

6
A 67

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
МОСКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ

На правах рукописи

О. Ф. НАУМЧУК

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИЗА МНОГОПОЛЮСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

(Специальность — 303. «Сети и каналы связи»)

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва — 1970

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
Московский электротехнический институт связи

О.Ф.Наумчук

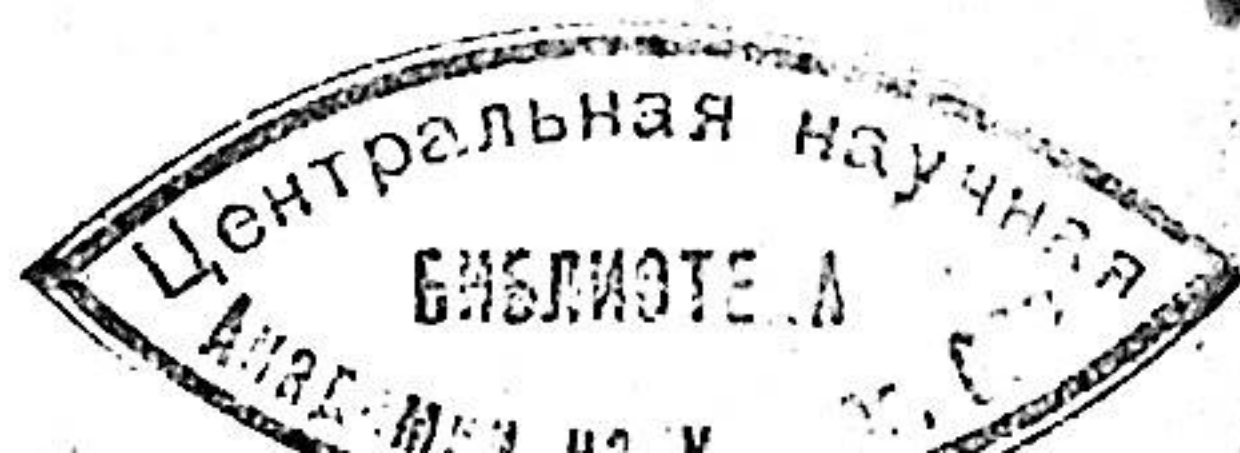
На правах рукописи

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИЗА МНОГОПОЛЮСНЫХ
СЕТЕЙ СВЯЗИ

(Специальность – 303. "Сети и каналы связи")

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва, 1970



67
Диссертационная работа выполнена в Институте проблем передачи информации Академии наук СССР.

Научный руководитель - зав. лабораторией, доктор технических наук, профессор В.Г.Лазарев

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Б.С.Лившиц

кандидат технических наук В.Н.Акимов

Ведущее предприятие:

Военная академия связи

Автореферат разослан 9.1 1971 г.

Защита диссертации состоится 25.2 1971 года на заседании Объединенного Совета факультетов автоматической и многоканальной электросвязи МЭИС (Авиамоторная, 8а).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке

Ученый секретарь Объединенного
Совета факультетов АЭС и МЭС
К.Т.Н.

Н.Н. Баева
(БАЕВА Н.Н.)

С бурным развитием народного хозяйства и постоянным повышением уровня материальной и культурной жизни трудящихся СССР быстро возрастает поток передаваемой и обрабатываемой информации. Значительно увеличивается в этом потоке информация, перерабатываемая электронными вычислительными машинами (ЭВМ).

В связи с этим возникла одна из важнейших народнохозяйственных и научно-технических проблем - проблема создания единой автоматизированной системы связи (ЕАСС). Создаваемая в нашей стране ЕАСС, охватывающая огромные территории с далеко расположенными друг от друга узлами коммутации, и обеспечивающая передачу и обработку различных видов информации предъявляет особые требования к эффективности использования каналов и оборудования сети связи.

