

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО ПОЧТЫ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
ТАШКЕНТСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ

*На правах рукописи*

УСМАНОВА НАРГИЗА БАХТИЕРБЕКОВНА

**МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ  
ЦИФРОВЫХ ГОРОДСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ**

Специальность 05.12.14 - Сети, узлы связи и  
распределение информации

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ташкент – 2000

Работа выполнена на кафедре "Телекоммуникационные сети и системы коммутации" Ташкентского электротехнического института связи.

**Научный руководитель:**

к.т.н., доц.

Аллаев Э.Х.

**Официальные оппоненты:**

д.т.н., проф.

Нишанбаев Т.

к.т.н., доц.

Дмитриев В.Н.

**Ведущая организация:**

АО "Тошкент шаҳар телефон тармоғи"

A A/2387  
4757 Усмэнова Н.  
Методы оптимального построения  
2000  
5.04.2002  
30.5.03 Pa

ября 2000 г. в 10 часов  
ого совета К 001.25.01  
ческом институте связи  
А. Амира Темура, 108.

акомиться в научной

луж экземплярах, заве-  
ь по вышеуказанному  
специализированного

8\_\_ августа \_ 2000 г.

Арипов Х.К.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В соответствии с Национальной программой реконструкции и развития телекоммуникационной сети Республики Узбекистан на период до 2010 года, местные телефонные сети вступили в фазу качественной реконструкции, характеризующейся прежде всего широким внедрением цифровых коммутационных станций и систем передачи.

Актуальность исследования аспектов оптимального построения цифровых сетей телекоммуникаций обусловлена возникновением передовых средств в технике и технологии телекоммуникаций. Появление транспортных сетей нового поколения позволяет создание цифровых телекоммуникационных сетей, эффективность реализации которых будет определяться в значительной мере правильным выбором мест установки цифровых станций, определением сетевой архитектуры, необходимых этапов развития на основе методов оптимального построения и взаимодействия компонентов сети.

В большинстве известных методов оптимизации не рассматриваются наличие или включение цифровых систем передачи и коммутации, оказывающие влияние на стоимости вторичных сетей.

Специальные методы оптимального построения цифровых сетей, в частности, городских телефонных сетей (ГТС), в настоящее время недостаточно разработаны, в связи с чем определение условий и требований для построения цифровой сети, этапов ее реализации, исследование и разработка методов и алгоритмов оптимального построения цифровых ГТС, представляются необходимыми и актуальными.

**Цель работы** заключается в исследовании и разработке методов и алгоритмов оптимального построения цифровых ГТС на основе анализа вариантов построения сетей телекоммуникаций в условиях введения и использования новых технологий.

### **Задачи исследования:**

- изучение принципов введения цифрового оборудования в существующую аналоговую среду;
- выявление общих тенденций развития, анализ вариантов построения сети телекоммуникаций в условиях цифровизации;
- изучение задач, возникающих при взаимодействии цифровой и аналоговой сетей и возможностей их решения;
- исследование компонентов цифровой транспортной сети, анализ ее функционирования и разработка алгоритмов построения цифровых сетей различных конфигураций;

исследование и разработка методов оптимального построения цифровых городских телефонных сетей.

**Методы исследования.** В основу проведенных исследований положены методы анализа и синтеза из теории сетей связи, математический аппарат теории потоков и его применение при анализе и синтезе сетей связи, элементы теории графов. Экспериментальные исследования осуществлялись на основе эвристических методов математического моделирования.

Работа выполнена на кафедре «Телекоммуникационные сети и системы коммутации» ТЭИС УзАПТ при развитии положений Национальной программы реконструкции и развития телекоммуникационной сети республики Узбекистан на период до 2010 года.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- предложен новый подход к решению задачи оптимального построения цифровых городских телефонных сетей, на основе уровневой модели организации связи цифровой транспортной сети, позволяющий комплексно оценить функционирование сети;
- определены и предложены условия замены существующего аналогового коммутационного оборудования на цифровое в период цифровизации; учет этих условий обеспечивает рациональное размещение и использование существующего и вводимого нового оборудования, уменьшает непроизводительные затраты на оборудование взаимодействия;
- обоснованы и предложены параметры выбора кольцевых архитектур при формировании цифровых ГТС; при построении транспортной сети важное значение придается использованию трафика и определению емкостей замены в случае неисправности сетевых элементов; значения предложенных параметров, рассчитанные для реальных сетевых условий, позволяют определить оптимальные совокупности колец минимальной стоимости;
- разработаны методы и алгоритмы оптимального построения цифровых ГТС, на основе уровневого разделения транспортной сети и предложены способы определения сетевых топологий.

**Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Аспекты реализации и взаимодействия аналогового и цифрового оборудования в сетевой среде ГТС.

2. Новый подход к решению оптимизационных задач и определению сетевой архитектуры на основе предложенной уровневой модели организации цифровых ГТС.
3. Условия замены существующего аналогового оборудования на цифровое при поэтапной цифровизации.
4. Методы оптимального построения транспортной сети цифровых ГТС для различных сетевых условий.
5. Алгоритмы определения оптимальных кольцевых конфигураций транспортной сети цифровых ГТС.

