ,  $Z$ ,  $V$ ,  $p$ . В основе метода расчета лежит известная формула датского исследователя Энгсета:

$$W_V = \frac{C_S^V z^V (1-z)^{S-V}}{\sum_{i=0}^V C_S^i z^i (1-z)^{S-i}} \quad (6.4)$$

где  $W_V$  - вероятность занятости всех  $V$  обслуживающих приборов при поступлении на них от каждого из  $S$  источников нагрузки  $z$ ;

$C_S^V (C_S^i)$  - число сочетаний "из  $S$  по  $V$ " ("из  $S$  по  $i$ ").

Аналогично предыдущему случаю для перехода к потерям как показателю качества обслуживания необходимо определить вероятность одновременного наступления событий: занятости всех  $V$  приборов с вероятностью  $W_V$  и поступление хотя бы одного вызова с вероятностью  $W_1$ . Первая вероятность определяется выражением (6.4), вторая - выражением (6.2). Искомая величина потерь при этом может быть получена перемножением значений указанных вероятностей, т. е.

$$p = W_V W_1 = \frac{C_{S-1}^V z^V (1-z)^{S-V}}{\sum_{i=0}^V C_S^i z^i (1-z)^{S-i}} \quad (6.5)$$

Выражение (6.5) протабулировано. Для практических расчетов могут быть рекомендованы таблицы в книге [4], составленные для обширной области значений параметров.

Точность результатов расчета, полученных методами Эрланга и Энгсета, существенно зависит от параметра  $S$ .

### 6.4 Расчет параметров полноступных систем с ожиданием

Расчет параметров элементов ТКС, реализующих способ обслуживания с ожиданием, рассмотрим в предположении, что

поток поступающих заявок - простейший, а число мест для ожидания неограничено. Кроме уже использованных параметров  $Z=Y$  и  $V$ , при расчете следует учитывать показатель качества обслуживания  $P(t_{ож}>\tau)$ , максимальное время  $\tau$  ожидания обслуживания (с заданной вероятностью), и относительное время  $\theta$  ожидания освобождения обслуживающего прибора. Величина параметра  $\theta$  зависит от среднего времени занятия ОП -  $\bar{t}_c$  и коэффициента вариации  $v$ , учитывающего закон распределения времени занятия обслуживающих приборов. Значение параметра  $\theta$  определяется следующим образом:

$$\theta = \frac{\bar{t}_c(1+v)}{2};$$

где:  $v = 1$  при  $F(\theta) = e^{-t_c}$ ;  
 $v = 0$  при  $F(\theta) = \text{const}$ .

Таким образом, для наиболее распространенного случая экспоненциального распределения времени занятия ОП

$$\theta = \bar{t}_c,$$

Широкое распространение при расчете параметров систем с ожиданием получил метод, предложенный Бухманом Н.Е. В его основе лежит формула для определения приведенного выше показателя качества обслуживания

$$P(t_{ож}>\tau) = P(t_{ож}>0) P_V(t_{ож}>\tau) \quad (6.6)$$

Первый сомножитель правой части выражения (6.6) представляет модификацию второй формулы Эрланга

$$P(t_{ож}>0) = \frac{\frac{Z^V}{V!} \frac{V}{V-|Z|}}{\sum_{i=0}^{V-1} \frac{Z^i}{i!} + \frac{Z^V}{V!} \frac{V}{V-|Z|}} \quad (6.7)$$

Он определяет значение вероятности того, что заявка поступает в момент занятости всех  $V$  обслуживающих приборов и ставится на ожидание. Второй сомножитель выражения (6.6) определяет условную вероятность того, что заявка, находящаяся на ожидании, будет задержана сверх времени  $\tau$ ,

$$P_V(t_{ож}>\tau) = e^{-(V-|Z|)\tau/t_c} \quad (6.8)$$

Подставив в выражение (6.6) выражения (6.7) и (6.8), получим формулу, получившую название формулы Бухмана:

$$P(t_{ож}>\tau) = \frac{\frac{Z^V}{V!} \frac{V}{V-|Z|}}{\sum_{i=0}^{V-1} \frac{Z^i}{i!} + \frac{Z^V}{V!} \frac{V}{V-|Z|}} e^{-(V-|Z|)\tau/t_c} \quad (6.9)$$

Формула (6.9) протабулирована. По результатам расчетов построены номограммы. Пример таких номограмм для  $P(t_{ож}>\tau) = 0,1$  приведен в [4]. Процедура расчета сводится к отысканию при заданной вероятности  $P(t_{ож}>\tau)$  одного неизвестного параметра по остальным известным. Отдельно протабулирована формула (6.7). Соответствующие ей таблицы также приведены в книге [4].

Данный метод используется в основном для расчета параметров в системах, где время занятия ОП распределено по экспоненциальному закону ( $\theta = \bar{t}_c$ ), но может также использоваться при постоянной длительности занятия ОП ( $\theta = 2\bar{t}_c$ ), что характерно, например, для ОП, время занятия которых определяется выполнением одинакового числа заранее обусловленных операций. Однако для второго случая в большей степени приемлем метод Кромеллина, в достаточной степени описанный в работе [5].

## 6.5 Расчет параметров недоступных систем.

Для элементов ТКС с идеальным недоступным включением в них обслуживающих приборов расчет ведется отдельно для каждой группы ОП и закрепленной за ней определенной нагрузочной группы. Методы расчета для каждой группы используются те же, что и при полном доступном включении ОП; при реализации способа обслуживания с ожиданием - метод Бухмана (или Кромеллина), при реализации способа с потерями и поступлении на обслуживание простейшего потока заявок - метод Эрланга, а при поступлении потока заявок от ограниченного числа источников - метод Энгсета. Общее число обслуживающих приборов (каналов) в системе распределения информации определяется как сумма

$$V_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^g V_i,$$

где  $g$ —число изолированных групп ОП (каналов);

$V$ —число ОП (каналов) в  $i$ -ой группе, определенное вышеуказанными методами.

Аналогично могут суммироваться величины нагрузки, исполненной каждой группой ОП. Показатели качества обслуживания источников различных нагрузочных групп (например, вероятности потерь), как правило, не усредняются и характеризуют условия обслуживания заявок каждой из этих групп.

При расчете параметров элементов систем с неполнодоступным ступенчатым включением обслуживающих приборов, реализующей способ обслуживания с потерями, кроме уже используемых параметров  $Y$ ,  $V$  и  $p$  вводится параметр доступности  $d$ . Ориентировочная оценка функционирования таких систем может проводиться по упрощенной формуле Эрланга (предложенной им для ступенчатых включений):

$$p = \left( \frac{Y}{V} \right)^d. \quad (6.8)$$

Из выражения (6.8) могут быть получены формулы для расчета других параметров системы:

$$Y = V \sqrt[d]{p};$$

$$V = \frac{Y}{\sqrt[d]{p}}.$$

Более точные результаты дает применение метода О'Делла — Беркля. В его основе лежит выражение

$$V = \alpha Y + \beta, \quad (6.9)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{1}{\sqrt[d]{p}};$$

$$\beta = d + \frac{Y_d}{\sqrt[d]{p}};$$

$Y_d$ —эквивалентная нагрузка, которая могла бы быть исполнена в системе с полнодоступно

включенными  $d$  обслуживающих приборов при том же значении вероятности потерь  $p$ .

Выражения для определения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  протабулированы.

Широкая область значений коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$ , а также номограммы, полученные по результатам решения формула (6.9) для ряда значений параметров, приведены в книге [6].

## 7. Приоритетное обслуживание заявок в телекоммуникационных сетях.

### 7.1 Определение понятия категория заявки или источника информации.

При функционировании телекоммуникационных сетей предположение об однородности поступающих заявок часто не отвечает реальной действительности. Это обусловлено тем, что к различным заявкам предъявляются различные требования по скорости доведения сообщений до потребителей, по качеству обслуживания и др.. При этом поток поступающих заявок фактически разделяется на несколько потоков. В них заявки обслуживаются по различным алгоритмам, дающим предпочтение одним из них перед другими на основе присвоенной им категории.

Под категорированием заявок понимается какой-либо признак, объединяющий их в группы и отличающий одну группу заявок от другой.

Категория заявки обуславливает предъявление к системе обслуживания определенных специфических требований.

Категорирование может быть

- организационное (тип абонента: квартирный индивидуальный, квартирный коммунальный, на блокираторе, государственные учреждения и т.п.)
- функциональное – определяется формально ценностью информации.

Одним из признаков, по которым происходит разделение заявок, является ценность информации, содержащейся в следующих за заявками сообщениях.

### 7.2 Ценность информации, содержащейся в сообщении.

Ценность информации может трактоваться как потенциальная величина эффекта, создаваемого потребляющей данное сообщение системой по результатам его обработки.

Ценность информации может быть выражена непосредственно в денежных единицах, но в большинстве случаев выражается опосредовано через другие показатели. Это:

1. Новизна передаваемых сообщений.

2. Достоверность описания явлений, фактов или содержащихся в сообщении команд.

3. Уровень иерархии источника информации в системе управления и др.

Новизна содержащейся в сообщении информации может падать по мере увеличения времени нахождения сообщения в системе связи. При этом происходит так называемое старение информации.

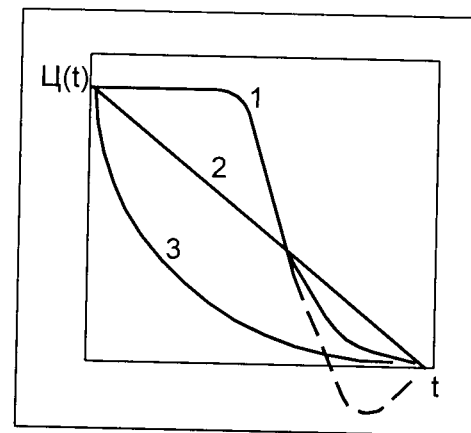


Рис.7.1

Исследования показывают, что законы изменения ценности информации в результате ее старения различны [2]. Рассмотрим некоторые виды зависимостей, отражающих изменение ценности  $C(t)$  информации. Наиболее характерной является зависимость, представленная на рис.7.1, кривая 1. В ряде случаев снижение ценности информации может быть пропорционально времени, проходящему с момента подачи сообщения источником до момента его получения потребителем информации (рис.7.1, кривая 2). Для сообщений, относящихся к типу срочных, эта зависимость имеет характер, показанный кривой 3 (рис. 7.1).

Достоверность содержащейся в сообщении информации во многом зависит от источника информации. В этом смысле ценность ее можно считать наивысшей, если податель сообщения является первоисточником. Весьма существенным при определении ценности информации, в случае передачи команд и распоряжений, является уровень иерархии источника информации. Поэтому предпочтение в обслуживании должно отдаваться абоненту, являющемуся лицом непосредственно ее формирующим.

Объективная оценка действительной ценности информации в условиях реального функционирования сетей представляет собой весьма сложную задачу. Формальным признаком, определяющим этот параметр, является гриф срочности, приписываемый поступающей заявке. В так называемых документальных видах связи (телеграфная, передача данных, факсимильная) гриф срочности присваивается отдельным сообщениям в соответствии с их содержанием. В телефонной связи срочность обслуживания заявок определяется служебным положением абонента или обеспечивается по специальному паролю.

### 7.3 Пути обеспечения требуемого качества обслуживания категорированных заявок.

Количество категорий для различных сетей связи в зависимости от их целевого предназначения, разветвленности и контингента обслуживаемых абонентов может меняться. Часто предпосылкой для категорирования заявок на сети связи является снижение материально-технических затрат. Так, если все заявки обслуживать с соблюдением требований, предъявляемых источниками информации высшей категории, то раздельное обслуживание заявок может вообще не потребоваться. Но при этом существенно возрастает объем и сложность оборудования средств связи.

Рассмотрим пример. Пусть на направление связи, обслуживаемое по системе с потерями, поступает нагрузка  $Z=10$  Эрл. Качество обслуживания для 99% заявок требуется обеспечить не хуже  $q = 0,9$ , а для 1% заявок - не хуже  $q = 0,999$ . Чтобы обеспечить первое требование, необходимо в данном направлении связи иметь  $V = 13$  кан. А для обеспечения второго требования (без разделения обслуживания заявок на категории) —  $V=21$  кан. Таким образом, увеличение мощности рассматриваемого направления связи при переходе к обеспечению более жесткого требования составит  $\Delta V=8$  кан., или 61,5% первоначальной мощности направления связи.

Можно обеспечить выполнение требований по качеству обслуживания без увеличения канальной емкости ветви (направления связи) за счет введения различных алгоритмов обслуживания заявок различных категорий.

При предоставлении приоритета определенным категориям заявок алгоритм установления соединений

определяется принятой для этих категорий дисциплиной обслуживания.

При обслуживании различных категорий заявок может устанавливаться *относительный* либо *абсолютный приоритет*. При относительном приоритете заявки, поступающие в направление связи, все каналы которого в данный момент заняты, ставятся на ожидание. Число очередей обуславливается числом категорий. Заявки из очередей низших категорий обслуживаются лишь при удовлетворении всех заявок высших категорий.

Порядок выборки заявок из очереди каждой категории устанавливается по принципу "первой поступила - первой обслуживается". Описанная дисциплина обслуживания заявок с относительным приоритетом сохраняется и том случае, если для заявок низших (неприоритетных) категорий установлена система обслуживания с потерями. В этом случае заявки низших категорий при их поступлении получают отказ в обслуживании, если имеются на ожидании заявки высших категорий.

При абсолютном приоритете, если в момент поступления заявок высшей все каналы в требуемом направлении заняты обслуживанием заявки низшей категории прекращается, а освободившийся при этом канал связи предоставляется для обслуживания заявки высшей категории.

Принципиально возможно сочетание обслуживания заявок с относительным и абсолютным приоритетами. В этом случае заявки высших категорий обслуживания с абсолютным приоритетом. Заявки нижеследующих категорий — с относительным приоритетом. Заявки низших категорий — без приоритета по системе с потерями или ожиданием.

Наиболее распространено категорийное обслуживание заявок с абсолютным приоритетом, например, в следующей последовательности:

- на сеть поступают заявки  $g$ -категорий;
- каждая заявка, заставшая свободный канал — занимает его;
- любому установленному соединению присваивается категория высшего (среди пары объектов)из категорий;
- при занятости всех каналов в момент поступления заявки соединениями категории не ниже категории поступившей заявки она получает отказ в обслуживании;



-в противном случае – соединение самой низшей категории прерывается (после “сброса” может быть случай с дообслуживанием или (чаще) без дообслуживания;

-освободившийся в результате приоритетного сброса канал занимается для обслуживания заявки высшей категории;

- любое прерванное соединение считается получившим отказ в обслуживании из-за приоритетного сброса.

#### 7.4 Показатели качества обслуживания заявок при абсолютном приоритете.

Для определения показателей качества обслуживания примем следующие условия:

— все поступающие заявки разделены на  $r$  категорий;

— интенсивность нагрузки, создаваемой сообщениями по заявкам  $i$ -й категории, —  $Z_i$ , а интенсивность нагрузки, создаваемой сообщениями по заявкам  $i$ -й категории,

адресованной абонентам  $j$ -й категории, —  $Z_i^{(j)}$ ;

— число каналов в рассматриваемой ветви сети связи -  $V$ ;

— дисциплина обслуживания заявок предусматривает абсолютный приоритет;

- система обслуживает заявки всех категорий с потерями.

Для абонентов любой из категорий, если их число больше числа каналов в рассматриваемой ветви, вероятность потерь из-за занятости всех каналов ветви сети связи  $p > 0$ . Значение ее для абонентов низшей  $r$ -й категории может быть определено по первой формуле Эрланга с учетом нагрузки, поступающей на эту ветвь от абонентов всех категорий:

$$P_r = \frac{\left( \sum_{i=1}^r Z_i \right)^v}{\sum_{k=0}^v \frac{\left( \sum_{i=1}^r Z_i \right)^k}{k!}} \quad (7.1)$$

Для абонентов  $(r-1)$ -й категории вероятность получить отказ в обслуживании из-за занятости всех каналов зависит как

от суммарной нагрузки  $\sum_{i=1}^{r-1} Z_i$ , поступающей от абонентов всех

$(r-1)$ -х категорий, так и исполненной нагрузки, создаваемой абонентами  $r$ -й категории при установлении соединений их с абонентами  $1 \dots (r-1)$  категорий:

$$\sum_{j=1}^{r-1} Z_j^{(r)} (1-p_r).$$

Вероятность потерь для абонентов  $(r-1)$  категории определяется выражением

$$P_{r-1} = \frac{\left( \sum_{i=1}^{r-1} Z_i + \sum_{j=1}^{r-1} Z_j^{(r)} (1-p_r) \right)^v}{\sum_{k=0}^v \frac{\left( \sum_{i=1}^{r-1} Z_i + \sum_{j=1}^{r-1} Z_j^{(r)} (1-p_r) \right)^k}{k!}} \quad (7.2)$$

В общем виде вероятность получить отказ из-за занятости всех каналов в ветви для абонента  $n$ -й категории определяется первой формулой Эрланга при нагрузке

$$Z^* = \sum_{i=1}^n Z_i + \sum_{j=1}^n Z_j^{(r)} (1-p_r) + \sum_{j=1}^n Z_j^{(r-1)} (1-p_{r-1}) + \dots + \sum_{j=1}^n Z_j^{(n+1)} \quad (7.3)$$

Вероятность потерь из-за приоритетного сброса установленных соединений в интересах обслуживания заявок высших категорий может быть определена как отношение нагрузки, потерянной в результате приоритетного сброса, к нагрузке, которая могла бы быть исполнена в системе без разделения заявок на категории приоритета. Нагрузка данной категории, потерянная в результате приоритетного сброса, совпадает (при условии статистического равенства нагрузок,

## Глава 8 Основные характеристики телекоммуникационных сетей

### 8.1 Пропускная способность телекоммуникационных сетей

Наличие существенных отличительных признаков в построении и функционировании первичных и вторичных телекоммуникационных сетей требует различных подходов к определению их пропускной способности. Так, функционирование первичных сетей не зависит от вида конечных устройств, характера создаваемых ими потоков сообщений, способов и дисциплин обслуживания заявок. Поэтому пропускная способность элементов сети (направлений или ветвей связи) может определяться числом каналов в этих элементах или максимально возможной нагрузкой, которую может обслужить (пропустить) элемент сети. В цифровых первичных сетях теоретическая (шенноновская) пропускная способность равна максимальной скорости передачи в канале или в тракте.

Во вторичных сетях оценка пропускной способности числом каналов или максимальной скоростью передачи информации будет неточной, так как не учитывает требований абонентов к качеству обслуживания заявок. Поэтому для этих сетей пропускная способность может оцениваться объемом информации, который передается от источников информации к потребителям при заданных вероятностно-временных ограничениях, определяемых требованиями к качеству обслуживания.

Пропускная способность может быть выражена через два взаимосвязанных параметра: величину интенсивности исполненной нагрузки и качество обслуживания. Интенсивность исполненной нагрузки  $Y_{ij}$  может быть выражена через интенсивность исполненного потока заявок  $C_{ij}$  в каждом направлении связи и среднее время обслуживания  $t_c$  этих заявок, т.е.  $Y_{ij} = C_{ij} t_c$ .

Качество обслуживания заявок обуславливается принятым на сети способом обслуживания. Для телефонных сетей в большинстве случаев принимается способ обслуживания заявок с потерями, для которого показателем качества является

величина (вероятность)  $p$  потерь. Если при этом значение интенсивности поступающей в направлении связи  $J_{ij}$  нагрузки равно  $Z_{ij}$ , то исполненная в нем нагрузка

$$Y_{ij} = Z_{ij}(1 - p_{ij}). \quad (8.1)$$

Пропускная способность направления связи  $Y_j(p_j)$  равна исполненной в этом направлении нагрузки  $Y_j$  при выполнении требований по качеству обслуживания  $p_j$

$$Y_j(p_j) = Z_j(1 - p_j). \quad (8.2)$$

Пропускная способность телекоммуникационной сети оценивается по результатам функционирования каждого направления связи. Суммарная пропускная способность всех направлений связи определяет объем сообщений или нагрузку в (Эрлангах), прошедших через сеть от источников к потребителям информации, т.е. пропускную способность телекоммуникационной сети в целом.

Таким образом, можно сформулировать следующее определение рассматриваемой характеристики: *пропускной способностью телекоммуникационной сети называется суммарная нагрузка, исполняемая в единицу времени по всем направлениям связи, при обеспечении заданных показателей качества обслуживания.*

Иллюстрация данного определения представлена на рис.8.1

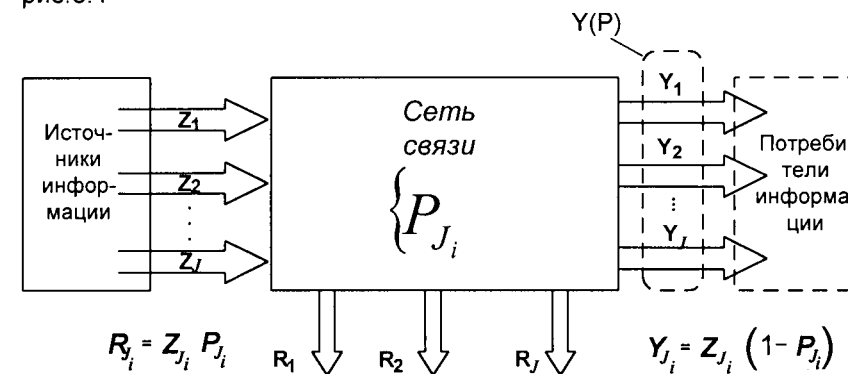


Рис.8.1

Если в каждом направлении связи  $J_{ij}$ , где  $i, j \in N$ , значение исполненной нагрузки равно  $Y_{ij}$ , а показатель качества обслуживания  $p_{ij}$ , то распределение пропускной способности

Y(P) сети по направлениям связи наиболее полно отражается следующей матрицей:

$$Y(P) = \begin{pmatrix} Y_{11}(p_{11}) & Y_{12}(p_{12}) & \dots & Y_{1j}(p_{1j}) & \dots & Y_{1N}(p_{1N}) \\ Y_{21}(p_{21}) & Y_{22}(p_{22}) & \dots & Y_{2j}(p_{2j}) & \dots & Y_{2N}(p_{2N}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{i1}(p_{i1}) & Y_{i2}(p_{i2}) & \dots & Y_{ij}(p_{ij}) & \dots & Y_{iN}(p_{iN}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{N1}(p_{N1}) & Y_{N2}(p_{N2}) & \dots & Y_{Nj}(p_{Nj}) & \dots & Y_{NN}(p_{NN}) \end{pmatrix}$$

В случае, когда для каждого направления связи выполняются условия  $J_{ij} = J_{ji}$ , где  $i, j \in N$ , и  $Y_{ij} + Y_{ji} = Y_{ij}$  распределение пропускной способности Y(P) сети по направлениям связи может быть представлено наддиагональной матрицей

$$Y(P) = \begin{pmatrix} Y_{12}(p_{12}) & Y_{13}(p_{13}) & \dots & Y_{1j}(p_{1j}) & \dots & Y_{1N}(p_{1N}) \\ & Y_{23}(p_{23}) & \dots & Y_{2j}(p_{2j}) & \dots & Y_{2N}(p_{2N}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & Y_{ij}(p_{ij}) & \dots & Y_{iN}(p_{iN}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & & & Y_{(N-1)N}(p_{(N-1)N}) \end{pmatrix}$$

Численное значение пропускной способности Y(p) сети может быть получено из выражения:

$$Y(p) = \sum_{i=1}^I Y_i(p_i) \text{ или } Y(p) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N Y_{ij}(p_{ij}) \quad (8.3)$$

где: N - число коммутационных центров в сети;

I - число направлений связи в сети.

Основными факторами, определяющими значение пропускной способности каждого направления связи и телекоммуникационной сети в целом, являются значения пропускной способности ветвей, тип потока заявок, алгоритм распределения заявок в направлениях связи и принятая система обслуживания.

## 8.2 Функционирующая нагрузка телекоммуникационных сетей

Внутреннее состояние сетей связи, определяемое занятием их элементов для обслуживания поступающих заявок и передачи сообщений, характеризуется функционирующей в этих сетях нагрузкой. При этом под функционирующей понимается суммарная (исполняемая по всем ветвям сети связи) нагрузка  $Y_\Phi$ . Распределение ее по ветвям сети связи может быть также описано наддиагональной матрицей:

$$Y_\Phi = \begin{pmatrix} Y_{m12} & Y_{m13} & \dots & Y_{m1j} & \dots & Y_{m1N} \\ & Y_{m23} & \dots & Y_{m2j} & \dots & Y_{m2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & Y_{mij} & \dots & Y_{miN} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & & & & & Y_{m(N-1)N} \end{pmatrix}$$

Каждый элемент  $Y_{mij}$  матрицы численно равен величине нагрузки, исполняемой в соответствующей ветви  $m_{ij}$ . При значении элемента матрицы связности  $a_{ij} = 0 - Y_{mi} = 0$ , а при  $a_{ij} = 1 - Y_{mi} > 0$ . Функционирующая нагрузка  $Y_\Phi$  для сети связи в целом определяется следующим образом

$$Y_\Phi = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N Y_{imj} \text{ или } Y_\Phi = \sum_{k=1}^M Y_{mk} \quad (8.4)$$

где M - число ветвей в сети.

## 8.3 Соотношение между пропускной способностью и функционирующей нагрузкой в телекоммуникационных сетях

В общем случае соотношение между пропускной способностью телекоммуникационной сети и функционирующей в ней нагрузкой имеет вид

$$Y(p) \leq Y_\Phi$$

Равенство указанных величин справедливо только для некоммутируемых сетей. В них каждому направлению связи соответствует ветвь  $m_{ij}$ , а любое соединение может устанавливаться по единственному пути. Если известно  $k$  среднее число КЦ во всех путях передачи информации, то величина функционирующей нагрузки может быть определена следующим образом:

$$Y_{\phi} = Y(p)(k-1) \quad (8.5)$$

Покажем справедливость этих соотношений на простых примерах.

*Пример №1.* Произведем оценку соотношения функционирующей нагрузки и пропускной способности в коммутируемой телекоммуникационной сети, характеризующейся параметрами  $N=3$ ,  $M=2$ . Структура сети представлена на рис. 8.2.

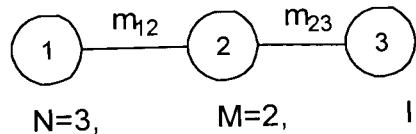


Рис. 8.2

При  $J_{ij}=J_{ji}$  число направлений связи в такой сети

$$l = \frac{N(N-1)}{2} = 3.$$

Обозначим эти направления связи  $J_{12}$ ,  $J_{21}$ ,  $J_{23}$ . Пропускная способность каждого из них определяется соответственно величинами нагрузок  $Y_{12}$ ,  $Y_{13}$  и  $Y_{23}$  при условии выполнения требований по качеству обслуживания, т.е.  $p_{12}$ ,  $p_{13}$  и  $p_{23}$ . Тогда в соответствии с (8.3) можно записать:

$$Y(p) = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + Y_{23}(p)$$

Из рис. 8.2 видно, что ветвь  $m_{12}$  должна обеспечить выполнение нагрузки  $Y_{m12} = Y_{12}(p) + Y_{13}(p)$ , а ветвь  $m_{23}$  -  $Y_{m23} = Y_{13}(p) + Y_{23}(p)$ . Суммарная функционирующая нагрузка на рассматриваемой сети в соответствии с (8.4) равна

$$Y_{\phi} = Y_{m12} + Y_{m23} = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + 2Y_{23}(p) \quad (8.6)$$

В направлениях связи  $J_{12}$  и  $J_{23}$   $k=2$ , что определяет для них  $Y_{m12} = Y_{12}(p)$  и  $Y_{m23} = Y_{23}$ . В направлении связи  $J_{13}$   $k=3$ , а  $Y_{m23} = 2Y_{13}(p)$ . Отсюда в соответствии с (8.5)

$$Y_{\phi} = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + 2Y_{23}(p),$$

что соответствует значению, полученному в (8.6).

2. Пусть задана некоммутируемая сеть в виде трехэлементной КЭС (рис. 8.3). При  $J_{ij}=J_{ji}$  она характеризуется следующими параметрами:  $N=3$ ,  $M=3$ ,  $l=3$ .

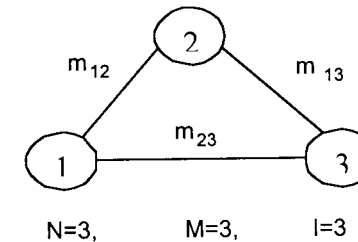


Рис. 8.3

В этой сети каждому направлению связи  $J_{12}$ ,  $J_{13}$  и  $J_{23}$  соответствует своя собственная ветвь  $m_{12}$ ,  $m_{12}$  и  $m_{23}$ . Так как обходные пути установления соединений отсутствуют, то функционирующая нагрузка в сети равна:

$$Y_{\phi} = Y_{m12} + Y_{m13} + Y_{m23} = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + Y_{23}(p),$$

а пропускная способность:

$$Y(p) = Y_{12}(p) + Y_{13}(p) + Y_{23}(p).$$

То есть, в некоммутируемой сети -  $Y(p) = Y_{\phi}$ .

### 8.3 Живучесть телекоммуникационных сетей

В процессе функционирования сетей связи на них могут возникать различные экстремальные ситуации, причинами которых являются разнородные внешние факторы, например стихийные бедствия (землетрясения, наводнения, пожары и т.п.), воздействие агрессивной внешней среды (противника, оружие массового поражения). В результате этого могут поражаться как отдельные элементы, так и целые участки этих сетей. Такие ситуации характеризуются резким снижением пропускной способности сетей связи, а также их структурно-топологическими изменениями (вплоть до разрыва связности), т.е. нарушением связи между определенными пунктами сети.

Данные о возможностях сети связи по установлению соединений и передаче (хотя бы единичных) сообщений в указанных ситуациях дает характеристика, получившая название *живучесть сетей связи*. Таким образом, под живучестью сети

связи понимается ее свойство обеспечивать установление соединений и передачу сообщений между включенными в нее источниками и потребителями информации при выходе из строя (в условиях внешнего воздействия) ее элементов или участков без нормирования качества обслуживания.

Факторы, определяющие живучесть сетей связи, могут быть разделены на две группы:

- процессы и явления, вызывающие выход из строя элементов сети связи;
- меры, принимаемые на сети связи, и ее свойства, препятствующие возникновению отказов или повышающие связность ее структуры.

В первую группу факторов входят:

- агрессивные проявления окружающей среды;
- вредное влияние объектов и искусственных сооружений, расположенных вблизи элементов сети связи (воздействие высоких напряжений и радиопомех, вредное воздействие окружающей среды);
- воздействие оружия противника;
- недостаточная живучесть элементов сети связи.

Ко второй группе факторов относятся:

- рациональное построение структуры и топологии сети связи;
- использование высоконадежной и живучей аппаратуры связи и средств управления связью;
- применение специальных мер защиты элементов сети связи.

Выделяют два вида живучести сети связи [2]- структурную и функциональную. Первый вид определяет верхнюю (теоретически достижимую) границу живучести. Считают, что сеть обладает *структурной живучестью*, если можно считать (с определенной вероятностью), что граф сети, описывающий ее структуру, останется связным после воздействия на эту сеть определенных агрессивных внешних факторов, т.е. если в указанных условиях в каждом направлении связи сохраняется (с определенной вероятностью) хотя бы один путь установления соединений, обеспечивающий передачу сообщений между конечными КЦ. Поиск пути в рассматриваемом случае осуществляется по структуре сети. Эту задачу можно считать тождественной известной из теории графов задаче поиска путей на графе.

В реальной сети связи не каждый путь, определенный по ее графу, может быть использован для передачи сообщений. Это обуславливается ограничениями, накладываемыми

функциональными возможностями используемых средств связи. Такими ограничениями могут быть использование детерминированного процесса поиска путей на коммутационных центрах (как конечных, так и транзитных), а также предельно допустимое число переключений, установленное для данного типа систем передачи. Свойство сети связи обеспечивать установление соединений и передачу сообщений в направлениях связи при поражениях в результате внешних воздействий ее элементов и участков, с учетом функциональных возможностей используемых в этих направлениях средств связи, называется *функциональной живучестью* данной сети. Именно параметры функциональной живучести учитываются в первую очередь при оценке возможностей сетей связи.

За показатель количественной оценки живучести принимается вероятность выживания (сохранения связности) направлений связи. Для оценки структурной живучести - это  $W(G)$ , для оценки функциональной живучести - это  $W_{ij}(F)$ . Живучесть  $W_{ij}(F)$  любого пути установления соединений, как совокупности последовательно включенных его элементов (КЦ, ветвей), определяется произведением вероятностей выживания каждого из этих элементов:

$$W_{ij}(F) = \prod_{k=1}^n W_k \prod_{l=1}^L W_l, \quad (8.1)$$

где:  $n$  - число КЦ в пути  $\mu$ ;

$W_k$  - вероятность выживания  $k$ -го КЦ в заданных условиях;

$L$  - число ветвей в пути  $\mu$ ;

$W_l$  - вероятность выживания  $i$ -й ветви в заданных условиях.

В соответствии с правилами операций с вероятностными величинами выражение (8.1) правомерно лишь при независимости событий поражения этих элементов. При составлении расчетного выражения с учетом указанных факторов составляется соответствующий расчетный граф. Например, при образовании ветвей сети связи лишь линиями радиорелейной связи, в случае совместного размещения КЦ и радиорелейных станций, а также с учетом характера поражения этих элементов (одновременном поражении всех совместно размещенных средств) живучесть пути может быть оценена в соответствии со следующим выражением:

$$W_{ij}^{\mu}(F) = \prod_{k=1}^n W_k.$$

При наличии в направлении связи нескольких независимых путей установления соединений и передачи сообщений его живучесть сохраняется, если при поражении элементов (или участков) сохраняется работоспособным хотя бы один из этих путей:

$$W_{ij}^{\mu}(F) = 1 - \prod_{\zeta=1}^{\chi} (1 - W_{ij}^{\mu(\zeta)}), \quad (8.2)$$

где  $\chi$ -число независимых путей в направлении связи.

Анализ выражения (8.2) показывает, что увеличение в направлении связи числа независимых путей является действенной мерой повышения живучести этого направления. Однако следует отметить, что прирост живучести ( $\Delta W(F)$ ) с добавлением в направление связи путей передачи информации непропорционален их числу [2]. При этом значимость каждого вновь добавляемого пути оказывается ниже предыдущего. К этому следует добавить, что и длина пути также определяет его значимость: чем длиннее путь, тем меньший прирост живучести он дает.