Эффективность использования в сильной степени зависит от системы управления сетью. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к системе управления, она должна определять оптимальный план распределения потоков информации, который позволит для заданного качества обслуживания на сети обеспечить наиболее эффективное использование обслуживающих устройств сети связи при создавшейся ситуации. Получение оптимального плана распределения потоков для создавшейся ситуации производится на основе анализа сети связи.

Данная диссертационная работа посвящена исследованию и созданию инженерных методов анализа сетей связи при выборе и обосновании алгоритмов управления и параметров системы управления сетью, и состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения.

Во введении рассматривается общая постановка задачи и при-

водится обзор существующих работ по рассматриваемым вопросам анализе сетей связи и их применению.

При анализе сетей связи возникают две основные задачи.

Первая задача состоит в определении оптимальных по выбранному критерию путей, которые можно использовать для обслуживания потоков вызовов между каждой парой узлов анализируемой сети. Решение этой задачи определяет параметры, характеризующие алгоритм управления сетью, такие как: критерий оптимальности путей, используемых для обслуживания потоков, метод поиска этих путей и порядок их занятия при обслуживании каждого потока.

В настоящее время методы определения оптимальных путей достаточно хорошо исследованы как в зарубежной, так и в отечественной литературе.

В большинстве работ, посвященных этим исследованиям, а также и в данной диссертационной работе, критерием оптимальности пути служит его длина, определяемая числом ветвей, составляющих этот путь (или числом транзитных узлов в пути).

На основе этих методов разработаны алгоритмы оптимального распределения каналов, а также алгоритмы распределения потоков на сети, которые используются при исследовании различных сетей связи. В связи с этим в данной работе приводятся только основные результаты решения задачи определения оптимальных путей и предлагается метод, который в отличие от существующих, позволяет без дополнительных проверок получать все возможные пути заданной длины без петель и циклов от некоторого фиксированного узла ко всем остальным узлам сети. В соответствии с данным методом, модель путей от некоторого фиксированного узла N ко всем остальным узлам сети представляется в виде дерева путей D_N , исходными данными для построения которого служит матрица смеж-

ности узлов $B = \|\beta_{ij}\|$, где

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если узлы } i \text{ и } j \text{ связаны ветвью} \\ 0, & \text{если непосредственная связь между узлами} \\ & i \text{ и } j \text{ отсутствует.} \end{cases}$$

Предлагаемый метод удобен для механизации.

Основное внимание в данной работе уделяется рассмотрению второй задачи анализа сетей связи.

Вторая задача состоит в определении до распределения потоков величин максимальных нагрузок, которые можно обслужить одновременно между рассматриваемыми парами узлов анализируемой сети при заданном качестве обслуживания и принятом алгоритме управления сетью. Задача анализа пропускной способности сетей связи возникла при разработке методов и алгоритмов управления сетью, а также при исследовании сетей связи, в которых абоненты разбиты на несколько категорий важности, а ветви и узлы могут выходить из строя в процессе эксплуатации.

При выборе алгоритма управления сетью, анализ пропускной способности сети позволит определить правильность сделанного выбора.

Во втором случае анализ пропускной способности сети при различных ситуациях позволит определить минимальный объем ограничений на обслуживание потоков для абонентов низших категорий, при котором можно будет сохранить требуемое качество обслуживания абонентам высших категорий.

В общем случае задача анализа пропускной способности сводится к определению максимально возможной системы потоков, которую можно обслужить в анализируемой сети при заданном качестве обслуживания и одновременном удовлетворении требований по всем парам, если известны: структура сети, способ коммутации

каналов и алгоритм управления сетью.

При решении задач анализа сети предполагается, что каждый абонент подключен к одному из узлов коммутации и имеет выход на сеть только через этот узел. В этом случае при анализе сети можно считать, что источниками и приемниками нагрузки являются узлы коммутации, т.е. рассматривать сеть, состоящей из узлов коммутации и связывающих их ветвей. Таким образом, анализируемую сеть связи удобно представлять в виде графа, вершины которого поставлены в соответствие узлам сети, а ребра - ветвям. При таком представлении параметры сети можно записать в форме матриц.