**Практическая значимость** работы заключается в возможности реализации предложенных методов оптимального построения цифровых ГТС с учетом уровневого разделения сети в различных сетевых условиях, в зависимости от типа средств передачи. Разработанные алгоритмы определения оптимальных сетевых конфигураций цифровых ГТС обеспечивают эффективное определение топологий сети, а также размещение колец в сети с минимизацией межкольцевого трафика и общесетевой стоимости; полученные результаты позволяют определить этапы цифровизации, значения общих потоков и стоимостных функций при формировании колец на ГТС.

**Внедрение результатов работы.** Разработанные в ходе исследования предложения и рекомендации по оптимальному построению цифровых городских телефонных сетей внедрены при реализации концепции цифровизации Ташкентской ГТС; выбор структуры сети коммутации и транспортной сети производился на основе сформулированных в работе условий. На основе разработанного программного обеспечения производилось определение межстанционной нагрузки и числа соединительных линий, а также оптимальных трасс при формировании транспортной сети на основе кольцевых конфигураций в период перехода Ташкентской ГТС к цифровой сети.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- Республиканская научно-техническая конференция «Цифровизация сети и систем связи республики», Ташкент, 1994;
- Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы информатики и управления, перспективы их решения», Ташкент, 1996;
- Международная научно-практическая конференция, посвященная 1200-летию Ахмада Аль-Фаргони, Фергана, 1998;
- Международная научно-техническая конференция «Техника и технология связи», Минск, 1999.

**Публикации.** По материалам выполненных в диссертации исследований опубликовано 9 печатных работ, из них 3 - в соавторстве.

**Личный вклад.** Основные научные положения, теоретические выводы и рекомендации получены автором лично. В печатных работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежат следующие положения: [3] – определение условий цифровизации, формулировка постановки задачи и аспектов построения транспортной сети; [7] – теоретическое обоснование введения цифровых систем коммутации; [8] – анализ вариантов перехода от аналоговой сети к цифровой.

**Объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитированной литературы, приложения. Работа содержит 140 страниц машинописного текста, 21 рисунок, 3 таблицы, 19 страниц приложений. Список литературы включает 114 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель работы, перечислены основные научные результаты работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, определены практическая ценность и область применения результатов исследования.

**В первой главе** рассматриваются состояние, тенденции развития, варианты построения сетей телекоммуникаций в условиях цифровизации, аспекты построения цифровых сетей и введения цифрового оборудования в существующую аналоговую сеть.

Для выявления общих тенденций развития цифровой связи, рассматриваются примеры реализации цифровой сети в различных странах (Франция, Италия, Япония и ряд других). Это позволило сформулировать основные требования к осуществлению процесса цифровизации и реализации различных методов построения цифровой сети; при этом показано, что основные из этих требований выполняются путем создания цифровой сети по принципу наложения (надстроенная цифровая сеть). Обоснована необходимость одновременной цифровизации транспортной сети и сети коммутации.

Общая стоимость сети телекоммуникаций при цифровизации определяется, в основном, суммой стоимостей сети коммутации и транспортной сети. В переходный период выбор структуры сети коммутации зависит от правильного формирования связи сетей двух уровней иерархии (существующей аналоговой и вводимой цифровой); при этом выбирается объем

необходимого оборудования аналого-цифровых преобразователей, а также тандемных станций как основных пунктов концентрации и распределения межуровневой нагрузки. Для обеспечения потребных каналов сети коммутации необходима транспортная сеть; цифровизация транспортной сети и оптимизационные методы ее реализации способствуют построению экономически эффективных цифровых ГТС.

В конце первой главы производится анализ и обзор методов построения цифровых ГТС и формулируется постановка задачи исследования.

**Во второй главе** исследовано функционирование и взаимодействие компонентов цифровой сети и определение подхода к решению оптимизационных задач.

Задача оптимального построения сети телекоммуникаций может быть условно подразделена на 2 части: а) оптимальное формирование сети коммутации; б) определение оптимальных конфигураций для транспортной сети в соответствии с принятыми критериями оптимальности и учетом задаваемых ограничений.

Решение задачи "а" определяется необходимостью правильного формирования связей в аналого-цифровой сети и межуровневого взаимодействия для наиболее эффективного обеспечения потребности абонентов сети. Для постановки и решения второй задачи необходимо определение оптимальных сетевых конфигураций транспортной сети с соблюдением заданных ограничений и технических требований к качеству связи при минимальных затратах (или по другому критерию).

