



Кривонос Дмитрий Михайлович

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ
ПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Специальность 05.13.01

Системный анализ, обработка информации и управление

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Волгоград 2004

Работа выполнена на кафедре ЭВМ и системы Волгоградского государственного технического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Лукьянов Виктор Сергеевич

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук

Старовойтов Александр Владимирович

доктор технических наук, доцент

Дмитриев Вадим Николаевич

Ведущая организация: Научно - исследовательский испытательный полигон
Спецсвязи России (войсковая часть 32382 г. Орёл).

Защита состоится "22" декабря 2004 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.028.04. в Волгоградском государственном техническом университете по адресу: 400131, Волгоград, проспект Ленина 28, Волг ГТУ

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью организации, просим направлять по адресу: 400131, г. Волгоград, проспект Ленина 28, Волг ГТУ, секретарю диссертационного совета Д 212.028.04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного технического университета.

Автореферат разослан "22" ¹¹ декабря 2004 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Водопьянов Валентин Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Интенсивное внедрение в российских телефонных сетях общего пользования современных средств и технологий абонентского доступа является существенным фактором уменьшения общего количества АТС и укрупнение коммутационных узлов.

Кроме того, использование для широкополосного доступа обычной телефонной пары, соединяющей домашнюю телефонную розетку и местную АТС, является наиболее подходящим решением для операторов телефонных сетей общего пользования при предоставлении высокоскоростного доступа к удалённым информационным ресурсам.

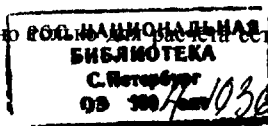
Перед проектировщиком встаёт задача моделирования оптимальной коммуникационной системы минимальной стоимости, удовлетворяющей необходимым требованиям. Нахождение оптимальной структуры такой системы в процессе её проектирования не всегда имеет единственное решение. Большинство используемых моделей определения топологической структуры сети основаны на применении известных эвристических алгоритмов проектирования, допускающих приближённые решения.

Проблемам анализа топологических структур сетей и определения методов их оптимального проектирования посвящены работы немецких исследователей Р. Бесслера и А. Дойча. Российские учёные Г.Т. Артамонов и В.Д. Тюрин, рассмотрели в своих трудах вопросы анализа и синтеза структур сетей передачи информации методами теории графов. Эвристические методы синтеза топологии сети по заданному местоположению её узлов рассмотрены в работах Лазарева В.Г., Савина Г.Г., Янбых Г.Ф., Столярова Б.А., Лукьянова В.С. Методам автоматизированного проектирования систем связи посвящены исследования Мясникова В.А., Мельникова Ю.Н., Абросимова Л.И., Яковлева С.А.

Практическое применение в настоящее время нашли методы Прима, Ежи - Вильямса, метод концентраторов и определения структуры иерархической сети.

В силу особенностей реализации алгоритмам Прима и Ежи - Вильямса присущи некоторые ограничения, которые не позволяют эффективно использовать их в современных условиях для определения оптимальной топологической структуры. В основном ограничения сводятся к следующему:

1. Использование данных алгоритмов возможно только в сетях с одним



центром коммутации (централизованных сетей).

2. При расчётах не учитывается наличие базовой действующей сети с трактами, обладающими определённой информационной ёмкостью.

3. Не учитывается перспективность дальнейшего использования оборудования, резерв пропускной способности и канальной ёмкости соединительных кабелей и т.д.

4. При расчётах не берутся во внимание параметры стоимости линейного и каналообразующего оборудования, подключения линии связи.

В результате практического рассмотрения и анализа существующих моделей определения оптимальной топологической структуры выявляется необходимость их модификации и создания новых вариантов, учитывающих современные требования.

Таким образом, указанные обстоятельства обуславливают актуальность сформулированной темы исследования, направленной на разработку перспективных моделей определения оптимальных структур проводных сетей передачи данных.

Цели и задачи исследования состоят в разработке перспективных моделей определения оптимальных топологических структур сетей передачи данных свободных от недостатков и ограничений существующих способов решения данной проблемы.

Для достижения поставленных целей в работе решаются следующие задачи:

1. Синтез составной сети, включающей в свой состав несколько подсетей с общими трактами передачи и отдельными автономными центрами коммутации.