Структурные параметры сети связи, содержащей N узлов, в данной работе представляются в виде следующих матриц размера $N \times N$:

1. Матрицы смежности (узлов): $B = \| \beta_{ij} \|$.

2. Матрицы длин (ветвей): $L = \| l_{ij} \|$,

где l_{ij} - длина ветви β_{ij} .

3. Матрицы емкостей ветвей $V = \| v_{ij} \|$,

где v_{ij} - емкость (число каналов) ветви β_{ij} .

В данной работе рассматриваются два типа сетей связи, классифицируемых по способу коммутации каналов: 1) некоммутируемые сети, 2) коммутируемые сети.

В некоммутируемой сети связи для обслуживания потоков вызовов между каждой парой узлов выбирается один или несколько путей, в которых с помощью кроссировок образуются пучки соединительных линий. Каждый такой пучок используется только для обслуживания определенного потока, и не может быть использован для обслуживания других потоков. Поэтому поток между каждой парой узлов некоммутируемой сети связи можно условно определять числом каналов, которые необходимы для обслуживания этого потока при за-

данном качестве обслуживания на сети.

В отличие от некоммутируемой, в коммутируемой сети связи прямой канал для обслуживания каждого вызова создается в процессе установления соединения с помощью оперативных коммутационных устройств, находящихся на узлах. При этом каждый входящий в узел канал может быть скомутирован с любым из некоторой группы или всех исходящих каналов. Таким образом, в коммутируемой сети связи каждый канал ветви может быть использован для обслуживания нагрузки, образованной несколькими потоками вызовов. В коммутируемой сети связи поток φ_{xy} между каждой парой узлов (x, y) будет определяться нагрузкой, создаваемой абонентами узла x и предназначенной для абонентов узла y .

Основные результаты решения задачи определения оптимальных путей в сети связи, классификация типов сетей в зависимости от способа коммутации каналов, а также формализация записи параметров, описывающих рассматриваемые сети связи, приводятся в первой главе данной работы.

Вторая глава посвящена вопросам анализа пропускной способности некоммутируемой сети связи. В связи с тем, что в некоммутируемой сети связи поток можно условно выражать в числе каналов, то пропускную способность такой сети также можно определять в числе каналов. В этом случае пропускная способность определяется максимально возможным числом каналов, которые можно обеспечить в рассматриваемой сети между каждой парой узлов при одновременном удовлетворении требований в обеспечении связи между всеми парами узлов.

Таким образом, некоммутируемую сеть можно рассматривать как сеть в которой пропускная способность каждой ветви определяется только емкостью этой ветви. Для характеристики пропускной способности таких сетей связи используется понятие сечения сети.

Сечением $S_{\alpha, N-\alpha}$, разделяющим некоторую пару узлов x и y в сети $G(N)$ (N - множество узлов сети) называется совокупность ветвей $\{\beta_{ij}\} (i \in \alpha, j \in N-\alpha)$, при удалении которой образуется две несвязные между собой подсети, $G(\alpha)$ и $G(N-\alpha)$, причем $x \in \alpha, y \in N-\alpha$.

Величина (емкость) сечения $V_{\alpha, N-\alpha}$ определяется суммой емкостей ветвей, составляющих данное сечение.