Процесс цифровизации может происходить различными способами («цифровизация сверху», «цифровизация снизу», методом наложения), с последовательной реализацией цифрового оборудования по этапам. Эффективность введения цифрового оборудования на каждом из этапов предлагается оценивать с помощью показателя процесса цифровизации – коэффициента цифровизации  $K_{ц}$ , на каждом этапе определяемого соотношением нагрузки, передаваемой между цифровой и аналоговой подсетями ( $Y_t$ ) и общей нагрузкой сети ( $Y$ ):

$$K_{ц} = Y_t / Y \quad (1)$$

На каждом из этапов (шагов) цифровизации необходимо вводить такую часть цифрового оборудования, которая позволит обслуживать максимальную суммарную нагрузку аналого-цифровой сети. Зависимость коэффициента цифровизации от объема аналого-цифрового оборудования показывает, что наибольший объем аналого-цифровых преобразователей приходится на область в пределах 40-60% ввода цифрового

оборудования в существующую сеть, следовательно, при определении этапов цифровизации существующей сети коммутации организации-операторы сети телекоммуникаций должны избегать перехода на цифровую связь с одновременной заменой аналогового оборудования цифровым на 40-60% от первоначального объема. Кроме этого, при формировании связи сетей двух уровней иерархии (аналоговой и цифровой) необходимо объединять (укрупнять) пучки линий, создаваемые нагрузкой от каждого узла. Это позволит рационально разместить и использовать существующее и новое оборудование и уменьшить общесетевые непроизводительные затраты на оборудование взаимодействия.

Решение задачи "б" предлагается осуществлять с учетом уровневой организации цифровой транспортной сети, принцип которой формулируется на основе синхронной цифровой передачи с точки зрения транспортной сетевой концепции применительно к цифровым городским телефонным сетям. При этом сеть подразделяется на уровень каналов, уровень трактов и уровень средств передачи. Учитывая это, предлагается рассматривать уровневую организацию сети с точки зрения цифровой передачи: процесс передачи сформирован взаимодействием уровня трактов и структуры синхронных модулей передачи (STM-n) в форме заголовков трактов высокого (ТВП) и низкого порядков (ТНП). На основе логической и физической взаимосвязи и организации сетевых компонентов предложен подход к решению задач оптимального построения телекоммуникационных сетей, позволяющий комплексно оценить функционирование сети.

На процесс построения цифровой сети оказывают значительное влияние два аспекта транспортной сети, а именно - достаточно низкая стоимость систем передачи при передаче с большими скоростями, позволяющая формировать высокоскоростные блоки передачи большого объема на большие расстояния и наличие уровней трактов ТНП и ТВП. Процедура построения цифровой сети должна учитывать требования прогнозируемой нагрузки каждой подсети, каждого пользовательского уровня в соответствующем уровне сети SDH. Другими словами, ТНП используется для ТфОП и низкоскоростных линий, ТВП - для широкополосной передачи и самого ТНП.

Таким образом, уровневое разделение ГТС на уровни трактов высокого и низкого порядков определяет теоретическую базу для процесса оптимизации транспортной сети, этапы ввода цифрового оборудования того или иного стандарта, раздельное рассмотрение трафика цифровой сети, что в



конечном счете, позволяет разработать экономически обоснованную последовательность действий для оптимального построения цифровых ГТС. Последовательное формирование оптимальной стратегии построения ГТС представляется методами (M1 и M2), учитывающими ТНП и ТВП соответственно; при этом для оптимального построения цифровых ГТС на низкоскоростных системах (типа плезioxронной иерархии) в качестве критерия рассматривается стоимость транспортной сети (уровень ТНП); для высокоскоростных услуг передачи (уровень ТВП) кроме стоимостных, вводятся показатели непрерывного функционирования сети.

**В третьей главе** производится исследование и разработка методов и алгоритмов оптимального построения цифровой транспортной сети на ГТС.

На основе предложенной уровневой модели обосновывается и рассматривается процесс оптимизации кольцевых архитектур, которые имеют особое значение при построении транспортных сетей, так как технологически они обеспечивают высокую надёжность, гибкость и живучесть сетевых элементов.

В ходе исследования аспектов построения цифровых сетей и анализа сетевых параметров показано, что основную составляющую функции стоимости формирует стоимость транспортной сети, организация которой будет определяться, в основном, оптимальным построением кольцевых архитектур. При построении сети на основе оборудования SDH важное значение имеет эффективное размещение колец в сети, что позволит минимизировать межкольцевой трафик (поток), приводящий к уменьшению общесетевой стоимости.