#### 8.4. Надежность функционирования телекоммуникационных сетей

Характеристика, определяющая возможность абонентов обмениваться информацией по сетям связи в условиях возникновения технических отказов и эксплуатационных ошибок на ее элементах без заметного ухудшения вероятностно-временных показателей обслуживания заявок, получила название надежности функционирования этих сетей. В связи с этим под *надежностью функционирования* сети связи понимается ее свойство обеспечивать установление соединений и передачу сообщений в реальных условиях эксплуатации при сохранении заданных значений показателей качества обслуживания, установленного для каждого направления связи.

Надежность сети связи имеет ряд особенностей по сравнению с отдельными радиотехническими устройствами. Основными из них являются:

- разветвленность сетей связи, рассредоточенное размещение их элементов на местности;

- многофазное обслуживание поступающих требований;
- определение надежности сетей связи по их показателям для отдельных направлений связи;
- наличие переменного статистического резервирования, присущего многолинейным системам массового обслуживания;
- многотипность используемых средств связи даже на одном пути установления соединения.

В общем случае надежность функционирования сети связи определяется надежностью входящих в нее элементов, структурой и топологией сети, а также состоянием окружающей среды. В связи с тем, что функционально сеть связи разбивается на направления связи, каждому из которых может быть присуще (задано) свое качество обслуживания поступающих в него заявок, надежность функционирования оценивается отдельно для каждого из этих направлений. Совокупность показателей надежности функционирования всех направлений связи характеризует надежность функционирования рассматриваемой сети в целом. Следует, однако, иметь в виду, что формально независимая оценка надежности функционирования различных направлений связи не означает их функциональную независимость. Это обуславливается тем, что одни и те же элементы сети связи входят в различные направления связи.

В качестве показателя надежности функционирования сети связи и ее основных элементов (направлений связи и ветвей, входящих в эти направления) принимается вероятность  $W(t)$  безотказного обслуживания поступающих в сеть заявок. Для ветви сети связи, вероятность безотказного обслуживания может быть определена как

$$W_m(t) = R_m(1 - \rho_m), \quad (8.3)$$

где:  $R_m$  - вероятность безотказной работы средств ветви;

$\rho_m$  - потери заявок на данной ветви.

В отличие от надежности отдельных радиотехнических устройств, для которых устанавливаются два технических состояния: "исправно" и "повреждено", т.е. находится в состоянии прямого назначения, и "повреждено", т.е. находится в состоянии технического отказа и не может выполнять предписанные для этого устройства функции, ветвь сети связи, относящаяся к классу систем массового обслуживания, может находиться в трех состояниях: "норма", "предупреждение" и "авария" [7]. Это обуславливается понятием отказа ветви (как и направления связи, так и сети связи в целом), под которым понимается событие, заключающееся в ухудшении качества обслуживания заявок на ветви (направлении связи) сверх нормированного

значения. При этом качество обслуживания определяется не только "эрланговскими" потерями, но и техническим состоянием входящих в данную ветвь средств, т.е. вероятностью безотказного обслуживания по

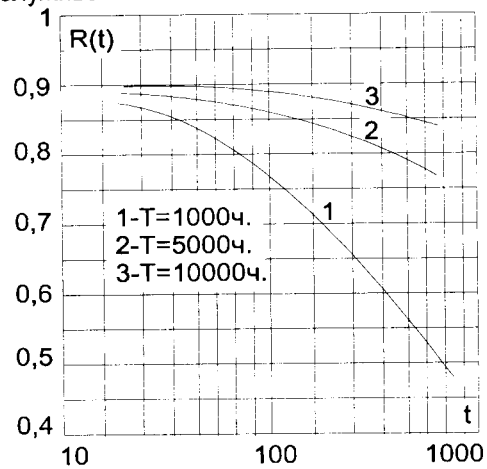


Рис.8.4

выражению (8.3). Вероятность безотказной работы  $R$ , входящая в это выражение и определяющая техническое состояние образующих ветвь средств связи, определяется как

$$R = k_2 e^{-t/T}, \quad (8.4)$$

где:  $k_2$  - коэффициент готовности ветви выполнять предписанную ей задачу;

$t$  - время выполнения этой задачи;

$T$  - среднее время работы средств ветви до технического отказа (среднее время наработки на отказ).

Значения параметров  $k_2$  и  $T$ , как правило, определяются техническим нормированием используемых средств связи. Параметр  $t$  в большинстве случаев обуславливается организационными соображениями. Характер зависимости  $R(t)$  может определяться расчетным путем по выражению (8.4) и иллюстрируется рис. 8.4

## Глава 9 Эффективность использования оборудования на телекоммуникационных сетях

### 9.1 Понятие эффективности использования телекоммуникационных сетей.

При анализе и синтезе систем большое внимание уделяется их эффективности. Это показатель, характеризующий реальные или потенциальные возможности систем развивать определенный положительный эффект.

Встречаются две трактовки понятия эффективность. Первая - это степень соответствия возможных или полученных результатов целевого применения этих систем желаемым результатам. Вторая - это показатель соотношения возможных результатов целевого применения систем и материально-технических затрат, обеспечивающих достижение данных результатов.

В первом случае за показатель эффективности  $\varepsilon$  использования системы можно принять отношение возможного результата (эффекта)  $\mathcal{E}_B$  применения системы по назначению к необходимому результату (эффекту)  $\mathcal{E}_H$  такого применения системы:

$$\varepsilon = \mathcal{E}_B / \mathcal{E}_H \quad (9.1)$$

Во втором случае таким показателем является

$$\varepsilon = \mathcal{E}_B / Z \quad (9.2)$$

где  $Z$  - величина материально-технических затрат, обеспечивающих получение результата (эффекта)  $\mathcal{E}_B$ .

При определении целевого предназначения систем желаемый результат их функционирования часто задается диапазоном  $[\mathcal{E}_{\min} - \mathcal{E}_{\max}]$  минимального  $\mathcal{E}_{\min}$  и максимального  $\mathcal{E}_{\max}$  значений ожидаемого эффекта. Реальная система в этом случае соответствует своему предназначению, если развиваемый ею эффект  $\mathcal{E}$  находится в этом диапазоне:

$$\mathcal{E}_{\min} < \mathcal{E} < \mathcal{E}_{\max} \quad (9.3)$$

Случай, когда  $\mathcal{E} < \mathcal{E}_{\min}$ , определяет непригодность использования системы по ее прямому предназначению. При  $\mathcal{E} > \mathcal{E}_{\max}$  величина  $\mathcal{E}' = \mathcal{E}_{\max} - \mathcal{E}$  определяет развиваемый эффект, не используемый в условиях ее применения по прямому предназначению. Поэтому для такого варианта можно считать  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max}$ .

Таким образом (9.1) имеет смысл лишь при выполнении условия (9.3). Более широкое применение (9.1) затруднено, так как оно не отражает затрат, необходимых для получения желаемого результата. Т.е. не характеризует систему по реализуемости. Это обуславливает целесообразность применения для практической оценки эффективности использования систем показателя из выражения (9.2), который с учетом условия (9.3) может быть записан в виде

$$\varepsilon = \Delta / Z \quad (9.4)$$

На величину эффекта, получаемого при использовании систем, существенное влияние оказывают:

- величина материально-технических затрат на создание и эксплуатацию этих систем;
- способ их использования;
- реализуемые на них алгоритмы функционирования;
- внешние факторы, воздействующие на эти системы в период их функционирования.

Важную роль при оценке эффективности использования систем играет выбор частных показателей, определяющих как получаемый от системы эффект, так и требуемые затраты.

## 9.2 Показатели эффективности использования телекоммуникационных сетей

При выборе частных показателей необходимо, чтобы они содержали количественную мерку эффекта и затрат, имели однозначное численное выражение и физический смысл, были достаточно просты и могли бы быть реально получены.

Показатели могут быть объединены в две группы:

- целевого предназначения;
- материально-технических затрат.

Для сетей связи где эффект и затраты могут быть выражены в единой денежной форме эта задача решается сравнительно просто. Выражение (9.4) в этом случае принимает вид:

$$\varepsilon = E_2 / E_3$$

где  $E_2$  - эффект (доход) за определенный период, даваемый сетью в процессе ее функционирования;

$E_3$ —затраты на построение и эксплуатацию сети за тот же период.

Для сетей связи, в которых выразить в денежной форме как эффективность так и затраты практически невозможно рассмотренный выше метод неприемлем. В этом случае в первую группу включаются показатели пропускной способности  $Y(p)$  (величина исполненной нагрузки  $Y$  при заданном качестве обслуживания  $q = 1 - p$ ), структурной  $W(G)$  или функциональной  $W(F)$  живучести, надежности  $W(t)$ , а также некоторые другие, заданные, как правило, по направлениям связи.

Во вторую группу показателей могут включаться:

- 1) количество элементов сети связи, определяющих состав путей установления соединений;
- 2) количество этих путей в направлениях связи
- 3) имеющаяся канальная емкость ветвей и др.

При решении практических задач в качестве показателя материально-технических затрат часто используют число образуемых на сети каналов связи. Это хотя и косвенно, но достаточно наглядно определяет объем применяемых на данной сети средств связи. Остановившись на этом показателе второй группы, можно получить ряд частных относительных показателей эффективности использования сети связи. Так, если

$$\Delta = \begin{cases} Y & \text{при } q = \text{const} \\ q & \text{при } Y = \text{const} \\ W(G), W(F) \\ W(t) & \text{при } Y(p) = \text{const} \end{cases}$$

то частными относительными показателями при  $|Z| = V$  являются

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{Y}{V} \Big|_{p = \text{const}}; & \Delta_2 &= \frac{q}{V} \Big|_{Y = \text{const}}; \\ \Delta_3 &= \frac{W(G)}{V} \Big|_{p = \text{const}}; & \Delta_4 &= \frac{W(t)}{V} \Big|_{p = \text{const}} \end{aligned} \quad (9.5)$$

## 9.3 Степень использования каналов на ветви телекоммуникационной сети

Рассмотрим частный относительный показатель  $\Delta_1$  для отдельной ветви и сети в целом. В связи с тем, что значимость этого показателя велика, а физический смысл очевиден, он



часто используется при приближенной оценке эффективности использования ветвей и сетей связи самостоятельно.

Степенью использования каналов ветви называется величина, численно равная математическому ожиданию времени занятия каждого канала этой ветви за определенный период времени. То есть это величина интенсивности исполняемой каждым каналом нагрузки. Она объективно и однозначно определяется пропускной способностью ветви, а при определенных условиях и телекоммуникационной сети в целом.

В соответствии с определением степень использования каналов  $a$  на ветви сети связи может быть представлена как

$$a = \frac{Y}{V} \Big|_{p = const} \quad (9.6)$$

Не сложный анализ показывает, что чем больше величина  $a$ , тем больше пропускная способность ветви. Факторами, влияющими на степень использования каналов в ветви, являются система обслуживания заявок, мощность ветви  $V$ , и требуемое качество  $q$  обслуживания. В зависимости от системы обслуживания  $q=1-p$ , для систем с потерями, или  $q=1-P(t_{ож} > \tau)$ ,

для систем с ожиданием.

Проанализируем зависимость  $a=f(V, \text{ при } p=const)$  для ветви телекоммуникационной сети, заявки на которой обслуживаются по системе с потерями. С этой целью на рис.9.1 представлены зависимости коэффициента использования  $a$  каналов от мощности  $V$  ветви при различных значениях величины допустимых потерь:  $p = 0,001$  (кривая 1);  $p = 0,005$  (кривая 2),  $p = 0,020$  (кривая 3);  $p = 0,050$  (кривая 4);  $p = 0,200$  (кривая 5);  $p = 0,500$  (кривая 6).

Ход кривых показывает, что резкое возрастание коэффициента использования  $a$  каналов наблюдается в области малых мощностей ветвей. И эта тенденция соблюдается для всех ветвей, независимо от величины допустимых потерь на них. Из этого вытекает высокая значимость каждого канала в ветвях мощностью  $V < 10$ .

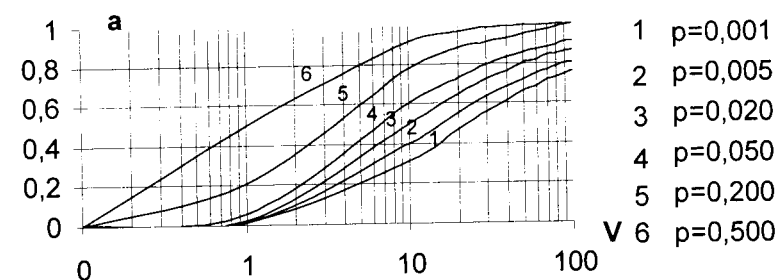


Рис.9.1

Рассмотрим влияние качества обслуживания (допустимой вероятности потерь) на коэффициент использования каналов в ветви. С этой целью проанализируем зависимость  $a=f(p, \text{ при } V=const)$ . С этой целью на рис.9.2 представлены зависимости коэффициента использования  $a$  каналов от допустимой вероятности  $p$  потерь при различных значениях мощности ветви:  $V = 1$  (кривая 1);  $V = 3$  (кривая 2);  $V = 10$  (кривая 3);  $V = 50$  (кривая 4);

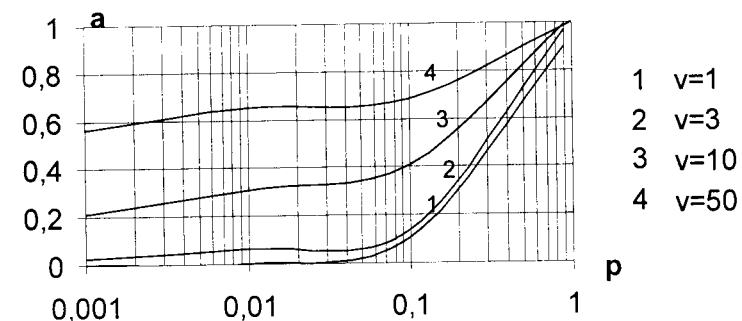


Рис.9.2

Анализ полученных результатов показывает:  
1.Повышение величины допустимых потерь ведет к повышению коэффициента использования каналов в ветви.

2. В диапазоне  $p = 0,005—0,100$  при  $V = \text{const}$  коэффициент  $a$  использования каналов слабо зависит от величины допустимых потерь.

3. Резкое возрастание коэффициента  $a$  использования каналов наблюдается в области потерь  $p > 0,100$ .

Таким образом, с точки зрения оператора, предоставляющего услуги связи потребителям с целью получения дохода, целесообразно снизить показатель качества. Это позволит ему повысить величину обслуженной нагрузки и, как следствие, обеспечить более высокий доход. С точки зрения потребителя, желательно, чтобы услуги предоставлялись с высоким качеством, максимальным удобством для пользователя и в кратчайшие сроки. А это ведет к снижению эффективности использования оборудования при фиксированной мощности ветвей.

Таким образом, налицо противоречие между оператором и потребителем телекоммуникационных услуг. Разрешение такого рода противоречий достигается нормированием показателей качества обслуживания. В этом случае потребитель получает услугу с требуемым качеством, а оператор организует эксплуатацию оборудования телекоммуникационной сети не затрагивая интересы пользователей.

#### 9.4 Показатели использования каналов на сети связи

Для оценки эффективности используемого на сети связи оборудования по частному показателю  $\mathcal{E}_1$  выражения (9.5) введем коэффициенты функционального  $a_\phi$  и эффективного  $a_3$  использования каналов на этой сети.

Коэффициент  $a_\phi$  функционального использования каналов показывает среднюю нагрузку, приходящуюся на один канал рассматриваемой сети связи. Этот коэффициент может быть определен как отношение величины  $Y_\phi$  функционирующей в сети нагрузки к общему числу каналов  $V$ , обеспечивающих исполнение в сети этой нагрузки:

$$a_\phi = Y_\phi / V \quad (9.7).$$

Подставив в выражение (9.7) значение  $Y_\phi$ , получим

$$a_\phi = \frac{\sum_{j=1}^M Y_j}{V} \quad (9.8)$$

где  $Y_j$ —нагрузка, исполняемая  $J$ -й ветвью;  
 $M$ —число ветвей в сети связи.

Величина коэффициента функционального использования каналов зависит от многих факторов, основными из которых являются степень использования каналов  $a$  в ветвях и среднее число транзитов, приходящихся на одно соединение. Она определяет внутреннее состояние сети, определяемое реальной загрузкой ее каналов.

Коэффициент  $a_3$  эффективного использования каналов характеризует выходные параметры сети связи и определяет долю пропускной способности  $Y(p)$ , приходящейся в среднем на один канал связи этой сети:

$$a_3 = \frac{Y(p)}{V} \quad (9.9)$$

Раскрыв в выражении (9.9) значение  $Y(p)$ , получим

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^I Y_i(p_i)}{V},$$

где  $Y_i(p_i)$ —пропускная способность  $i$ -го направления связи;  
 $I$  - число направлений связи в сети.

Величина  $a_3$  так же, как и  $a_\phi$ , существенно зависит от степени использования каналов в ветвях сети связи. Между коэффициентами эффективного и функционального использования каналов в общем случае существует зависимость  $a_3 \leq a_\phi$ . Равенство справедливо только для некоммутируемых сетей связи, где  $M=1$ . Во всех остальных случаях  $a_3 < a_\phi$ .

## Глава 10 Постановка задач и порядок расчета основных параметров телекоммуникационных сетей

### 10.1 Постановка задач расчета параметров пропускной способности телекоммуникационных сетей.

При исследованиях телекоммуникационных сетей по параметрам пропускной способности могут решаться две задачи: прямая и обратная.

*Прямая задача* предусматривает определение качества обслуживания  $P_{НС}$  и исполненной нагрузки  $Y_{НС}$  в направлениях связи. Формулируется задача следующим образом: оценить соответствие реальной (ожидаемой) пропускной способности ее нормированному значению для каждого направления связи (информационного направления).

Для решения прямой задачи, как правило, используются следующие исходные данные:

1. Структура сети, заданная матрицей связности  $A = \{a_{ij}\}$  или графом  $G(N, M)$ .
2. Величина нагрузки  $Z_{НС} = \{Z_{ij}\}$ , поступающей в каждое направление связи для обслуживания в ЧНН.
3. Канальная емкость ветвей сети  $V = \{v_{ij}\}$ .
4. Алгоритм выбора путей установления соединений в направлениях связи.

Решается она в два этапа.

Первый этап. Определяется качество обслуживания заявок в каждом направлении связи (или информационном направлении):

$$P_{НС} = f(Z, V).$$

То есть качество обслуживания определяется через потери в направлениях связи.

По полученным значениям  $P_{НС}$  в каждом направлении связи производится оценка соответствия реального (ожидаемого) качества обслуживания заявок его нормированному значению. Если требования по качеству обслуживания выполняются, то переходят ко второму этапу.

Второй этап. Определяют величину исполненной нагрузки в каждом направлении связи:

$$Y_{НС} = Z_{НС}(1 - P_{НС}).$$

А как следует из определения, это и есть пропускная способность.

*Обратная задача* формулируется следующим образом - определить требуемое число каналов в ветвях сети (необходимый ресурс сети), обеспечивающих заданные (нормированные) значения пропускной способности ее направлений связи (информационных направлений):

$$V = \Psi(Z_{НС}, P_{НС}) \rightarrow Y_{НС}(P_{НС}) = \Phi(V, Z_{НС}).$$

Исходными данными для решения этой задачи, как правило, являются:

1. Структура сети, заданная матрицей связности  $A = \{a_{ij}\}$  или графом  $G(N, M)$ .
2. Величина нагрузки  $Z_{НС} = \{Z_{ij}\}$ , поступающей в каждое направление связи для обслуживания в ЧНН.
3. Максимально допустимые вероятности потерь в направлениях связи, которые заданы матрицей  $P_{НС} = \{P_{ij}\}$ .
4. Алгоритм выбора путей установления соединений в направлениях связи.

### 10.2 Условия, ограничения и допущения, используемые при расчете пропускной способности телекоммуникационных сетей.

При расчетах пропускной способности телекоммуникационных сетей наиболее часто используются следующие условия, ограничения и допущения:

1. Функционирование телекоммуникационной сети рассматривается в условиях статистического равновесия.
  2. Потоки заявок, поступающих на обслуживание в каждое направление связи, являются простейшими (примитивными, рекуррентными).
  3. Система принимается с явными потерями, т.е.  $q = 1 - p$ .
  4. Потери, возникающие в КЦ из-за занятости обслуживающих приборов и блокировок в коммутационном поле, малы по сравнению с потерями из-за занятости каналов в ветвях сети и не учитываются.
  5. Вероятность занятости каналов всех ветвей сети взаимно независимы.
  6. Время установления соединения равно нулю.
- В зависимости от целей и характера решаемых задач могут использоваться другие условия, ограничения и допущения

### 10.3 Постановка задачи расчета и оценки надежности функционирования телекоммуникационной сети.

Под надежностью  $W_{ij}(t)$  функционирования понимается свойство телекоммуникационной сети обеспечить установление соединений и передачу сообщений в реальных условиях эксплуатации при сохранении значений показателей качества обслуживания, установленных для каждого направления связи.

На практике, как правило, решается только прямая задача, а именно задача анализа надежности функционирования телекоммуникационной сети. Как и задача оценки пропускной способности, задача оценки надежности функционирования телекоммуникационной сети задается и оценивается по направлениям связи.

Формулируется задача следующим образом – рассчитать надежность функционирования направлений связи телекоммуникационной сети и сравнить с заданной (нормированной) величиной.

Исходными данными для расчета надежности функционирования телекоммуникационной сети могут быть:

$t$  – непрерывное время выполнения задания;

$T_m$  – среднее время безотказной работы ветви (средства связи);

$T_{mb}$  – среднее время восстановления поврежденной ветви (средства связи);

$K_{gm}$  – коэффициент готовности ветви (средства связи);

$R_m$  – вероятность безотказной работы ветви (средства связи).

### 10.4 Постановка задачи расчета живучести телекоммуникационной сети.

Под живучестью  $W(G)$  телекоммуникационной сети понимается свойство обеспечивать установление соединений и передачу сообщений во всех направлениях связи при выходе из строя элементов или участков сети в условиях агрессивных внешних воздействий, хотя бы и с ухудшением качества обслуживания.

Показателем живучести телекоммуникационной сети является вероятность сохранения хотя бы одного пути

установления соединения, обеспечивающего передачу сообщений в каждом направлении связи.

Живучесть телекоммуникационной сети оцениваемая только вероятностью связности ее структуры, получили название структурной живучести.

В реальной сети не каждый путь, определяемый по структуре телекоммуникационной сети, может быть использован для передачи сообщений. Это обуславливается ограничениями, накладываемыми функциональными возможностями используемых средств связи. В связи с этим живучесть, оцениваемая возможностями структуры сети с учетом ограничений, накладываемых функциональными возможностями используемых средств связи, называется функциональной живучестью телекоммуникационной сети.

При рассмотрении вопросов живучести решается прямая задача – анализа живучести телекоммуникационной сети.

Как и задача оценки надежности, живучесть задается и оценивается по направлениям связи.

Постановка задачи формулируется следующим образом – рассчитать живучесть направлений связи и сравнить с заданными (нормированными) значениями.

Расчет может вестись как для структурной, так и для функциональной живучести. На практике, как правило, определяется функциональная живучесть.

Исходными данными для расчета являются значения живучести элементов телекоммуникационной сети.

## Глава 11 Методы расчета параметров телекоммуникационных сетей

### 11.1 Расчет пропускной способности некоммутируемой телекоммуникационной сети

Расчет пропускной способности рассмотрим на примере простейшей трех узловой сети, структура и топология которой имеет вид, представленный на рис.11.1.

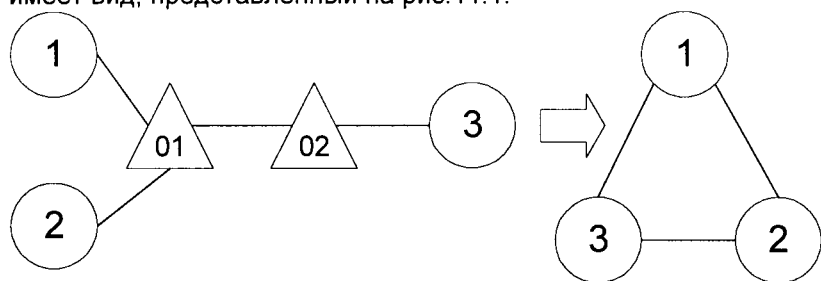


Рис 11.1

Исходные данные для расчета:

1. Структура и топология сети, описывается графом, представленным на рис.11.1.

2. Величина нагрузки, поступающей в каждое направление связи, имеет следующие значения  $\{Z_{ij}\}$ :

$Z_{12}=0,7$  Эрл;  $Z_{13}=3,1$  Эрл;  $Z_{23}=0,9$  Эрл.

3. Требования к качеству обслуживания в каждом направлении связи, описываются следующими значениями  $\{P_{ij}\}$ :

$P_{12} = 5\%$ ;  $P_{13} = 10\%$ ;  $P_{23} = 10\%$ .

Основные условия, ограничения и допущения:

1. Телекоммуникационная сеть с явными потерями.

2. Потоки заявок, поступающих на обслуживание в каждое направление связи, являются простейшими.

3. Время установления соединения соединений в направлениях связи равно нулю.

Необходимо определить требуемую канальную емкость  $V=\{V_{ij}\}$  ветвей на структуре и топологии сети, обеспечивающих выполнение требований по пропускной способности.

Решение:

1. С помощью соответствующих таблиц определяем требуемое число каналов на структуре телекоммуникационной сети, обеспечивающие выполнение требований по пропускной способности  $\{V_m\}$ :

$V_{12}=4$ ;  $V_{13}=8$ ;  $V_{23}=5$ .

2. Рассчитываем требуемое число каналов на топологии телекоммуникационной сети

$V_{1-01}=8+4=12$ ;  $V_{2-01}=4+5=9$ ;  $V_{01-02}=8+5=13$ ;  $V_{02-3}=8+5=13$ .

Расчет окончен.

Особенности расчета некоммутируемой сети:

1. Каждому направлению связи соответствует своя собственная ветвь (по структуре).

2. Ветвь структуры может являться составной частью ветви топологии или использовать несколько ветвей топологии.

### 11.2 Порядок расчета надежности функционирования коммутируемой телекоммуникационной сети.

Наиболее распространены два метода расчета – упрощенный и дифференциальный. Более точный – дифференциальный. Мы будем пользоваться упрощенным, так как он менее трудоемкий. Сущность его заключается в том, что первоначально определяется вероятность безотказного обслуживания заявок на каждой ветви ТКС:

$$W_m(t) = R_m(1 - p_m) \quad (11.1)$$

где  $R_m$  - вероятность безотказной работы ветви;

$p_m$  - вероятность потерь на ветви.

Для каждого направления связи в соответствии с его составом создается расчетный параллельно-последовательный граф. Каждому ребру графа присваивается значение  $W_m(t)$ , определенное с использованием выражения (11). Используя преобразования, осуществляемые по методу вероятностных графов, можно получить вероятность безотказного обслуживания в каждом направлении связи. Если направление связи  $J_{ij}$  состоит из одного пути передачи информации, то вероятность безотказного обслуживания  $W_{ij}(t)$  в направлении связи определяется следующим образом:

$$W_{ij}(t) = \prod_{r=1}^{k-1} W_{m_r}(t) \quad (11.2)$$

где  $W_{m_r}$  - вероятность безотказного обслуживания заявок в ветви  $m_r$ ;  
 $k$  - число КЦ в пути передачи информации.

Если направление связи состоит из нескольких независимых путей передачи информации, то вероятность безотказного обслуживания в направлении связи определяется следующим образом

$$W_{ij}(t) = 1 - \prod_{g=1}^{\chi_{ij}} \left[ 1 - \prod_{r=1}^{k-1} W_{m_{rg}}(t) \right] \quad (11.3)$$

где:  $\chi_{ij}$  - число независимых путей в графе или направлении связи;  
 $W_{m_{rg}}(t)$  - вероятность безотказного обслуживания заявок в ветви  $m_{rg}$ .

Рассмотрим суть преобразований по методу вероятностных графов

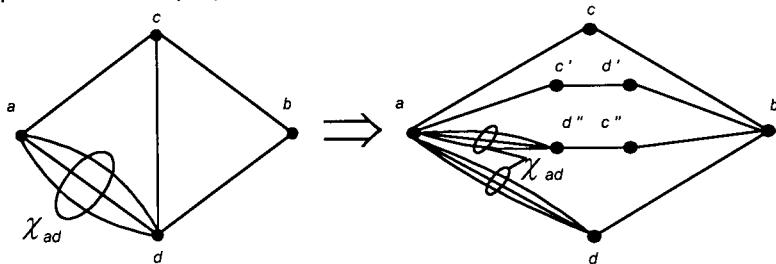


Рис.11.2

На основании расчетного параллельно – последовательного графа составляются расчетные выражения для определения значений вероятностей безотказного обслуживания в каждом направлении связи.

Вероятности безотказной работы  $R_m$  ветвей при использовании упрощенного метода определяются следующим образом:

$$R_m = k_{\Gamma m} e^{-\frac{t}{T_m}} \quad (11.4)$$

где:  $k_{\Gamma m}$  - коэффициент готовности ветви;  
 $t$  - непрерывное время выполнения задачи;  
 $T_m$  - среднее время наработки на отказ.

Коэффициент готовности  $k_{\Gamma m}$  определяется следующим образом:

$$k_{\Gamma m} = T_m / (T_m + T_{m\sigma}), \quad (11.5)$$

где  $T_{m\sigma}$  - среднее время восстановления поврежденной ветви.

Если ветвь связи образована несколькими независимыми пучками каналов, коэффициент готовности должен быть определен для каждого пучка:

$$k_{\Gamma \Pi} = T_{\Pi} / (T_{\Pi} + T_{\Pi\sigma}), \quad (11.6)$$

Вероятность безотказной работы пучка в этом случае определяется следующим образом:

$$R_{\Pi} = k_{\Gamma \Pi} e^{-\frac{t}{T_{\Pi}}} \quad (11.7)$$

Учитывая, что все пучки каналов включены в ветви параллельно, получаем

$$R_m = 1 - \prod_{i=1}^{\chi_m} (1 - R_{ni}) \quad (11.8)$$

где  $\chi_m$  - число пучков, образующих ветвь.

По рассчитанным значениям  $R_m$  определяются значения  $W_m(t)$  по выражению (11.1). Затем по выражениям (11.2) или (11.3) определяется вероятность безотказного обслуживания в каждом направлении связи.

## 11.2 Порядок расчета живучести коммутируемой телекоммуникационной сети.

Как уже отмечалось ранее, исходными данными для расчета живучести ТКС являются значения вероятности выживания элементов сети - ветвей и коммутационных центров. Процесс расчета живучести имеет ряд общих черт с расчетом надежности.

Живучесть ТКС в целом определяется живучестью ее направлений связи. Показателем живучести направлений связи  $W(J)$  является вероятность сохранения их связности. Если в направлении связи имеется только один путь передачи информации, состоящий из последовательно включенных

ветвей и коммутационных центров, то живучесть направления связи равна живучести этого пути  $W(\mu)$  и определяется следующим выражением:

$$W(\mu) = \prod_{i=1}^{k-1} W_{mi} \prod_{j=1}^k W_{KЦj} \quad (11.9)$$

где  $W_{mi}$  – вероятность выживания  $l$  – той ветви;

$W_{KЦj}$  – вероятность выживания  $j$  – того КЦ.

Если в направлении связи имеется  $\chi(J)$  независимых путей передачи информации живучесть направления связи определяется следующим выражением:

$$W(J) = 1 - \prod_{l=1}^{\chi(J)} [1 - W(\mu_l)] \quad (11.10)$$

С учетом (11.9) выражение (11.10) примет следующий

вид

$$W(J) = 1 - \prod_{l=1}^{\chi(J)} \left[ 1 - \prod_{i=1}^{k-1} W_{mil} \prod_{j=1}^k W_{KЦjl} \right] \quad (11.11)$$

Следовательно, порядок расчета живучести следующий:

1. Определение исходных данных – вероятности выживания ветвей и КЦ.
2. Преобразование структуры сети в параллельно – последовательный граф
3. Составление расчетного выражения и определение показателей живучести направлений связи.

### 11.3. Порядок расчета пропускной способности коммутируемой телекоммуникационной сети. Прямая задача.

#### Постановка задачи

Прямая задача предусматривает определение исполненной ТКС нагрузки  $Y$  и качества обслуживания  $q$  для каждого направления связи и сравнение полученных значений с заданными нормами.

Это задача анализа. Она решается для ТКС уже находящейся в эксплуатации или после окончания

проектирования сети с целью проверки выполнения требований, предъявляемых к их функционированию. Исходными данными для решения задачи являются:

1. Структура сети, заданная матрицей связности  $A = \{a_{ij}\}$  или графом  $G(N, M)$ .
2. Величина нагрузки  $Z = \{Z_{ij}\}$ , поступающей в каждое направление связи для обслуживания в ЧНН.
3. Канальная емкость ветвей сети  $V = \{v_{ij}\}$ .
4. Алгоритм выбора путей установления соединений в направлениях связи.

В результате решения задачи должны быть определены:

1. Качество обслуживания заявок  $q$  в каждом направлении связи:

$$q = \begin{cases} 1 - p & \text{в системе обслуживания заявок с потерями,} \\ 1 - P(t_{ож} > \tau) & \text{в системе обслуживания заявок с ожид.} \end{cases}$$

2. Пропускная способность каждого направления связи  $Y_{ij}(p) = Z_{ij} (1 - p_{ij})$

В процессе решения используется ряд допущений:

1. Поток вызовов, поступающих на обслуживание в каждое направление связи, является простейшим.
2. Система находится в состоянии статистического равновесия.
3. Система принимается с явными потерями, т.е.  $q = 1 - p$ .
4. Потери, возникающие в КЦ из-за занятости обслуживающих приборов и блокировок в коммутационном поле, малы по сравнению с потерями из-за занятости каналов в ветвях сети и не учитываются.
5. Вероятность занятости каналов всех ветвей сети взаимно независимы.
6. Время установления соединения равно нулю.