В соответствии с теоремой о максимальном потоке и минимальном сечении (доказана Фордом и Фалкерсоном, Менноном) величина пропускной способности двухполюсной сети связи равна величина минимального сечения, разделяющего полюса этой сети. Обобщая эти результаты для многополюсных сетей связи, Танг и Хакими получили условия реализуемости системы потоков в многополюсной сети связи, которые были названы необходимыми и достаточными. Эти условия имеют вид системы из $2^{n-1} - 1$ неравенств (по Тангу):

$$\sum_{\substack{i \in \alpha \\ j \in N-\alpha}} F_{ij} \leq V_{\alpha, N-\alpha} = \sum_{\substack{i \in \alpha \\ j \in N-\alpha}} \beta_{ij} \quad (I)$$

где α может быть любым подмножеством множества N узлов сети; содержащим определенный узел $i (i = 1, 2, \dots, n)$. Однако, как показали дальнейшие исследования, проведенные Хью, величины максимальных потоков F_{ij} , полученные при решении приведенной системы неравенств (I) не всегда достижимы в рассматриваемой сети. Т.е. система (I) представляет собой только необходимые условия. Это объясняется тем, что при определении величины минимального сечения, стоящего в правой части каждого из неравенств системы (I), получают только суммарную емкость путей между рассматриваемыми парами узлов и не учитывают распределения емкости этого сечения по данным путям. Поэтому в данной работе доказывается теорема, формулирующая необходимые и достаточные условия реализуемости в сети заданной системы потоков.

В соответствии с этой теоремой, необходимые и достаточные условия реализуемости в сети $G(N)$ системы потоков, заданной матрицей $\Phi = \|\varphi_{ij}\|$ (φ_{ij} - тяготение между узлами i и j) имеют вид системы неравенств:

$$\sum_{\substack{i \in \alpha \\ j \in N-\alpha}} \varphi_{ij} \leq V_{\alpha, N-\alpha} - Q_{\alpha, N-\alpha} \quad (2)$$

где $Q_{\alpha, N-\alpha}$ - величина минимального сечения $S_{\alpha, N-\alpha}^2$, блокирующего только те пути из всех путей соединяющих узлы i и j , каждый из которых содержит $q > 1$ ветвей минимального сечения $S_{\alpha, N-\alpha}$, причем исключение любого из этих путей влияет на сечение $S_{\alpha, N-\alpha}$.

Таким образом, анализ пропускной способности сетей связи сводится к определению величин соответствующих сечений.

В существующих методах определения величин сечений предполагается, что удаление всех ветвей составляющих сечение разделяет сеть на две несвязанные подсети, т.е. сечение блокирует все возможные пути, соединяющие узлы, разделяемые этим сечением.

Однако, для обслуживания каждого потока в сетях связи может допускаться использование не всех возможных путей, а только ограниченного числа их (например, из-за ограничений по числу переприемных участков в пути или по числу обходных направлений из каждого узла и т.д.).

В данной работе предлагается алгебраический метод, который позволяет определять минимальное сечение, блокирующее определенную совокупность путей и хорошо поддается машинизации. В общем случае эта совокупность может содержать все возможные пути, соединяющие соответствующую пару узлов.

В соответствии с предлагаемым методом все пути, которые можно использовать для обслуживания потоков между рассматриваемыми парами узлов, записываются в таблицу путей. На пересечении μ_i - строки и β_j столбца этой таблицы стоит 1, если β_j -я ветвь входит в μ_i -й путь.

Для получения каждого сечения этой совокупности путей нужно выбрать минимальный набор столбцов таблицы путей так, чтобы для каждой строки среди выбранных столбцов нашелся хотя бы один столбец, содержащий в этой строке 1.

В данной работе эта задача сведена к достаточно хорошо исследованной задаче минимизации, булевых функций, для решения которой в настоящее время получен ряд эффективных методов.

На основании приведенной выше теоремы и в соответствии с предложенным методом определения величин сечений, получена методика анализа пропускной способности многополюсных некоммутируемых сетей связи.

Согласно этой методике при анализе пропускной способности некоммутируемой сети связи выполняются следующие операции:

1. Заполняется таблица путей $M = \{\mu_i\}$ содержащая все пути, которые можно использовать для обслуживания потоков между каждой парой узлов анализируемой сети.

2. С помощью полученной таблицы путей и в соответствии с предлагаемым методом определяются величины минимальных сечений $V_{\alpha, n-\alpha}(Q_{\alpha, n-\alpha})$ характеризующих величину пропускной способности рассматриваемой сети.