2. Оптимизация мест расположения источников технологических сигналов, выбора трасс передачи технологических сигналов с целью уменьшения их доли в общем объёме кабельных соединений.

3. Эмуляция гипотетической структуры сети для проектирования новых вариантов топологий и совершенствования существующей структуры.

4. Оптимизация числа и местоположения пассивных (без уплотнения линий) и активных концентраторов, уменьшающих необходимое число линий связи.

5. Выбор рациональных способов совершенствования структуры существующих сетей абонентского доступа путём определения оптимальных размеров подрайонов подключения, соединительных путей в сети, изменения состава и мест расположения центров коммутации.

Предметом исследования является топологическая структура проводных сетей передачи данных

Объектом исследования - перспективные методы определения оптимальной топологической структуры проводных сетей передачи данных.

Методы исследования. Поскольку сети передачи данных относятся к категории сложных систем, то в ходе их исследования применялся системный подход. На его основе для решения возникающих задач исследуемые структуры были подвергнуты системному анализу, направленному на создание обобщённой модели, описывающей систему, отображающую определённую группу свойств. Используются методы имитационного моделирования структур передачи данных в совокупности с эвристическими методами, что обусловлено сложностью исследуемых систем и многообразием их функциональных элементов. Кроме того, использовались аналитические методы исследования.

Основой диссертационного исследования является общенаучная методология, предполагающая комплексный, системный подход к решению проблем, предусматривающая единство качественного и количественного анализа; применение методов системного анализа и синтеза.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Модели определения оптимальной структуры сети связи, развивающие алгоритмы Прима и Ежи — Вильямса для синтеза новой сети и модернизации существующей, расчёта оптимальной структуры сети с несколькими центрами коммутации.

2. Эвристический метод дальних точек для определения мест размещения концентраторов в сети с возможностью оптимизации их местоположения в группе и установки активных концентраторов в данных точках.

3. Модель определения оптимальной структуры системы связи, когда координаты, количество центров коммутации и место размещения информационного центра сети заранее не заданы, а также системы связи, в которой несколькими подсетями используются единые каналы первичной сети.

4. Модель расчёта оптимального количества и мест расположения источников технологических сигналов в сети. Различные варианты представления критериев оптимизации.

5. Эвристический алгоритм определения оптимальных размеров прямоугольного подрайона подключения с учётом современных параметров стоимости элементов сети.

6. Метод определения эффективности прокладки соединительных линий местной кабельной сети, использующий критерий модифицированной длины.

7. Эвристический алгоритм определения оптимального места размещения сетевого узла абонентского кабеля сети доступа с учётом влияния на него места расположения информационного центра сети.

Научная новизна работы:

Сформулирована концепция применения перспективных методов определения оптимальной топологической структуры сети связи, основанная на эвристических приёмах, включающая:

- алгоритмы определения конфигурации сети минимальной стоимости, позволяющие модернизировать существующую топологическую структуру, оптимизировать её с использованием концентраторов, в том числе, когда координаты и количество центров коммутации заранее не заданы;

алгоритм определения оптимальной структуры сети связи, в которой единые каналы первичной сети используются несколькими подсетями;

- систему критериев оптимизации, достаточную для проектирования трасс прокладки и мест размещения источников технологических сигналов, алгоритм определения оптимального количества и мест расположения источников технологических сигналов;

- алгоритмы определения оптимального размера прямоугольного подрайона подключения, места размещения сетевого узла абонентского кабеля с учётом влияния на него места размещения информационного центра сети.

Использование при проектировании структуры сетей предложенных алгоритмов значительно облегчает расчёты оптимальных по стоимости топологических структур крупномасштабных сетей с большим количеством абонентов.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что на основе полученных данных предложена конкретная методика расчёта оптимальных структур сетей связи, определения мест размещения центров коммутации, трасс прокладки и мест размещения источников технологических сигналов, совместного использования трактов передачи первичной сети несколькими ведомственными сетями.

Реализация результатов работы. Основные результаты диссертационного исследования использованы в проектах Научно - исследовательского испытательного

полигона Службы специальной связи и информации Федеральной службы охраны РФ (войсковая часть 32382 город Орёл).