Задача построения минимальной по стоимости транспортной сети (размещения узлов в кольцах при их формировании на сети) формулируется в рамках линейного программирования в целых числах следующим образом:

минимизировать выражение:

$$C_{TC} = \sum_r \alpha_r \sum_i x_{ir} + c \sum_{i < j} (d_{ij} - \sum_r f_{ijrr}) \quad (2)$$

при ограничениях

$$\sum_{r \leq s} f_{ijrs} = d_{ij}, i < j \quad (3)$$

$$\sum_{i < j} \left( \sum_{s \leq r} f_{ijrs} + \sum_{s > r} f_{ijrs} \right) \leq u_r, \forall r \quad (4)$$

$$f_{ijrr} \leq d_{ij} x_{ir}, i < j, \forall r \quad (5)$$

$$f_{ijr} \leq d_{ij} x_{jr} \quad (6)$$

$$\sum_i x_{ir} \leq e_r, \forall r \quad (7)$$

$$f_{ijr} \geq 0, i < j, r \leq s \quad (8)$$

$$x_{ir} = \{0, 1\}, \forall i, \forall r \quad (9)$$

где:

$\alpha_r$  - фиксированная стоимость ADM в кольце  $r$ ;

$x_{ir} = 1$ , если станция принадлежит кольцу  $r$ ; иначе  $x_{ir} = 0$ ;

$u_r$  - ёмкость ADM в кольце  $r$ ;

$c$  - приведённые затраты взаимодействия (на единицу трафика);

$d_{ij}$  - требования между станциями  $i$  и  $j$ ;

$e_r$  - максимальное число станций в кольце  $r$ ;

$f_{ijr}$  - поток между станциями  $i, j$ , проходящий из кольца  $r$  в кольцо  $s$ .

Первая составляющая целевой функции (2) определяет общую фиксированную стоимость ADM. Вторая составляющая - определяет межкольцевой поток, умноженный на стоимость взаимодействия. Межкольцевой поток находится вычитанием внутрикольцевого потока из общей величины требований на передачу.

Ограничение (3) определяет удовлетворение требований; (4) - ограничения по ёмкости в каждом кольце; (5), (6) определяют внутрикольцевой поток между станциями  $i$  и  $j$  в случае принадлежности обеих одному кольцу  $r$ ; (7) - ограничение числа станций в кольце в соответствии с размерами ADM, используемыми в кольце; (8), (9) - неотрицательность переменной потока и целостность переменной  $x_r$  соответственно.

Решение сформулированной задачи определения размеров колец при построении логических кольцевых конфигураций обеспечивает оптимальное количество и конфигурации колец, а также последовательность ввода колец.

В соответствии с разделением транспортной сети на уровни ТНП и ТВП, приводимым во второй главе, формулируются методы оптимального построения цифровых ГТС с учетом этих уровней.

Основу метода определения оптимальной кольцевой конфигурации цифровой ГТС на основе уровня ТНП (M1) составляет нижеследующая последовательность шагов.

1. Определение исходных данных. Исходными данными для построения сетевой топологии будут матрицы расстояний между узлами, емкостей каналов, матрицы смежности, определяющие наличие связей между узлами сети, число узлов и требования между каждой их парой.

2. Поиск дерева минимальной длины По алгоритму поиска дерева минимальной длины (алгоритму Дijkstra) находят-ся кратчайшие пути между всеми парами вершин из исходного множества, определенного на шаге 1.

3. Построение полного графа, у которого множество вершин совпадает с исходным, а множество ребер соединяет все пары вершин, причем для каждого ребра  $b_{ij}$  его вес принимается равным длине кратчайшего пути из узла  $a_i$  в  $a_j$ .

4. Определение потоков в сети. В соответствии с формулировкой задачи оптимального построения цифровой транспортной сети, приведенной выше, производится минимизация межкольцевых потоков между узлами сети для определения принадлежности узлов тому или иному кольцу.

5. Выбор параметров логической структуры. На основе результатов шага 4, определяются: логическая архитектура (число колец в зависимости от емкости сети), физическая архитектура (однонаправленное или двунаправленное кольцо), тип защиты (резервирование в кольцах), взаимодействие колец (через ADM, DCS или соединения 155 Мб/с – уровня).

6. Поиск оптимального решения. Возможны альтернативные варианты поиска оптимального решения; при этом выбор того или иного варианта и окончательное решение обосновывается проектировщиком на основе опыта и полученных в ходе решения данных.

Разработаны алгоритмы определения первоначальной топологии, а также алгоритмы оптимизации топологии, при реализации которых происходит уменьшение общесетевой стоимости. На основе приведенных алгоритмов совместно с алгоритмами выбора станций в кольцах, распределения нагрузки, вычисления стоимостей возможно построение экономически эффективных и надежных цифровых сетей.

Для наиболее полного учета функций транспортной сети приводится, в частности, описание важной функции транспортной сети- восстановление, в случае выхода из строя части сети, узла или линии (ребра), причем восстановление ребра является наиболее существенной функцией сети. Процедура восстановления основывается на выборе из тракта восстановления совокупности замен для неисправного ребра с максимальным объемом ёмкости замены и конечного числа свободных

линий в каждом ребре. Для восстановления показана необходимость наличия информации о соединении линий в каждом узле для установления требуемого тракта, с учетом уровня ТВП.