#### Основные этапы расчета пропускной способности коммутируемой телекоммуникационной сети.

Решение этой задачи предполагает выполнение ряда этапов, каждый из которых представляет собой отдельную самостоятельную подзадачу. Это:

1. Определение совокупности путей передачи информации в направлениях связи.

2. Распределение нагрузки по путям первого выбора и определение ориентировочных значений качества обслуживания на ветвях сети.

3. Коррекция значений вероятности потерь и нагрузки на ветвях сети.

4. Определение качества обслуживания и исполненной нагрузки в направлениях связи и сравнение с заданными требованиями.

Рассмотрим основное содержание перечисленных выше этапов.

#### *1 Этап. Определение совокупности путей передачи информации в направлениях связи*

С целью увеличения живучести, надежности и качества обслуживания в ТКС в каждом направлении связи предусматривается несколько путей передачи информации. Определение этой совокупности путей передачи информации производится по структуре сети связи. Для уменьшения размерности решаемой задачи целесообразно структуру сети, описываемую графом  $G(N, M)$ , разбить на два подграфа:  $G^T(N^T, M^T)$  и  $G^O(N^O, M^O)$ . При этом должно выполняться условие:

$$G(N, M) = G^T(N^T, M^T) \cap G^O(N^O, M^O).$$

К графу  $G^T(N^T, M^T)$  относят часть сети, состоящую из транзитных коммутационных центров и связывающих их ветвей. Все КЦ  $\in G^T(N^T, M^T)$  имеют не менее двух инцидентных ветвей.

К графу  $G^O(N^O, M^O)$  относят совокупность конечных КЦ с инцидентными им ветвями. Все КЦ  $\in G^O(N^O, M^O)$  имеют, как правило, одну инцидентную ветвь.

Совокупность путей передачи информации определяется относительно КЦ  $\in G^T(N^T, M^T)$ , т.к. только эта часть сети обеспечивает несколько путей передачи информации в направлениях связи.

Пути могут быть независимыми и зависимыми. Использование зависимых путей передачи информации требует принятия специальных мер борьбы с возникновением "петель", что ведет к увеличению служебной нагрузки на сеть связи и усложнению управляющих устройств КЦ. Передача информации по независимым путям свободна от этого недостатка. Кроме того, использование более двух обходных путей не приводит к существенному эффекту. А так как

структура сети связи, описываемая графом  $G^T(N^T, M^T)$ , позволяет организовать 2 и более независимых пути установления соединений, то использование зависимых путей в ряде случаев нецелесообразно.

Задача определения совокупности независимых путей установления соединений в направлениях связи может решаться различными путями:

1. Визуально, на основании структуры сети;

2. С помощью аналитических методов, например, по модифицированной матрице связанности методом последовательного возведения ее в степень.

Определенная одним из перечисленных способов совокупность независимых путей представляется в виде матрицы маршрутов  $\| M \|\|$ :

$$M = \|\mu_{ij}^v\|,$$

где  $\mu_{ij}^v$  - состав ветвей, входящих в путь установления соединения;

$v$  - номер пути установления соединения.

#### *2 Этап. Распределение нагрузки по путям первого выбора и определение ориентировочных значений качества обслуживания на ветвях сети.*

Исходными данными для решений этой задачи являются матрица маршрутов, определенная на первом этапе решения задачи и алгоритм выбора путей передачи информации в каждом направлении связи.

Упрощенный алгоритм решения задачи следующий:

1. Выбирается любое направление связи  $J_{ij}$  например, имеющее минимальный номер.

2. По алгоритму выбора путей передачи информации в направлениях связи (исходные данные) определяются ветви пути первого выбора.

3. Определяется нагрузка  $Z_{ij}$ , поступающая на обслуживание в данное направление связи, и ее значение приписывается ветвям пути первого выбора.

4. Выбирается следующее направление связи и выполняются операции в соответствии с п.1-3 до тех пор, пока не будет распределена нагрузка по всем направлениям связи.

5. Определяется суммарное значение  $Z_{mij}$  нагрузки обслуживаемой каждой ветвью, путем суммирования приписанных им значений нагрузки, поступающих со всех



направлений связи. Полученный результат записывается в соответствующую матрицу  $Z_m = \{z_{mij}\}$ .

В соответствии с рекомендациями иногда при расчетах пропускной способности ТКС целесообразно оперировать не математическим ожиданием  $z_m$  нагрузки, а его расчётным  $Z_{mp}$  значением, определяемым следующим образом:

$$Z_{mp} = Z_m + \eta \sqrt{Z_m},$$

где  $\eta = 0,6742$  - коэффициент, учитывающий колебания среднего значения нагрузки.

Полученные результаты записывается в соответствующую матрицу  $Z_{mp} = \{z_{mpij}\}$ .

6. По рассчитанным значениям  $z_{mij}$  или  $z_{mpij}$  и заданному числу каналов в каждой ветви сети связи определяются вероятности потерь на этих ветвях по известным зависимостям

$$p_{mij} = f(V_{mij}, z_{mij})$$

Полученные значения записываются в матрицу  $P_m = \{p_{mij}\}$  потерь на ветвях сети.

### *3Этап. Коррекция значений вероятности потерь и нагрузки на ветвях сети.*

Полученные на предыдущем этапе значения величины нагрузки и вероятности потерь на ветвях сети являются ориентировочными, так как они рассчитаны без учета нагрузки, поступающей на обслуживание в пути второго и последующего выборов. Поэтому необходимо произвести коррекцию значений нагрузки и вероятности потерь на ветвях сети с учетом этого фактора.

Исходными данными для решений этой задачи являются матрицы маршрутов (первый этап), потерь (второй этап) и алгоритм выбора путей передачи информации в направлениях связи. Коррекция распределения нагрузки по ветвям сети, производится следующим образом:

1. Из всей совокупности направлений выбирается какое-либо из них, например с наибольшей заданной поступающей нагрузкой.

2. Для выбранного направления связи отыскивается путь первого выбора.

3. Первой ветви этого пути приписывается значение нагрузки  $Z_{ij}$ , равное значению заданной для данного направления поступающей нагрузки; второй ветви—значение

$Z_{ij}(1-p_{m1})$ , где  $p_{m1}$ —вероятность потерь, определенная для первой ветви пути; третьей ветви—значение  $Z_{ij}(1-p_{m1})(1-p_{m2})$ , где  $p_{m2}$ —вероятность потерь, определенная для второй ветви пути, и т.д.

4. Для того же направления связи выбирается путь второго выбора, первой ветви которого приписывается нагрузка равная

$$Z_{ij} [1 - \prod_{l=1}^k (1 - p_{ml})],$$

где  $p_{ml}$ —потери на ветвях пути первого выбора. Второй и последующим ветвям пути второго выбора приписываются значения нагрузок так же, как для ветвей пути первого выбора. Таким же образом производятся операции по ветвям путей последующих выборов.

5. В последовательности, изложенной для первого направления связи, производится распределение нагрузки для всех остальных направлений связи.

6. Значения нагрузки от каждого направления связи, приписанные ветвям, складываются по каждой ветви. Полученный результат записывается в соответствующую матрицу  $Z_m = \{z_{mij}\}$ .

Суммарное значение нагрузки по всем ветвям сети связи представляет собой функционирующую нагрузку.

По рассчитанным значениям  $z_{mij}$ , (а при необходимости по  $z_{mpij}$ ) и заданному числу каналов в каждой ветви сети связи определяются вероятности потерь на этих ветвях

$$p_{mij} = f(V_{mij}, z_{mij})$$

Полученные значения записываются в матрицу  $P_m = \{p_{mij}\}$  потерь на ветвях сети.

Для получения окончательных результатов с заданной точностью по данному этапу выполняется итерационная процедура повторения расчетов. Практически число итераций в большинстве случаев не превышает двух трех.

### *4Этап. Определение качества обслуживания и исполненной нагрузки в направлениях связи и сравнение с заданными требованиями.*

Решение этой задачи предполагает выполнение следующих операций:

1. Для каждого направления связи составляется расчетный параллельно – последовательный граф путей установления соединений. Его ребрам приписываются соответствующие значения вероятностей потерь  $p_{mij}$  на ветвях.

2. По полученным графам, для каждого направления связи  $J_{ij}$ , составляется расчетное выражение. Если в направлении связи имеется только один путь установления соединения, имеющий  $k$  ветвей, вероятность потерь  $P_{ij}$  в нем равна

$$P_{ij} = 1 - \prod_{n=1}^k (1 - p_{m_n})$$

Если в направлении связи имеется  $\chi$  независимых путей установления соединения, то вероятность потерь в нем равна

$$P_{ij} = \prod_{l=1}^{\chi} \left[ 1 - \prod_{n=1}^k (1 - p_{m_{nl}}) \right]$$

3. Рассчитываются значения  $P_{ij}$  для каждого  $J_{ij}$  направления связи и записываются в матрицу  $P = \{P_{ij}\}$ .

4. По известным значениям нагрузки  $Z_{ij}$ , поступающей на обслуживание в каждое направление связи  $J_{ij}$ , и значению показателя качества обслуживания в нем  $P_{ij}$  определяется величина пропускной способности

$$Y_{ij}(p) = Z_{ij} (1 - P_{ij})$$

Расчитанные значения записываются в матрицу пропускной способности направлений связи рассматриваемой сети  $Y(p) = \{Y_{ij}(p)\}$

5. Полученные результаты сравниваются с заданными требованиями.

#### 11.4 Расчет канальной емкости ветвей коммутируемой телекоммуникационной сети. Обратная задача оценки пропускной способности

*Постановка задачи и формулирование исходных данных.*

При проектировании телекоммуникационной сети широко применяется решение обратной задачи оценки пропускной

способности, а именно - определение мощности  $V_{mij}$  ветвей по заданным значениям качества обслуживания в направлениях связи. Исходными данными при решении этой задачи являются:

1. Структура сети, заданная матрицей связности  $A = \{a_{ij}\}$  или графом  $G(N, M)$ .

2. Величина нагрузки  $Z = \{Z_{ij}\}$ , поступающей в каждое направление связи для обслуживания в ЧНН.

3. Максимально допустимые вероятности потерь в направлениях связи, которые заданы матрицей  $P = \{P_{ij}\}$ .

4. Алгоритм выбора путей установления соединений в направлениях связи.

Определить:

1. Требуемую канальную емкость  $V = \{V_{ij}\}$  ветвей сети, обеспечивающую заданную пропускную способность телекоммуникационной сети.

В процессе решения используется ряд допущений:

1. Поток вызовов, поступающих на обслуживание в каждое направление связи, является простейшим;

2. Система находится в состоянии статистического равновесия;

3. Система принимается с явными потерями;

4. Потери, возникающие в КЦ из-за занятости обслуживающих приборов и блокировок в коммутационном поле, малы по сравнению с потерями из-за занятости каналов в ветвях сети и не учитываются;

5. Вероятность занятости каналов всех ветвей сети взаимно независимы;

6. Время установления соединения равно нулю;

#### *Этапы расчета канальной емкости ветвей коммутируемой ТКС*

Решение данной задачи представляет собой выполнение ряда этапов, каждый из которых предполагает рассмотрение отдельной самостоятельной подзадачи:

1. Определение совокупности путей передачи информации в направлениях связи.

2. Нормирование значений качества обслуживания на ветвях сети.

3. Распределение нагрузки по ветвям, составляющим пути первого и последующих выборов.

4. Определение числа каналов в ветвях сети и при необходимости их типизация

5. Коррекция значений вероятности потерь на ветвях сети.

6. Проверочный расчет значений вероятностей потерь и исполненной нагрузки в направлениях связи.

Рассмотрим основное содержание перечисленных выше этапов.

#### *Этап 1. Определение совокупности путей передачи информации в направлениях связи*

С целью увеличения живучести сети связи, а также повышения качества обслуживания заявок, в каждом направлении связи предусматривается несколько путей передачи информации. Определение этой совокупности путей передачи информации производится по структуре сети связи. Для уменьшения размерности решаемой задачи целесообразно структуру сети, описываемую графом  $G(N, M)$ , разбить на два подграфа:  $G^T(N^T, M^T)$  и  $G^O(N^O, M^O)$ . При этом должно выполняться условие:

$$G(N, M) = G^T(N^T, M^T) \cap G^O(N^O, M^O).$$

К графу  $G^T(N^T, M^T)$  относят часть сети, состоящую из транзитных коммутационных центров и связывающих их ветвей. Все КЦ  $\in G^T(N^T, M^T)$  имеют не менее двух инцидентных ветвей.

К графу  $G^O(N^O, M^O)$  относят совокупность конечных КЦ с инцидентными им ветвями. Все КЦ  $\in G^O(N^O, M^O)$  имеют, как правило, одну инцидентную ветвь.

Совокупность путей передачи информации определяется относительно КЦ  $\in G^T(N^T, M^T)$ , т.к. только эта часть сети обеспечивает несколько путей передачи информации в направлениях связи.

Пути могут быть независимыми и зависимыми. Использование зависимых путей передачи информации требует принятия специальных мер борьбы с возникновением так называемых "петель". Это в свою очередь связано с увеличением служебной нагрузки на ТКС и усложнению управляющих устройств КЦ. Передача информации по независимым путям свободна от этого недостатка. Кроме того, использование более двух – трех обходных путей не приводит к существенному эффекту. А так как структура сети связи,

описываемая графом  $G^T(N^T, M^T)$ , как правило, позволяет организовать два и более независимых пути установления соединения, то использование зависимых путей в ряде случаев нецелесообразно. Поэтому в большинстве случаев для передачи информации используют независимые пути.

Задача определения совокупности независимых путей установления соединений в направлениях связи может решаться различными путями:

1. Визуально, на основании структуры сети.

2. С помощью аналитических методов, например, по модифицированной матрице связанности методом последовательного возведения ее в степень и др.

Определенная одним из возможных способов совокупность независимых путей представляется в виде матрицы маршрутов  $\| M \parallel$ :

$$M = \parallel \mu_{ij}^v \parallel,$$

где  $\mu_{ij}^v$  - состав ветвей, входящих в путь установления соединения;

$v$  - номер пути установления соединения.

#### *Этап 2. Нормирование значений качества обслуживания на ветвях сети.*

Коммутируемая сеть характеризуется тем, что вероятность потерь на любой ветви, в общем случае, зависит от вероятности потерь на всех остальных ветвях. Эту зависимость вероятностей потерь на ветвях сети связи с учетом определенной совокупности независимых путей в направлениях связи (матрица  $\| M \parallel$ ) можно представить в виде системы неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ij} \geq \prod_{i=1}^v \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_v} (1 - p_{ij}) \right], \\ P_{kl1} \geq \prod_{k=1}^v \left[ 1 - \prod_{l=1}^{n_v} (1 - p_{kl}) \right], \\ \dots, \\ P_{mt} \geq \prod_{m=1}^v \left[ 1 - \prod_{t=1}^{n_v} (1 - p_{mt}) \right]. \end{array} \right. \quad (11.12)$$

где  $v$  - число независимых путей в направлении связи;  
 $n_v$  - число ветвей в  $v$ -м пути установления соединения;  
 $p_{ij}, p_{kl}, \dots, p_{mt}$  - допустимые вероятности потерь на ветвях;  
 $P_{ij}, P_{kl}, \dots, P_{mt}$  - допустимые величины потерь в соответствующих направлениях связи.

Число неравенств системы определяется числом информационных направлений в сети.

Искомыми являются вероятности  $p_{ij}, p_{kl}, \dots, p_{mt}$  потерь на ветвях; Решение системы неравенств (11.12) в прямой постановке является довольно сложной и трудоемкой задачей.

На практике обычно используется следующий порядок ее решения:

1. Выбирается неравенство, соответствующее направлению связи, имеющему наиболее жесткие требования к качеству обслуживания (как правило, это направление связи, в котором требования к вероятности отказа в установлении соединения минимальны, а кратчайший путь имеет максимальную длину).

3. Если таких направлений несколько, выбирают то, у которого длиннее путь второго (последующего) выбора.

4. Если в результате окажется несколько равнозначных направлений связи, выбирают одно из них с помощью любого

формального признака, например по наименьшему номеру направления связи.

5. Для получения однозначного решения переходят от неравенства к уравнению

$$P_{ij} = \prod_{i=1}^v \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_v} (1 - p_{ij}) \right] \quad (11.13)$$

4. Допускают равенство потерь на всех ветвях направления связи при условии выполнения требований по качеству обслуживания.

В этом случае уравнение (11.13) может быть преобразовано в уравнение (11.14)

$$P_1 = \left[ 1 - (1 - p_1)^{n_v} \right], \quad (11.14)$$

Это уравнение с одним неизвестным и может быть решено, например, методом подстановки.

5. Всем ветвям направления связи  $m_{ij}$  присваивается значение вероятности потерь  $p_1$ , полученное в результате решения первого уравнения (11.14).

**Примечание:** иногда трудно однозначно определить направление связи, имеющее наиболее жесткие требования к качеству обслуживания. В этом случае решают уравнения для нескольких направлений связи. Затем сравнивают полученные значения вероятностей потерь на ветвях. В качестве первого направления связи выбирают то, у которого рассчитанные значения вероятности потерь на ветвях оказались наименьшими.

6. Аналогичным образом решают второе и последующие уравнения до тех пор, пока всем ветвям сети не будут присвоены рассчитанные для них значения вероятностей потерь. Если получаются несколько значений вероятностей потерь, соответствующих одной и той же ветви, то ей присваивается наименьшее из них. Результаты расчета сводятся в матрицу  $\{p_{mij}\}$ .

После определения вероятности  $p_{ij}$  потерь на всех ветвях  $m_{ij}$  ТКС производится проверка соответствия качества обслуживания во всех направлениях связи предъявляемым требованиям. С этой целью определяется  $\Delta_{ij}$  разность между нормированными и действительными значениями вероятностей потерь во всех направлениях связи:

$$\Delta_{ij} = \left\{ P_{ij} - \prod_{i=1}^v \left[ 1 - \prod_{j=1}^{m_v} (1 - p_{ij}) \right] \right\}. \quad (11.15)$$

Данные величины должны быть  $\Delta_{ij} \geq 0$ . Если в каком либо направлении связи  $\Delta_{ij} < 0$ , значит, в процессе решения задачи не были выполнены условия п.п.1, 2, или 3 и необходимо повторно вернуться к решению системы неравенств (11.12).

*Этап 3. Распределение нагрузки по ветвям, составляющим пути первого и последующих выборов.*

Исходными данными для решений этой задачи являются матрицы маршрутов  $\{\mu_{ij}^v\}$  (первый этап) и потерь  $\{p_{mij}\}$  (второй этап) соответственно. Алгоритм выбора путей в направлениях связи однозначно определяет порядок их занятия. Распределение нагрузки по ветвям сети, производится следующим образом:

1. Из всей совокупности направлений связи выбирается какое-либо из них, например, с наибольшей заданной поступающей нагрузкой.

2. Для выбранного направления связи отыскивается путь первого выбора.

3. Первой ветви этого пути приписывается значение нагрузки  $Z_{ij}$ , равное значению заданной для данного направления связи поступающей нагрузки; второй ветви— значение  $Z_{ij}(1-p_{m1})$ , где  $p_{m1}$ —вероятность потерь, определенная для первой ветви пути; третьей ветви— значение  $Z_{ij}(1-p_{m1})(1-p_{m2})$ , где  $p_{m2}$ —вероятность потерь, определенная для второй ветви пути, и т.д.;

4. Для того же направления связи выбирается путь второго выбора, первой ветви которого приписывается нагрузка равная

$$Z_{ij} \left[ 1 - \prod_{l=1}^k (1 - p_{ml}) \right],$$

где  $p_{ml}$ —потери на ветвях пути первого выбора.

Второй и последующим ветвям пути второго выбора приписываются значения нагрузок так же, как для ветвей пути

первого выбора. Таким же образом производятся операции по ветвям путей последующих выборов;

5. В последовательности, изложенной для первого направления связи, производится распределение нагрузки для всех остальных направлений связи.

6. Значения нагрузки от каждого направления связи, приписанные ветвям, складываются по каждой ветви, и полученный результат записывается в соответствующую матрицу  $Z_m = \{z_{mij}\}$ .

Суммарное значение нагрузки по всем ветвям сети связи представляет собой функционирующую нагрузку.

*Этап 4. Определение числа каналов в ветвях сети*

Расчитанные на предыдущих этапах значения величины нагрузки и вероятностей потерь на ветвях являются исходными данными для расчёта числа каналов. При этом в соответствии с рекомендациями целесообразно оперировать не математическим ожиданием  $Z$  нагрузки, а его расчётным  $Z_p$  значением, определяемым следующим образом:

$$Z_p = Z + \eta \sqrt{Z},$$

где  $\eta = 0,6742$  - коэффициент, учитывающий колебания среднего значения нагрузки.

В соответствии с принятым допущением о том, что потоки поступающих на обслуживание заявок простейшие, число каналов  $v_{ij}$  в ветвях сети определяется по методу Эрланга:

$$v_{ij} = \Psi(Z_{ij}, p_{ij}).$$

*Этап 5. Коррекция значений вероятности потерь на ветвях сети.*

Расчитываемые значения числа каналов в ветвях сети могут принимать лишь дискретные, целые значения. В связи с этим в процессе расчёта производятся округления, как правило, в сторону увеличения числа необходимых каналов. Поэтому после определения числа каналов в ветвях сети производится уточнение величины потерь на ветвях, которая изменяется в сторону уменьшения. Для получения окончательного результата с заданной точностью необходимо по этапам 3, 4 и 5 выполнить итерационную процедуру повторения расчётов. Как показывает практика, число итераций в большинстве случаев не превышает двух-трёх.

*Этап 6. Проверочный расчет значений вероятностей потерь и исполненной нагрузки в направлениях связи.*

Для проверки соответствия требований, предъявляемых к направлениям связи по пропускной способности производится проверочный расчет вероятностей потерь во всех или основных направлениях связи. С этой целью может использоваться выражение (11.15). При совпадении (с заданной точностью) результатов расчета с предъявляемыми требованиями уточняется величина исполненной нагрузки. Если результат проверочного расчета неудовлетворителен, указанная выше итерационная процедура целиком или частично должна быть продолжена до получения приемлемых результатов.

## **Глава 12 Применение метода имитационного моделирования при исследовании телекоммуникационных сетей**

### **12.1 Методы моделирования телекоммуникационных сетей.**

Целью исследования телекоммуникационных сетей, как правило, является прогнозирование основных характеристик их функционирования при определенных вариантах структурно-топологического построения и различных условиях эксплуатации. При этом могут использоваться различные методы. Главное требование к ним – это возможность получения численных значений показателей требуемых характеристик функционирования телекоммуникационных сетей.

Основными методами исследования ТКС являются:

1. Метод аналитического моделирования.
2. Метод натурального или физического моделирования.
3. Метод имитационного моделирования.
4. Комбинированный метод.

Выбор метода исследования во многом определяется следующими условиями:

1. Постановкой задачи.
2. Составом, характером и объемом исходных данных, имеющихся в распоряжении.
3. Временем, отводимым на решение поставленной задачи и рядом других факторов.

Дадим краткую характеристику выше перечисленных методов.

#### *Метод аналитического моделирования.*

Суть данного метода исследования сводится к построению аналитической модели, которая отражает физические свойства исследуемой сети в виде математических объектов и отношений между ними. Он используется, как правило, для простых сетей. Это связано с тем, что для сетей сложной структуры трудно определить зависимости в виде аналитических выражений.

Достоинствами метода аналитического моделирования являются:

1. Простота модели.
2. Возможность быстрого получения численных значений исследуемых параметров сети.

Недостатки:

1. При построении аналитической модели, как правило, используется большое число допущений, Это может привести к недостаточно высокой адекватности модели и точности получаемых результатов.

2. Трудность, а иногда и невозможность описания ТКС сложной структуры.

*Метод натурного или физического моделирования.*

Данный метод базируется на измерения характеристик процессов, происходящих в реальных объектах. Затем производится обработка полученных результатов и выявляются интересующие исследователя зависимости.

Достоинства метода натурного моделирования:

1. Высокая адекватность модели реальному объекту:

2. Высокая точность получаемых результатов.

Недостатки:

1. Большая стоимость создания модели.

2. Очень высокие временные затраты на получения необходимых результатов.

*Метод имитационного моделирования.*

Данный метод основан на описании процесса функционирования ТКС в виде соответствующего алгоритма, который называется имитационной моделью. В описании отражается как структура исследуемого объекта, так и процессы функционирования во времени. Соответствие структуры исследуемого объекта реальной ТКС достигается отождествлением элементов ТКС с соответствующими элементами модели. Соответствие процессов функционирования во времени достигается логико-математической формой представления последовательности операций выполняемых в модели и их соответствия исследуемой ТКС. При этом описания объектов исследования имеют алгоритмический характер, а сами модели являются программами для ЭВМ.

Достоинства метода имитационного моделирования:

1. Достаточно высокая адекватность между физической сущностью описываемого процесса функционирования ТКС и его моделью.

2. Охват более широкого класса сетей по сравнению с аналитическими методами.

3. Возможность оценки функционирования ТКС не только в установившихся, но и в переходных режимах.

4. Получение более широкого спектра информации об исследуемой сети, таких как законы распределения случайных величин, их числовые характеристики и др.

5. Наиболее рациональное соотношение "результат-затраты" по отношению к аналитическому и физическому моделированию.

Недостатки:

1. Более высокая сложность модели по сравнению с аналитической.

2. Необходимость достаточно высокой квалификации пользователей и составителей имитационных моделей.

*Комбинированный метод*

Представляет собой комбинацию двух и сразу всех трех рассмотренных выше методов. Наиболее часто используется комбинация методов аналитического и имитационного моделирования. При рациональном подходе такая комбинация позволяет получить модели высокой степени оптимальности.

## 12.2 Предпосылки к применению метода ИМ

Оценка функционирования ТКС методом имитационного моделирования производится с целью:

1. Выявления закономерностей функционирования определенного, достаточно сложного, класса сетей.

2. Установления различного вида зависимостей между исследуемыми вероятностно – временными характеристиками сетей.

3. Определения характера и степени влияния разнородных случайных факторов на процессы функционирования ТКС.

Применение имитационного моделирования возможно при

1. Четком и однозначном формулировании задаваемых для выполнения задачи операций.

2. Определении конкретных режимов работы.

3. Создании модели, отвечающей требованиям теории алгоритмов.

### 12.3 Общая задача имитационного моделирования и ее составляющие.

Общая задача представляет собой совокупность логически связанных вопросов, раскрывающих проблему исследования функционирования ТКС в целом. При этом ставится цель получения численных значений показателей функционирования рассматриваемого класса сетей. Решение общей задачи имитационного моделирования связано с многоплановостью ее постановки вследствие:

1. Разнообразия вариантов структурно – топологического построения ТКС.
2. Различий в функционально – алгоритмическом построении используемых систем управления ТКС.
3. Множества режимов работы ТКС.
4. Разнородности воздействующих на сеть факторов.
5. Наличия большого количества исходных данных для исследования показателей функционирования ТКС и рядом других условий.

В связи с этим общая задача, охватывающая учет всех этих факторов, может подразделяться на частные задачи, варианты частных задач и реализации.

Частная задача предусматривает получение результатов при определенной постановке общей задачи, например, для:

1. Определенной структуры и топологии сети.
2. Заданного режима работы сети.
3. При фиксированных воздействующих на сеть факторах.
4. Определенному диапазону изменения исходных данных.

Вариант предусматривает решение частной задачи по одному варианту исходных данных, взятых из полного перечня данных задачи.

Реализация предусматривает решение частной задачи за отрезок времени, принятый за единицу отсчета длительности функционирования ТКС. Исходными данными для реализации является перечень входных данных для частной задачи. В результате решения получают некоторый набор случайных величин.

При решении общей задачи исследования функционирования сети используется понятие базового варианта ее постановки. Часто на практике в качестве базового варианта предполагается использование:

1. Типовой структуры исследуемого класса сетей.

2. Однородных информационных потоки в направлениях связи.

3. Отсутствие повторных вызовов со стороны абонентов.

4. Детерминированный поиск обходных путей установления соединений.

Формулирование частных задач и их вариантов отражает влияние дополнительных условий и факторов. Они определяют изменение характера функционирования ТКС по отношению к базовому варианту. К таким условиям и факторам могут относиться:

1. Появление в направлениях связи повторных вызовов с различным коэффициентом настойчивости.

2. Разделение информационных потоков на категории приоритета. При этом дополнительно может задаваться тип приоритета, абсолютный или относительный.

3. Смещение интенсивностей информационных потоков по направлениям связи и участкам сети в соответствии с прогнозируемыми изменениями обстановки.

4. Технические отказы элементов сети, вызванные конечной надежностью используемых средств связи, и их восстановление.

5. Поражение элементов и участков сети связи в результате воздействия на нее разнородных внешних факторов (окружающей среды, стихийных бедствий, действия людей и т.д.).

6. Возникновение перегрузок в направлениях связи или на отдельных участках ТКС

Для определения характера и степени влияния каждого из указанных условий и факторов данные о каждом из них вводятся в базовую модель поочередно. При прогнозировании работы сети в условиях воздействия совокупности различных факторов модель должна предусматривать их различное сочетание.

Точность результатов моделирования определяется:

1. Степенью адекватности модели реальной исследуемой сети.

2. Полнотой и точностью вводимых исходных данных.

3. Числом реализаций, выполненных в результате моделирования.

### 12.4 Краткая характеристика языков имитационного моделирования телекоммуникационных сетей.



Создание имитационных моделей ТКС возможно как с помощью языков общего применения, так и на основе специализированных языков системного моделирования.

Использование языков общего применения, таких как PL1, FORTRAN и др., для создания моделей ТКС представляет собой сложный процесс, требующий больших временных затрат. Кроме того, должны быть высококлассные программисты, как для построения модели, так и для ее использования.

Более рациональным является использование специализированных языков CSS, SOL, СИМУЛА, СЛЕНГ, GPSS, ПЛИС и др. Реализация моделей на языках системного моделирования является более эффективным способом исследования перспективных ТКС, как с точки зрения временных затрат, так и требований к квалификации программистов.

Методологическую основу этих языков ИМ составляют представления об объекте исследования как о системе с дискретными событиями. Модель строится таким образом, что поведение системы воспроизводится в виде последовательности смены ее состояний во времени. При этом фиксируются только те события, которые существенны в плане проводимого исследования. В течение промежутков времени между фиксируемыми событиями, состояние системы предполагается неизменным.

Например, в качестве элементов языка GPSS программно реализованы стандартные компоненты реальных систем: многоканальные устройства, приборы, накопители, переключатели и пр.

ИМ в GPSS строится из набора простых объектов, разделяемых на четыре класса: динамические, аппаратно-ориентированные, статистические и операционные.

Динамические объекты, представляющие собой элементы потока обслуживания, называются в GPSS "транзактами". В моделях сетей связи они выполняют роль заявок на обслуживание (вызовов).

Аппаратно-ориентированные блоки соответствуют элементам оборудования, которые управляются транзактами. Они включают в себя "многоканальные устройства", "обслуживающие приборы", накопители и переключатели.

Многоканальные устройства и приборы имитируют каналы связи, обслуживающие вызовы.

Статистические объекты - это очереди, таблицы.

Операционные объекты называемые блоками и их взаимосвязи формируют логику работы системы.

Специализированные языки достаточно удобны, но есть одно "НО", которое ставит под сомнение возможности их использования. А именно – отсутствие лицензированного программного обеспечения.

## 12.5 Формирование исходных данных для имитационного моделирования.

К исходным данным относятся показатели, являющиеся в пределах решаемой задачи постоянными величинами и характеризующими структуру (а при необходимости и топологию) исследуемого варианта сети:

- число КЦ и характер их взаимосвязи (матрицы связности или мощностей ветвей);

- количество направлений связи  $I = \frac{N(N-1)}{2}$ ;

$G(I)$ ;

- состав и порядок выбора путей  $A(\mu)$  в каждом направлении связи;

- данные для формирования случайных величин, характеризующих:

- а) потоки заявок и освобождений;

- б) потоки технических отказов и восстановлений.

Значения этих величин формируются в процессе решения задачи моделирования. Рассмотрим порядок получения некоторых из них.

Совокупность моментов поступления заявок формируется на основании заданных:

1. Интенсивности потока  $C$  заявок, поступающих в направление связи;

2. Закона их распределения, определяемого типом входящего потока.

Так, при заданной интенсивности и простейшем потоке заявок функция платности их распределения на оси времени имеет вид:

$$f(t) = Ce^{-Ct} \quad (12.1)$$

Для получения значений случайных величин, характеризующих моделируемый поток заявок, может быть использован метод, основанный на следующей теореме: если случайная величина  $\rho$  имеет плотность распределения  $f(x)$ , то распределение этой случайной величины

$$\varepsilon = \int_0^{\rho} f(x) dx \quad (12.2)$$

является равномерным в промежутке  $[0,1]$ .

Чтобы получить совокупность случайных величин  $\{\rho\}$  с плотностью распределения  $f(x)$ , необходимо решить (12.2) относительно  $\rho$ . Подставив в уравнение (12.2) функцию плотности распределения из уравнения (12.1), после преобразования получим

$$\rho_i = -\frac{1}{C} \ln \varepsilon_i \quad (12.3)$$

где:  $\varepsilon_i$  - случайная величина, равномерно распределенная на промежутке  $[0,1]$ .

Согласно (3) можно получить совокупность случайных чисел  $\{\rho_i\}$  с плотностью распределения из выражения (12.1).

Определим совокупность моментов  $\{t_i\}$  поступления заявок в направлении связи. Если  $\rho_i$  - случайные промежутки времени между определенными моментами поступления заявок, то сами эти моменты определяются системой уравнений:

$$\begin{cases} t_1 = \rho_1 \\ t_2 = t_1 + \rho_2 = \rho_1 + \rho_2 \\ \dots \\ t_i = t_{i-1} + \rho_i = \sum_{j=1}^i \rho_j \end{cases} \quad (12.4)$$

*Формирование времени занятия каналов.*

Совокупность значений времени освобождения каналов может быть определена следующим образом:

$$t_{освi} = t_i + \tau_i \quad (12.5)$$

где  $\tau_i$  - время обслуживания заявки (занятие канала), поступившей в момент  $t_i$  времени.

Считая, что время обслуживания распределено по экспоненциальному закону можно получить плотность его распределения:

$$\varphi(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (12.6)$$

где  $\mu$  - параметр распределения, являющийся величиной, обратной среднему времени обслуживания.

$$\left( \mu = \frac{1}{\tau} \right).$$

Тогда время обслуживания определяется как

$$\tau_i = -\frac{1}{\mu} \ln \varepsilon_i \quad (12.7)$$

Аналогично формируются потоки отказов и восстановлений каналов линий связи, ветвей.