Апробация результатов исследования. Основные идеи, развиваемые в диссертационном исследовании, излагались соавторами статей в докладах на научно-практических конференциях, проводимых в 2002-2004гг.: на всероссийской научно-технической конференции (г. Камышин 2002 г.), XXX юбилейной международной конференции и I международной конференции молодых учёных (г. Гурзуф 2003 г.), международной научно-технической конференции и Российской научной школе молодых учёных (г. Москва 2003г.), II международной конференции молодых учёных (г. Гурзуф 2004г.).

По теме диссертации опубликовано 6 научных работ, в том числе материалы 3-х международных конференций.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объём основной части работы 209 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении к диссертации даётся обоснование темы, раскрываются её актуальность и степень научной разработки, формулируются цели и задачи научного исследования, а также методы их решения, излагается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе "Анализ проводных сетей передачи данных" рассматривается классификация аппаратурных средств проводных сетей связи, даны основные характеристики линий связи и представлены основные разновидности структур проводных сетей. Обращено внимание на достоинства и недостатки тех или иных конфигураций, определены существенные свойства сетей передачи данных, относящиеся к характеристике системы связи в целом, которые оказывают серьёзное влияние на процесс синтеза структуры, выступая в качестве условий или ограничений в применяемых методах при проектировании оптимальной топологии сети.

Показано, что к числу существенных свойств сети передачи данных относятся: узвимость передаваемой по каналам информации, нарушение её конфиденциальности, и в этой связи возникает необходимость реализации в сетях передачи данных системы

контроля и защиты, строящейся с использованием технологических сигналов.

Рассмотрены основные критерии, которые применяются в настоящее время для оценки качества и выбора лучшего из предложенных вариантов структур сети. Предложено ввести новый показатель, который характеризует степень рационального построения топологической структуры:

$$C_a = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^n (l_j \times C_i + C_{kpi}) \right)}{N},$$

где C_a - средняя стоимость соединения в сети для одного абонента; N - число абонентов в сети; n - число отдельных соединительных путей между шкафами в сети, включая соединение от абонента до первого шкафа и соединительный тракт от последнего $(n-1)$ шкафа до АТ C_i ; l_j - длина отдельного соединения между смежными шкафами; C_i - удельная стоимость единицы длины соединения в i тракте; C_{kpi} - удельная стоимость, приходящаяся на одно соединение в i кроссе.

В этом случае основание выбора рациональных соединительных трактов в уже существующей сети от отдельного абонента или группы абонентов будет определяться степенью снижения стоимости соединений от рассматриваемой группы до коммутационного центра сети.

Обращено внимание на важность задач, решаемых на этапе топологического проектирования сети связи, как начальной стадии системного анализа, целью которого является построение из элементов с заданными характеристиками единой системы, обладающей требуемыми характеристиками.

Приводятся основные понятия способа математического представления проводной сети передачи данных в виде графа: путь, ранг пути, связность сети, контур, сечение сети, ранг сечения и т.д. Основной структурой, определяющей конфигурацию сети, является матрица связности.

В работе рассмотрены основные методы определения оптимальных структур проводных сетей передачи данных, применяемые в настоящее время. Приводятся и рассматриваются на практическом примере эвристические алгоритмы Прима, Ежи-Вильямса для определения структуры древовидной конфигурации, алгоритмы добавления и удаления для расчёта древовидных централизованных сетей с концентраторами, а также алгоритм определения оптимальной структуры сети,

организованной по иерархическому принципу.

Алгоритм Ежи-Вильямса предусматривает нахождение узлов a_i ($i = 1, 2, \dots, N$), наиболее удалённых от центра коммутации ($i = 1$), и подключение этих узлов к ближайшим, используя дуги наименьшей длины. При этом проверяется ограничение на пропускную способность. В основу алгоритма Прима положено два принципа:

- Всякий изолированный узел соединяется с ближайшим соседним узлом;
- Всякий изолированный фрагмент соединяется с ближайшим соседним узлом кратчайшей дугой (изолированный фрагмент - это подмножество узлов, связанное дугами, но не охватывающее всех заданных узлов).

Рассмотрены варианты построения топологий сетей с применением концентраторов. Суть алгоритма метода добавления в определении оптимальной сети с концентраторами в том, что первоначально все терминалы (абоненты) подключаются к центральной АТС. Концентраторы закрыты и открываются итерационно по одному с целью обеспечения минимальной стоимости сети. Рассчитывается первоначальная стоимость сети как сумма элементов первого столбца матрицы стоимости, затем обеспечивается максимальное уменьшение этого значения. Алгоритм метода удаления противоположен алгоритму метода добавления. Первоначально все концентраторы открыты, затем начинается последовательная проверка целесообразности удаления каждого из них.