Формулируется задача отыскания числа  $k$  возможных трактов между двумя узлами в данной резервной сети:

$$\text{Max } k = \sum_{j,c \in E} y_{j,c} \quad (10)$$

при ограничениях

$$\sum_{i,z \in E} y_{i,z} - \sum_{z,i \in E} y_{z,i} = 0 \quad \forall (z \in N - a - c) \quad (11)$$

$$\sum_{a,j \in E} y_{a,j} = k \quad (12)$$

$$y_{i,j} \leq s_{i,j} \quad \forall (i,j \in E) \quad (13)$$

$$p_{i,j} \geq 0 \quad \forall (i,j), y_{a,c} = 0 \quad (14)$$

где  $N$  - совокупность узлов сети;  $E$  - совокупность ребер;  $S$  - вектор резервной ёмкости ребра  $s_{ij}$ ;  $y_{ij}$  - величина полного потока ребра  $i, j$  для тракта восстановления между узлами  $a$  и  $c$ , исключая прямое (неисправное) ребро  $a, c$ , т.е. постановка этой задачи определяет уровни потока каждого ребра для восстановления. В дополнение, восстановление может быть сформулировано как минимизация расстояния в трактах восстановления. Это требует дополнительных ограничений:

$$\sum_{p \in 1..k} \lambda_{i,j} = y_{i,j} \quad \forall (i,j) \quad (15)$$

$$\sum_{i,j \in E} \lambda_{i,j} < h \quad (p \in 1..k) \quad (16)$$

где:  $\lambda_{i,j}^p$  - переменная определения тракта  $p$  ( $\lambda_{i,j}^p = 1$ , если тракт восстановления проходит ребро  $i, j$ ).

$h$  - предельная величина расстояния переприёма;

Выражения (10) - (14) определяют распределение потока в пределах взвешенного графа между узлами "а" и "с" для максимального значения нагрузки. Уравнения (15) и (16) определяют тракты и ограничения к их длине "h".

Показано определение колец-кандидатов (совокупности узлов, образующих кольцо), посредством минимизации стоимостей взаимосоединений (переходов нагрузки из кольца в кольцо) на основе коэффициента, учитывающего использование трафика. Этот коэффициент будет определять емкостную эффективность, которая характеризует сбалансированность рабочих емкостей ( $w_i$ ) на участках (сегментах) колец в сети.

Участок с максимальной емкостью  $w_i$  определяет уровень защитной емкости  $s_i$ , причем, по всем участкам кольца, с воздействием на общую эффективность транспортной системы, используемой в кольце:

$$\eta_b = \sum_{i=1}^S w_i / (S \cdot \max(w_i)) \quad (17)$$

где:  $w_i$  - рабочая емкость ребра  $i$ ,

$S$  - число ребер в кольце (число сегментов).

Наилучшая емкостная эффективность достигается при максимально сбалансированном кольце, т.е. где все участки имеют одинаковую  $w_i$ . Емкостная эффективность относится к общей эффективности, учитывающей стоимости регенераторов, кольцевых терминальных интерфейсов, а также стоимость мультиплексоров.

Кроме этого, определяется оптимальность с точки зрения сетевой логической избыточности  $\gamma$  при построении многокольцевой сети:

$$\gamma = \left( \sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^{S_j} s_{ij} \right) / \left( \sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^{S_j} w_{ij} \right) \quad (18)$$

где:  $R$  - число колец в сети

$s_{ij}$  - число свободных линий  $i$ -го участка  $j$ -го кольца

$w_{ij}$  - число рабочих линий  $i$ -го участка  $j$ -го кольца

$S_j$  - число участков  $j$ -го кольца

Для учета взаимосоединений в сети между кольцами вводится коэффициент переходов:

$$\eta_c = \sum_{i=1}^D P(\Gamma_i, R_k) \quad (19)$$

где:  $\Gamma_i$  - вектор пути  $i$ -го требования в  $D$ ,

$P(\Gamma_i, R_k)$  - функция числа переходов в пути  $i$ -го требования (вхождения и выходы в/из кольца  $R_k$ );

$D$  - совокупность требований сети для данного кольца.

Формулы (17) и (19) можно объединить в коэффициент выбора кольца:

$$\eta_{bc} = \alpha \cdot \eta_b + (1 - \alpha) \cdot \eta_c \quad (20)$$

где:  $\alpha$  - коэффициент распределения нагрузки,  $\alpha \in \{0 \dots 1\}$ ,

Значения  $\gamma$  и  $\eta_{bc}$ , рассчитанные для реальных сетевых условий, позволят определить оптимальные совокупности колец минимальной стоимости.

Среди наиболее распространенных на сегодняшний день конфигураций выделены сети, в которых осуществляется

доступ с несколькими уровнями иерархий и взаимодействие между уровнями происходит через промежуточные (опорные) узлы – иерархические самовосстанавливающиеся кольца (ИСК). ИСК-архитектуры подразделяются на однонаправленные (ОСК) и двунаправленные самовосстанавливающиеся кольца (ДСК). На основе стоимостей, емкостей, влияния стандарта SDH, совместимости различного оборудования производится сравнение различных ИСК-архитектур для обоснования выбора той или иной конфигурации на сети на основании предлагаемого стоимостного коэффициента.