## 12.6 Разработка алгоритма моделирования.

Задача имитационного моделирования процесса функционирования ТКС решается последовательно на двух уровнях: алгоритмическом и программном.

Общий порядок разработки алгоритма моделирования сети рассмотрим на примере решения базового варианта задачи, о котором говорилось на предыдущей лекции.

Введем допущения и условия:

1. Потоки заявок, поступающих на обслуживание в каждое направление связи являются простейшими.
2. Закон распределения времени занятия каналов в ветвях сети связи экспоненциальный.
3. Состав НС и порядок занятия путей - задан.
4. Заявка, поступившая в НС считается обслуженной, если имеются свободные каналы в ветвях, составляющих пути установления соединений в данном направлении. В противном случае, заявка считается потерянной.

5. Одна реализация моделирования соответствует 1 ч. работы сети.

6. Для получения результатов моделирования с заданной точностью требуется выполнить  $k$  реализаций.

Обслуживание и потеря заявок в ветвях, путях и НС фиксируется соответствующими счетчиками  $n_m, n_\mu, n_J, n_m, n_\mu, n_J$ .

При построении алгоритма моделирования функционирования сети связи будем использовать следующие операторы:

$A_1$  - ввод массивов исходных данных

$A_2$  - обнуление счетчиков обслуженных заявок в НС  $n_J$ , по путем  $n_\mu$  и на ветвях  $n_m$  и потерянных заявок -  $n_m, n_\mu, n_J$ .

$\Phi_3$  - формирование случайных моментов времени  $t_{i1}$  поступления первых заявок в каждом  $i$ -том НС.

$A_4$  - определение наименьшего значения  $t_{i\min}$  поступления заявки в  $i$ -е направления связи;

$P_5$  - проверка условия  $t_{i\min} < 1$ .

$A_6$  - определение номера направления связи  $J_i$ , которому соответствует выбранный оператором  $A_4$  момент поступления заявки  $t_{i\min}$ .

$A_7$  - определение  $G(J_i)$  совокупности путей  $i$ -го НС.

$P_8$  - проверка условия  $t_i > t_{\text{осв}}$  - наличие хотя бы одной цепи свободных каналов в пути  $\mu_1$  первого выбора из совокупности  $G(J_i)$ .

$A_9$  - занятие свободных каналов  $t_{\text{осв}} > t_i$  на пути  $\mu_j$ .

$A_{10}$  - запись 1 в счетчики  $n_m$ .

$\Phi_{11}$  - формирование случайного времени  $t_i$  занятия каналов для передачи сообщения по заявке поступившей в момент времени  $t_i$ .

$\Phi_{12}$  - формирование времени освобождения всех каналов, занятых по заявке, поступившей в момент времени  $t_i$ .

$A_{13}$  - запись 1 в счетчик  $n_J$

$A_{14}$  - запись 1 в счетчик  $n_\pi$ .

$\Phi_{15}$  - формирование очередного момента  $t'_i$  поступления заявки в  $i$ -е направление связи.

$A_{16}$  - запись момента времени  $t'_i$  в массив исходных данных взамен значения  $t_i$ .

$A_{17}$  - запись 1 в счетчик  $n_m$ .

$P_{18}$  - проверка условия  $t_i > t_{\text{осв}}$  - наличие хотя бы одной цепи свободных каналов в пути  $\mu_2$  второго выбора из совокупности  $G(J)$ .

$P_{19}$  - проверка условия  $t_i > t_{\text{осв}}$  - наличие хотя бы одной цепи свободных каналов в пути  $\mu_3$  третьего (последнего) выбора из совокупности  $G(J)$ .

$A_{20}$  - запись 1 в счетчик  $n_J$ .

$P_{21}$  - проверка условия  $k_p < k$ , где  $k_p$  - число проведенных реализаций;  $k$  - заданное число реализаций.

$A_{22}$  - запись 1 в счетчик  $n_k$  числа проведенных реализаций.

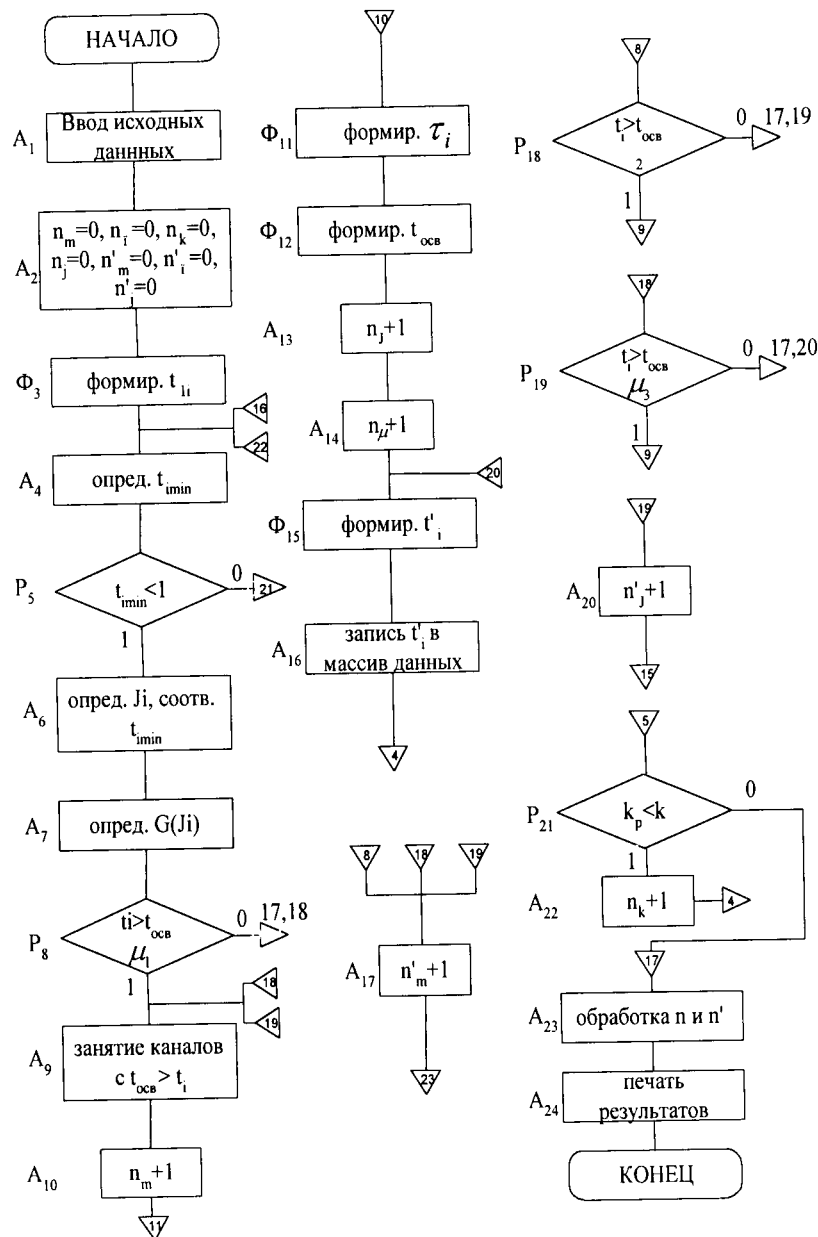


Рис.12.1

$A_{23}$  - обработка данных счетчиков.

$A_{24}$  - выдача результатов на печать.

Структурная схема алгоритма имитационного моделирования телекоммуникационной сети представлена на рис.12.1.

Рассмотрим суть алгоритма моделирования работы телекоммуникационной сети. Ввод их данных и подготовка к решению задачи осуществляется операторами  $A_1$  и  $A_2$ .

В процессе выполнения оператора  $\Phi_3$  для каждого НС по выражению (12.3) определяется момент времени поступления первой заявки.

$$t_{1i} = -\frac{1}{C} \ln \varepsilon_i$$

Из совокупности значений  $\{t_{1i}\}$  в процессе выполнения оператора  $A_4$  выбирается момент  $t_{1i \min}$  поступления в сеть 1-й заявки. Таким же образом по (12.4) определяется момент  $t_{i \min}$  поступления каждой очередной заявки. После выбора  $t_{i \min}$  проверяется условие: "Не кончилось ли время текущей реализации?" (оператор  $P_5$ ). При выполнении этого условия по номеру ячейки, в которой было записано значение  $t_{i \min}$ , определяется номер НС, в которое поступает заявка с данными  $t_{i \min}$  (оператор  $A_6$ ).

Оператор  $A_7$  обеспечивает определение совокупности путей, составляющих данные направления связи, а также порядок их выбора. Затем осуществляется проверка состояния каналов в пути 1-го выбора (оператор  $P_8$ ), т.е. проверка  $t_i > t_{osc}$ .

Если условие выполняется, то в процессе выполнения оператора  $A_9$  свободные каналы фиксируются и выбранные из них отмечаются как занятые. Затем в счетчики  $n_m$  каждой ветви

данного пути записывается 1 (оператор  $A_{10}$ ). А в процессе выполнения  $\Phi_{11}$  согласно выражению (6) происходит формирование времени  $t_i$  обслуживания заявки, поступающей в момент  $t_i$ .

По времени обслуживания поступившей заявки для каждого выбранного канала в рассматриваемом пути по выражению (12.5) формируется время его освобождения (оператор  $\Phi_{12}$ ) после чего в счетчики производится запись 1 (оператор  $A_{13}, A_{14}$ ).

В процессе выполнения оператора  $\Phi_{15}$  согласно выражениям (12.3) и (12.4) вырабатывается очередной момент  $t'_i$  поступления заявки в НС  $J_i$  и значение  $t'_i$  записывается взамен использованного  $t_i$  (оператор  $A_{16}$ ).

При невыполнении  $P_8$  в счетчик  $\bar{n}_m$  записывается 1 (оператор  $A_{17}$ ) после чего выполняется оператор  $P_{18}$ , осуществляющий проверку состояния каналов в ветвях  $\mu_2$ .

Если в процессе такой проверки будет найдена требуемая цепь свободных каналов, то выполняются операторы  $A_9, A_{10}, \Phi_{15}$  и  $A_{16}$ . Данная последовательность сохраняется после выполнения условия  $P_{19}$ .

При невыполнении условия  $P_{19}$ , т.е.  $t_{\text{осв}} \leq t'_i$ , в счетчики  $\bar{n}_j$  и  $\bar{n}_m$  в пути последнего выбора записывается 1. Затем выполняется  $\Phi_{15}$  и  $A_{16}$ .

При невыполнении условия, проверяемого оператором  $P_5$  ( $t_i \min \langle 1 \rangle$ ), т.е. окончания времени одной реализации, проверяется количество уже выполненных реализаций (оператор  $P_{21}$ ). Если число выполненных реализаций меньше числа заданных, для получения требуемой точности решения осуществляется переход к следующей реализации с записью 1 в счетчик  $n_k$  (оператор  $A_{22}$ ).

При выполнении заданного числа реализаций по всем счетчикам подсчитывается среднее значение обслуженных и потерянных заявок, приходящихся на одну реализацию ( $A_{23}$ ) и результаты выводятся на печать ( $A_{24}$ ).

## Глава 13 Принципы организационно - технического построения телекоммуникационных сетей.

### 13.1 Признаки, определяющие принцип организационно - технического построения телекоммуникационных сетей.

Телекоммуникационные сети создаются для обеспечения информационного обмена между элементами различных систем в процессе решения возлагаемых на них задач. При этом структура телекоммуникационных сетей может повторять структуру обеспечиваемых ими систем или не совпадать с ней. Соответствие структуры телекоммуникационной сети структуре обеспечиваемой ею системы является признаком, определяющим принцип организационно-технического построения сети.

В настоящее время выделяют два таких принципа:

1. Принцип образования прямых связей.
2. Принцип обеспечения связи через коммутируемую базовую сеть, коммутационные центры (КЦ) которой организационно и территориально не связаны с элементами обслуживаемой системы.

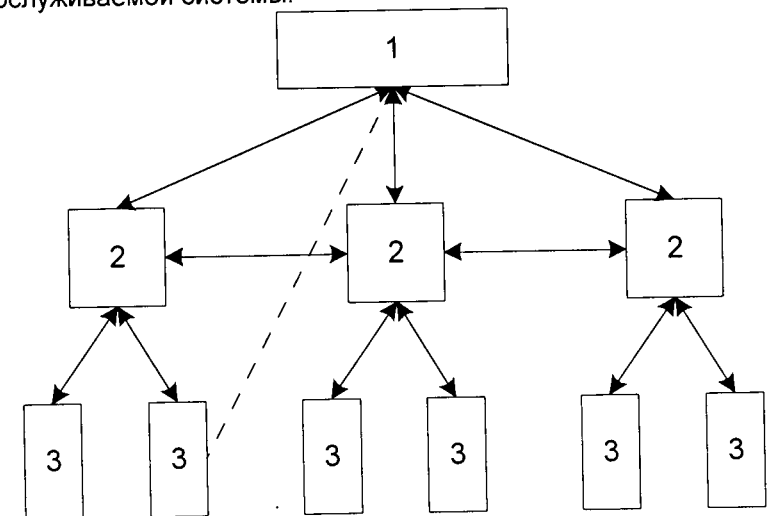


Рис.13.1

Рассмотрим абстрактную систему управления, для информационного обмена которой необходимо создать телекоммуникационную сеть. В состав системы управления

входит совокупность органов и объектов управления, и связывающие их направления управляющего воздействия (рис.13.1).

Основные объемы потоков информации передаются в направлениях управляющего воздействия, а именно между органами и объектами управления, находящимися в непосредственном подчинении (1-2, 2-3). Возможность взаимосвязи органов и объектов управления через инстанцию (1-3) может допускаться в виде исключений.

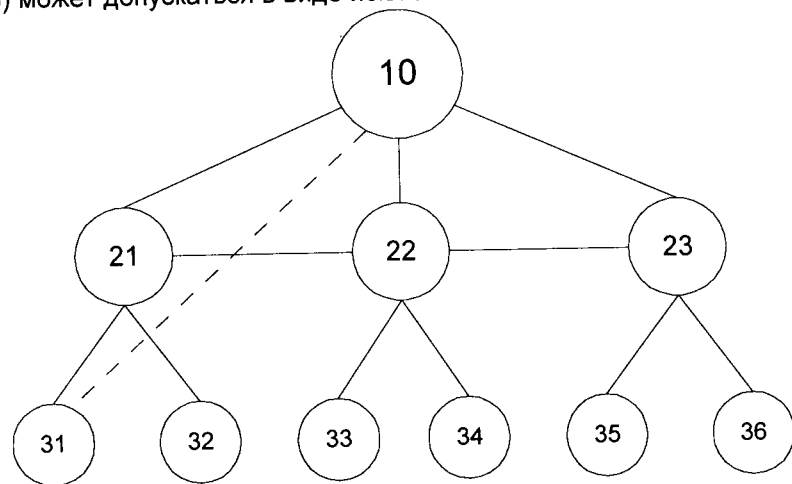


Рис.13.2

Элементы системы управления, в зависимости от того в каком направлении управляющего воздействия они рассматриваются, могут выступать как в роли органа, так и в роли объекта управления. В системе управления, представленной на рис.1., в направлении управляющего воздействия 1-2 элемент 2 выступает в роли объекта управления. А в направлении управляющего воздействия 2-3 элемент 2 выступает в роли органа управления.

Часть информационного потока может замыкаться между органами и объектами управления одного класса (2-2). Этот вид управляющего воздействия представляет собой направление взаимодействия.

Если каждому органу и объекту управления придать оконченный КЦ и все КЦ связать между собой по направлениям управляющих воздействий, то образуется сеть связи, структура которой может быть представлена в следующем виде (рис.13.2).

Анализируя структуры, приведенные на рис.13.1 и рис.13.2 можно видеть, что они совпадают и по количеству элементов и по характеру взаимосвязей между этими элементами. Это классический пример построения сети связи по принципу образования прямых связей.

### 13.2 Анализ использования принципа прямых связей при построении телекоммуникационных сетей.

Для обеспечения связи между каждой парой из N КЦ сети, построенной по принципу образования прямых связей, необходимое число создаваемых в ней ветвей M равно:

$$M = \frac{N(N-1)}{2}$$

Произведем оценку сети прямых связей по требованиям обеспечения заданной живучести ветвей сети и величине расхода линейного оборудования.

Живучесть ветвей некоммутируемой сети, характеризует устойчивость обеспечиваемого ею направления управляющего воздействия. Повышение живучести может достигаться с помощью топологического разнесения составляющих данную ветвь каналов. Рассмотрим пример.

Пусть требуемая живучесть проектируемой ветви телекоммуникационной сети составляет  $W_m = 0,96$ . Для

построения этой ветви у проектировщика имеются i линий связи, ожидаемая вероятность выживания каждой из которых составляет  $W_{ЛСi} = 0,66$ .

Итак, имеющиеся в распоряжении проектировщика линии связи, имеют показатель живучести ниже, чем задан для проектируемой ветви. Следовательно, для выполнения заданных требований необходимо их параллельное включение. Для определения необходимого числа линий связи, параллельное включение которых обеспечит заданную живучесть ветви, можно записать следующее уравнение:

$$W_m = 1 - \prod_{i=1}^{\chi} (1 - W_{ЛСi}) \quad (13.1)$$

где  $\chi$  - число линий связи, обеспечивающих заданную живучесть ветви.

Так как вероятность выживания всех используемых линий связи одинакова, то можно записать

$$W_m = 1 - (1 - W_{LCi})^\chi \quad (13.2)$$

Отсюда, если ветвь связи состоит из двух линий связи, то  $W_m = 0,8844$ .

Если из трех, то

$$W_m = 0,9607.$$

Таким образом, заданная живучесть рассматриваемой ветви телекоммуникационной сети должна обеспечиваться каналами, разнесенными по трем ( $\chi=3$ ) независимым линиям связи.

Число каналов  $V_m$  в ветви  $m$  обуславливается заданными для нее значениями пропускной способности и качества обслуживания, т.е. величинами исполняемой в ней нагрузки  $Y_m$  и вероятности потерь  $P_m$ . Если для рассматриваемой ветви  $Y_m = 2,1$  Эрл, а  $P < 0,015$ , то используя номограммы Эрланга получим  $V_m = 6$

Проанализировав полученные результаты можно заключить, что для выполнения требований по живучести и пропускной способности ветви, она должна быть образована каналами, выделенными по два с трех различных линий связи.

Произведем оценку расхода линейного оборудования при развертывании сети с использованием принципа образования прямых связей. В работе [2] показано, что при развертывании телекоммуникационной сети типа "решетка" на территории площадью  $F$  [км]<sup>2</sup>, средняя длина  $\bar{L}_m$  [км] одной ветви приблизительно равна:

$$\bar{L}_m [\text{км}] = (0,8 \div 1,15) \sqrt{F} \quad (13.3)$$

Суммарное количество ветвей сети может быть определено как

$$M = 0,5 \sum_{i=1}^N m_i^{(n)} \quad (13.4)$$

где  $m_i^{(n)}$  число ветвей, инцидентных  $n$ -тому КЦ.

Тогда общая длина ветвей телекоммуникационной сети приблизительно равна:

$$L_c [\text{км}] = \bar{L}_m M \quad (13.5)$$

Используя выражения (13.3, 13.4, 13.5) можно произвести ориентировочную оценку эффективности принимаемых решений.

### 13.3 Использование базовой некоммутируемой сети при построении телекоммуникационных сетей по принципу прямых связей.

На практике, при построении сетей прямых связей, число ветвей, как правило, много меньше, чем число направлений связи. Это связано с тем, что требуемые мощности ветвей существенно ниже емкости используемых систем передачи.

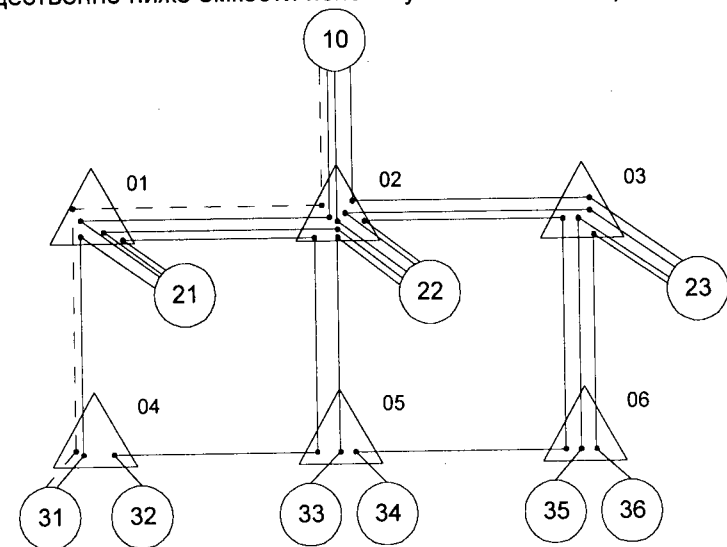


Рис.13.3

Поэтому оказывается целесообразным построение базовой некоммутируемой сети, ветви которой могут содержать каналы различных направлений связи (направлений управляющего воздействия) (рис.13.3).

Однако использование базовой некоммутируемой сети принципа образования прямых связей не меняет. Это связано с тем, что для обеспечения связи между произвольной парой КЦ необходимо соединять их прямыми каналами в количестве, определяемом величиной поступающей нагрузки и заданным качеством обслуживания. То есть каждому направлению связи должна соответствовать своя ветвь.

Использование БНС позволяет уменьшить общую суммарную протяженность линий связи в 4-6 раз, т.е.

$$M \approx 0,2M_{\max}$$

Кроме того, достоинством ТКС, использующей этот принцип, является минимальное время установления соединений. Иногда этот принцип единственно приемлемый для обеспечения заданного времени доставки сообщений (РЛС, командно-сигнальные системы).

Недостатками сети прямых связей являются:

1. Низкое использование каналов в направлениях связи. Это связано с тем, что ветви связи маломощны, а для обеспечения высокого качества обслуживания при обслуживании по системе с потерями, каналы большую часть времени простаивают.

2. Трудности обеспечения высокой живучести направлений связи. Достижение высокой живучести обеспечивается с помощью топологического разнесения каналов по независимым линиям связи. А это достаточно дорого. Поэтому в большинстве случаев такой путь приемлем лишь для наиболее важных направлений связи.

3. Ограниченные возможности использования обходных путей.

4. Значительное время образования прямых связей через некоммутируемую базовую сеть, исчисляемое для больших сетей часами.

Данные недостатки значительно ограничивают практическое использование данного типа сетей.

### 13.4 Построение телекоммуникационных сетей по принципу использования базовой коммутируемой сети.

Недостатки, присущие телекоммуникационной сети, построенной по принципу образования прямых связей, расширение возможностей систем коммутации и

каналообразования, а также все более высокие требования, предъявляемые к показателям пропускной способности, живучести и своевременности доставки сообщений, дали толчок к поиску новых решений.

Суть идеи передачи сообщений с использованием БКС иллюстрирует рис.13.4.

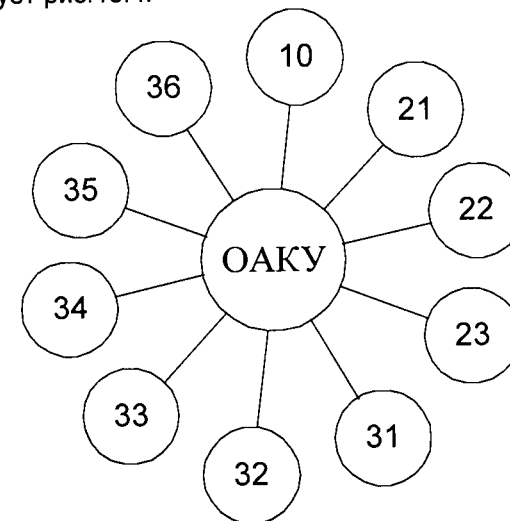


Рис.13.4

В состав некоммутируемой телекоммуникационной сети дополнительно вводится опорный автоматически коммутируемый узел (ОАКУ). И сразу отпадает необходимость иметь в каждом направлении связи отдельную ветвь. С точки зрения возможности ведения обмена информацией, любому конечному коммутационному центру достаточно иметь одну ветвь, обеспечивающую его подключение к опорному автоматическому коммутируемому узлу.

Однако, если конечные коммутационные центры рассредоточены на значительной территории, такой подход может быть не эффективным с точки зрения материально – технических затрат. Одно ОАКУ может оказаться мало. А с точки зрения повышения эффективности и экономичности использования линейного оборудования вместо ОАКУ целесообразно развернуть базовую коммутируемую сеть (БКС). В этом случае телекоммуникационная сеть, представленная на рис.4, трансформируется в сеть, представленную на рис.13.5.



Основной особенностью построения сети, определяющей принцип использования БКС, является несоответствие структур системы управления и обеспечивающей ее телекоммуникационной сети.

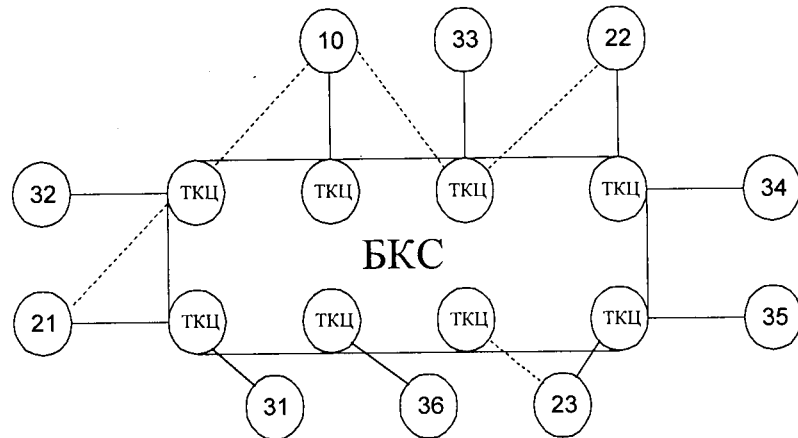


Рис.13.5

Здесь, как и в БНС, для ввода и вывода сообщений предусматривают оконечные КЦ. Но, кроме того, вводится еще один тип КЦ - транзитные (или сетевые) КЦ территориально и функционально не связанные с органами управления. Основой для построения БКС может служить БНС, кроссы которой заменены на ТКЦ. Часто ТКЦ получают названия по типу выполняемой или оперативной коммутации:

- центры коммутации каналов - ЦКК;
- центры коммутации сообщений -ЦКС
- объединенные ЦКК и ЦКС - ЦКК-С.

Переход от некоммутируемой к коммутируемой базовой сети резко меняет ее структуру и характер функционирования (рис.13.6).

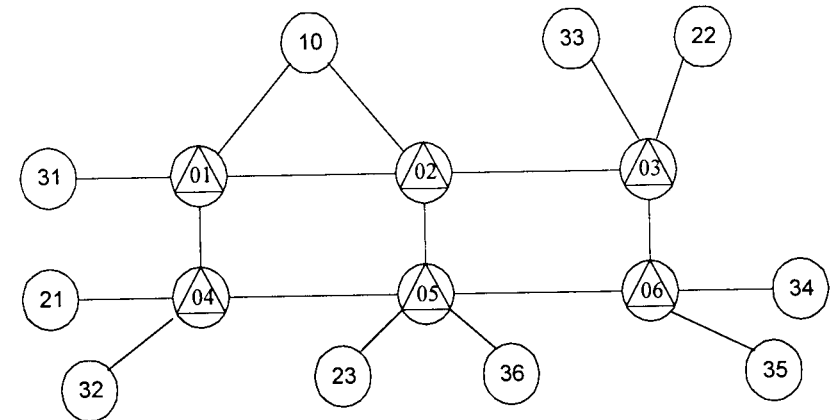


Рис.13.6

Особенности данной сети:

1.Разъединенные по направлениям связи каналы, составляющие ветви некоммутируемой сети (рис.13.3) объединяются в полноступные ветви коммутируемой сети (рис.13.6).

2.Вместо маломощных пучков каналов, обеспечивающих прохождение потоков информации отдельных направлений связи, образуются мощные пучки, пропускающие суммарные потоки нескольких направлений связи. При этом резко повышается степень использования каналов, а следовательно и эффективность применения составляющих эту сеть средств связи.

3.Обеспечиваемая ТКЦ оперативная коммутация создает широкие возможности для маневра путями установления соединений в любом направлении связи.

Это позволяет эффективно использовать все ресурсы сети и как следствие повысить:

- живучесть
- надежность
- пропускную способность

### 13.5 Сравнительная оценка принципов организационно - технического построения телекоммуникационных сетей.

Произведем количественную сравнительную оценку различных принципов ОТП ТКС.

Общая длина ветвей сети при использовании БКС, может быть определена как

$$L_c = L_B + L_{ЛП}$$

где  $L_B$  - суммарная длина ветвей БКС.

$L_{ЛП}$  - суммарная длина линий привязки.

При приближенных расчетах для типовых структур БКС типа решетка средние значения длины одной ветви можно считать равными [2]:

$$\bar{L}_{mB} [км] = (0,15 \div 0,30) \sqrt{F},$$

$$\bar{L}_{mЛП} [км] = (0,44 \div 0,66) \sqrt{F/N^T}$$

где  $N^T$  число ТКЦ в БКС.

Основным эффектом применения БКС является резкое сокращение линейного оборудования на сети связи в целом.

На рис.13.7 приведены результаты расчетов объема линейного оборудования при различных принципах ОТП ТКС.

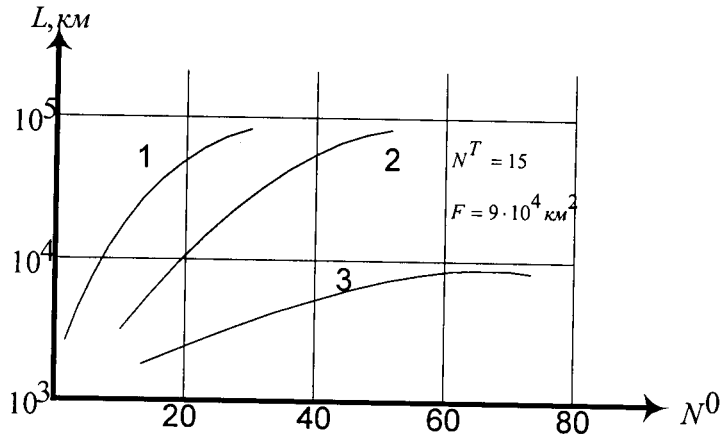


Рис.13.7

Кривая 1 - показывает суммарную максимальную длину линий связи (считая, что каждая ветвь реализуется линией связи) на сети, построенной по принципу образования прямых связей. Число линий связи (ветвей) такой сети равно

$$M_{\max} = \frac{N^0(N^0 - 1)}{2},$$

где  $N^0$  - число ОКЦ.

Кривая 3 определяет зависимость суммарной длины линий связи БКС и линий привязки от числа  $N^0$  при фиксированном числе  $N^T$  ТКЦ и территории  $F$ . При таком построении имеется возможность соединения каждого КЦ с каждым. При этом существенно снижается объем линейного оборудования.

Существенной особенностью сети связи, построенной по принципу использования БКС, является объединение на ветвях нагрузки различных направлений связи. Это связано с тем, что любой канал ветви по требованию абонента может быть коммутирован с любым другим каналом для установления связи в требуемом направлении. Таким образом исчезает принадлежность канала направлению связи и все каналы образуют на ветвях полнодоступное включение. Это

1.Повышает степень использования каналов и как следствие снижает объем линейного оборудования.

2.Уменьшает требуемую емкость КЦ и т.д.

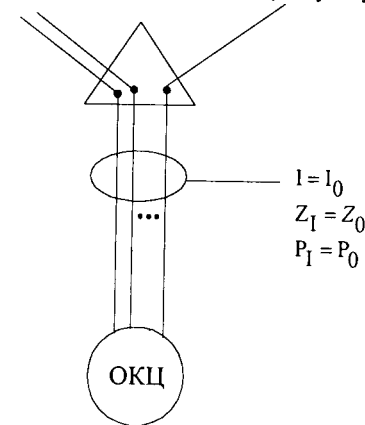


Рис.13.8

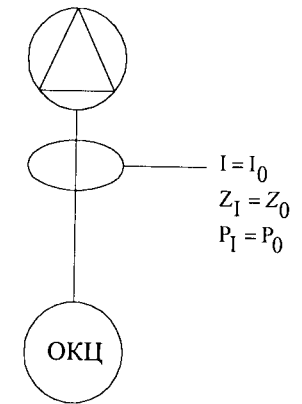


Рис.13.9

Проиллюстрируем это свойство примером. Пусть в каждое из пяти направлений связи от (к) КЦ<sub>22</sub> (рис.13.3) поступает нагрузка  $Z_0=0,7$  Эрл. Качество обслуживания во всех направлениях связи нормировано величиной  $P_0 \leq 50^0 / 00$ . В ветви привязки  $m_{22-02}$  (рис.13.8) для обеспечения связи в этих направлениях выделяются пять неполнодоступно включенных пучков каналов. Модель этого фрагмента сети представлена на рис.13.8. Если в каждое направление связи поступает

простейший поток заявок, то требуемая мощность одного пучка каналов может быть определена по методу Эрланга. При  $Z_0=0,7$  Эрл,  $P_0 \leq 50^\circ /_{00} \rightarrow V = 3$ . Тогда суммарная мощность ветви  $m_{22-02}$  составит  $V_m = 3 \times 5 = 15$  каналов. При построении сети по второму принципу (рис.13.6) нагрузка всех направлений связи объединяется. Модель этого фрагмента сети представлена на рис.13.9. При полном доступном включении каналов в ветви суммарная поступающая нагрузка составит величину  $Z_I = 5 \times Z_0 = 5 \times 0,7 = 3,5$  Эрл. В этом случае требуемая мощность в этой ветви составит

$$V_m = 7 \text{ каналов} \quad (P=0,040, Z_I = 3,5 \text{ Эрл})$$

При этом качество обслуживания улучшится на 10% и составит  $(P=0,040)$ . Таким образом, необходимое число каналов уменьшилось более чем в 2 раза.

Кроме того, следует отметить, что на широко разветвленных коммутируемых сетях требуемое число каналов в подобной ситуации может быть сокращено в 4 и более раз.