3. Составляется система неравенств вида (2), определяющая необходимые и достаточные условия реализуемости в анализируемой сети системы потоков, заданной матрицей Φ .

4) Проверяются условия реализуемости матрицы Φ или решается система неравенств (2) в случае, если заданная система потоков нереализуема в рассматриваемой сети.

В третьей главе рассматриваются вопросы анализа пропускной способности коммутируемой сети связи. В коммутируемой сети связи для обслуживания каждой заявки на установление соединения от узла i к узлу j (независимо от того, является ли узел i исходящим или транзитным), может быть использован любой канал из ветвей, исходящих из этого узла.

Таким образом, в коммутируемой сети связи каждая ветвь может быть использована для обслуживания нагрузки, образованной несколькими потоками вызовов.

Многочисленные исследования, проведенные в теории телефонных сообщений и относящиеся к определению качества обслуживания и пропускной способности коммутируемых сетей связи, ограничиваются рассмотрением двухполюсных сетей (одной ветви, одного направления, одной пары узлов).

В настоящее время некоторые параметры, характеризующие величину пропускной способности многополюсных коммутируемых сетей связи могут быть получены путем моделирования на аналоговых, специализированных или универсальных ЭВМ.

Вместе с тем существующие методы анализа пропускной способности многополюсных сетей связи оказываются мало пригодными при оценке эффективности методов динамического управления реальными сетями связи и при решении целого ряда других задач.

В связи с этим возникает необходимость в разработке аналитических методов анализа пропускной способности многополюсных сетей связи.

В данной главе диссертационной работы показано, что для анализа пропускной способности многоприоритетных коммутируемых сетей связи с обходными направлениями можно использовать методы анализа некоммутируемых сетей связи, если при определении величины пропускной способности каждого сечения учесть все параметры, характеризующие нелинейную зависимость между емкостью $V_{\alpha, n-\alpha}$ ($Q_{\alpha, n-\alpha}$) и пропускной способностью $A_{\alpha, n-\alpha}(V_{\alpha, n-\alpha})$ этого сечения.

Указанную зависимость предлагается учитывать при определении величин пропускных способностей ветвей, тогда величина сечения (пропускная способность) будет определяться, как и в некоммутируемой сети, суммой пропускных способностей ветвей, составляющих это сечение. В сети связи с обходными направлениями каждая ветвь может входить как в путь первого выбора и использоваться для обслуживания исходного потока этого направления, так и в пути, образующие обходные направления, и использоваться для обслуживания избыточных потоков, поступающих на эти обходные пути. В этом случае характер потоков, поступающих на каждую ветвь сети будет определяться не только параметрами исходных потоков, но и параметрами избыточных потоков. Последние, в свою очередь, в сильной степени зависят от длины и числа путей, используемых для обслуживания каждого потока (структурных параметров сети C), и порядка выбора этих путей (алгоритма управления сетью - α):

$$\lambda_{ij} = \gamma(\alpha, C) \quad (3)$$

В соответствии с этим при определении пропускной способности каждой ветви y_{ij} необходимо учитывать следующую зависимость:

$$y_{ij} = f(\lambda_{ij} = \gamma(\alpha, C), v_{ij}, p_{ij}, D) \quad (4),$$

где v_{ij} - емкость ветви β_{ij} ,

p_{ij} - допустимая величина потерь на ветви β_{ij} , задаваемая, исходя из технико-экономических требований и в соответствии с допустимым качеством обслуживания на сети;

D - структура пучка, характеризующая чаще всего доступностью пучка каналов, образующего ветвь β_{ij} .

При исследовании зависимости (4) предполагалось, что рассматриваемая система обслуживания вызовов является системой с потерями, все ветви сети представляют собой полнодоступные пучки каналов, исходные потоки вызовов являются простейшими, избыточные потоки представляют собой потоки с ограниченным последствием и описываются двумя параметрами: математическим ожиданием средней величины нагрузки и дисперсией.