Общая нагрузка, проводимая ОСК:  $C_u = \sum d_{ij}$ . Для ДСК/4 пусть  $m$  – число линий в кольце. Положим, требованию нагрузки необходимо  $h_b$  ДСК/4 со скоростями  $\{OC-N_1, \dots, OC-N_{h_b}\}$  или  $h_u$  ОСК со скоростями  $\{OC-M_1, \dots, OC-M_{h_u}\}$ . Пусть  $C_b(N)$  и  $C_u(M)$  – общая стоимость ДСК/4 со скоростью  $OC-N$  и ОСК со скоростью  $OC-M$  соответственно. Рассчитывается стоимостной коэффициент  $CR$ :

$$CR = \frac{\sum_1^{h_b} C_b(N_i)}{\sum_1^{h_u} C_u(M_i)} \quad (21)$$

При этом  $CR = 2$  для одной скорости  $OC-N$  (как указано в работе, стоимость двунаправленного кольца больше в 2 раза стоимости однонаправленного кольца). Аналогично производится сравнение ДСК/2 в сравнении с ОСК. В этом случае относительный стоимостной коэффициент зависит от вида нагрузки, даже если мы будем учитывать фактор деления нагрузки для ДСК/2.

Обосновано, что двунаправленные кольца на ГТС с требованием фиксированной транзитной станции не обеспечивают преимуществ на нижнем иерархическом уровне; совместное решение, когда применяются однонаправленные кольца – на нижних иерархических уровнях и двунаправленные кольца – на верхних уровнях в сети с транзитными станциями, должно использоваться для минимизации трактов передачи.

Сравнение различных вариантов обеспечения надежности в кольцах позволит выбрать приемлемый метод защиты при построении кольцевых архитектур на ГТС в период цифровизации.

В соответствии с описанием функций восстановления транспортной сети, вводятся параметры надежности для метода оптимального построения цифровых ГТС с учетом уровня ТВП (M2). Приведенная в работе последовательность шагов для M2 позволяет определить оптимальную архитектуру транспортной сети для цифровых ГТС.

В качестве примера была рассмотрена реализация алгоритмов оптимального построения транспортной сети для сети с 10 узлами. Характер зависимостей потоков от вариантов формирования кольцевых архитектур показывает, что при изменении числа колец стоимостная функция для каждого варианта пропорционально изменяется. Это объясняется тем, что при формировании большого числа колец, доля нагрузки, участвующая при передаче информации от узла  $a_i$  к  $a_j$  теперь является частично межкольцевым потоком, организующим связь между кольцами. При этом увеличение общего внутрикольцевого потока на всей сети не всегда будет сопровождаться приемлемым значением стоимости. Для выявления характера изменения общесетевого потока ( $F_k$ ) и стоимости ( $C_k$ ) на каждом шаге итераций рассмотрены различные случаи (в соответствии с алгоритмом).

Во всех случаях, опираясь на первоначальное (исходное) задание связей станций в кольцах определяются  $C_k$  и  $F_k$ . Зависимости (рис.1) потоков и стоимостных функций при изменении числа колец показали, что для сети с 10 узлами с заданными значениями параметров, более приемлема конфигурация с числом колец, при котором функция стоимости меньше при достаточном внутрикольцевом потоке. Обосновано, что варианты сети с двумя промежуточными соединениями обладают большим увеличением надежности (приращение функции стоимости Ст2 по сравнению со средними значениями) при относительно неизменных потоках.

Приведенные в работе обобщения характера изменения зависимостей потоков и стоимостных функций для различных

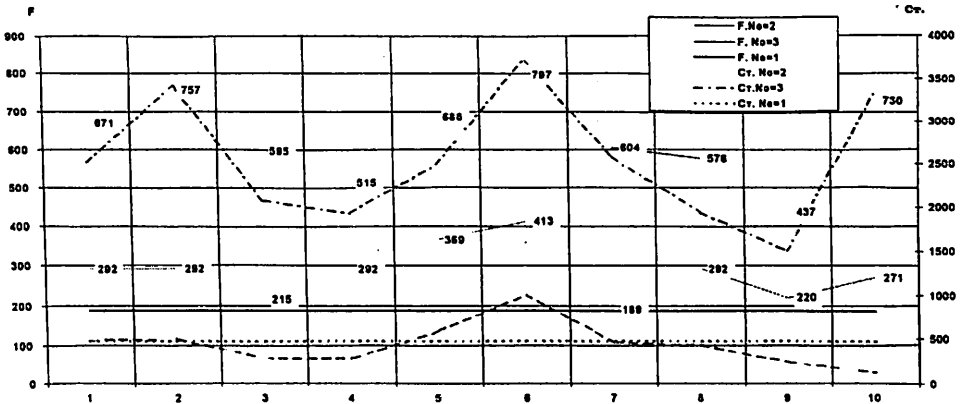


Рис. 1 Зависимости потоков и стоимостных функций при изменении числа колец на сети

исходных данных позволили выявить общие тенденции ведущие к оптимальному построению цифровых ГТС и явились основой формулировки выводов и рекомендаций для практического использования результатов диссертационной работы.