## 6. Пути автоматизации сетей связи.

Автоматизация коммутационного процесса позволяет:

- повысить скорость установления соединений;
- обеспечить независимость качества обслуживания абонентов от состояния и субъективных особенностей обслуживающего персонала;
- повысить эффективность использования оборудования сети, а так же ее живучесть и надежность.

Можно выделить три пути автоматизации сетей, предусматривающие:

1.Использование оконечных и транзитно-оконечных автоматических КЦ при сохранении кроссовой коммутации в базовой сети.

2.Применение автоматически коммутируемых ТКЦ в базовой сети при сохранении в большинстве оконечных КЦ ручного способа установления соединений.

3.Одновременная замена кроссов в базовой сети и оконечных КЦ с ручным обслуживанием на автоматические ТКЦ и ОКЦ.

Первый путь автоматизации обуславливает использование принципа прямых связей, а второй и третий пути - использование БКС.

Основными факторами, влияющими на выбор пути автоматизации являются:

1.Возможности производства автоматических средств связи.

2.Виды подлежащих автоматизации сетей связи (учрежденческие, городские, междугородные или международные сети, стационарные или подвижные) их состав и размерность.

3.Величины нагрузки, поступающие на обслуживание в направлениях связи.

4.Требования к качеству обслуживания в НС.

5.Характер и степень взаимодействия подлежащих автоматизации сетей с другими сетями и др.

Очевидно, что для сетей связи с небольшим числом элементов, развертываемых на ограниченных территориях и сравнительно слабо связанных с другими сетями целесообразным является третий путь.

Для больших сетей выбор пути автоматизации является сложной задачей.

Рассмотрим подходы к решению этой задачи.

Первое, на что смотрят - эффективность использования оборудования. Оценивают по  $a = f(V, p = const)$  степени использования каналов

$$a = \frac{Y}{V} \Big|_{p = const}$$

С точки зрения показателя целесообразно стремиться к созданию мощных ветвей.

Анализ интенсивностей потоков в направлениях связи позволяет получить исходные данные для принятия решения [2]. На рис.13.10 приведены три наиболее характерных варианта плотности распределения нагрузки по направлениям связи. По оси ординат используются следующие обозначения:

$n'$  - число направлений связи в сети с нагрузкой  $z_i$ .

$n$  - общее число направлений связи в сети.

Для сети, характеризующейся кривой 3, высокое использование каналов достигается даже при организации

между ОКЦ прямых связей. Поэтому здесь может быть применен первый путь автоматизации. (Применения второго и третьего пути повышает величину функционирующей нагрузки, что ведет к снижению эффективного использования каналов.)

Для сетей, характеризующихся кривой 1 целесообразным является второй путь автоматизации.

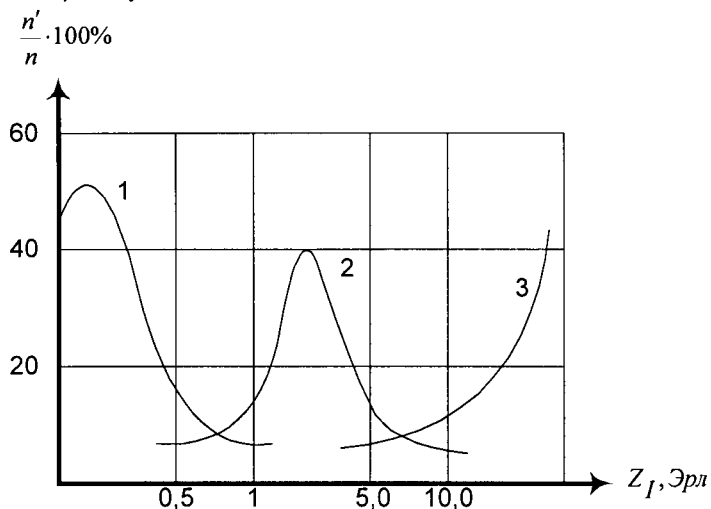


Рис.13.10

Для сетей характеризующихся кривой 2 целесообразным является второй путь автоматизации, а при определенных условиях - третий.

## Глава 14. Принципы зонообразования и адресования на телекоммуникационных сетях.

### 14.1 Предпосылки и условия зонообразования на телекоммуникационных сетях.

Зонообразование осуществляется на сетях большой размерности. При этом под зонообразованием понимается разбиение ТКС на участки, обладающие определенными свойствами.

Рассмотрим основные предпосылки разбиения телекоммуникационных сетей на зоны.

Первая предпосылка – управляемость. Известно, что управляемость любой системы зависит от ее состава, размерности, целевой функции и некоторых других параметров. Причем, чем меньше размерность системы, тем выше управляемость. Однако при уменьшении размерности системы увеличиваются накладные расходы за счет увеличения расходов на аппарат управления. Увеличивая размерность системы мы постепенно подойдем к такому моменту, когда управляемость системой будет потеряна. При этом расходы на аппарат управления будут очень малы. Таким образом, необходимость разбиения ТКС на зоны вызывается необходимостью упорядочения управления сетью.

Вторая предпосылка, вызывающая необходимость разбиения сети на зоны, является организация эксплуатации, ремонта и развития ТКС. (Удобство составления детального плана развития. Определение источников финансирования – бюджет республиканский, ведомственный, международные инвестиции и т.д. Составление сметы.)

Третья предпосылка - упорядоченность системы адресования и нумерация на ТКС. В соответствии с общими принципами построения ТКС при образовании зоны целесообразно пользоваться следующими ограничениями:

1. Максимальная значность номера не более семи.
2. Емкость зоны не должно превышать 8 млн абонентов.
3. Запас номерной емкости должен обеспечивать неизменность системы нумерации в течение ближайших 50 лет.
4. Внутри зоны должны обеспечиваться единые принципы адресования.

При определении границ зоны экономически и организационно целесообразно, чтобы:

1. Границы зоны совпадали с административными границами областей, краев и т.д.

2. Большая часть информационных потоков замыкались внутри зоны;

3. В пределах каждой зоны находилось примерно одинаковое число абонентов.

Выполнение рассмотренных выше рекомендаций позволяет повысить удобство эксплуатации телекоммуникационной сети, увеличить эффективность использования оборудования и обеспечить планомерность развития ее элементов.

#### 14.2 Зонаобразование на международной телекоммуникационной сети.

Для организации международной телефонной и других видов связи предусмотрено деление на зоны в глобальном масштабе. С этой целью земной шар разделен на 9 зон.

1. - Северная и Центральная Америка;
2. - Африка;
3. - Европа;
4. - Европа;
5. - Южная Америка и Куба;
6. - Австралия и Океания;
7. - бывший СССР;
8. - Юго-Восточная Азия;
9. - Ближний Восток и Индия.

Номера зон являются первой цифрой кода национальной сети.

В связи с преобразованиями, произошедшими на территории бывшего СССР, часть независимых государств бывшего СССР отнесены к Европейской зоне и получили новые международные коды. Так Украина получила код, который начинается с цифры 3.

#### 14.3 Принципы зонаобразования на государственной

#### и ведомственных телекоммуникационных сетях.

Государственная сеть связи Украины строится по радиально-узловому принципу с учетом административного деления страны. По плану развития в ее состав должны входить магистральная (или базовая коммутируемая) сеть и внутриобластные сети. На них предполагается использовать коммутационные центры четырех видов:

1. КЦ магистральной (базовой коммутируемой) сети (КЦмаг).

2. Областные КЦ, располагающиеся в областных центрах. Они являются низовым звеном магистральной и центром внутриобластной сети.

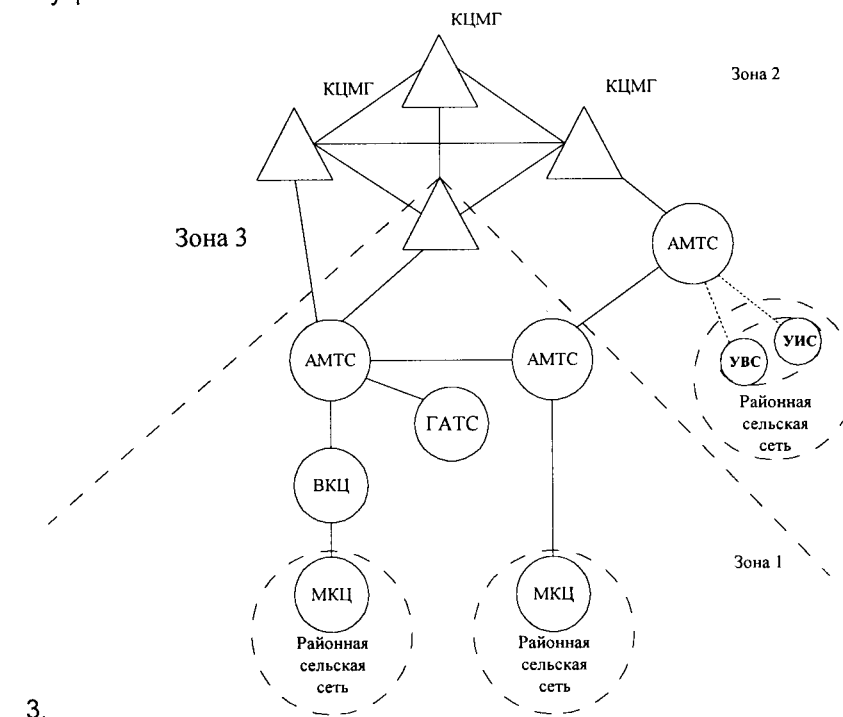


Рис. 14.1

4. Межрайонные КЦ, располагающиеся на территории области (обычно в районных центрах) и предназначенные для

обеспечения маломощных пучков каналов связи, идущих от удаленных районных центров.

5. Районные коммутационные центры - располагающиеся в районных центрах и являющиеся оконечными КЦ междугородней сети.

Как уже отмечалось выше, зона сети проектируется таким образом, чтобы ее территория совпадала с территорией административной единицы. На Украине в качестве такой единицы взята область, автономная республика. Таким образом на Украине можно выделить 25 зон. Кроме того, в отдельную зону выделяется г. Севастополь. Следовательно, всего 26 зон.

Главным коммутационным центром зоны является АМТС.

В одной зоне их может быть 1-2. Следовательно, областные КЦ на ТКС реализуются в виде АМТС. Каждая АМТС в перспективе должна подключаться к 2-3 КЦ магистральной сети или АМТС.

Внутри зоны создается внутризональная сеть. В ней межрайонные КЦ получили название внутризональных КЦ (ВКЦ), а районные - местных КЦ (МКЦ). Во внутризональной сети к АМТС подключаются ВКЦ, объединяющие в необходимых случаях пучки каналов от МКЦ. Кроме того, МКЦ могут включаться непосредственно в АМТС. Также непосредственно в АМТС могут включаться городские АТС в вообще городская телефонная сеть.

Местные телефонные сети, имеющие взаимное тяготение могут соединяться пучками каналов помимо АМТС и ВКЦ.

Структура сети имеет вид, представленный на рис.14.1.

КЦмаг представляют собой коммутационные центры магистральной сети. По возможности, они должны быть соединены по принципу каждый с каждым, а при недостаточности ресурса - не менее чем с двумя-тремя ближайшими КЦмаг

Таким образом, обеспечивается замыкание основного трафика внутри области, города, сельского района.

*Зонаобразования на ведомственных сетях* кроме учета выше перечисленных факторов должно соответствовать структуре внутриведомственного управления. При этом, как правило, выделяется центральная зона, в которой располагается основной орган управления (рис.14.2).

В зависимости от наличия сил и средств в каждой зоне предусматривается наличие одного узлового КЦ1-го класса (КЦ1), являющегося главным КЦ зоны и нескольких

периферийных узловых КЦ второго класса (КЦII). Все КЦ1 и КЦ2 объединяются в БКС. К ним осуществляется привязка ОКЦ.

Принцип построения заключается в следующем. Все главные КЦ1 соединены непосредственно с КЦ1 центральной зоны, а также между собой образуя БКС смежно-кольцевой структуры.

В периферийных зонах все КЦ2 соединены непосредственно с КЦ1 своей зоны и между собой, образуя зонную сеть смежно-кольцевой структуры. При наличии информационного тяготения на уровне ОКЦ2, они могут иметь непосредственную связь.

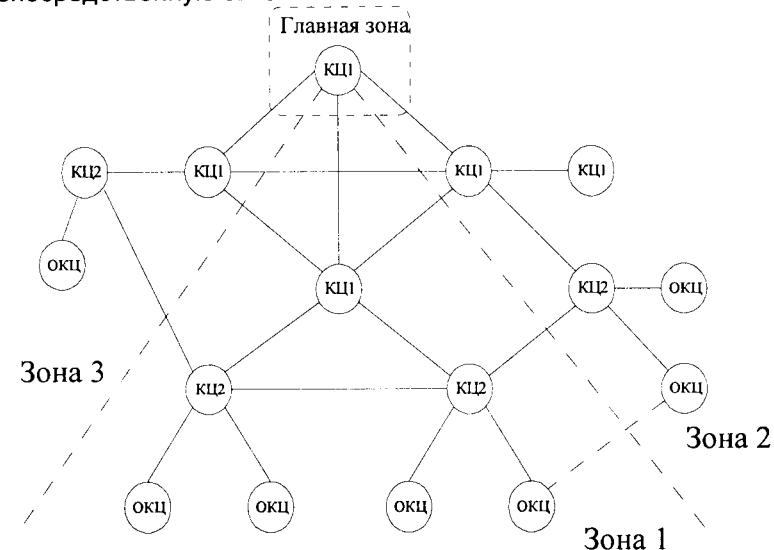


Рис.14.2

ОКЦ соединяются с ближайшими к ним (одному или нескольким) КЦ1 и КЦ2. При наличии значительного информационного тяготения между обеспечиваемыми ими органами управления эти КЦ могут соединяться между собой непосредственно.

Схема соединений должна предусматривать 3 и более пути установления соединений по БКС.

Организация эксплуатации, снабжения и ремонта осуществляется также по иерархии с учетом зон.

#### 14.3 Назначение системы адресования на телекоммуникационных сетях.

Под системой адресования в ТКС понимается совокупность числовых кодовых комбинаций, позволяющих при поступлении заявки от вызывающего абонента выбрать путь и установить соединение к вызываемому абоненту. Система адресования является одной из основных технических характеристик коммутационных центров, определяющих их взаимодействие в процессе установления соединений.

В настоящее время применяются переменная, постоянная и зонавая системы адресования.

В большинстве случаев на существующих ТКС адрес абонента состоит из двух частей: станционной и местной. Станционная часть содержит номер станции вызываемого абонента или совокупность номеров станций, определяющую порядок установления соединения к станции вызываемого абонента. Местная часть адреса представляет собой номер данного абонента на обслуживаемом его КЦ. Система адресования в основном обуславливает порядок формирования и структуру станционной части адреса.

#### 14.4 Переменная система адресования.

В переменной системе адресования станционная часть адреса состоит из последовательности номеров КЦ, через которые должно пройти устанавливаемое соединение. Условно структура такого адреса имеет вид

$$A_i, A_k, \dots, A_j, xx,$$

где  $A_i, A_k, A_j$  - номера станций, через которые проходит соединение к абоненту КЦ<sub>j</sub>.

XX - номера абонента на этом КЦ<sub>j</sub>.

Если между станциями вызывающего и вызываемого абонентов имеется несколько путей установления соединения (передачи информации), каждый из них задается своим адресом.

Рассмотрим сущность данного способа адресования по структуре сети, представленной на рис. 14.3.

Так абонент КЦ10 может вызвать абонента КЦ33, используя различные адреса. Например, 22-23-33 хх или 20-21-32-33-хх. Этот же абонент с другого КЦ сети (например, с КЦ12) может быть вызван по адресу 23-33-хх.

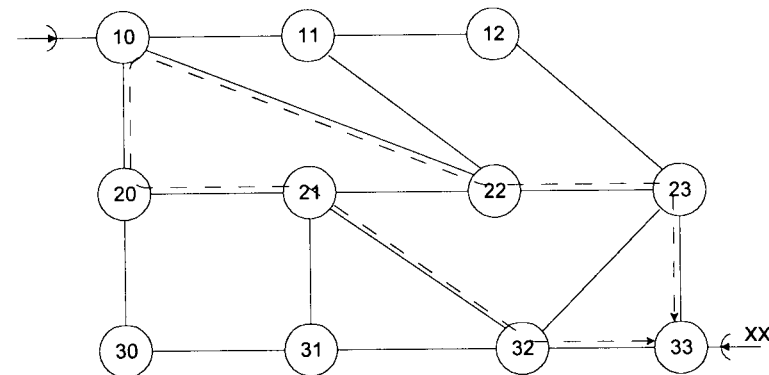


Рис. 14.3

В ряде случаев в состав адреса могут входить не номера КЦ, а номера направлений исходящей связи от каждого из них. В этом случае сеть рис.14.3 примет вид, представленный на рис.14.4.

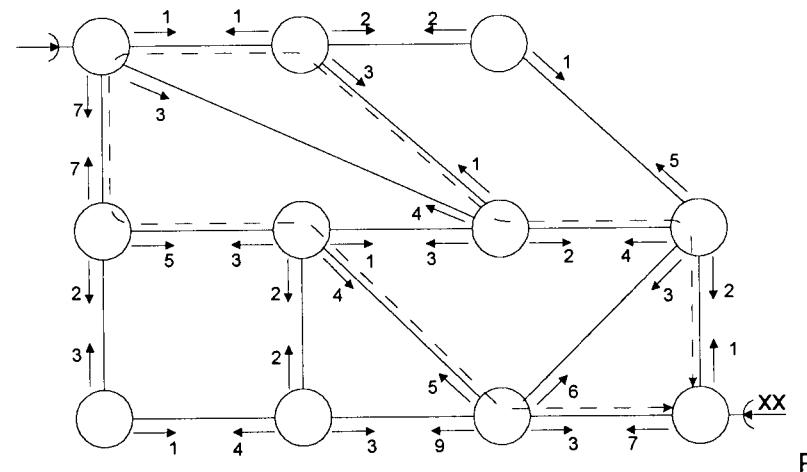


Рис. 14.4

Тогда для установления рассмотренного выше соединения от абонента КЦ14 к абоненту КЦ41 необходимо набрать номер 1-3-2-2-хх или 7-5-4-3-хх, а при вызове от абонента КЦ10 - номер 1-2-хх.

Применение переменной системы адресования существенно упрощает управляющие устройства КЦ. Однако приводит к снижению оперативности связи и необходимости

определять путь установления соединения самим вызывающим абонентом. Кроме того, практически исключается автоматический поиск обходных путей. Поэтому данная система адресования использовалась на первых этапах создания автоматизированных сетей связи и в настоящее время считается устаревшей.

#### 14.5 Постоянная система адресования.

В постоянной системе адресования независимо от места нахождения вызываемого и вызывающего абонентов и количества промежуточных (транзитных) КЦ, через которые устанавливается соединение; станционная часть адреса включает лишь номер КЦ, вызываемого абонента. В любом случае вызов, например абонента КЦ33, осуществляется набором номера 33-хх.

При данной системе адресования УУ КЦ сложнее, чем при переменной. Это связано с тем, что каждый оконечный КЦ должен иметь свой номер, не повторяющийся в сети. А это ведет к увеличению объема информации, записанной в УУ КЦ. Этому же способствует необходимость автоматического выбора требуемого направления, при установлении соединений на сети.

#### 14.6 Зоновая система адресования

Зоновая система адресования предполагает разбиение сети связи на участки, называемые зонами. Каждой зоне присваивается номер (код). Такой же номер обычно имеет и главный КЦ зоны. Структура адреса включает:

1. Код зоны ( $k_i$ ).
2. Номер вызываемого КЦ в зоне  $A_j$ .
3. Номер абонента хх.

То есть полный номер  $k_i A_j хх$

Выбор пути установления соединения здесь так же, как и в предыдущем случае осуществляется автоматически. При необходимости непосредственной связи между КЦ, входящими в различные зоны, структура адреса сохраняется, но соединение (после пересчета набранного номера) осуществляется по возможности по кратчайшему пути. В связи с тем, что в состав адреса входит признак принадлежности КЦ определенной зоне, нумерация КЦ в различных зонах может повторяться.

Кроме адресования абонентов и станций в ряде случаев используют адресование направлений выхода из КЦ в сеть и из одной сети в другую. Для этого вводятся так называемые индексы выхода.

Рассмотрим зонную систему адресования, используемую в настоящее время. Полный номер, определяющий адрес вызываемого абонента может быть представлен в виде ABC abxxxx, где ABC - код зоны, ab - двузначный внутризоновый код стотысячной группы абонентов; xxxxx - пятизначный местный номер абонента (номер в стотысячной группе абонентов).

Дополнительные условия:

- $a \neq 8$  так как данная цифра используется в качестве индекса выхода на междугородную сеть;
- $a \neq 0$  так как данная цифра применяется для выхода абонентов местной сети к спецслужбам;
- $A \neq 1,2$  так как эти значения могут служить индексом выхода на международную или внутризоновую сеть соответственно.

В соответствии с этим полный номер при автоматической междугородней связи должен состоять

1. Из индекса выхода на АМТС (цифра 8);
2. Кода зоны ABC;
3. Семизначного номера абонента зонной сети

(abxxxxx)

При связи внутри зоны набирается не код зоны, а внутризоновый индекс (цифра 2). Поэтому полный номер внутризоновой связи будет иметь структуру 82abxxxx.

В рамках рекомендаций ИТУ (Международного союза электросвязи, ранее МККТТ) имеется возможность организации международной связи с национальными сетями других стран. Код национальной телефонной сети может быть одно-, двух- или трехзначным. В странах, которые имеют десятизначный абонентский номер на своей сети, используется однозначный код национальной сети -  $\alpha$ . При девятизначном номере национальной сети ей присваивается двухзначный код ( $\alpha\beta$ ), при восьмизначном - трехзначный ( $\alpha\beta\gamma$ ). В соответствии с этим максимальная значность международного номера будет равна 11 и номер будет иметь вид



$\alpha ABCabxxxxx$   
 $\alpha \beta ABabxxxxx$   
 $\alpha \beta \gamma Aabxxxxx$

## Глава 15 Задачи управления на телекоммуникационных сетях и решающие их системы

### 15.1 Цели и задачи управления на телекоммуникационных сетях

Телекоммуникационные сети представляют собой достаточно сложную организационно-техническую систему, функционирующую в условиях изменяющейся внутренней и окружающей обстановки. Эти изменения могут возникать вследствие следующих причин:

- 1) выхода из строя или ввода в эксплуатацию отдельных ветвей, КЦ или целых участков сети;
- 2) резкого увеличения величины нагрузки в одном или нескольких направлениях связи;
- 3) изменения местоположения абонентов или элементов телекоммуникационной сети;
- 4) подключения новых источников нагрузки и многочисленных других факторов.

Воздействие этих факторов на ТКС может привести к:

- 1) изменению состава путей передачи информации в направлениях связи и их значимости;
- 2) нехватке ресурса сети для передачи требуемых объемов информации;
- 3) возникновению местных или общесетевых перегрузок;
- 4) ухудшению качества обслуживания или полному отсутствию связи в ряде направлений.

Это обуславливает необходимость постоянного контроля за функционированием ТКС и внесения соответствующих коррекций как в построение сети, так и в протекающие в ней процессы. Решение этих задач предполагает организацию и внедрение высокоэффективного управления. Его целью является обеспечение своевременного установления соединений по заданным адресам и передачи определенного объема сообщений с соблюдением заданных вероятностно-временных характеристик при минимальных материально-технических затратах.

Реализация поставленной цели может быть осуществлена в случае решения следующих задач:

1. Управления установлением соединений по заданным адресам в соответствии с принятой системой обслуживания.
2. Поддержанием показателей основных характеристик ТКС в пределах требуемых норм при минимальных материально-технических затратах.

Первая задача определяется как задача управления установлением соединений, вторая - управления ТКС.

*Под управлением установлением соединений понимается совокупность операций по выбору и занятию свободного пути передачи информации в соответствии с адресом указанным в заявке. Целью управления установлением соединений является обеспечение выбора оптимального пути передачи информации, учитывающего текущие параметры сети связи при обслуживании каждой поступившей заявки.*

*Под управлением телекоммуникационной сетью понимается совокупность операций, обеспечивающих поддержание основных вероятностно-временных характеристик сети в пределах требуемых норм. Целью управления ТКС является обеспечение показателей основных характеристик сети близких к оптимальным значениям, а в случае их отклонения - определение путей доведения до требуемых норм, при минимальных материально-технических затратах.*

## 15.2 Системы управления на телекоммуникационных сетях

Учитывая различия в целях и характере протекающих процессов, для обеспечения режима нормального функционирования сети связи создаются две системы: система управления установлением соединений (СУУС) и система управления телекоммуникационной сетью (СУТС).

Основными функциями СУТС являются:

- формирование плана распределения нагрузки (ПРН), обеспечивающего оптимальный режим функционирования сети по одному или нескольким показателям;
- сбор и обработка данных о состоянии элементов сети;
- своевременное определение отклонений характеристик сети от требуемых норм;
- определение источников дестабилизации сети и путей доведения её характеристик до требуемых норм;
- принятие решения об осуществлении соответствующих коррекций на ТКС;

- определение конкретных объектов управления;
- формирование команд управления и передача их в исполнительные органы.

Объектами управления СУТС являются:

- системы управления установлением соединений.
- кроссовые устройства элементов сети связи;
- силы и средства, обеспечивающие резерв, строительство и эксплуатацию ТКС.

Основными функциями СУУС являются:

- прием заявок на установление соединений в требуемом направлении связи;
- определение дисциплины обслуживания поступающих заявок;
- определение путей передачи информации в соответствии с адресом, указанным в заявке;
- выбор пути передачи сообщения с учётом состояния элементов сети в момент поступления заявки;
- хранение плана распределения нагрузки и его корректирование по командам СУТС;
- сбор данных о результатах обслуживания поступающих заявок;
- формирование команд управления на исполнительные органы;
- передача требуемой информации по запросам СУТС.

Объектами управления СУУС являются коммутационные и обслуживающие приборы КЦ.

## 15.3 Обобщенная модель процесса управления телекоммуникационной сетью

Анализ процессов, протекающих при управлении сетями связи, позволяет выделить следующие четыре основных компонента: ТКС, систему управления телекоммуникационной сетью, систему управления установлением соединений и воздействующие на них факторы.

Обобщенная модель процесса управления телекоммуникационной сетью, типы информационных потоков и их направления показаны на рис.15.1.

ТКС является объектом управления. Она представляет собой совокупность функционально связанных и взаимодействующих между собой и абонентами элементов.



Рис. 15.1

СУТС представляет собой совокупность органов управления. СУУС выступает в двойном виде. С одной стороны, для сети связи это совокупность органов управления. С другой стороны, для СУТС она выступает в роли объекта управления.

В процессе функционирования, как на органы, так и на объекты управления воздействуют различного рода факторы.

В рассматриваемой модели управления телекоммуникационной сетью можно выделить два существенных аспекта. Первый определяется наличием постоянного информационного обмена между ее элементами. Фактически любое законченное действие в элементах модели влечет за собой формирование и передачу сообщения. Второй аспект проявляется в воздействии на элементы модели разнородных факторов, обусловленных как внутренними, так и внешними процессами. Первые протекают в элементах управляемой сети, СУУС и СУТС, вторые - в окружающей внешней среде. Эти факторы во многом определяют режим

информационного обмена между органами и объектами управления.

Факторы, определяющие характер функционирования системы управления, можно разделить на три группы:

1. Связанные с плановыми структурными изменениями в управляемой сети ( $n_1, n_2, \dots, n_i, \dots \in N$ ;  $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots \in M$ ) - развертыванием и свертыванием элементов сети, вводом в эксплуатацию и перемещениями КЦ, изменениями структуры сети и т.д.;

2. Обусловленные выходом из строя элементов управляемой сети вследствие агрессивных воздействий внешней среды и технических отказов ( $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_i, \dots \in \Psi$ ) - поражение элементов или участков сети, возникновение неисправностей в средствах связи;

3. Определяемые потребностями абонентов в информационном обмене ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots \in \Lambda$ ) - изменение интенсивностей информационных потоков и времени обслуживания заявок.

В процессе функционирования сети между ее элементами и СУТС осуществляется информационный обмен, характеризующийся наличием различного типа данных. Так от объектов управления в органы управления могут передаваться следующая информация:

- о восстановлении режима нормального функционирования элементов сети ( $h_1, h_2, \dots, h_i, \dots \in H$ );

- о поражении элементов сети связи и возникающих технических отказах, ведущих к ухудшению качества функционирования направлений связи ( $j_1, j_2, \dots, j_i, \dots \in J$ ) - выход из строя элементов или участков сети, систем передачи, линейного и станционного оборудования КЦ, эксплуатационные ошибки и др.;

- о снижении показателей качества обслуживания абонентов различных категорий ( $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots \in Q$ ) - превышение величины потерь в направлениях связи нормированных значений, превышение времени ожидания обслуживания.

От органов управления на объекты управления могут передаваться следующие команды:

1. На систему управления установлением соединений

- о необходимости изменения порядка выбора путей установления соединения в направлениях связи ( $u_1, u_2, \dots, u_i, \dots \in U$ );
- о необходимости введения или отмены определенных

дополнительных видов обслуживания ( $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots \in D$ ).

2. На элементы телекоммуникационной сети:

- о необходимости выдачи результатов контроля технического состояния элементов телекоммуникационной сети ( $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots \in S$ );

- на введение в эксплуатацию необходимых сил и средств ( $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots \in V$ ) для восстановления поврежденных элементов или участков сети;

3. На управляющие устройства КЦ:

- для осуществления кроссовых переключений на КЦ, обеспечивающих маневр каналами и трактами, для поддержания заданной пропускной способности или живучести направлений связи управляемой сети ( $w_1, w_2, \dots, w_i, \dots \in W$ );

- о необходимости коррекции программ работы управляющих устройств КЦ ( $z_1, z_2, \dots, z_i, \dots \in Z$ );

Данная модель описывает процесс управления телекоммуникационной сетью на достаточном высоком уровне общности. Поэтому при анализе и синтезе конкретных систем управления необходима детализация особенностей их построения и методов решения задач управления, а так же используемых протоколов взаимодействия.

#### 15.4 Классификация систем управления телекоммуникационными сетями.

Наличие особенностей в целях и задачах управления на ТКС, а также различия в способах решения этих задач, алгоритмах функционирования и предъявляемых требований, обуславливают наличие нескольких типов систем управления ТКС. Поэтому необходима классификация СУТС по их отличительным признакам.

С точки зрения взаимодействия с сетью связи их можно разделить на *статические* и *динамические*.

Под *статическими* понимаются СУТС априорно решающие задачи управления. При этом в качестве исходных данных используются прогнозируемые значения параметров сети.

Они подразделяются на:

1. Системы с неизменным ПРН.
2. Системы с ПРН изменяемым по расписанию.
3. Системы с ПРН изменяемым по ситуации.

Первые решают задачи планирования связи или проектирования ТКС. В процессе функционирования таких СУТС по заданным исходным данным синтезируется структура и топология сети, формируется ПРН, определяются мощности ветвей, обеспечивающие заданное качество обслуживания в направлениях связи.

Вторые и третьи решают задачу формирования ПРН в преломлении к некоторым прогнозируемым стандартным ситуациям на ТКС. При этом, во вторых СУТС смена одного ПРН другим осуществляется строго по расписанию. В третьих - по команде оператора в момент возникновения стандартной ситуации.

*Динамическими* называются СУТС, обеспечивающие управление реально функционирующими сетями связи по принципу "контроль - воздействие - контроль". Их основной задачей является контроль за параметрами функционирования сети связи и, в случае их отклонения от требуемых норм, принятия решений на необходимые коррекции.

С точки зрения возможностей и вида решаемых задач управления динамические СУТС подразделяются на *оптимизационные* и *ситуационные*. Первые обеспечивают решение всех задач управления в полном объеме, включая определение источников дестабилизации функционирования сети и методов доведения их характеристик до требуемых норм.

*Возможности вторых ограничены*. В основном, они позволяют повысить качество функционирования сетей связи по одному или нескольким параметрам. Но обеспечить поддержание характеристик сети в пределах заданных значений в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, у них возможностей нет.

По скорости реакции на изменения, происходящие в сети, СУТС можно разделить на *оперативные*, *статистические* и *комбинированные*. *Оперативные* осуществляют немедленное реагирование на возникновение в сети аварийных ситуаций. В основном данные СУТС реагируют на структурные изменения сети связи: выход из строя или ввод в эксплуатацию ветвей сети связи, аварии или перемещения КЦ и др. По сигналам об изменениях в структуре сети связи оперативные СУТС производят переформирование ПРН и доведение его до исполнительных органов.



Рис.15.2

*Статистические* системы предназначены для выявления изменений вероятностно-временных характеристик ТКС. Это могут быть изменения интенсивностей потоков заявок, величины потерь на ветвях и направлениях связи и др. Реакция этих систем на изменения ситуации на сети связи существенно ниже, чем оперативных. Это связано с необходимостью накопления определенного объема статистических данных о происходящих процессах, позволяющих судить о них с требуемой степенью точности и достоверности. И только затем, по результатам анализа произошедших изменений, осуществлять коррекцию плана распределения нагрузки.

*Комбинированные* системы предполагают совместное использование методов управления статистических и оперативных СУТС. В процессе решения задач управления они формируют ПРН, учитывающий не только состояние структуры сети, но и вероятностно-временные параметры информационных потоков.

Классификация систем управления сетями связи представлена на рис.15.2.

### 15.5 Детализация задач системы управления телекоммуникационными сетями.

Задачи СУТС весьма многогранны и разноплановы. Их можно рассматривать в следующих условиях:

- планового развёртывания либо свёртывания управляемой сети;
- нормального функционирования управляемой сети;
- функционирования управляемой сети связи в экстремальных ситуациях.

Для каждого из условий могут быть выделены специфические группы задач управления, в рамках которых формулируются частные задачи в соответствии со спецификой их постановки.

Так, для *первого* случая в группу задач управления должны входить:

- анализ плана развёртывания, свёртывания либо перестроения ТКС;
- анализ имеющегося, либо требуемого (при развёртывании), либо освобождающегося (при свёртывании) сетевого ресурса;
- анализ требований по обеспечению трафика и параметров вероятностно-временных характеристик по планируемому этапу изменения морфологии сети;
- формирование плана распределения нагрузки (ПРН) по этапам;
- принятие решений по распределению сетевого ресурса, обеспечивающего реализацию ПРН при минимальных временных, материально-технических и других видах затрат;
- формирование команд на элементы (объекты управления) управляемой сети, реализующие принятые решения, и осуществление контроля за их исполнением.