Чтобы упростить задачу анализа и получить возможность аналитически исследовать зависимость (4), в работе приняты два допущения. Смысл первого допущения, названного в литературе гипотезой о независимости, сводится к следующему.

В оложной сети связи с обходными направлениями нагрузка на каждый узел создается как потоками от внешних источников (абонентов этого узла), так и транзитными потоками, которые обслуживаются ветвями, входящими в этот узел. Причем каждая входящая ветвь может использоваться для обслуживания большого количества различных потоков. При таком разнообразии потоков, поступающих в каждый узел по различным каналам при анализе сетей можно считать, что на каждый узел поступают вызовы от различных независимых источников и относительная доля заявок, поступивших от каждого из них мала. Это предположение позволяет считать потоки, поступающие в каждый узел, независимыми, а поток, выходящий из каждого узла, образованный суммой малых

независимых потоков, близкий к пуассоновскому.

Второе допущение, названное в литературе отсутствием внутренних блокировок, состоит в том, что параметры телефонного потока в области малых потерь (0,001-0,2) не зависят от числа ступеней искажения в пути, выбранном для обслуживания этого потока.

Исходя из этих предположений, при анализе коммутируемой сети связи с обходными направлениями каждый узел можно рассматривать независимо, как многоканальное коммутационное устройство.

Таким образом, если известны емкость, структура пучков каналов и допустимая величина потерь для каждой ветви рассматриваемой сети, а также использование каждой ветви при обслуживании потоков, то легко можно определить параметры, потоков, поступающих на каждую ветвь, а, следовательно, и пропускную способность ветви.

Для этой цели в заданной работе используется достаточно хорошо разработанный в теории телефонных сообщений, метод эквивалентных замен.

При этом получены выражения, упрощающие процедуру определения величин пропускных способностей ветвей сети в соответствии с методом эквивалентных замен. В частности, для определения величины пропускной способности ветви y_{ij} при заданном качестве обслуживания, когда на нее поступает нагрузка, характеризуемая двумя параметрами $M(x_{ij})$ и $V(x_{ij})$ используется следующее выражение:

где $y_{ij} = M'(x_{ij}) = y_{ij} - \Delta_n \cdot y_{ij}$ (5),
 y_{ij} - величина пропускной способности ветви, определяемая по таблицам Эрланга для полнодоступного пучка;

Δ_n - коэффициент, характеризующий погрешность определения средней величины нагрузки без учета того, что

рассматриваемый поток непростейший

$$\theta_{ij} = \frac{V(x_{ij})}{M(x_{ij})} > 1.$$

При исследовании коэффициента Δ_n с помощью метода эквивалентных замен были получены графики, определяющие функциональную зависимость

$$\Delta = f(y, \theta, \rho) \quad (6)$$

Для функциональной зависимости (6) было найдено аппроксимирующее выражение

$$\Delta_{M(pac)} = (\theta - 1) \left(1 - 0,5 \frac{\theta \rho}{\theta + 1} \right) \cdot y^{-0,864 - 0,106 \theta \rho}$$

справедливое в диапазоне нагрузок $y = 1 \div 50$ эрл., $\theta = 1,1; 1,5; 2; 2,5$ и потерь; $\rho = 0,005; 0,01; 0,05; 0,1; 0,2$.

Таким образом, для анализа пропускной способности коммутируемых сетей связи с обходными направлениями можно использовать методику, предложенную для анализа некоммутируемых сетей связи, дополнив ее еще одной операцией - операцией определения пропускных способностей ветвей сети.

В четвертой главе проводится сравнение результатов анализа пропускной способности сетей связи с обходными направлениями, полученных по предлагаемой методике, с результатами, полученными путем моделирования таких сетей на ЭВМ.