**Заключение.** Результаты проведенного исследования позволили сделать следующие основные выводы и рекомендации:

1. На основе анализа вариантов осуществления реконструкции и модернизации сети телекоммуникаций обоснованы и выявлены требования к осуществлению цифровизации применительно к городским телефонным сетям; определена необходимость взаимосвязанной цифровизации сети коммутации и транспортной сети, с учетом специфики местных сетевых условий.

2. Общая стоимость сети телекоммуникаций при цифровизации будет, в основном, определяться затратами на сеть коммутации и стоимостью транспортной сети. Стоимость сети коммутации на этапах цифровизации зависит от правильного формирования связи сетей двух уровней иерархии (существующей аналоговой и вводимой цифровой) и взаимодействия узловых (тандемных) станций между собой, при этом для организации связи между аналоговой и цифровой подсетями выбирается объем необходимого оборудования аналого-цифровых преобразователей, и устанавливаются тандемные станции как основные пункты концентрации и распределения межуровневой нагрузки;

3. Определение очередности и объема введения цифрового коммутационного оборудования производится в соответствии со значением показателя эффективности процесса цифровизации – коэффициента цифровизации; зависимость коэффициента цифровизации от объема вводимого цифрового оборудования показывает, что наибольший объем аналого-цифровых преобразователей приходится на область в пределах 40-60% ввода цифрового оборудования в существующую сеть, следовательно, при определении этапов цифровизации существующей сети коммутации и транспортной сети организации-операторы сети телекоммуникаций должны избегать перехода на цифровую связь с одновременной заменой аналогового оборудования цифровым на 40-60% от первоначального объема. Это позволит рационально разместить и использовать существующее и новое оборудование и уменьшить общесетевые затраты на оборудование взаимодействия;

4. Для рациональной организации связи сетей двух уровней иерархии (аналоговой и цифровой) мелкие пучки



линий, создаваемые нагрузкой от каждого узла, необходимо объединять в более крупные, т.е. укрупнять пучки; это достигается путем организации связи между аналоговой и цифровой подсетями через узловые (тандемные) станции, что способствует уменьшению оборудования взаимодействия аналоговой и цифровой сетей и улучшает использование ресурсов сети;

5. Для правильного формирования и эксплуатации функциональных компонентов и блоков транспортной сети необходимо использовать принцип уровневой организации сети на основе синхронной цифровой передачи с подразделением сети на уровни тракта высокого и низкого порядков. Уровневое разделение ГТС на уровни трактов высокого и низкого порядков определяет теоретическую базу для процесса оптимизации транспортной сети, этапы ввода цифрового оборудования, раздельное формирование трафика цифровой сети, что позволяет разработать экономически обоснованную последовательность действий и методы оптимального построения цифровых ГТС. На основе анализа трафика при взаимодействии сетевых компонентов цифровых сетей предложен новый подход к решению оптимизационных задач, учитывающий разделение сети на уровни трактов высокого и низкого порядков и позволяющий комплексно оценить функционирование цифровой сети.

6. Исследована важная функция транспортной сети – восстановление в случае выхода из строя части сети. Применительно к цифровой ГТС предложен порядок определения максимального восстановления для обеспечения трактов замены в случае выхода из строя линии сети. Правильный выбор способа формирования защиты для обеспечения требуемой надежности сети позволяет уменьшить капитальные затраты. Для сетей с высокой загрузкой цифровых каналов целесообразно использование двунаправленных самовосстанавливающихся кольцевых архитектур для связи между ADM в кольцах. Если узловые компоненты самой сети имеют высокий уровень защиты, применяются однонаправленные самовосстанавливающиеся кольца с автоматической защитой тракта.

7. Разработаны методы и алгоритмы оптимального построения цифровых ГТС, позволяющие оптимальное размещение узлов в кольцах и взаимодействие колец на основе уровней ТНП и ТВП. В пределах городской телефонной сети для заданной совокупности данных по алгоритму решения задачи оптимального размещения узлов в кольцах с учетом уровня ТНП, находятся необходимые значения функций стоимости и параметры потоков для различных вариантов формирования

колец. На основе анализа этих данных выносятся решения по реализации конкретной сетевой архитектуры в среде цифровых ГТС. Метод оптимального построения цифровых ГТС на основе уровня ТВП позволяет учитывать непрерывное функционирование сети, с обеспечением совокупности трактов замены при различных неисправностях сетевых элементов.

8. Проведенные по разработанным алгоритмам расчеты на примере сети заданной конфигурации подтверждают обоснованность и реализуемость предложенного подхода и методов оптимального построения цифровых ГТС на основе уровневого разделения транспортной сети на ТНП и ТВП.