Задачи данной группы решаются в СУТС на основании данных о планируемых изменениях в сети и прогнозировании изменения параметров её функционирования. Развёртывание сети связано с вводом новых КЦ, линий связи и образования новых направлений связи. Такие изменения могут затрагивать многие элементы действующей части сети. В первую очередь это относится к параметрам пропускной способности ветвей сети, обеспечивающих обслуживание трафика, и показателям

качества обслуживания различных направлений связи. Ввод новых элементов сети связи сопряжен с формированием нового алгоритмического обеспечения на вновь вводимых участках и его коррекцией на действующих участках сети связи.

Введение ресурса разворачиваемой ТКС, исключение ресурса свёртываемой и его перераспределение на корректируемой сети связаны с переформированием ПРН и решением ряда расчётных задач по определению требуемых показателей. В первую очередь это параметры пропускной способности направлений и ветвей связи и живучести сети. После решения указанных задач производится формирование команд и их доведение до объектов управления, а также контроль за исполнением команд.

Одновременно с решением задач, связанных с изменением структуры сети, и после таких изменений СУТС решает задачи обеспечения нормального функционирования управляемой сети на действующих участках.

В процессе нормального функционирования управляемой сети связи основными задачами СУСС являются:

- контроль за техническим состоянием элементов сети и оценка значений параметров её функционирования,

- приём, фиксация и обработка данных о технических отказах в элементах сети, ведущих к ухудшению параметров функционирования направлений связи;

- контроль показателей пропускной способности ветвей и направлений связи и установление факторов отклонения их от установленной нормы;

- квалификация состояния элементов и участков сети связи по градациям: "норма", "предупреждение" и "авария";

- выявление мест и причин отказа сети;

- определение возможностей по устранению отказа, ведущего к переходу элементов сети из состояния "норма" в состояние "предупреждение" и "авария";

- определение рационального способа восстановления нормального функционирования сети;

- принятие решения на восстановление нормального функционирования управляемой сети, определение конкретных объектов управления;

- формирование команд на объекты управления, реализация принятого решения и осуществление контроля за их исполнением.

Наличие экстремальной ситуации может оказаться одним из условий "нормального" функционирования управляемой сети связи. В таких условиях роль СУТС особо значима, а решаемые задачи имеют ряд особенностей. К таким задачам, в первую очередь, могут быть отнесены:

- организация системы сбора данных о поражении элементов и участков управляемой сети связи;

- прием и обработка данных о поражении элементов и участков сети;

- определение типа поражения элементов и участков сети;

- учет ресурса управляемой сети, обеспечивающего функционирование действующих направлений связи;

- учет резервного сетевого ресурса и определение мест его ввода в эксплуатацию;

- оценка целесообразности введения ограничений входящей нагрузки;

- формирование (переформирование) ПРН для действующих направлений связи;

- уточнение требований к качеству обслуживания в направлениях связи;

- принятие решений на восстановление пораженных элементов сети, снижение влияния поражающих факторов;

- формирование и передача команд на объекты управления и обеспечение контроля за их выполнением.

При возникновении на сети связи экстремальных ситуаций, связанных с воздействием внешних поражающих факторов, СУТС переводится в особый режим работы. При этом в первую очередь производится попытка довести характеристики сети до требуемых норм путем перераспределения или ограничения числа путей передачи информации в части направлений связи.

Если принятые меры не приводят к желаемому результату, то следующим шагом является ввод в эксплуатацию имеющегося резерва сил и средств.

Если требуемое число каналов превышает имеющийся резерв, то следующей мерой доведения характеристик сети до требуемых норм может быть ограничение входящей нагрузки.

Иногда, при возникновении экстремальных ситуаций, вместо требования доведения характеристик сети до нормированных значений ставится условие обеспечения

возможной пропускной способности с максимально допустимым качеством обслуживания для абонентов и сообщений высших категорий. При этом качество обслуживания низших категорий не нормируется.

Наличие большого числа случайных факторов, определяющих условия функционирования ТКС и ограниченность ресурса, выделенного для организации связи, приводит к целесообразности введения управления структурой, потоками, параметрами и режимами работы сети с целью поддержания их основных характеристик в пределах требуемых норм.

### 15.6 Алгоритмическая структура функционирования СУТС.

Процесс управления начинается вслед за принятием решения на организацию связи. В решении должны содержаться:

1. Сведения о местности, где предполагается развернуть ТКС.
2. Имеющиеся силы и средства, обеспечивающие развертывание ТКС.
3. Данные об абонентах и их потребности в связи.
4. Сроки готовности связи и планируемые изменения обстановки.
5. Нормы на качество обслуживания.
6. Требуемые значения живучести ТКС или ее основных направлений связи.

По имеющимся данным осуществляется синтез структуры сети связи. При этом могут использоваться типовые, ранее опробованные варианты структуры и топологии ТКС. При необходимости может производиться разработка структурно-топологического построения организуемой сети по критериям живучести и быстродействия, устанавливающим максимально допустимое число транзитов и минимальное число обходных путей в направлениях связи.

На полученной структуре сети формируется ПРН. В результате решения этой задачи должны быть рассчитаны мощности ветвей ТКС, обеспечивающие заданные показатели пропускной способности и качества обслуживания абонентов. Кроме того, в процессе формирования ПРН могут вноситься коррективы в структуру телекоммуникационной сети, если они не снижают показатели ее живучести и быстродействия.

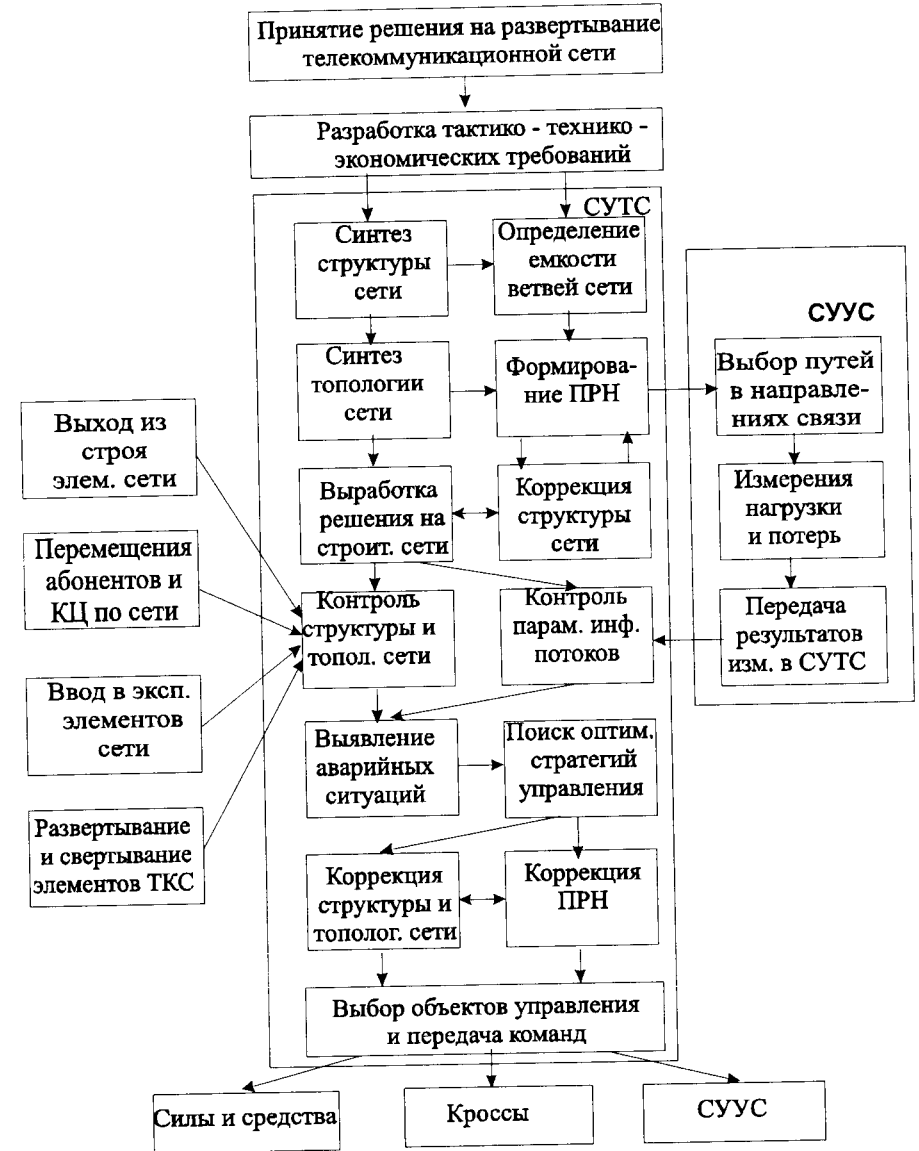


Рис. 15.3

Принятием решения на строительство (развертывание) телекоммуникационной сети заканчивается первый этап функционирования статической СУТС. На последующих этапах могут осуществляться коррекция структуры и топологии сети связи, а также ПРН по планируемым (прогнозируемым) изменениям обстановки.

С началом строительства телекоммуникационной сети и сдачей ее в эксплуатацию вступает в действие динамическая СУСС. Оперативная и статистическая системы управления осуществляют контроль структурных и статистических изменений в ТКС. Информация о таких изменениях накапливается, обрабатывается и определяется необходимость внесения коррекций в построение и функционирование сети. Кроме того выявляются возможности задействованных и резервных средств связи для проведения коррекций, выбираются объекты управления. После принятия решения на осуществление изменений в телекоммуникационной сети формируются соответствующие объектам управления команды, которые передаются исполнительным органам.

Алгоритмическая структура функционирования СУТС имеет вид, представленный на рис.6.3. В зависимости от построения и способа реализации системы в ней одновременно может обрабатываться одно или несколько требований на корректирование структуры, топологии или показателей функционирования ТКС.

### 15.7 Классификация систем управления установлением соединений

Система управления установлением соединений обеспечивает выбор оптимального, на текущий момент времени, пути передачи сообщения от источника к потребителю в соответствии с адресом, указанным в заявке.

Учитывая многообразие имеющихся СУУС, с целью систематизации отличительных признаков произведем их классификацию.

Можно выделить два вида СУУС: с непосредственным управлением и косвенным управлением (рис.15.4)

При непосредственном управлении сигналы набора номера либо непосредственно от источника информации, либо после их предварительной записи в регистр поступают на коммутационные приборы, осуществляя управление процессом



Рис.15.4



коммутации. При установлении соединения по сети таким образом осуществляется образование тракта передачи информации на каждом КЦ. Данный способ управления используется на КЦ старого типа. Автоматический поиск обходных путей при таком способе установления соединений весьма затруднен. Время установления соединения определяется временем передачи адресной информации.

Косвенный способ управления предусматривает разделение процесса установления соединения на два этапа. На первом этапе осуществляется прием адресной информации. На втором этапе производится обработка принятой информации и определение пути передачи информации с учётом текущего состояния сети связи.

СУУС с косвенным управлением могут быть с жёсткими функциональными связями или программные. СУУС же с непосредственным управлением - только с жесткими связями.

Программные СУУС имеют возможность легко приспособляться к изменяющейся обстановке на сети и позволяют реализовать различные режимы управления установлением соединений. На их базе строятся статические и динамические системы управления установлением соединений.

Под статическими понимаются системы управления, предусматривающие в каждом направлении связи только один путь передачи информации. Если каналы данного пути заняты или неисправны, то абонент получает отказ в обслуживании на сетях с коммутацией каналов или ожидает освобождения каналов данного пути при обслуживании по системе с ожиданием.

Отличительными признаками динамических систем является то, что они могут самостоятельно решать ряд задач по повышению эффективности имеющегося ПРН, либо обеспечивать установление соединений при отсутствии ПРН. К таким СУУС относятся: детерминированные, стохастические, волновые, пороговые, с перестроениями, с объёмным приоритетом, с маршрутным приоритетом.

Под детерминированными понимаются системы управления, осуществляющие выбор пути установления соединения методом последовательного циклического опроса совокупности путей передачи информации, определенном ПРН. При этом порядок опробования путей осуществляется в строгом соответствии с предписанием ПРН. Первый из путей,

оказавшийся свободным, занимается под обслуживание поступившей заявки.

В стохастических и волновых СУУС отсутствует необходимость в наличии ПРН. В стохастических системах установление соединения осуществляется по любой из разрешённых прилегающих ветвей, а в волновом - соединение осуществляется параллельно по всем ветвям, исходящим от каждого КЦ.

Пороговые СУУС в процессе решения возлагаемых на них задач отслеживают число свободных и занятых каналов в ветвях сети. При превышении числа занятых каналов в какой либо ветви определенного "порога", пути установления соединения, в состав которых входит данная ветвь, запрещаются к использованию.

СУУС с перестроениями, с маршрутным и объёмным приоритетами обеспечивают повышение эффективности существующего ПРН путем решения различных оптимизационных задач по обеспечению рациональности использования ресурса сети в процессе обслуживания каждой заявки. В системах управления с перестроениями это достигается тем, что соединения, установленные по обходным путям, переключаются на путь первого выбора, как только освобождаются каналы в соответствующих ветвях. В СУУС с маршрутным приоритетом заявкам, обслуживаемым по прямым путям, присваивается более высокий приоритет по отношению к заявкам, обслуживаемым по обходным путям. Как при использовании перестроений, так и при использовании маршрутного приоритета обеспечивается повышение пропускной способности сети за счёт уменьшения числа ветвей, приходящихся на обслуживание одного соединения.

В СУУС с объёмным приоритетом предусматривается повышение или понижение приоритета заявки в зависимости от режима функционирования рассматриваемого направления связи. Если поступающая в направление связи нагрузка не превышает нормированного значения, то заявке приписывается повышенный приоритет. В противном случае приоритет заявки понижается. Такой подход позволяет снизить влияние одних направлений связи на другие.

### 15.8 Алгоритмическая структура функционирования СУУС.

Алгоритмическая структура функционирования СУУС представлена на рис.15.5.

Процесс управления начинается с поступления заявки на установление соединения в требуемом направлении связи. Для приема заявки к вызывающей линии подключается регистр. Через него адресная информация и информация о категории заявки поступает в СУУС.

Здесь производится обработка адресной информации и анализ имеющегося ПРН. В результате определяются выходы из коммутационной системы, соответствующие возможным путям установления соединения по сети связи. Для соединения вызывающего входа коммутационной системы с найденными выходами определяется совокупность внутри станционных путей между ними. Выбор конкретного выхода из коммутационной системы и внутри станционного пути осуществляется на основании:

- состояния приборов, входящих во внутри станционный путь;
- состояния каналов, включенных на выходе коммутационной системы.

Общее число поступивших на обслуживание заявок и число неудачных попыток установления соединения фиксируется. Данная информация передается в СУТС. Там эта статистика обрабатывается. на основании данных обработки может быть скорректирован ПРН.

После выбора пути установления соединения СУУС формирует и передает на коммутационные приборы соответствующие команды. По этим командам обеспечивается проключение тракта устанавливаемого соединения. При отсутствии свободного пути установления соединения абонент при обслуживании по системе с потерями получает отказ. Если абонент имеет соответствующий приоритет, то соединение низшей категории может быть прервано, а по освободившемуся пути может быть установлено соединение данного абонента.

Взаимодействие СУУС и СУТС осуществляется по двум направлениям:

СУУС обрабатывает и передает в СУТС результаты обслуживания поступающих заявок, что в конечном итоге является исходными данными для формирования ПРН.



Рис.15.5

Сформированный ПРН СУТС передает в СУУС, для которой это является отправной точкой для решения задач по управлению установлением соединений.

Таким образом, коррекция процесса управления установлением соединений производится путем изменения плана распределения нагрузки.

## Глава 16. Организационно-техническое построение систем управления телекоммуникационными сетями

### 16.1 Централизованные системы управления телекоммуникационными сетями.

В зависимости от особенностей реализации систем управления телекоммуникационными сетями в современной научно-технической литературе различают централизованные, зоновые, децентрализованные и комбинированные принципы структурного построения СУТС.

Централизованные СУТС (рис.16.1) предусматривают наличие центрального органа управления сетью (ЦОУС) и местных исполнительных органов (МИО), которые располагаются, как правило, совместно с КЦ сети и осуществляют как долговременную, так и оперативную коммутацию.

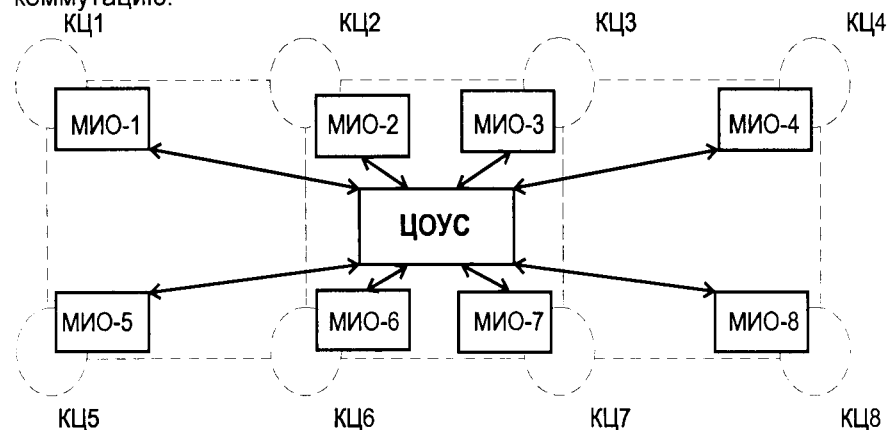


Рис.16.1

Основными функциями центрального органа управления являются:

- формирование плана распределения нагрузки телекоммуникационной сети;
- сбор и обработка информации о состоянии элементов сети;
- оценка загруженности участков сети;
- выявление отклонений параметров потоков заявок от нормированных значений;
- определение возможностей перераспределения нагрузки

с целью повышения пропускной способности сети связи или отдельных ее участков;

- коррекция плана распределения нагрузки;
- формирование команд для МИО.

Местные исполнительные органы выполняют следующие основные функции:

- контроль за техническим состоянием элементов контролируемого участка сети;
- сбор данных о параметрах потоков информации в направлениях связи;
- передача на ЦОУС результатов контроля;
- прием команд от ЦОУС;
- воздействие на объекты управления СУТС (кроссы, программы СУУС, илы и средства, осуществляющие строительство магистралей).

Местные исполнительные органы располагаются, как правило, на КЦ. Центральный орган управления может располагаться, как на одном из КЦ телекоммуникационной сети, так и в специальном сооружении.

### 16.2 Зонные системы управления телекоммуникационными сетями.

Построение зонных СУТС предусматривает разбиение телекоммуникационной сети на участки, называемые зонами. Основными требованиями, предъявляемыми к зоне сети связи, являются:

- территориальная ограниченность;
- удобство управления элементами зоны;
- единая подчиненность сил и средств, обеспечивающих строительство, эксплуатацию и техническое обеспечение средств связи зоны.

В каждой зоне управление осуществляется централизованно зонным органом управления (ЗОУС). Периферийным оборудованием СУТС являются МИО.

Функции, выполняемые ЗОУС и МИО аналогичны для ЦОУС и МИО при централизованном управлении. Вариант построения представлен на рис.16.2.

При необходимости взаимного обмена информацией о ситуации в смежных зонах их ЗОУС соединяются каналами

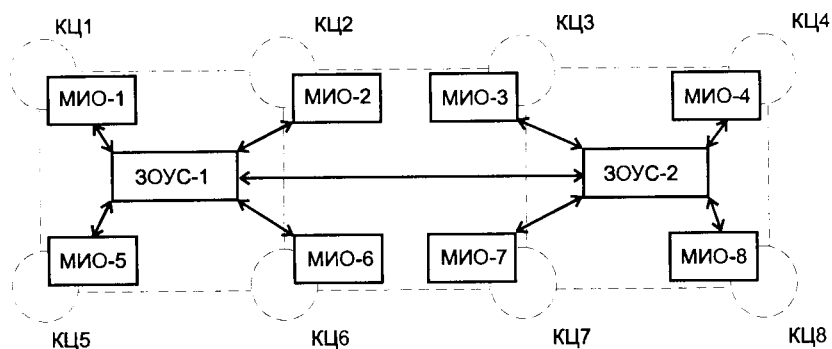


Рис.16.2

управления. С целью повышения живучести СУТС, построенной по зонному принципу, может предусматриваться перехват управления между ЗОУС, в случае выхода одного из них из строя. Однако такой способ обеспечения живучести управления ведет к увеличению количества оборудования, обеспечивающего перехват управления.

### 16.3 Децентрализованные системы управления телекоммуникационными сетями.

При децентрализованном построении систем управления имеют место единые местные органы управления (МОУС). Они размещаются, как правило, совместно с КЦ. Пример децентрализованного построения СУС представлен на рис.16.3.

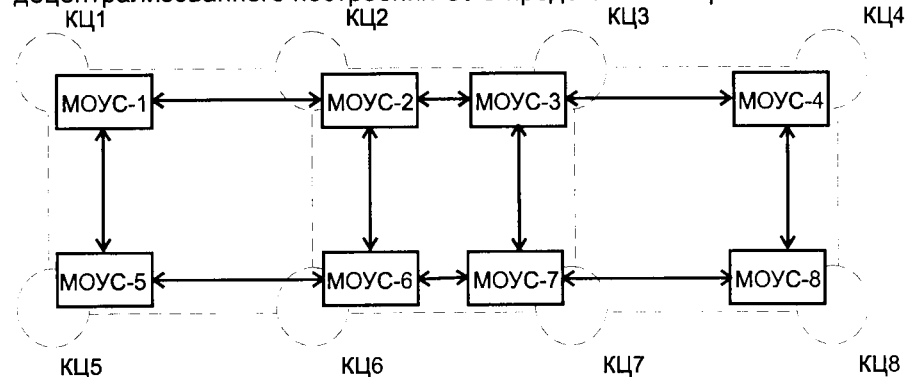


Рис.16.3

Основными функциями МОУС являются:  
-формирование и хранение ПРН;

-контроль за техническим состоянием исходящих от КЦ ветвей;

-сбор информации о вероятностно – временных характеристиках информационных потоков в направлениях связи;

-оценка загруженности исходящих от данного КЦ ветвей потоками требований различных направлений;

-выявление отклонения качества обслуживания заявок по ветвям и направлениям связи от нормированных значений;

-определение возможностей оптимизации функционирования управляемого участка телекоммуникационной сети;

-внесение изменений в ПРН;

-формирование команд управления и доведение их до исполнительных органов, относящихся к управляемому участку сети.

Следует отметить, что местные органы управления на основе информации, которую собирают сами или обмениваются между собой, решают задачи только в интересах своего центра коммутации.

### 16.4 Комбинированные системы управления телекоммуникационными сетями.

Комбинированные СУТС (рис.16.4) имеют в своем составе как элементы централизации, так и децентрализации управления. При этом МОУС, на основе имеющейся информации, решают отдельные задачи в интересах своего КЦ, а центральный орган оптимизирует функционирование всей сети в целом, внося коррективы в работу местных органов.

С точки зрения качества управления наибольшими возможностями обладают централизованные системы, которые наряду с формированием плана распределения нагрузки по критерию минимальной длины пути, позволяют принимать оптимальные решения о методах доведения характеристик сети до требуемых норм.

Возможность решения основных задач управления сетью связи в полном объеме позволяет считать централизованный способ построения СУСС перспективным, однако его низкая живучесть ограничивает возможности практического использования.

С точки зрения живучести наиболее предпочтительной для управления сетями является децентрализованная система, так как отказ любого элемента сети не нарушает процесса управления. Однако, обладая высокой живучестью, они не позволяют принимать оптимальные решения при необходимости доведения характеристик сети до требуемых норм, вследствие ограниченности информации о состоянии элементов сети связи.

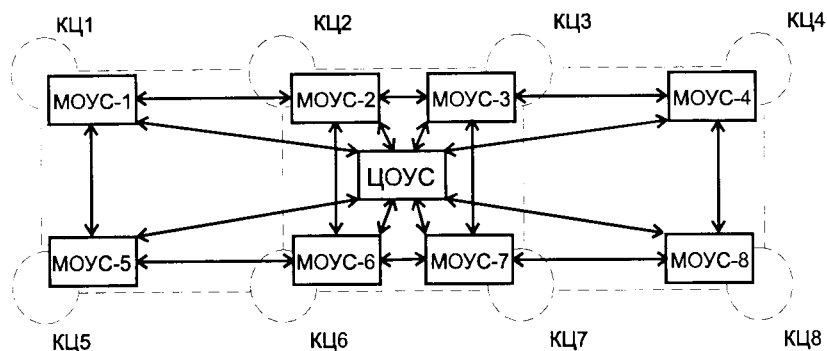


Рис.16.4

Использование комбинированных СУТС может позволить устранить недостатки, присущие как централизованному, так и децентрализованному системам управления, соединив их достоинства.

## Глава 17. План распределения нагрузки и методы его формирования.

### 17.1 Формы представления плана распределения нагрузки.

Одной из основных функций СУТС является формирования и корректирование ПРН. Он представляет собой совокупность путей установления соединения в каждом направлении связи и порядок их занятия.

Иллюстративно ПРН может быть представлен в виде описания перечня элементов сети (ветвей и КЦ), которые могут заниматься в определённой последовательности при установлении соединений между каждой парой КЦ. ПРН может быть сформирован либо на основе визуального анализа структуры сети связи, либо с использованием формализованных

методов обработки информации по ряду, характеризующих сеть связи, параметров.

Для передачи сообщений между каждой парой КЦ сети должен быть хотя бы один путь установления соединения. При этом из соображений экономичности, обеспечения высокого качества тракта и повышения быстродействия передачи информации, как правило, выбирается путь минимальной длины. При этом длина пути может определяться:

- протяженностью составляющих его каналов связи (в километрах);
- количеством транзитных КЦ или ветвей сети, участвующих в установлении соединения по установленному пути;
- показателями качества обслуживания заявок;
- средней стоимостью оборудования пути в пересчёте на одно соединение.

Чаще всего, длину пути определяют количеством входящих в него ветвей, КЦ или числом составляющих его транзитов.

Как правило, формирование ПРН производится в два этапа. На первом определяется совокупность путей передачи информации в направлении связи. На втором принимается решение о последовательности выбора и занятия этих путей. Иногда оба этапа совмещаются.

### 17.2 Формирование плана распределения нагрузки в неавтоматизированных сетях связи.

В неавтоматизированных сетях связи ПРН может быть сформирован на основе визуального анализа структуры сети.

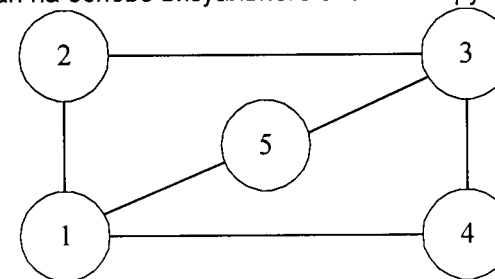


Рис.17.1

Для сети, структура которой представлена на рис.17.1, ПРН, предусматривающий два независимых пути в каждом направлении связи, представлен таблицей 17.1.

Таблица 17.1

Номер исх КЦ	Номер входящего КЦ				
	1	2	3	4	5
1	0	0	2	0	0
2	0	0	0	3	3
3	3-5		1-5	1	1
4	2	0	0	0	0
5	4	4-1		5-1	4-1
	3	1	0	0	1
	1	3	1-2		3
	0	1	0	1	0
	3-2	3	1-2	3	

### 17.3 Матричный метод формирования ПРН в автоматизированных сетях.

Процесс формирования ПРН включает в себя два этапа. Первый – это формирование матрицы маршрутов. Второй – определение порядка выбора путей в направлениях связи.

Рассмотрим содержание обоих этапов формирования ПРН. При этом следует учесть, что, как правило, при формировании ПРН используются не все возможные пути передачи информации, а лишь независимые. Так поступают с целью борьбы с образованием петель в процессе установления соединений.

Рассмотрим способ определения совокупности всех независимых путей в направлениях связи при заданных ограничениях по максимальному числу транзитов. Для решения этой задачи используется исходная матрица  $||M||$ , элементами которой являются параметры  $m_{ij}$ , приписываемые ветвям сети. При отсутствии ветви между какой-либо парой КЦ соответствующий элемент матрицы  $m_{ij} = \infty$ . Элемент главной диагонали матрицы  $m_{ij} = m_{ji} = 0$ . Исходная матрица показывает возможности непосредственной связи между КЦ, т.е. связь без транзитов. Для преобразования матрицы её  $i$ -я строка обозначается через  $m(i)$ , а  $j$ -й столбец через  $m(j)$

$$[m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{iN}] = m(i)$$

$$[m_{j1}, m_{j2}, \dots, m_{ji}, \dots, m_{jN}] = m(j)$$

Совокупность путей установления соединений, содержащих не более одного транзита (двух ветвей), может быть

представлена матрицей  $||Q||$ , каждый элемент которой получен методом почленного сложения каждой пары строк и столбцов исходной матрицы  $||M||$  а именно  $q_{ij} = m(i) + m(j)$ . Почленное суммирование выполняется с соблюдением условий:

$$m_{ij} + 0 = m_{ij}$$

$$m_{ij} + 8 = 8$$

$$0 + 8 = 8$$

$$m_{ij} + m_{ji} = 0$$

При последующем преобразовании матрицы  $||Q||$  её  $i$ -я строка обозначается через  $q(i)$ , а  $j$ -й столбец через  $q(j)$ . Для определения совокупности путей установления соединений (матрица  $||R||$ ), содержащих не более трех транзитов (четырёх ветвей), необходимо произвести почленное сложение каждой пары строк и столбцов, полученной матрицы  $||Q||$ :

$$r_{ij} = q(i) + q(j)$$

Для получения совокупности путей установления соединений без ограничения числа транзитов, указанные преобразования выполняются  $N-1$  раз, где  $N$  – степень матрицы (число КЦ).

Например, для сети, представленной на рис.17.1, исходная матрица имеет вид:

$$M = \begin{vmatrix} 0 & m_{12} & \infty & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & 0 & m_{23} & \infty & \infty \\ \infty & m_{32} & 0 & m_{34} & m_{35} \\ m_{41} & \infty & m_{43} & 0 & \infty \\ m_{51} & \infty & m_{53} & \infty & 0 \end{vmatrix}$$

Для определения совокупности путей установления соединения, содержащих не более одного транзита произведём сложение строк и столбцов исходной матрицы  $||M||$ . Например для 2-й строки и 4-го столбца:

$$m_{21} \quad 0 \quad m_{23} \quad \infty \quad \infty$$

$$m_{14} \quad \infty \quad m_{34} \quad 0 \quad \infty$$

$$- \quad - \quad - \quad - \quad -$$

$$m_{21} + m_{14} \quad \infty \quad m_{23} + m_{34} \quad \infty \quad \infty$$

В результате сложения получим:

$$q_{24} = \begin{pmatrix} m_{21} + m_{14} \\ v \\ m_{23} + m_{34} \end{pmatrix},$$

т.е. направление связи  $J_{24}$  содержит два пути установления соединений. Таким образом определяются все необходимые элемент матрицы  $||Q||$ .

После получения состава независимых путей всех направлений связи определяется порядок их занятия. Например: кратчайший путь – путь первого выбора. Более длинный путь – путь второго выбора и т. д. При равнозначности путей может вводиться какой либо признак. Например, соединение, устанавливаемое от КЦ с большим номером к КЦ с меньшим номером через КЦ с меньшим номером. А от КЦ с меньшим номером к КЦ с большим номером через КЦ с большим номером. Определённый, таким образом, порядок занятия путей установления соединения определяет собой ПРН. (Оставьте место и запишите ПРН для сети, представленный на рис.1).

Данный метод получил название матричного метода формирования ПРН. Его часто используют в централизованных системах управления ТКС, так как сформированный ПРН включает все КЦ, имеющиеся в сети.

#### 17.4 Формирование плана распределения нагрузки методом "рельефов".

При формализованном форматировании ПРН широкое распространение получили, так называемые, методы "рельефов".

Различают методы "входящих" и "исходящих" рельефов.

##### Метод "входящих" рельефов.

"Входящим рельефом" телекоммуникационной сети по отношению к какому-либо КЦ называется совокупность коэффициентов, приписываемых каждой ветви сети, определяющих минимальную длину пути к этому КЦ от других КЦ сети.

Принято считать, что сеть снабжена "входящим рельефом" относительно какого-либо КЦ, если ветви помечены следующим образом:

- всем ветвям, входящим в данный КЦ приписывается высота 1;
- всем ветвям, смежным с ветвями, имеющими высоту 1, приписывается высота 2;
- всем ветвям, смежным с ветвями, имеющими высоту 2, приписывается высота 3 и т.д.

Совокупность "входящих рельефов" относительно всех КЦ сети, называется полным рельефом сети.

На рис.17.2 приведен пример входящего рельефа сети относительно КЦ<sub>4</sub>. Каналы в ветвях рассматриваемой сети двух стороннего действия. Значения "высоты", приписанные ветвям, показывают число ветвей в кратчайшем пути к КЦ<sub>4</sub>. Например, от КЦ<sub>2</sub> к КЦ<sub>4</sub> кратчайший путь содержит 2 ветви и проходит через ветвь  $m_{12}$ .

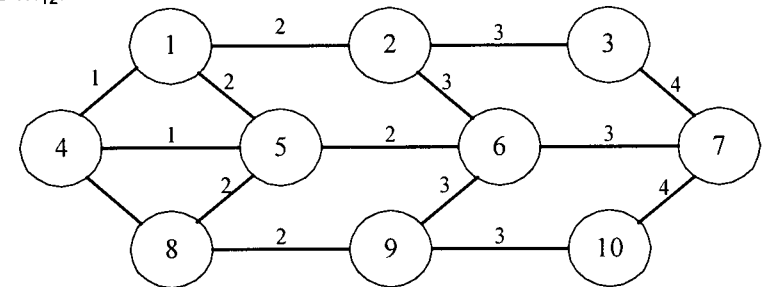


Рис.17.2

Выход из строя элементов сети, например, ветвей, приводит к переформированию "рельефа" и, соответственно к изменению значений "высот". На рис.17.3 приведен пример входящего рельефа сети относительно КЦ<sub>4</sub>. в случае выхода из строя ветви  $m_{45}$  и ветви  $m_{89}$ .