В качестве примеров рассматривались сети связи, содержащие от четырех узлов и шести ветвей до восьми узлов и двенадцати ветвей.

Для каждого из рассмотренных случаев потоки создавались между тремя выделенными парами узлов сети.

Всего было просмотрено около 30 вариантов сетей с различными емкостями ветвей (10,50 каналов), допустимыми величинами потерь (0,005-0,2) и числом обходных путей (от одного до трех обход-)

ных направлений). Для моделирования была использована программа для БЭСМ-6, разработанная в ИПЦИ АН СССР совместно с Институтом прикладной математики.

Данная программа позволяет моделировать сеть, каждый узел которой может быть как конечным - приемником и источником нагрузки, так и коммутационным узлом. В узле, в соответствии с принятым алгоритмом управления, по адресу узла назначения происходит выбор исходящего направления и производится образование прямого канала на время обслуживания вызова; при этом возможна коммутация любого входящего канала с любым исходящим. Соединение между парой узлов осуществляется последовательно от узла источника через транзитные узлы до узла назначения. Предполагается, что блокировка в коммутационных узлах не возникает. Поступающие на узел заявки получают отказ, если в узле нет ни одного свободного и исправного исходящего канала (система с потерями).

Таким образом, в используемой программе моделируются следующие процессы: появление заявок на установление соединения между парами узлов; поиск оптимального пути установления соединения; коммутация каналов на время обслуживания заявки; отбой - освобождение каналов, занятых ранее соединением, время которого истекло; разрыв пучков каналов с прерыванием соответствующих соединений и восстановление поврежденных пучков.

При моделировании каждого варианта фиксировались следующие результаты:

- 1) номер задачи;
- 2) текущее время в элементарных тактах;
- 3) процент отказов на каждой ветви P_{ij} ;
- 4) нагрузка, поступающая на каждую ветвь Y_{ij} ;

- 5) для каждой из трех выделенных пар:
 - максимальная длина пути T ,
 - величина пропущенной нагрузки φ_{ij} ,
 - величина потерянной нагрузки.

В приложении к диссертационной работе приведены таблицы, где сравниваются величины: пропускных способностей ветвей сети Y_{ij} и пропущенной нагрузки φ_{ij} между выделенными парами узлов, полученные по предлагаемой методике и путем моделирования для каждого из рассмотренных вариантов.

Кроме того, в этих таблицах приведены результаты анализа пропускной способности сети в предположении, что параметры потоков, поступающие на каждую ветвь не зависят от алгоритма управления, т.е. в этом случае предполагалось, что на каждую ветвь поступает поток, характеризуемый исходными параметрами (в данном случае простейший), поэтому величины пропускных способностей ветвей сети определялись по таблицам Эрланта для неподоступного пучка каналов.

Проведенные в данной главе исследования показали:

1) Результаты анализа пропускной способности рассмотренных коммутируемых сетей связи с обходными направлениями, полученные с помощью предлагаемой методики, близки к результатам моделирования. Ошибка $P_y = \frac{Y_{расч.} - Y_{модел.}}{Y_{модел.}} \cdot 100 \%$.

($P_\varphi = \frac{\varphi_{расч.} - \varphi_{модел.}}{\varphi_{модел.}} \cdot 100 \%$) для любой из рассмотренных сетей и любого числа обходных путей (максимальной длины $T=2,3,4$) $\leq + 10 \%$ и лежит в пределах точности моделирования.

2) Анализ пропускной способности коммутируемых сетей связи с обходными направлениями без учета того, что параметры потоков изменяются в процессе обслуживания (эти изменения в сильной степени зависят от структуры сети и принятого алгоритма управления) приводит к определению завышенной величины пропускной способности анализируемой сети.

$$\text{Ошибка } \delta = \frac{\varphi_{\text{эвл.}} - \varphi_{\text{модел}}}{\varphi_{\text{модел}}} \cdot 100 \% .$$

в некоторых из рассмотренных вариантов достигает + 40 %.