### **Публикации по теме диссертации.**

1. Усманова Н.Б. Анализ кольцевых архитектур и построение на их основе оптимальных телекоммуникационных сетей// Узбекский журнал "Проблемы информатики и энергетики" №3, 1999. С.11-16
2. Усманова Н.Б. Определение кольцевых конфигураций на цифровых городских телефонных сетях//Узбекский журнал "Проблемы информатики и энергетики" №5-6, 1999. С.16-21
3. Usmanova N.B., Allaev E.Kh. New technologies introduction aspects in the telecommunications networks of Uzbekistan/Вестник связи №1. Минск, 1999. С.239-241
4. Usmanova N.B. About optimal methods of urban telephone networks building in the terms of digitalization./Actual problems of telecom. Proceedings TEIC, vol.1. Belgium, 1998. p.71-73
5. Усманова Н.Б. Вопросы определения оптимальной структуры телекоммуникационных сетей в условиях цифровизации / Радиотехнические системы и устройства. Сб. научн. тр., часть 4. Ташк. электротехн. ин-т связи. -Ташкент, 1999. С.85-90
6. Усманова Н.Б. О концепции модернизации и развития городской телефонной сети г.Ташкента /Радиотехнические системы и устройства. Сб.научн. тр., часть 4. Ташк. электротехн. ин-т связи. -Ташкент, 1999. С.78-81
7. Аллаев Э.Х., Усманова Н.Б. К вопросу повышения пропускной способности управляющих комплексов цифровых систем коммутации // Республиканская научно-техническая конференция «Цифровизация сети и систем связи республики». Тезисы докладов.- Ташкент, 1994. С.46-47
8. Закиров В.М., Усманова Н.Б. К вопросу цифровизации Ташкентской ГТС//Республиканская научно-техническая конференция «Проблемы информатики и управления, перспективы их решения». Тезисы докладов.-Ташкент, 1996. С.19
9. Усманова Н.Б. О некоторых вопросах оптимального построения городских телефонных сетей в условиях цифровизации //Международная научно-практическая конференция, посвященная 1200-летию Ахмада Аль-Фарғони. Тезисы докладов.-Ферғана, 1998. С.127-128

## **РАКАМЛИ ШАХАР ТЕЛЕФОН ТАРМОКЛАРИНИ МУКОВИЛ ТУЗИШ УСУЛЛАРИ**

Усмонова Н.Б.

Кискача мазмуни

Диссертация иши ракамли шахар телефон тармоқларини (ШТТ) муқовил тузиш усулларини тадқиқ этиш ва ишлаб чиқишга бағишланган. Телекоммуникация тармоқларини ракамлаштириш турларини таҳлил қилиш асосида ШТТ да ракамлаштиришни амалга ошириш талаблари асосланган ва ишлаб чиқилган.

Тармоқларни узаро таъсирини тулик ҳисобга олувчи, ракамли узатиш курсаткичлар ва тавсифларини мукаммал баҳолайдиган босқичли тармоқ модели тақлиф этилган. Ушбу модель асосида ракамли ШТТ нинг ишлаш ва тузиш жараёнини муқовил равишда ташкил этувчи масалаарни ечиш учун янги услуб ишлаб чиқилган. Ракамли алоқа тармоғини мантикий ташкил қилганда қулланиладиган босқичлар икк бор аниқланган.

Ўз-ўзини тиклайдиган алоқа тармоқларининг вазифалари тадқиқ этилиб, ракамли ШТТ га мансуб булган алоқа тизимларини энг катта тикланишини таъминловчи кетма кетликлар ишлаб чиқилган. Ракамли ШТТ да айланма равишда ташкил этилган тизимларни ишлаш асослари келтирилган ва танлаш тафсифлари аниқланган. Ушбу айланма тизимларида тармоқ оқимларини ҳисобга олувчи ва уларни узаро боғланишини аниқловчи функциялар асосида ракамли ШТТ ни муқовил тузилиш усуллари ва алгоритмлари ишлаб чиқилган ва тадқиқ этилган.

## **DIGITAL URBAN TELEPHONE NETWORKS' OPTIMAL DESIGN METHODS**

N.B.Usmanova

Summary

The thesis work is devoted to investigation and development the methods for optimal design of digital urban telephone networks (UTN).

The requirements to UTN digitalization are developed on the basis of new technologies introduction methodologies analysis. The layered transport network architecture related to UTN is proposed on which the parameters and characteristics of digital transmission and hierarchical interconnection of different networks can be effectively estimated.

New approach is presented to solve the digital urban telephone network optimal design problems to fully take into account network operation. The recommended stages for defining the logical architecture provide the effective basis to choose the logical organization of digital UTN.

The functions and characteristics of self-healing ring networks applied to digital UTN considered and procedures of network restoration to provide the necessary level of network survivability are proposed. The functional parameters of ring network' operation are clarified and methods and algorithms to optimal design of digital UTN are developed

Отпечатано на ротапринтере в ТЭИС  
Разрешено в печать 20.06.00г.  
Заказ 401-100-00  
Ташкент-84, ул.А.Темура 108