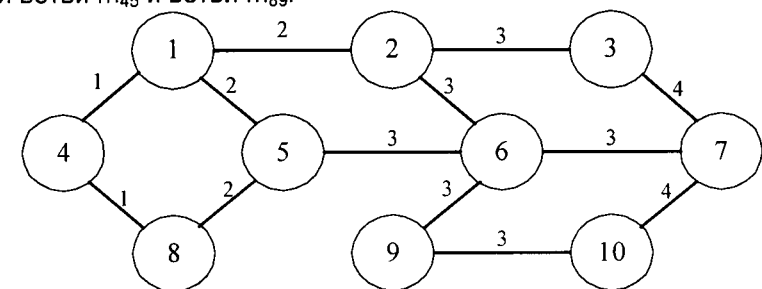


Рис.17.3

Входящий рельеф достаточно наглядно показывает удаленность рассматриваемого КЦ от других КЦ сети. Но для решения задачи выбора пути в направлениях связи данный метод не очень удобен при практическом использовании.

*Метод "исходящих" рельефов.*

Исходящим рельефом какого-либо КЦ называется совокупность коэффициентов, которые приписываются каждой ветви, исходящей от этого КЦ, и определяющая минимальную длину пути для каждого информационного направления, использующего данную ветвь.

Считают, что КЦ снабжен исходящим рельефом, если каждой исходящей из него ветви поставлены в соответствие коэффициенты, численно равные количеству ветвей кратчайшего пути в каждом направлении связи, использующим данную ветвь. Наиболее удобная форма представления исходящего рельефа в виде таблицы. Для примера, в таблице 17.2 представлен исходящий рельеф КЦ<sub>4</sub>, для структуры сети изображенной на рис.17.2.

Таблица 17.2

	1	2	3	5	6	7	8	9	10
m <sub>41</sub>	1	2	3	2	3	4	3	4	5
m <sub>45</sub>	2	3	4	1	2	3	2	3	4
m <sub>48</sub>	3	4	5	2	3	4	1	2	3

Выход из строя ветвей m<sub>45</sub> и m<sub>89</sub> ведет к изменению структуры сети (рис.17.3) и необходимости перестроения ПРН. Эти изменения отражены в таблице 17.3.

Таблица 17.3

	1	2	3	5	6	7	8	9	10
m <sub>41</sub>	1	2	3	2	3	4	3	4	5
m <sub>48</sub>	3	4	5	2	3	4	1	<b>4</b>	<b>5</b>

Анализируя таблицу 17.3 видим, что значения коэффициентов претерпели значительные изменения. Следовательно, изменится и порядок выбора путей передачи информации в направлениях связи.

*Взаимодействие элементов СУТС, при формировании ПРН по методу "рельефов"*

Методы "рельефов", как правило, используются при децентрализованном построении СУТС. Принцип формирования ПРН следующий. Каждый из МОУС последовательно, а при наличии достаточного числа каналов - одновременно, формируют сигналы N<sub>i</sub>h<sub>i</sub>, состоящие из номера КЦ<sub>i</sub> (N<sub>i</sub>) и значения "высоты" h<sub>i</sub>, фиксирующей число пройденных ветвей в сети.

Начальное значение "высоты" принимается равным h<sub>i</sub>=0. Сигнал N<sub>i</sub>h<sub>i</sub>, сформированный МОУС, передается по всем прилегающим ветвям. МОУС КЦ<sub>j</sub> смежные с КЦ<sub>i</sub>, приняв сигнал N<sub>i</sub>h<sub>i</sub>, фиксируют ветвь m<sub>ij</sub>, по которой он получен, и прибавляют к значению высоты h<sub>i</sub> единицу. Полученное значение (h<sub>i</sub>+1) записывают на соответствующее место в матрицу ПРН, а сигнал (h<sub>i</sub>+1)N<sub>i</sub> транслируют по всем прилегающим ветвям, за исключением той, по которой он принят. В последующем, если данный сигнал вновь поступит на МОУС КЦ<sub>j</sub>, то он не обрабатывается, а стирается.

На МОУС КЦ<sub>L</sub>, смежных с КЦ<sub>j</sub>, производятся аналогичные операции. Таким образом, сигнал проходит по всем элементам сети связи. После того как сигналы N<sub>i</sub>h<sub>i</sub> будут обработаны от всех МОУС, формирование ПРН будет закончено.

С целью уменьшения объема нагрузки управления может вводиться ограничение на допустимое число транзитов. В этом случае, как только h превысит некоторое наперед заданное число n, т.е. h ≥ n, сигнал N(h<sub>n</sub>=n) стирается и исключается из дальнейшей обработки.

Ориентировочный объем нагрузки управления W<sub>0</sub>, передаваемой по сети для однократного формирования ПРН определяется соотношением:

$$W_0 = 2nNMd,$$

где n – объем информации, необходимый для представления элементарной "высоты";  
d – максимальное расстояние, выраженное в числе ветвей между наиболее удаленными КЦ.

Для того чтобы ПРН точно отражал ситуацию на ТКС, его перестроение должно производиться при любом структурном изменении в сети, выходе из строя ветвей, перемещении КЦ и др.

Достоинствами данного способа являются:



Высокая оперативность реагирования системы управления и точное отражение ситуации на сети.

2. Относительная простота построения органов управления

Недостатки:

1. В качестве критерия рациональности сформированного ПРН используется минимум числа ветвей в пути передачи информации, который не отражает одну из основных характеристик сети – качество обслуживания.

2. Достаточно высокий объём нагрузки управления.

### 17.5 Игровой метод формирования плана распределения нагрузки.

ПРН, формируемый при использовании игрового метода, имеет следующую особенность. В матрице (или таблице), отражающей ПРН, значения коэффициентов ("высот") определяются не числом ветвей в пути передачи информации, а вероятностью установления соединения в направлениях связи. Поэтому, ПРН, сформированный с помощью игрового метода, можно представить в виде стохастической матрицы, имеющей  $K$  строк (по числу прилегающих ветвей) и  $N-1$  столбцов (где  $N$  — число КЦ в сети).

При поступлении заявки на КЦ<sub>i</sub> в направлении КЦ<sub>j</sub> обслуживание будет осуществляться через ту ветвь  $m_{ij}$ , прилегающую к КЦ<sub>i</sub>, через которую было обслужено максимальное число вызовов в направлении к КЦ<sub>i</sub>.

В матрице, отражающей ПРН, на пересечении строки  $m_{ij}$  и столбца КЦ<sub>j</sub> будет находиться элемент  $p_{\max}$  максимальный по сравнению с другими элементами  $p_k$  столбца КЦ<sub>j</sub>. Как правило, столбцы нормируются, т.е.

$$\sum_{i=1}^k p_i = 1.$$

Если при использовании ветви  $m_{ij}$  вызов будет обслужен, то такое действие системы управления поощряется, и значения  $p_i$  вероятности обслуживания умножаются на коэффициент  $\beta > 1$ . В противном случае ветвь связи, через которую была попытка установить соединение, штрафуются. При этом значения элемента  $p_i$  уменьшается умножением на коэффициент  $\alpha$ , который меньше единицы  $0 < \alpha < 1$ .

Таким образом, по результатам обслуживания каждой заявки рассчитывается новое значение элементов матрицы ПРН следующим образом:

$$p_{i+1} = p_i \gamma,$$

где  $\gamma = \alpha$ , если через данную ветвь попытка установить соединение не состоялась и ветвь штрафуются;

$\gamma = \beta$ , если через данную ветвь попытка установить соединение завершилась успешно и ветвь поощряется.

После чего, как правило, производится нормирование столбца:

$$p_{i+1}^* = \frac{p_{i+1}}{\sum_{i=1}^k p_{i+1}} = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^k p_i}.$$

Таким образом, оценка направлений связи производится с точки зрения вероятности прохождения информации на основе результатов обслуживания вызовов в предыдущие моменты времени. При этом исключается необходимость обмена дополнительной информацией. Это достоинство данного метода. Другим достоинством является то, что формирование ПРН производится с учётом качества обслуживания на сети связи.

Однако имеется и существенный недостаток: значительная инерционность при реформировании ПРН в случае возникновения структурных изменений в сети связи вследствие необходимости набора значительного объёма статистики.

## Глава 18 Методы управления установлением соединений

### 18.1 Влияние обходных путей на качество функционирования телекоммуникационных сетей.

Одним из возможных путей повышения пропускной способности сетей связи является использование обходных путей в процессе обслуживания поступающих заявок. Это связано с тем, что при возрастании нагрузки в одних направлениях связи, в других направлениях в это время возможен резерв свободных каналов, вследствие отсутствия нагрузки. Используя незагруженные участки сети в качестве обходных путей можно обеспечить уменьшение общесетевых потерь и, как следствие, повысить общую пропускную способность сети связи.

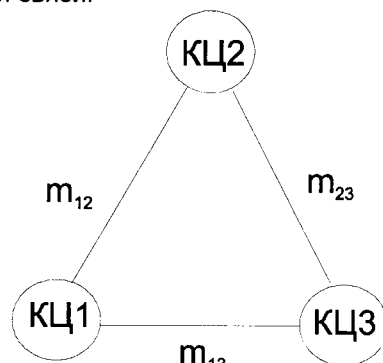


Рис. 18.1

Однако обслуживание поступающих заявок с использованием обходных путей не всегда приводит к повышению эффективности использования оборудования сети связи. Есть области, где динамическое управление установлением соединений не только не обеспечивает уменьшение потерь, но и приводит к большим потерям по сравнению с обслуживанием заявок по прямым путям.

Увеличение потерь может наблюдаться при возникновении перегрузок на сети связи. Это объясняется тем, что при больших нагрузках существенная доля заявок стремится занять обходной путь и при этом начинает сказываться тот факт, что каждая обслуживаемая по обходному пути заявка требует большего количества оборудования.

Процесс перехода сети из области, где обходные пути выгодны, в область, где обходные пути не выгодны, рассмотрен на примере функционирования простейшей трехузловой сети (рис. 18.1), ветви которой содержат по одному каналу.

Нагрузка  $Z_{ij}$ , поступающая на обслуживание в различные направления связи, равна по величине и не зависит от направления:

$$Z_{12}=Z_{23}=Z_{13}=Z,$$

Потоки заявок, поступающие на обслуживание, простейшие.

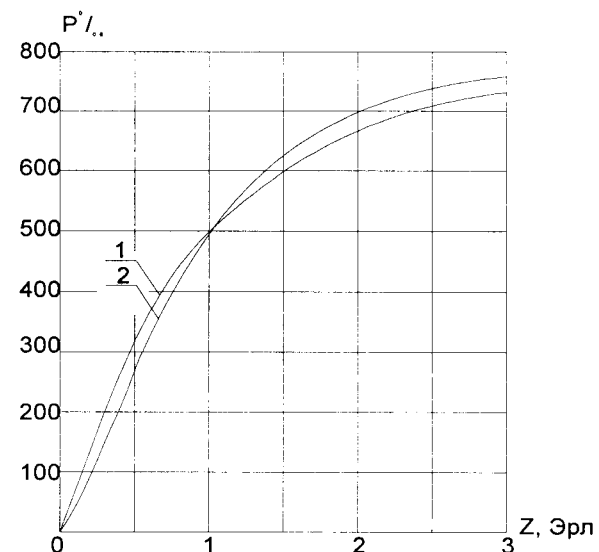


Рис. 18.2

Проанализируем работу данной сети для двух алгоритмов:

1. Обходные пути запрещены.
2. Обходные пути разрешены.

Для обоих алгоритмов можно получить аналитические зависимости потерь в сети от величины поступающей нагрузки.

Для сети прямых связей (обходы запрещены) зависимость качества обслуживания  $P_1$  от величины поступающей нагрузки  $Z$  определяется следующим соотношением:

$$P_1 = \frac{Z}{Z + 1}. \quad (18.1)$$

Аналогичная зависимость  $P_2$  в сети связи с обходами имеет следующий вид:

$$P_2 = \frac{Z^2(Z^2 + 7Z + 9)}{Z^4 + 8Z^3 + 15Z^2 + 8Z + 2}. \quad (18.2)$$

Для сравнительной оценки зависимостей (18.1) и (18.2) их графики  $P_1=f(Z)$  и  $P_2=f(Z)$  представлены на рис.18.2 (соответственно кривые 1и 2). Кривые пересекаются при нагрузке  $Z=1$  Эрл. В этой точке  $P_1=P_2=0,5$ .

Таким образом, использование обходных для данной сети целесообразно при нагрузке менее 1 Эрл. При возрастании нагрузки свыше 1 Эрл. использование обходных путей становится не выгодным.

Нагрузка  $Z$ , при которой  $P_1=P_2$  получила название критической  $Z_{кр}$  нагрузки, т.е.

$$Z=Z_{кр}=1.$$

По мере увеличения числа каналов в ветвях сети, представленной на рис.18.1, значение величины потерь, соответствующее критической точке, уменьшается. Зависимость координат критических точек от числа каналов в ветвях сети, полученная в [8], представлена на рис. 18.3.

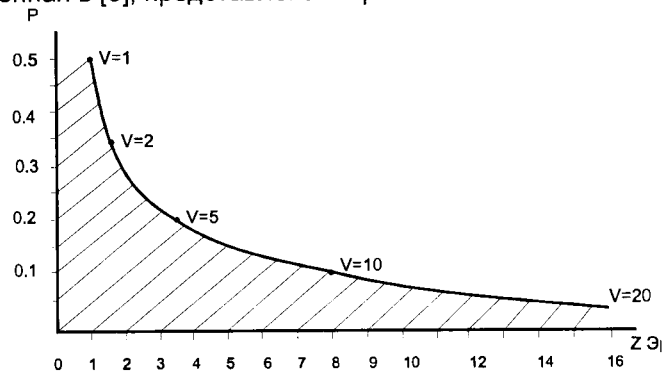


Рис.18.3

Заштрихованная часть графика показывает область целесообразного использования обходных путей. Анализ данной зависимости показывает, что если при  $V=1$  критическая точка находится в области потерь соответствующих сильной перегрузке сети связи, то при  $V>20$  точка смещается в область нормируемых значений качества обслуживания в направлениях связи.

Исследование влияния многократных обходов на качество обслуживания в сети связи. Показывает, что при малых потерях использование многократных обходов (больше одного обходного пути) позволяют увеличить пропускную способность сети. Однако с ростом нагрузки момент необходимости запрета обходов наступает гораздо раньше, чем в сети с простыми обходами (только один обходной путь).

Следовательно, одной из основных стратегий управления должен быть контроль состояния сети и величины поступающей в нее нагрузки. На основании соответствующего анализа сначала могут разрешаться многократные обходы, затем, по мере роста нагрузки, необходимо переходить на простые обходы и, наконец, совсем запретить обходные пути и ограничиться только прямыми путями.

Однако управление использованием обходных путей на основе величины критической нагрузки на сети связи таит в себе ряд трудностей. Во-первых, определение значений величины критической нагрузки представляет значительную трудность, так как зависит от структуры сети, её канальной ёмкости, состава информационных направлений и т.д. Во-вторых, сбор достоверных статистических данных о величине нагрузки, поступающей в сеть на обслуживание, также достаточно сложен и трудоёмок.

Поэтому необходим поиск методов, позволяющих эффективно использовать ресурсы сети в условиях перегрузки, не требующих для своей работы полной информации о величине нагрузки, поступающей на обслуживание в сеть связи.

## 18.2 Пороговые методы управления использованием обходных путей.

В настоящее время известен целый ряд работ [2,9,10,11,13,14], посвященных исследованию вопросов ограничения транзитной нагрузки в сетях связи.

Так, в одних работах [13,14], с целью ограничения использования отдельных направлений связи для передачи по ним транзитной нагрузки, в каждом из них предлагается резервировать некоторое число каналов, по которым не передавались бы обходные транзитные потоки.

В других работах [2,11] для установления соединения между двумя центрами коммутации ( $KL_m$  и  $KL_n$ ) предлагается выбирать путь  $\mu_{mn}^V$ , имеющий минимальную стоимость (вес).

Причем стоимость определяется как сумма стоимостей ветвей, составляющих этот путь:

$$D(\mu_{mn}^v) = \sum_{m_{ij} \in \mu_{mn}^v} d(m_{ij}). \quad (18.3)$$

Стоимость пути - это прогнозируемые на следующий момент времени потери из-за того, что в каждой ветви входящей в составной путь, в настоящий момент произойдет занятие по одному каналу. Тогда при использовании метода с ограничением нагрузки для передачи информации выбирается такой путь, где предполагаемые потери в будущем из-за занятия канала в каждой его ветви минимальны. Если потери в будущем для каждого пути превышают некоторое пороговое значение, то вызов, поступивший в данный момент, получает отказ.

В [9] показано, что при пуассоновском поступающем потоке вызовов и экспоненциальном времени обслуживания

$$d(m_{ij}) = E_n(y_{ij})/E_k(y_{ij}), \quad (18.4)$$

где  $y_{ij}$  - нагрузка, поступающая на ветвь  $m_{ij}$ ;

$n$  - число каналов в пучке;  $k$  - число занятых в данный момент каналов,

$k \leq n$ ;  $E_n(y_{ij})$  и  $E_k(y_{ij})$  - функции потерь Эрланга на  $n$  и  $k$  каналах соответственно.

Следует отметить, что использование на реальных сетях описываемого метода затруднено в связи с тем, что в любой момент времени каждый КЦ должен иметь информацию о занятых каналах во всех направлениях связи.

Поэтому для упрощения в работе Лазарева В.Г. рекомендуется для каждой ветви  $\beta_{ij}$  установить пороговое значение числа каналов  $x_{ij}$ , при котором функция стоимости этой ветви равна 1/2.

Тогда в соответствии с (18.4) можно получить

$$E_{n_{ij}}(y_{ij})/E_{x_{ij}}(y_{ij}) = 1/2. \quad (18.5)$$

Пороговое значение (порог)  $x_{ij}$  легко найти из (18.5), пользуясь таблицами Эрланга. Обходной путь предлагается использовать только в том случае, когда в обеих ветвях этого пути число занятых каналов меньше порога.

### 18.3. Метод перестроений

Сущность функционирования сети связи с перестроениями заключается в следующем. Пусть в сети связи, структура которой представлена на рис. 18.1, поступила заявка на обслуживание от КЦ1 к КЦ3 и допустим, что ветвь  $m_{13}$ ,

соединяющая эти КЦ, занята обслуживанием заявки, поступившей ранее. В этом случае поступившая заявка ставится на обслуживание по обходному пути, т.е. КЦ1 - КЦ2 - КЦ3. Однако, как только освободится ветвь  $m_{13}$ , обслуживание заявки с обходного пути переводится на прямой путь, а каналы в обходном пути освобождаются.

Зависимость вероятности потерь от величины нагрузки, поступающей на обслуживание в сеть связи с перестроениями имеет вид:

$$P_3 = \frac{2z^3 + 7z^2}{2z^3 + 9z^2 + 6z + 2} \quad (18.6)$$

Для оценки эффективности функционирования сетей связи с перестроением на рис. 18.4 представлена зависимость вероятности потерь от величины поступающей нагрузки (кривая 3). Кривые 1, 2 отражают те же зависимости (18.1) и (18.2) для сетей связи без обходов и с обходами соответственно.

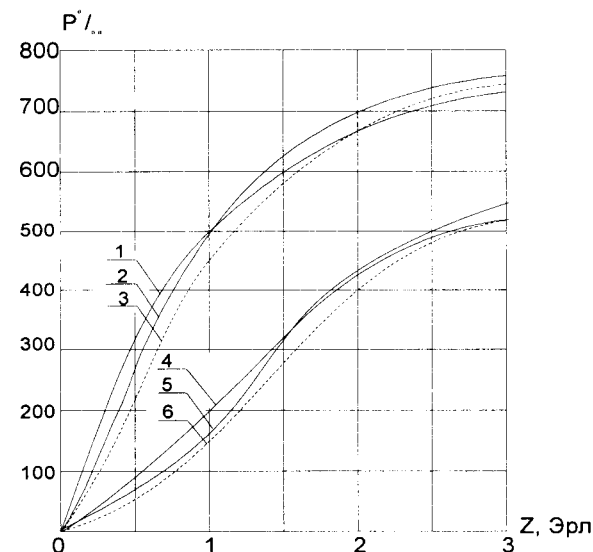


Рис. 18.4

Полученные результаты показывают, что в области нагрузок  $0 \leq Z < 2$  Эрл и потерь  $0 \leq P < 0,67$  сети с перестроениями обеспечивают более высокое качество обслуживания, чем два других типа сетей. В области нагрузок  $Z > 2$  Эрл и потерь  $P > 0,67$

сети с перестроениями уступают по качеству обслуживания сетям связи без обходов.

В диапазоне нагрузок  $0 \leq Z < 2$  Эрл максимальный абсолютный выигрыш по качеству обслуживания от использования перестроений наблюдается в области критической точки ( $Z_{кр} \leq 1$  Эрл,  $P=0,5$ ) и составляет 0,026. Это соответствует относительному выигрышу 5,6%.

Влияние канальной емкости ветвей на эффективность использования перестроений показывают кривые 4,5,6, соответствующие сети связи без обходов, сети связи с обходами и сети связи с перестроениями соответственно.

Анализируя зависимости качества обслуживания от величины поступающей нагрузки в двухканальной сети можно отметить, что их характер по сравнению с одноканальной сетью не изменился. При этом в районе критической точки ( $Z_{кр}^{(2)}=1,6$  Эрл,  $P=0,33$ ) величина относительного выигрыша от использования перестроений увеличилась и составила около 9,6%, против 5,6% в одноканальной сети.

Использование перестроений в двухканальной сети становится не выгодным при поступающей нагрузке  $Z > 3$  Эрл, в то время как использование обходов становится не выгодным уже при  $Z > 1,6$  Эрл.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о целесообразности использования перестроений в более широком диапазоне нагрузок, чем использование обычных методов занятия обходных путей. То есть, сеть с перестроениями более устойчива к перегрузкам, чем сеть связи с обходами. При этом повышение канальной емкости ветвей ведет к повышению эффективности сети связи с перестроениями.

С точки зрения практической реализации перестроений на сетях связи этот вопрос наиболее просто решается в полносвязных сетях. Для неполносвязных сетей основная трудность заключается в определении момента освобождения каналов в промежуточных звеньях составного пути. Отсутствие эффективных решений данного вопроса сдерживает практическое применение перестроений на сетях связи.

#### 18.4 Метод маршрутного приоритета

Управление установлением соединений с использованием метода маршрутного приоритета основано на

принципе динамического присвоения приоритета заявкам одной и той же категории абонентов в зависимости от длины пути, по которому эти заявки обслуживаются [83]. При этом с целью повышения экономичности и эффективности использования оборудования сети заявкам, обслуживаемым по кратчайшим (прямым) путям, присваивают более высокий приоритет по отношению к приоритету заявок, обслуживаемых по обходным путям.

Суть процесса функционирования сети с маршрутным приоритетом рассмотрим на примере элементарной одноканальной трехузловой сети. В исходном состоянии сеть связи не обслуживает ни одной заявки и все каналы свободны. Пусть в сеть связи с маршрутным приоритетом (МП) поступила заявка на обслуживание от КЦ1 к КЦ3. Ветвь  $m_{13}$ , соединяющая КЦ1 с КЦ3, свободна и канал данной ветви отдается под обслуживание поступившей заявки. При этом на центрах коммутации, через которые проходит путь установления соединения, делается отметка "прямой".

Пусть в сеть связи поступила вторая заявка на обслуживание от КЦ1 к КЦ3. Теперь ветвь  $m_{13}$ , соединяющая эти коммутационные центры, занята ранее поступившей заявкой. В этом случае, как и в обычной сети, с обходами, проверяется возможность установить соединение по обходному пути через КЦ2. Так как путь свободен, то каналы в ветвях  $m_{12}$  и  $m_{23}$  занимают под обслуживание данной заявки. При этом на центрах коммутации, через которые проходит путь установленного обходного соединения (КЦ1 - КЦ2 - КЦ3) делается отметка "обходной" и тем самым, понижается приоритет данного соединения.

Если теперь в сеть поступит заявка на обслуживание от КЦ1 к КЦ2, то порядок ее обслуживания будет следующим:

1. Проверяется возможность установления соединения по прямому пути. В данном случае ветвь  $m_{12}$  занята.

2. Проверяется возможность установления соединения по обходному пути через КЦ3. Даже, если на участке КЦ1-КЦ3 ветвь  $m_{13}$  в это время уже свободна, то на участке КЦ2-КЦ3 ветвь  $m_{23}$  занята. Поэтому обслужить вызов по обходному пути возможности нет.

3. Проверяется наличие каналов в прямом пути между КЦ1 и КЦ2 с отметкой "обходной". В рассматриваемом примере такой канал имеется. Ветвь  $m_{12}$  занята обслуживанием заявки по обходному пути КЦ1-КЦ2-КЦ3.

4. Производится прерывание обслуживания заявки с отметкой "обходной". Каналы в ветвях  $m_{12}$  и  $m_{23}$  освобождаются. При этом сброшенную с обслуживания заявку относят к потерянным.

5. Ставится на обслуживание заявка, для которой данный путь через ветвь  $m_{12}$  является прямым.

6. На КЦ1 и КЦ2 делается отметка "прямой" для канала, обслуживающего данную заявку.

Таким образом, потери  $P_4$  в сети с МП определяются следующим образом:

$$P_4 = P_B + P_C \quad (18.7)$$

где  $P_B$  - вероятность потерь в сети с МП из-за блокировок (занятости каналов);

$P_C$  - вероятность потерь в сети из-за "сбросов".

Зависимость качества обслуживания  $P_4 = f(Z)$  от величины поступающей нагрузки: для сети, представленной на рис.18.1, определяется выражением [10]:

$$P_4 = \frac{Z^2(9Z^3 + 26Z^2 + 27Z + 9)}{9Z^5 + 35Z^4 + 53Z^3 + 39Z^2 + 14Z + 2} \quad (18.8)$$

График зависимости  $P_4 = f(Z)$  представлен на рис.18.5 (кривая 3). Кривые 1 и 2 соответствуют зависимостям  $P_1 = f(Z)$  и  $P_2 = f(Z)$  для сетей связи без обходов и с обходами соответственно.

Влияния канальной емкости ветвей в сети на эффективность использования маршрутного приоритета можно оценить зависимостями 4 (сеть без обходов), 5 (сеть с обходами), 6 (сеть с МП), на рис.18.5. Данные зависимости отражают изменение качества обслуживания от величины поступающей нагрузки для сети рис.18.1, каждая ветвь которой имеет по два канала.

Полученные результаты показывают, что сети связи с маршрутным приоритетом обеспечивают более высокое качество обслуживания, чем сети связи с обходами и без обходов, во всем рассматриваемом диапазоне нагрузок.

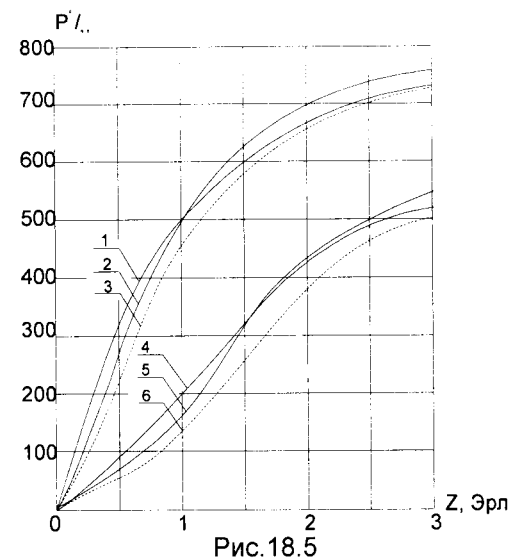


Рис.18.5

Максимальный относительный выигрыш в качестве обслуживания по сравнению с сетями связи с обходами и без обходов наблюдается в районе критической точки. В одноканальной сети выигрыш составляет порядка 7%, а в двухканальной - порядка 12%. То есть, по мере повышения канальной емкости ветвей сети эффективность сетей связи с МП повышается.

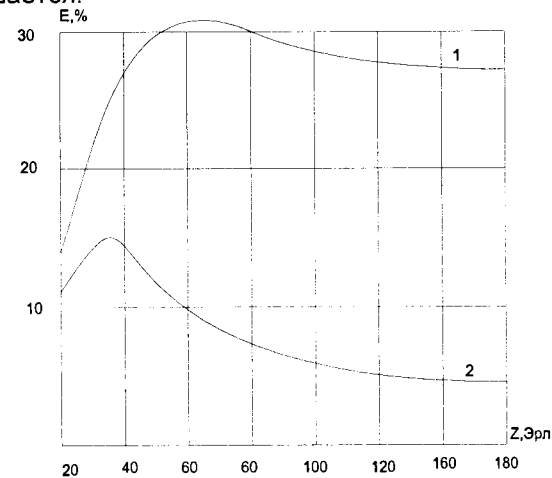


Рис.18.6

С точки зрения практической реализации способа МП никаких особых трудностей нет. Он реализуется также, как любое другое приоритетное обслуживание в сети связи.

Более высокая эффективность функционирования сетей с МП, по сравнению с другими типами сетей, при возникновении перегрузки объясняется тем, что в них автоматически ограничивается использование обходных путей в условиях недостатка ресурса. Поэтому представляет интерес зависимость доли обслуженной нагрузки по обходным путям по мере возрастания нагрузки в сети.

На рис. 18.6 представлены результаты [10] моделирования телекоммуникационной сети типа "решетка". На нем по оси ординат показана доля соединений  $E\%$  (в процентах), устанавливаемых по обходным путям, в зависимости от величины нагрузки, поступающей в сеть. Кривая 1 соответствует сети связи с обходами, а кривая 2 – сети с МП

Ход кривых наглядно демонстрирует возможности сетей с МП ограничивать использование обходных путей по мере возрастания нагрузки.

### **18.5 Волновой способ установления соединения на сетях с коммутацией каналов.**

Волновой способ установления соединений нашел применение на сетях связи военного назначения Франции, Италии и некоторых других стран. Наиболее полно и логически стройно он описан в [11].

При волновом способе управления потоками сообщений установление соединением осуществляется по всем ветвям, исходящим от данного КЦ. В связи с этим нет необходимости в формировании исходящих рельефов, а также в информации о составе направлений связи.

За каждым абонентом сети связи закрепляется номер, который не повторяется на данной сети и не имеет признака принадлежности к какому-либо КЦ. При перемещении абонента по сети его номер сохраняется. Для этого на каждом КЦ имеется запоминающее устройство (ЗУ), в котором записываются номера всех абонентов, включенных в данный КЦ.

Установление соединения при волновом способе происходит следующим образом. При поступлении на какой-либо из КЦ заявки на обслуживание устройство управления (УУ) фиксирует ее, анализирует номер вызываемого абонента и

производит сравнение с номерами, записанными в ЗУ данного КЦ. Наличие такого номера говорит о том, что необходимо установить внутреннее соединение между абонентами, т.е. между абонентами, включенными в один КЦ. Если же номер вызываемого абонента отсутствует в ЗУ, то тогда УУ приступает к поиску абонента по сети связи. Для этого во всех, исходящих от данного КЦ, ветвях определяется наличие свободных каналов, после чего они занимают по одному к каждому смежному КЦ.

По установленным соединениям от исходящего КЦ к смежным КЦ передаются заявки на установление соединения и номер вызываемого абонента. УУ каждого КЦ, получившего такую заявку, анализирует и сравнивает номер искомого абонента с номерами, записанными в ЗУ данных КЦ. При отсутствии такой записи продолжается определение и занятие по одному свободных каналов в каждой исходящей ветви и передача адресной информации смежным КЦ.

Процесс установления соединения будет продолжаться до тех пор, пока на одном из КЦ сети принятый и зафиксированный номер не совпадет с номером, записанным в его ЗУ. После этого от КЦ, в который включен вызываемый абонент, к исходящему КЦ по каналам установленных соединений передается сигнал «абонент найден».

Приняв этот сигнал, исходящий КЦ по всем остальным каналам посылает сигнал на прекращение поиска и разрушения соединения. Оставшийся в соединении тракт предоставляется абонентам для обмена информацией.

Работа УУ КЦ при волновом способе установления соединения осуществляется таким образом, что прием, обработка и передача сигналов, относящихся к одноразовому обслуживанию одного требования, происходят в течение одного цикла. Время прохождения каждого цикла на различных КЦ, как правило, совпадает. Если в процессе поиска на какой-либо КЦ поступает заявка на одно и то же соединение два и более раз, либо одновременно поступают на КЦ несколько таких заявок, то обслуживается только первая поступившая из них заявка, а остальные аннулируются.

Пример установления соединения волновым способом рассмотрим на примере сети, структура которой представлена на рисунке 18.7.

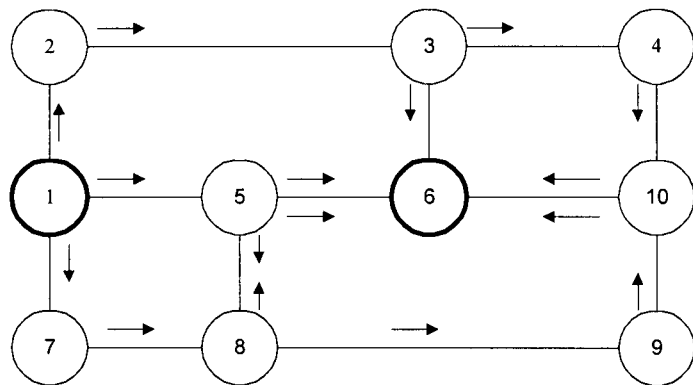


Рис.18.7

Пусть от абонента, включенного в КЦ1, поступает заявка на установление соединения. УУ приняв и зафиксировав заявку анализирует, нет ли такого номера в собственном ЗУ. Не обнаружив такого номера, УУ ищет свободные каналы в прилегающих ветвях ведущих к КЦ2, КЦ5, КЦ7 и занимает их. Далее в УУ этих КЦ из УУ КЦ1 передается номер вызываемого абонента. На всех КЦ, получивших этот номер происходит сравнение его с записанными в своих ЗУ, аналогично выполненному на КЦ1. Далее от КЦ2 устанавливается соединение с КЦ3, от КЦ5 к КЦ6 и КЦ8, от КЦ7 к КЦ8 и производятся все вышеперечисленные действия.