В эвристическом алгоритме расчёта иерархической древовидной структуры определены два этапа:

1. Этап целенаправленного группирования.
2. Этап улучшения краевых точек.

На каждом шаге этапа целенаправленного группирования определяется оптимальная группа, состоящая из отдельных элементов, входящих в состав сети. Этап улучшения краевых точек обеспечивает перераспределение сгруппированных элементов таким образом, чтобы, не нарушая ограничений по конфигурации, получить более компактные группы. Поиск глобального оптимума заменяется поиском суммы локальных оптимумов, т.е. эвристический алгоритм осуществляет поиск решения по функции вида:

$$\bar{Q} = \sum_h \sum_{\Gamma_{ph} \in h} \min_{x,j} \sum_l \sum_j (x_{pj})_h (y_{ip})_h (m_{ij})_h,$$

где h - промежуточные уровни иерархии структуры ($h = \overline{1, H}$, где H - неизвестное число уровней иерархии); $M = \|m_{ij}\|$, ($i, j = \overline{1, N}$ - исходная матрица взвешенных расстояний между каждой парой узлов a_i, a_j); $\Gamma_{p,h}$, $p = \overline{1, N_p}$, - сформированная p - я группа, центры которых $\{U_p\}$ составляют уровень h структуры S ; x_{pj} - булевы переменные, которые определяют местоположение центров U_p ; y_{ip} - булевы переменные, которые определяют, с каким центром U_{ph} группы Γ_{ph} связан исходный узел a_i .

В ходе проведённого анализа представленных методов сделан вывод о том, что в силу особенностей реализации рассмотренным алгоритмам присущи недостатки, которые не позволяют эффективно применять их в современных условиях.

В этой связи выделены следующие существенные ограничения вышеприведённых алгоритмов при проектировании оптимальной структуры сети связи: использование данных алгоритмов для расчёта сетей с одним центром коммутации; при расчёте не учитывается наличие базовой действующей сети с трактами, обладающими определённой информационной ёмкостью; не учитывается перспективность дальнейшего использования оборудования, резерв пропускной способности и канальной ёмкости соединительных кабелей и т.д.; при расчёте не берутся во внимание параметры стоимости линейного и каналообразующего оборудования, единицы длины кабеля, стоимости подключения линии связи.

Сформулированы задачи, которые должны решаться в перспективных алгоритмах определения оптимальной топологической структуры сети: синтез составной сети, включающей в свой состав несколько подсетей с общими трактами передачи первичной сети и отдельными автономными центрами коммутации; оптимизация мест расположения источников технологических сигналов, выбор трасс передачи технологических сигналов в соединительных линиях сети с целью уменьшения их доли в общем объёме кабельных соединений; эмуляция гипотетической структуры сети для проектирования новых вариантов топологий и совершенствования существующей структуры сети; оптимизация числа и местоположения пассивных и активных концентраторов; выбор рациональных способов совершенствования структуры существующих сетей абонентского доступа путём выбора оптимальных размеров подрайонов подключения, соединительных путей, изменения состава и мест расположения центров коммутации.

Во второй главе "Исследование сетевых структур с помощью имитационного моделирования" разработана концепция применения перспективных методов определения оптимальной топологической структуры сети связи, основанная на эвристических приёмах и включающая систему требований к задачам, которые должны решаться при проектировании оптимальной структуры сети.

Проблема синтеза оптимальной топологической структуры сети сформулирована как частная задача, решаемая на первом этапе системного проектирования. Определена основная цель топологического синтеза.

При топологическом синтезе используется наиболее простой метод построения интегрального критерия, заключающийся в том, что один из критериев набора q_k принимается в качестве обобщённого, а все остальные учитываются в виде ограничений, определяющих область допустимых альтернатив:

$$E = q_k; \quad \begin{aligned} q_i &\geq q_i^{(0)}, i = 1, 2, \dots, l, \\ q_i &\leq q_i^{(0)}, i = l+1, l+2, \dots, n, \\ n &\neq k, \end{aligned}$$

где E - значение эффективности;

q_i - значения рассматриваемых критериев;

$q^{(0)} = (q_1^{(0)}, q_2^{(0)}, \dots, q_n^{(0)})$ - вектор, определяющий допустимые значения по всем критериям.