Таким образом, для любого из рассмотренных вариантов справедливо следующее соотношение сравниваемых величин:

$$\varphi_{\text{модел}} \leq \varphi_{\text{расч.}} \leq \varphi_{\text{эвл.}} ; \varphi_{\text{модел}} \leq \varphi_{\text{расч.}} \leq \varphi_{\text{эвл.}}$$

При этом величина $\delta_y = \varphi_{\text{расч.}} - \varphi_{\text{модел}}$ ($\delta_{\varphi} = \varphi_{\text{расч.}} - \varphi_{\text{модел}}$)

мала и зависит только от точности моделирования и принятых

при расчете аппроксимации, в то время как $\delta_y' = \varphi_{\text{эвл.}} - \varphi_{\text{модел}}$

($\delta_{\varphi}' = \varphi_{\text{эвл.}} - \varphi_{\text{модел}}$) зависит также от структуры анализируемой сети и принятого алгоритма управления.

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

I. Сформулированы две основные задачи анализа сетей связи, возникающие при разработке методов и устройств управления такими сетями:

- определение оптимальных путей, которые можно использовать для обслуживания нагрузки между каждой парой узлов сети;
- определение (до распределения потоков) пропускной способности сети при заданном качестве обслуживания на сети.

2. Показано, что при определении пропускной способности некоммутируемых сетей связи можно использовать понятие сечения

сети и основные результаты, полученные для сетей со статическими потоками.

3. В связи с этим предложен алгебраический метод определения величин минимальных сечений, который позволяет учитывать при анализе пропускной способности сети ограничения по числу используемых направлений из каждого узла и легко поддается машинизации.

4. Доказана теорема, формулирующая необходимые и достаточные условия реализуемости в рассматриваемой многополюсной сети заданной системы потоков.

5. На основании доказанной теоремы и в соответствии с предложенным методом определения величин сечений, получена методика анализа пропускной способности многополюсных некоммутируемых сетей связи.

6. В результате анализа особенностей определения пропускной способности коммутируемых сетей связи, показано, что для этой цели можно также воспользоваться понятием сечения сети, если учесть при определении величины сечения нелинейную зависимость между емкостью и пропускной способностью сечения. Эту зависимость предлагается учитывать при определении пропускных способностей ветвей анализируемой сети.

7. В соответствии с этим, разработана методика анализа пропускной способности коммутируемых сетей связи с обходными направлениями, которая в отличие от методики анализа некоммутируемых сетей связи, включает еще одну операцию - определение пропускных способностей ветвей сети.

8. Получены выражения, упрощающие процедуру определения пропускных способностей ветвей в соответствии с методом эквивалентных замен.

Основные результаты диссертационной работы докладывались: на Ученом Совете ИППИ АН СССР (1969 г.), на семинаре в ЦНИИСЛО (1970 г.), на семинарах в ИППИ АН СССР и других организациях, и опубликованы в следующих работах:

1. Наумчук О.Ф., Саввин Г.Г. Методы анализа сетей передачи и распределения информации. Сб. "Принципы построения сетей и систем управления". М., "Наука", 1964.

2. Наумчук О.Ф., Саввин Г.Г. Оценка пропускной способности сетей передачи и распределения информации. Сб. "Сети передачи информации и их автоматизация". М., "Наука", 1965.

3. Наумчук О.Ф. Определение путей передачи сообщений в сетях связи с помощью ЭВМ. Сб. "Информационные сети и коммутация". М., "Наука", 1965.

4. Лазарева М.Н., Наумчук О.Ф., Саввин Г.Г. Определение оптимального плана распределения потоков на ЭВМ. Сб. "Синтез дискретных автоматов и управляющих устройств". М., "Наука", 1968.

5. Наумчук О.Ф. Особенности анализа пропускной способности коммутируемых сетей связи. Сб. "Дискретные автоматы и сети связи". М., "Наука", 1970.