Пусть на КЦ6 обнаружено соответствие принятого номера с одним из номеров, записанным в ЗУ данного КЦ. Дальнейший поиск от КЦ6 прекращается и от него на исходящий КЦ1 посылается сигнал "абонент найден". Тракт по установленному соединению КЦ1-КЦ5-КЦ6 предоставляется абонентам для обмена информацией, а по остальным трактам установленных соединений передается сигнал на прекращение поиска.

Как было сказано раньше, прием, обработка и подготовка к передаче сигналов поиска абонента происходит в течении одного цикла. Значит, весь процесс поиска абонента можно рассмотреть по циклам. В рассматриваемом примере, как видно из рис.18.8, абонент будет найден и соединение установлено уже на втором цикле. Но в то же время продвижение сигнала-поиска абонента будет продолжаться, до тех пор, пока он не обойдет все КЦ сети. Причиной этого является то, что распространяющийся сигнал от исходящего КЦ на прекращение

поиска абонента не может "догнать" сам сигнал поиска, так как продвигается с такой же скоростью.

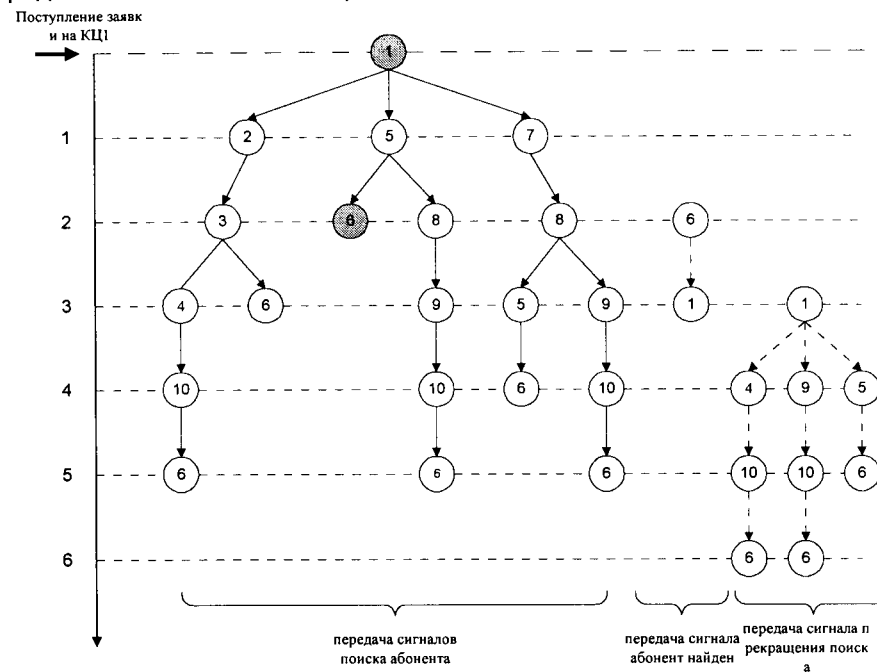


Рис.18.8

Распространение сигнала-поиска от исходящего КЦ по всем доступным прилегающим ветвям как от условного центра сети связи к периферии обеспечивает достаточно высокую скорость установления соединения, нормальное качество обслуживания и максимальную живучесть (для сетей с заданной структурой и топологией).

Кроме того, использование специальных запоминающих устройств в УУ КЦ обеспечивает возможность свободного перемещения абонентов по сети связи без изменения присвоенного им номера.

Недостатком данного метода управления потоками сообщений является то, что он может быть использован лишь на сети связи, образованной электронными КЦ с высокоскоростными УУ, так как при его реализации происходит значительное непроизводительное занятие каналов и в сети



связи циркулирует большого объема управляющая информация, что в значительной мере приводит к перегрузке сети.

### 18.6 Волновой способ установления соединений на сетях с коммутацией пакетов.

На сетях с коммутацией пакетов передача речи может осуществляться в датаграммном и виртуальном режимах, причем последний, с точки зрения практической реализации, является более предпочтительней, как более простой в реализации, позволяющий обеспечить требуемую задержку речевых пакетов, незначительный разброс значений сетевой задержки и меньшую длину служебной части пакета.

Для передачи речи в пакетной форме предъявляются очень жесткие требования к времени задержки сообщения  $T$ .

Она не должна превышать 250-300 мс, т.к. при большем значении нарушаются интерактивные свойства обмена. Время задержки пакета можно выразить через следующие составляющие:

$$T = t_{\text{пак}} + t_c + t_{\text{ож}} + t_{\text{РПУ}}$$

$t_{\text{пак}}$  – время пакетирования;

$t_c$  – время сетевой задержки;

$t_{\text{ож}}$  – время ожидания опаздывающих пакетов, искусственно вводимое на приемном конце;

$t_{\text{РПУ}}$  – задержка преобразования в РПУ.

Среди вышеперечисленных составляющих особое внимание уделяется к времени  $t_c$  сетевой задержки пакетов, т.к. это единственная составляющая, имеющая стохастический характер. На данную составляющую накладываются ограничения, что может вызвать потерю значительной части речевых пакетов из-за несвоевременной их доставки. Снижение восстановленного речевого сигнала ухудшает качество передачи речи. Но высокая информационная (смысловая) избыточность речи допускает потерю небольшой части речевых пакетов без нарушения интерактивных свойств обмена.

Рассмотрим случай, когда в любом из возможных путей передачи информации имеются ветви, не обеспечивающие выделения требуемого ресурса для обслуживания речевого сообщения с заданным качеством. Это происходит при низкой пропускной способности таких ветвей или их сильной загрузкой сообщениями с других направлений связи. Кроме того, СУСС

может искусственно ограничивать ресурс ветви с целью его резервирования. В этом случае при передаче сообщения в очереди к этой ветви будут стоять пакеты одного и того же сообщения, вследствие чего время сетевой задержки  $n$ -го пакета  $t_{c_n}$  будет зависеть от времени задержки  $n-1$  пакета  $t_{c_{n-1}}$ , т.е. от времени нахождения предыдущих пакетов в очереди. И в определенный момент оно может превысить допустимую величину  $t_{c_{доп}}$ . Вследствие этого (при условии, что  $t_c \leq t_{c_{доп}}$ ) к получателю может быть доставлена только часть сообщения, в то время как пакеты другой части сообщения превысят  $t_{c_{доп}}$  и устареют.

Учитывая вышеперечисленные особенности, можно осуществить передачу речевых пакетов не по одному виртуальному каналу, а по нескольким, т.е. используя элементы датаграммного режима передачи. Это позволит уменьшить нагрузку на основном маршруте передачи, т.е. “разгрузить” наиболее загруженную ветвь.

Постановка задачи.

Имеется сеть с коммутацией пакетов, модель которой задана в виде неориентированного графа  $G(N, M)$  с множеством вершин  $N\{n_i, i = \overline{1, N}\}$  и множеством ветвей  $M\{m_{ij}, i, j = \overline{1, N}\}$ . Причем структура графа непостоянна и меняется в зависимости от морфологических изменений  $\{\xi\}$ , агрессивных проявлений внешней среды  $\{\psi\}$ , технических отказов вершин и ветвей  $\{\chi\}$ , т.е.  $N=f(\xi, \psi, \chi)$  и  $M=f(\xi, \psi, \chi)$ .

Количество абонентов в сети равно  $S$ , которым присвоен свой собственный номер, не имеющий признака какого-либо КЦ. При подключении абонента к КЦ его номер  $A=f(N, M, S)$  записывается в запоминающее устройство (ЗУ) данного КЦ.

Каждой ветви  $m_{ij}$  ставится в соответствие ее мощность, численно равная скорости  $v_{ij}(i, j = \overline{1, N})$  цифровых каналов передачи.

Так как количество абонентов неограниченно, то будем считать, что поток заявок простейший, т.е. описывается законом Пуассона.

В данных условиях необходимо сформировать основные принципы управления потоками сообщений на сети с коммутацией пакетов, используя волновой способ управления.

Рассмотрим процесс установления соединения на данной сети связи. Пусть на КЦ  $n_i$  поступает заявка  $\lambda_k$  от абонента с номером  $A_{S_i} \in n_i$ , на установление соединения с абонентом  $A_{S_j} \in n_j$ . УУ КЦ  $n_i$  анализирует номер  $A_{S_j}$  и проверяет, не записан ли он в ЗУ данного КЦ. Если такой номер существует, то устанавливается внутреннее соединение. В противном случае необходимо осуществить поиск абонента по сети связи. Для этого УУ КЦ  $n_i$  формирует пакет-запрос на поиск возможных путей передачи информации  $Q_k$  к абоненту  $A_{S_j} \in n_j$ . В данном пакете отображается:

- принадлежность пакета к управляющей информации -  $U$ ;
- номер вызываемого абонента -  $A_{S_j}$ ;
- номер вызывающего абонента -  $A_{S_i}$ ;
- номер исходного КЦ -  $n_i$ ;
- время отправления пакета -  $t_{отпр}$ ;
- параметры  $\Pi_v$ , которые характеризуют пройденный путь  $\mu_v$ : маршрут следования  $\{m_{ij}\}^v$  с указанием пропускных способностей ветвей  $\{C_{ij}\}^v$  и их загруженности  $\{Y_{ij}\}^v$ , т.е.

$$\Pi_v = \{ m_{ij}, C_{ij}, Y_{ij} \}$$

Возможный состав пакета-запроса  $Q_k$  имеет вид, представленный на рис.18.9.

$U$	$A_{S_j}$	$A_{S_i}$	$n_i$	$t_{отпр}$	$\Pi_v = \{ m_{ij}, C_{ij}, Y_{ij} \}$
-----	-----------	-----------	-------	------------	--

Рис.18.9

Сформированный пакет-запрос  $Q_k$  передается по всем прилегающим к  $n_i$  ветвям  $m_{ij}$  на смежные КЦ. Приняв и зафиксировав  $Q_k$ , УУ КЦ  $n_i$  производит проверку соответствия заданного номера вызываемого абонента  $A_{S_j}$  абонентам  $n_i$ . Если  $A_{S_j}$  отсутствует среди абонентов КЦ  $n_i$  УУ определяет время нахождения пакета в сети  $t_c$  на основе  $t_{отпр}$ . Если  $t_c$  меньше  $t_{c доп}$ , то пакет-запрос передается по всем прилегающим к  $n_i$  ветвям  $m_{ir} \in \{m_{ij}, \Pi_v\}$  на смежные КЦ, предварительно откорректировав поле  $\Pi_v$  пакета-запроса. При этом СУУС резервирует свободный ресурс ветвей для последующей передачи пакетов данного сообщения.

Этот процесс будет повторяться на каждом КЦ, на который придет пакет-запрос до тех пор, пока УУ КЦ  $n_j$  не обнаружит номер  $A_{S_j}$  среди своих абонентов. После этого УУ КЦ  $n_j$  ожидает еще определенное время (его можно задать, например,  $t_{ож} \leq t_{зад доп}$ , на основе времени  $t_{отпр}$ ), пока придут пакеты с других

маршрутов. После этого УУ  $n_j$  анализирует множество допустимых маршрутов передачи  $\{\mu_v\}$ . Для каждого маршрута  $v$  определяется скорость передачи по нему  $C_v$  по ветви  $m_{cv}$ , которая имеет минимальную пропускную способность и максимальную загруженность, т.е.:

$$C_v = f(C_{ij} \rightarrow \min \{C_{ij}\}, Y_{ij} \rightarrow \max \{Y_{ij}\}, m_{ij} \in \mu_v)$$

Маршруты могут быть упорядочены, например, по возрастанию времени сетевой задержки.

Возможна ситуация, когда несколько маршрутов могут быть зависимы по одной или нескольким ветвям. Эта ветвь определяет самое "узкое" место в  $v$ -том маршруте. В этом случае для того, чтобы пакеты не скапливались в очереди к данной ветви необходимо ограничить поток информации к "узкому" месту. Это значит, что из всех допустимых маршрутов необходимо исключить те, в которых эта ветвь будет повторяться.

Далее необходимо определить какую часть информации и по какому маршруту необходимо передать. Для этого берем первый маршрут и определяем, какое время требуется для того, чтобы передать определенное количество пакетов по нему так, чтобы время передачи последнего пакета не превысило допустимое время задержки  $t_{зад доп}$ . Это время будем называть *временем насыщения 1-го маршрута*  $T_{нас1}$  ( $T_{нас} \leq t_{зад доп}$ ), которое равно:

$$T_{нас} = \frac{L_{пак}}{V_{РПУ} \cdot \alpha} \cdot n \text{ [с]},$$

где:  $L_{пак}$  - длина пакета;

$V_{РПУ}$  - скорость работы РПУ;

$n$  - количество пакетов;

$\alpha$  - коэффициент активности абонента ( $\alpha=0,46$  - если из речевого сигнала вырезаются только паузы молчания;

$\alpha=0,36$  - если из речевого сигнала вырезаются как паузы молчания, так и паузы непрерывной речи).

Затем необходимо определить время разгрузки 1-го маршрута  $T_{разгр1}$ , т.е. время "рассасывания" очереди возле "узкого" места пути, если такое имеется. Другими словами необходимо определить время, на протяжении которого на данный маршрут нельзя подавать речевые пакеты, так как они

будут автоматически уничтожаться, вследствие превышения времени допустимой задержки  $t_{зад доп}$ :

$$T_{разгр} = N \cdot t_{max} + (n-1) \cdot t_{зад доп}, \text{ где}$$

•  $N$  – количество ветвей в пути;

•  $t_{max}$  – время прохождения пакета по “узкому” месту в пути, которое равно:

$$t_{max} = \frac{L_{пак}}{C_{min}} \cdot N,$$

где  $C_{min}$  – скорость передачи по “узкому” месту;

•  $t_{зад}$  – время задержки, вносимое каждым пакетом, которое равно

$$t_{зад} = t_{max} - t_{ном}, \text{ где}$$

$$t_{ном} = \frac{L_{пак}}{C_{ном} / k} \cdot N, \text{ где}$$

$C_{ном}$  – скорость, заявляемая для передачи пакета, которая равна  $C_{ном} = V_{РПУ} \cdot \alpha, 1$

$$k - \text{коэффициент, который равен } k = \frac{\sum R_n}{R_{треб}}, \text{ где}$$

$\sum R_n$  – суммарный ресурс пути;

$R$  – требуемый ресурс.

Все пакеты за время  $T_{разгр_1}$  необходимо передавать на другие маршруты. Далее берется следующий путь и точно так же определяется время его насыщения  $T_{нас_2}$  и время его разгрузки  $T_{разгр_2}$ , и если  $T_{разгр_1} \leq T_{нас_2}$ , то распределение времени на передачу пакетов по маршрутам можно считать законченным. В противном случае выбирается следующий маршрут и все вышеперечисленные операции повторяются, пока не выполнится условие:

$$T_{разгр_{v-1}} \leq T_{нас_v},$$

где  $v$  – количество маршрутов передачи.

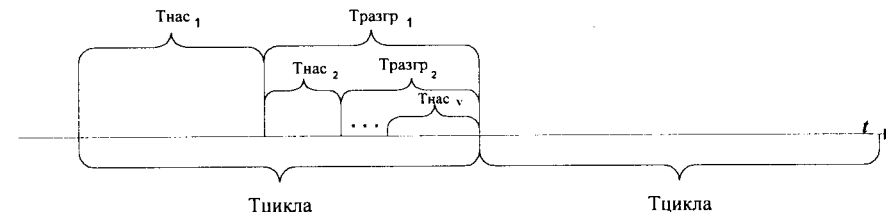


Рис.18.10

Насыщение и разгрузка допустимых маршрутов передачи происходит в течении одного цикла за время  $T_{цикла}$ . Если этого времени не достаточно для передачи сообщения, то цикл повторяется сначала (рис.18.10).

После проведенного таким образом распределения времени передачи пакетов по маршрутам необходимо передать рассчитанные параметры передачи по всем выбранным маршрутам передачи на исходящий КЦ  $n_i$ . С этой целью для каждого маршрута передачи создается пакет-ответ  $Q_v'$ , в состав которого может входить:

- принадлежность данного пакета к управляющей информации  $U'$ ;
- номер вызываемого абонента  $A_{Sj}$  и номер приемного КЦ  $n_j$ ;
- номер вызывающего абонента  $A_{Si}$  и номер исходящего КЦ  $n_i$ ;
- номер маршрута  $v$  и время, в течении которого можно передавать по нему пакеты с допустимой задержкой  $T_v$ ;
- маршрут  $\mu_v = \{m_{ij}\}^v$ ;
- скорость передачи по маршруту  $C_v$  для резервирования в соответствующих ветвях необходимого ресурса.

Возможный состав пакета-ответа имеет вид:

$U'$	$A_{Sj}$	$A_{Si}$	$n_i$	$n_j$	$V$	$T_v$	$C_v$	$\mu_v = \{m_{ij}\}$
------	----------	----------	-------	-------	-----	-------	-------	----------------------

рис.18.11

Исходящий КЦ, получив данный пакет, считает соединение установленным и начинает обмен.

**Замечание:** в пакете-запросе вместо пропускной способности и их загруженности можно указать только

свободный ресурс  $\{F_{ij}\}^y$ , с целью уменьшения адресной части пакета.

## Глава 19 Управление сетями связи в условиях перегрузки

### 19.1. Динамика распространения перегрузки в сетях связи

Процесс возникновения и распространения перегрузки можно рассматривать для двух случаев:

1. Выход из строя элементов сети.
2. Возрастание нагрузки в одном или нескольких направлениях связи.

Рассмотрим второй путь распространения перегрузки, связанный с возрастанием нагрузки в одном или нескольких направлениях связи. Для этого введем некоторые уточнения в процесс функционирования сети связи.

Обычно исследования сетей связи проводятся в условиях общего нарастания нагрузки по всем направлениям связи. При этом принимается, что

$$Z_{12} = Z_{23} = Z_{13}. \quad (19.1)$$

Условие (19.1) на симметричных сетях позволяет существенно упростить расчеты и выявить некоторые зависимости между параметрами сети и поступающей нагрузкой. Однако данное условие является частным случаем общих закономерностей изменения потоков поступающей нагрузки.

В общем случае:

$$Z_{12} \neq Z_{23} \neq Z_{13}. \quad (19.2)$$

На сетях с обходами, возникновение локальных перегрузок (перегрузок в одном или нескольких направлениях связи) может привести к перерастанию их в общесетевые.

Проанализируем данное явление на примере функционирования одноканальной трехузловой сети связи с обходами. В условиях равенства нагрузки во всех направлениях связи потери в такой сети равны:

$$P_2 = \frac{Z^2(Z^2 + 7Z + 9)}{Z^4 + 8Z^3 + 15Z^2 + 8Z + 2}. \quad (19.3)$$

Пронормируем потери в направлениях связи величиной 0,05, т.е.  $P_{12} = P_{23} = P_{13} = 0,05$ .

При равенстве нагрузок в направлениях связи для обеспечения заданного качества обслуживания в сети их величина не должна превышать 0,13Эрл, т.е.

$$Z_{12} = Z_{13} = Z_{23} \leq 0,13 \text{ Эрл.}$$

Зафиксируем нагрузку в направлениях связи  $J_{12}$  и  $J_{23}$  равной номинальной величине 0,13Эрл ( $Z_{12} = Z_{23} = 0,13 \text{ Эрл}$ ), а нагрузку  $Z_{13}$  будем изменять в широких пределах. Зависимость качества обслуживания в направлениях связи от нагрузки  $Z_{13}$  имеет вид, представленный на рис.19.1

Как видно из графиков, при нагрузке в направлении связи  $J_{13}$  менее 0,13Эрл ( $Z < 0,13 \text{ Эрл}$ ), качество обслуживания во всех направлениях связи и в сети связи в целом удовлетворяет заданным нормам. При этом, так как  $Z_{13} < Z_{12} = Z_{23}$ , то в данном диапазоне нагрузок  $P_{13} < P_{12} = P_{23}$ .

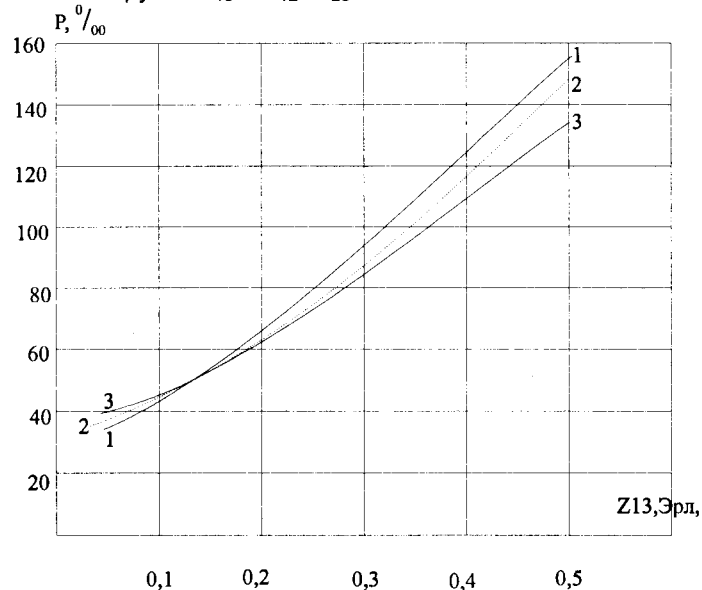


Рис.19.1

При  $Z_{13} = Z_{12} = Z_{23} = 0,13 \text{ Эрл}$  потери во всех направлениях связи и сети связи в целом соответствуют нормированному значению 0,05. Дальнейшее увеличение нагрузки в направлении связи  $J_{13}$  ( $Z > 0,13 \text{ Эрл}$ ) ведет к перерастанию локальной перегрузки в общесетевую. Так с ростом нагрузки в направлении связи  $J_{13}$  возрастают потери во всех остальных направлениях связи  $J_{23}$  и  $J_{12}$ , хотя нагрузка в этих направлениях не

увеличивается, а остается равной 0,13 Эрл ( $Z_{12} = Z_{23} = 0,13 \text{ Эрл}$ ). Увеличение нагрузки в направлении связи  $J_{13}$  в 3,8 раза приводит к возрастанию потерь в направлениях связи  $J_{12}$  и  $J_{23}$  в 3 раза.

## 19.2. Использование метода объемного приоритета для защиты сетей связи от перегрузок.

На качественном уровне особенности поведения сетей при вхождении в режим перегрузки можно пояснить след рисунком.

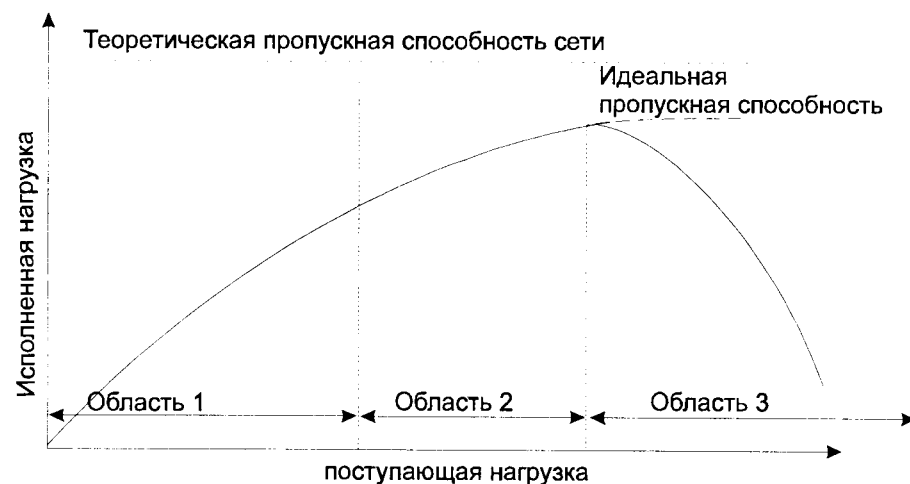


Рис.19.2

Здесь показана зависимость пропускной способности сети от величины поступающей нагрузки. На графике можно выделить три области:

1. Область малых нагрузок. В этой области сеть находится в слабо нагруженном режиме. Величина обслуженной нагрузки линейно возрастает по мере увеличения входящего потока.

2. Область расчётной нагрузки. Это область функционирования сети в режиме, определённом при её проектировании. Характеристики сети находятся в пределах нормированных значений.

3. Область перегрузки. Это область, в которой по мере увеличения входящего потока заявки характеристики сети сначала выходят за пределы нормированных значений, а затем наступает резкое уменьшения пропускной способности.

Одним из наиболее эффективных методов поддержания функционирования сети связи в расчетном режиме, может быть метод объемного приоритета. При его использовании ограничивают нагрузку, которая превышает заранее заданную расчетную величину.

Здесь нагрузку  $Z_{ij}$ , поступающую в направлении связи  $J_{ij}$  за некоторый интервал времени (например, ЧНН), рассматривают как сумму двух величин:

$$Z_{ij} = Z_{ij}^H + \Delta Z_{ij}$$

где  $Z_{ij}^H$  - расчетная или номинальная нагрузка в направлении  $J_{ij}$ ;

$\Delta Z_{ij}$  - "избыточная" (т.е. превышающая расчетную) нагрузка в направлении  $J_{ij}$ .

Нагрузке  $Z_{ij}^H$  представляют абсолютный приоритет в обслуживании по отношению к нагрузке  $\Delta Z_{ij}$ . Тогда влияние нагрузки  $\Delta Z_{ij}$  на качество обслуживания номинальной нагрузки  $Z_{ij}^H$  значительно снизится.

Так как сеть рассчитана на обслуживание нагрузки  $Z_{ij}^H$  с заданным качеством, то при любых отклонениях значений реальной нагрузки  $Z_{ij}$ , поступающей в сеть, можно будет гарантировать, что качество обслуживания номинальной нагрузки  $Z_{ij}^H$  будет обеспечено не хуже заданного

Таким образом, задача обеспечения заданной пропускной способности при увеличении интенсивности потоков информации и постоянстве требований к качеству обслуживания будет решена.

Следует отметить, что поступающие в сеть заявки, принадлежащие потоку нагрузки  $\Delta Z_{ij}$ , также принимаются к обслуживанию без ограничения объема, но с понижением приоритета. Поэтому их обслуживание может быть прервано в любой момент времени при нехватке каналов для обслуживания заявок, принадлежащих потоку нагрузки  $Z_{ij}^H$ .

Наиболее благоприятные условия для обслуживания нагрузки  $\Delta Z_{ij}$  следует ожидать на участках сети, недогруженных в данный момент времени нагрузкой  $Z_{ij}^H$ .

Таким образом, данный способ ограничения исходящей нагрузки основан на принципе динамического присвоения приоритета вызовам одной и той же категории абонентов. При этом если вызов принадлежит потоку нагрузки  $Z_{ij}^H$ , ему присваивают повышенный приоритет, а если потоку нагрузки  $\Delta Z_{ij}$  - пониженный.

Сети, в которых нашла применение такая система динамического присвоения приоритетов, получили название сетей с объемным приоритетом (ОП).

Рассмотрим процесс функционирования сети с ОП на примере одноканальной трехузловой сети.

Предположим, что сеть была пуста и в это время поступила заявка на обслуживание от КЦ1 к КЦ3. Данной заявке предоставляется канал в ветви  $m_{13}$  и определяется к какому виду потока нагрузки (нагрузка  $Z_{ij}^H$  или  $\Delta Z_{ij}$ ) она относится. Пусть заявка относится к потоку номинальной  $Z_{ij}^H$  нагрузки. Данной заявке присваивают повышенный приоритет и эта информация отмечается в КЦ1 и КЦ3.

Пусть следующая заявка на обслуживание поступила в направлении связи  $J_{12}$  с пониженным приоритетом, то есть принадлежность данной заявки относится к потоку нагрузки  $\Delta Z_{ij}$ . Ей предоставляется канал в ветви  $m_{12}$ , а на КЦ1 и КЦ2 делается отметка о пониженном приоритете данной заявки.

Пусть теперь от КЦ1 к КЦ3 поступила вторая заявка на обслуживание с повышенным приоритетом. Алгоритм ее обслуживания будет следующим:

1. Проверяется возможность обслуживания заявки по прямому пути. Он занят.
2. Проверяется возможность обслуживания заявки по обходному пути. Он также занят.
3. Проверяется наличие обслуживаемых заявок с пониженным приоритетом в прямом и обходном путях. Такая заявка имеется. Это заявка, обслуживаемая в направлении связи  $J_{12}$ .
4. Обслуживание заявки в направлении связи  $J_{12}$  прерывается. Канал в ветви  $m_{12}$  освобождается.
5. Поступившая заявка с повышенным приоритетом в направлении связи  $J_{13}$ , ставится на обслуживание по обходному пути через КЦ1, КЦ2, КЦ3. Информация о приоритете заявки записывается в устройствах управления данных КЦ.

Исследуем эффективность сетей с объемным приоритетом при возникновении локальной перегрузки. С этой целью зафиксируем в исследуемой сети номинальный режим. Как было отмечено ранее, для одноканальной трехузловой сети данный режим характеризуется:

$$\begin{aligned} Z_{12} = Z_{13} = Z_{23} &= 0,13 \\ P_{12} = P_{13} = P_{23} &= 0,05. \end{aligned}$$

Тогда избыточная нагрузка для данной сети будет определяться следующим образом:

$$\Delta Z_{ij} = Z_{ij} - Z_{ij}^n = Z_{ij} - 0,13.$$

Зафиксируем нагрузку в направлениях связи  $J_{12}$  и  $J_{23}$  на уровне 0,13 Эрл, а  $Z_{13}$  будем изменять в широких пределах. При этом, нагрузку  $Z_{13}$  будем рассматривать как сумму:

$$Z_{13} = Z_{13}^n + \Delta Z_{13}.$$

где  $Z_{13}^n$  - номинальная нагрузка от КЦ1 к КЦ3;

$\Delta Z_{13}$  - избыточная нагрузка от КЦ1 к КЦ3.

Нагрузка  $\Delta Z_{13}$  принимается к обслуживанию с пониженным приоритетом. Поэтому в любой момент времени заявки потока нагрузки  $\Delta Z_{13}$  могут быть подвергнуты прерыванию обслуживания заявками потоков  $Z_{13}^n$ , для которых на данный момент не окажется свободных каналов.

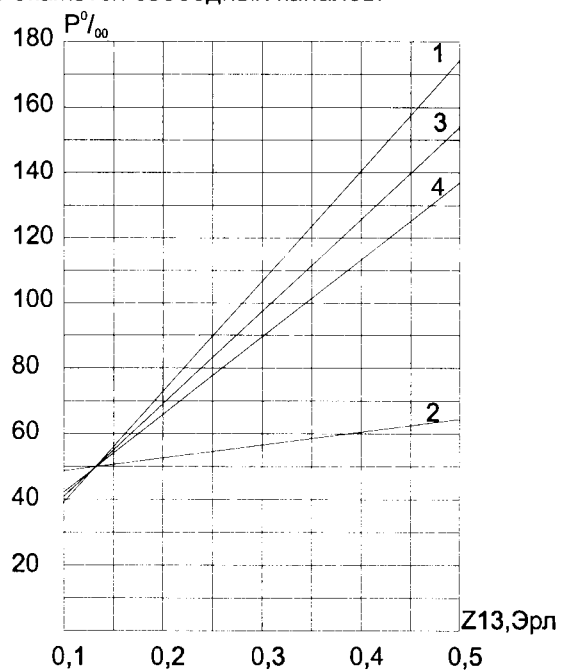


Рис. 19.3

Графики зависимости  $P_{130П} = f(Z_{13})$  качества обслуживания направления связи  $J_{13}$  от величины поступающей нагрузки  $Z_{13}$  (кривая 1) и зависимости  $P_{12,320П} = f(Z_{13})$  качества обслуживания в направлениях связи  $J_{12}, J_{23}$  от величины поступающей нагрузки

$Z_{13}$  (кривая 2), представлены на рис.19.3. Кривые 3, 4 соответствуют тем же зависимостям  $P_{13} = f(Z_{13})$  и  $P_{12,32} = f(Z_{13})$  в сети связи с обходами. Причём  $P_{13} = f(Z_{13})$  - кривая 3, а  $P_{12,32} = f(Z_{13})$  - кривая 4.

Полученные результаты показывают (кривые 2 и 4), что при  $Z_{13} = 0,5$  в сети связи с ОП потери в защищаемых направлениях  $J_{12}, J_{23}$  уменьшились более чем в два раза по сравнению с сетью связи с обходами. В направлении же связи  $J_{13}$ , являющимся источником перегрузки, потери в сети с ОП возросли в 1,13 раза по сравнению с сетью связи с обходами (кривые 1, 3).

Таким образом, способ объёмного приоритета позволяет перераспределить потери в сети в пользу защищаемых направлений связи. При этом общие потери в сети остаются такими же, как в обычной сети связи с обходами.

## Литература

1. Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи. - М.: Связь, 1977. - 360с
2. Щербина Л.П. Основы теории сетей военной связи. - Л.: ВАС, 1984. - 169с.
3. Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи. - М.: Радио и связь, 1985.- 272 с.
4. Щербина Л.П., Біленко А.І., Кучеренко А.Г. Розрахунок параметрів систем телекомунікації методами теорії телетрафіку. - Київ, НТУУ "КПІ", 1996 - 147с.
5. Гордиенко Б.А., Филиппов В.Н., Щербина Л.П. Военные системы коммутации и телефония. - Л.: ВАС, 1984. - 295с.
6. Гордиенко Б.А., Куяниченко О.А., Спицын А.Г., Стародубцев И.И., Щербина Л.П. Системы коммутации и распределения информации. Методы расчета. - Л.: ВАС, 1984. - 79с.
7. Шибанов В.С., Лычагин Н.И., Серегин А.В. Средства автоматизации управления в системах связи. - Москва, "Радио и связь" 1990, 232с.
8. Шнепс Системы распределения информации. Методы расчета. - М.: Связь, 1977. - 344с
9. Лазарев В.Г., Лазарев Ю.В. Динамическое управление потоками информации в сетях связи. - М.: Радио и связь, 1983. - 216с.
10. Щербина Л.П. Основы функционирования коммутируемых сетей связи. - Л.: ВАС, 1981, 156с.
11. Лазарев В.Г. Интеллектуальные цифровые сети. Справочник (под редакцией Кузнецова). - М.: Финансы и статистика, 1996. - 244с.
12. Романов А.И., Щербина Л.П. Основы функционирования систем динамического управления коммутируемыми сетями связи. - Л.: ВАС, 1979. - 42с.
13. Романов А. И. Управление потоками речевых сообщений на сетях связи. - К.: НЦ при КВИУС, 1998. - 272с.