В этом случае задача сравнения альтернатив по векторному критерию эффективности сводится к задаче принятия решений со скалярным критерием, а все остальные критерии переводятся в разряд ограничений.

Полученные практические рекомендации, очевидно, будут зависеть от того, как будут выбраны ограничения для вспомогательных критериев.

В такой формулировке задача принятия оптимального решения при выборе альтернативы формулируется как задача математического программирования:

$$\begin{aligned} \max [q_k(a)] \text{ (или } \min [q_k(a)] \text{)}, \text{ при } a \in A, \\ q_i(a) &\geq q_i^{(0)}, i = 1, 2, \dots, l, \\ q_i(a) &\leq q_i^{(0)}, i = l+1, l+2, \dots, n, \\ i &\neq k. \end{aligned}$$

В зависимости от вида функции $q_k(a)$, $q_i(a)$ и множества A для решения задачи выбора оптимальной альтернативы используются различные методы оптимизации.

Поскольку проектирование оптимальной структуры проводной сети передачи данных представляет собой многокритериальную задачу оптимизации, то эффективным средством для её решения является моделирование. Большинство используемых моделей определения топологической структуры сети основаны на применении известных эвристических алгоритмов проектирования, допускающих приближённые решения. В работе были развиты существующие и реализованы новые алгоритмы.

Определены требования к программным средствам проектирования сети, которые используются в ходе применения метода имитационного моделирования, позволяющего реализовать расчёты оптимальной структуры с учётом необходимых ограничений и условий. Программное обеспечение должно обеспечивать расчёт оптимальной структуры сети, результатом которого должны быть определены:

- оптимальные, с точки зрения эффективности использования существующих ресурсов маршруты подключения абонентов к станциям с учётом имеющихся исходных данных и ограничений;
- количество и месторасположение кабельных шкафов с указанием их задействованной ёмкости абонентскими парами каждой из подсетей связи;
- связность кабельных шкафов между собой и АТС с указанием количества кабелей каждого из типов и их задействованные ёмкости;
- обобщённые показатели рассчитанной структуры по критериям оценки.

В ходе рассмотрения методов синтеза новой сети древовидной конфигурации были развиты существующие алгоритмы. Определена последовательность проведения расчётов оптимальной структуры сети в случае её стихийного развития и появления дополнительных узлов. Практически был рассмотрен пример расчёта оптимальной структуры сети в ходе её модернизации и сравнения результатов, полученных по методам Прима и Ежи-Вильямса для модернизации существующей сети.

При рассмотрении вопроса проектирования сети с несколькими центрами коммутации предложены модели и реализованы новые алгоритмы расчётов оптимальной структуры сети, развивающие алгоритмы Прима и Ежи-Вильямса. В новых алгоритмах учтена возможность установки активного концентратора и оптимизации его местоположения в определённой на предыдущем этапе алгоритма группе абонентов.

Для выбора числа и определения оптимальных мест расположения концентраторов предложен и реализован новый эвристический метод дальних точек.

Суть данного метода в определении подмножеств станций по количеству вводимых в сеть концентраторов. В начале определяется средний объем соединений (J), приходящийся на один концентратор в сети:

$$J = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i}{K}, \quad \text{где } K - \text{число концентраторов в сети; } \lambda_i - \text{объем соединений от } i\text{-го узла;}$$

N - число узлов в сети. Сокращённый алгоритм метода дальних точек приведен на рисунке 1.



Рис. 1.

В ходе реализации данного метода:

1. Определяется самый дальний узел от центра коммутации, который помещается в пространство, охватываемое первым концентратором;
2. Отыскиваются ближайшие к нему узлы до достижения суммарного объёма соединений сгруппированного подмножества величины среднего объёма соединений, приходящегося на один концентратор в сети;
3. Определённое в ходе алгоритма подмножество узлов, охватываемое первым концентратором, исключается из сети;
4. Находится второе подмножество, и процесс повторяется;
5. После определения всех подмножеств, в пределах каждого из них уточняется место концентратора. После оптимизации мест размещения концентраторов в группах предложено определить возможность установки в данной точке активного концентратора по формуле Энгсета.

Предложена модель для определения оптимальной структуры сети связи, в которой несколькими подсетями используются единые каналы первичной сети. В данном случае учтена особенность проводных систем передачи данных состоящая в том, что в сети имеются тракты соединений между узлами, которые являются общими для различных подсетей. Сокращённый алгоритм метода приведён на рисунке 2.

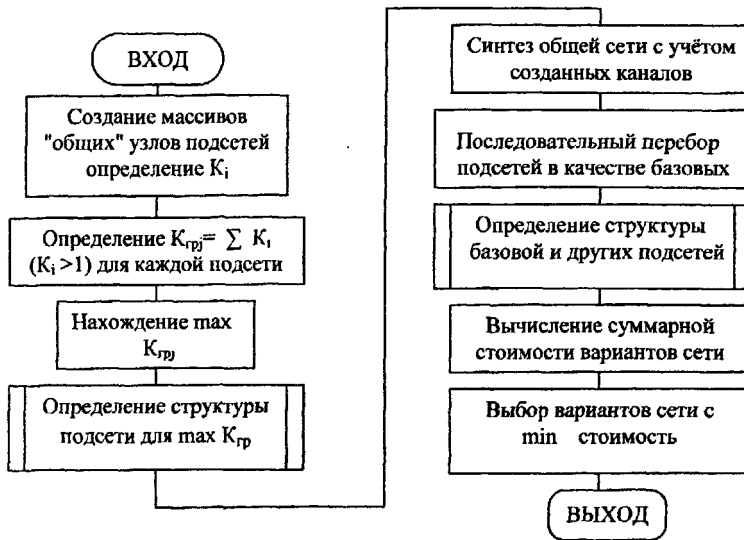


Рис. 2.

Реализован алгоритм расчёта оптимальной структуры на основе вычисления и сравнения коэффициентов группирования подсетей. На начальном этапе известны координаты узлов отдельных подсетей и матрицы их связности. На основании этих данных выделяются узлы сети, общие для нескольких подсетей. Определяются коэффициенты группирования K_i , отражающие степень использования одного узла i в разных подсетях: $K_i = i \times n_i$, где n_i - количество подсетей, в которые входит узел i . Определяется суммарный коэффициент группирования для каждой j подсети:

$$K_{грп} = \sum_{i=1}^{N_j} K_i, \text{ для } K_i > 1$$

где N_j - количество узлов в j подсети, которые используются также в других подсетях.

Выполнение условия $K > 1$ позволяет уменьшить влияние подсетей большей размерности с преобладанием собственных узлов. Вычисляемый коэффициент отражает

степень использования узлов каждой из подсетей в различных сетевых структурах заданной конфигурации.

В ходе определения оптимальной топологической структуры предложенными методами учитываются необходимые параметры проектируемой сети и стоимости её структурных элементов, а также вводимые ограничения на различных этапах проектирования. В процессе исследования получены результаты, доказывающие эффективность применяемых в перспективных моделях решений по оптимизации структуры сети связи.

В третьей главе "Исследование моделей проводных сетей с учётом технологических сигналов" рассматриваются различные параметры сети как критерии оптимизации прокладки трасс технологических сигналов в сети.

В качестве технологических сигналов (ТС) в работе рассматриваются сигналы, обеспечивающие функционирование системы связи и передаваемые по кабельным линиям в сети совместно с информационными. В результате кабельная ёмкость соединительных линий сети используется для передачи служебной информации, помеховых сигналов, необходимых для обеспечения надёжного функционирования системы связи, обеспечения защиты информационного обмена. Для ведомственных сетей это в первую очередь сигналы, обеспечивающие активную защиту передаваемой по сети информации (зашумление).

При проектировании структуры сети связи на определение мест установки источников технологических сигналов и трасс прокладки линий ТС необходимо обращать серьёзное внимание, поскольку общая канальная емкость, используемая сигналами, не несущими полезную информационную нагрузку, может занимать значительные объёмы.

Предложена математическая модель исследования сети с расположенными в её узлах источниками технологических сигналов и различные варианты представления критериев оптимизации. Для решения задачи определения общей длины трассы ТС (\vec{L}) используется операция умножения вектора трассы ТС (\vec{T}) на матрицу связности (\vec{A}'):

$$\vec{L}^* = \vec{A}' \times \vec{T}$$

т.е. двумерная квадратная матрица со стороной n элементов умножается на одномерный вектор длиной также n элементов.

Для получения конечной длины трассы прокладки ТС необходимо следующее преобразование: умножение полученного вектора $\overline{L^*}$ на вектор \overline{T} . В результате имеем произведение одномерных векторов. Скалярная величина вычисляется по формуле:

$$L^{**} = \sum_{i=1}^n l_i \times t_i, \text{ где } i - \text{ порядковый номер элементов в векторах } \overline{L^*} \text{ и } \overline{T}.$$

В ходе анализа было обращено внимание на необходимость размещения централизованной системы контроля и управления в распределённой сети передачи данных на её функциональных и структурных элементах. Отмечено, что задачи системы управления и контроля кроме функционального разделения на группы делятся и по уровням иерархической организации структуры сети связи.

В работе представлены некоторые наиболее существенные параметры сети, которые можно использовать в процессе анализа как критерии оценки оптимальности прокладки и размещения источников технологических сигналов в сети:

1. Соотношение количества информационных и технологических сигналов в соединительных кабелях системы связи - самый важный параметр. При проектировании топологии сети в каждом кабеле закладывается определённый резерв канальной ёмкости. Суммарное количество ТС, проходящих через этот кабель, может превысить как количество свободных жил, так и ёмкость кабеля.

2. Средняя длина трассы технологического сигнала. Источники ТС имеют конечную мощность, определяющую в конечном итоге ограничение длины трассы технологического сигнала. В целях усовершенствования режимов работы источника ТС на отдельном узле и в целом по сети имеет смысл ввести интегральный показатель в виде суммы физических длин трасс (средней длины).

3. Количество дополнительных ТС, проведенных для контроля кабелей магистралей. Магистральные кабели могут контролироваться за счёт ТС, которые проходят в них от распределительных сетей узлов, поэтому необходимо обратить внимание, в первую очередь, на контроль распределительных сетей узлов. Количество дополнительно проведенных трасс ТС для контроля магистральных кабелей может служить показателем того, насколько удачно выбраны трассы прокладки ТС от абонентских распределительных сетей узлов.

4. Соотношение свободных и занятых источников ТС в местах их установки. Перед проектировщиком ставится задача, не только максимально задействовать

имеющиеся возможности источников ТС, но и наиболее плавно распределить нагрузку между узлами, на которых установлены источники ТС. Один из возможных параметров равномерности распределения нагрузки может служить соотношение числа занятых и свободных источников ТС, установленных в узлах.

5. Общее число магистральных кабелей, оставшихся без достаточного контроля.

6. Общее количество источников ТС, обеспечивающих контроль и управление сетью передачи данных. Очевидно, что при оптимизации по данному параметру необходимо искать минимум функции суммы всех источников ТС.

7. Среднее количество транзитных узлов. Данный показатель является одним из ключевых в вопросе оптимизации в случае наличия переменных мест установки источников ТС. Однако при фиксированных местах установки источников технологических сигналов данный параметр не может служить средством оценки.

Проведен анализ и определены правила прокладки технологических сигналов в сети, исходящие из того, что сигналы зашумления должны полностью перекрывать как магистральные, так и абонентские участки системы связи.

Показана возможность оценки сети связи с точки зрения эффективности и прокладки трасс технологических сигналов, выраженная через различные математические представления критериев оптимизации. Рассмотрен процесс формирования физических показателей из исходных данных сети.

Приведен практический пример выражения критериев оптимизации из исходных данных и расчета суммарной длины трассы ТС, коэффициентов магистральной загруженности трасс технологическими сигналами, числа дополнительно проведённых ТС. На данном примере рассмотрены различия и особенности в выборе варианта прокладки трассы технологического сигнала в зависимости от выбранного критерия оптимизации.

Пример, показывающий как технологические сигналы уменьшают общую канальную емкость соединительных линий сети, изображённой на рисунке № 3, представлен в таблицах 1 и 2. На рисунке узлы представлены в виде окружностей с номером в центре, в узле №9 установлен генератор технологических сигналов.

Соединительные линии представлены отрезками, информационная ёмкость участков и количество необходимых для их контроля технологических сигналов представлены в таблице № 1, а также на рисунке. Пунктирными линиями на рисунке

показан один из вариантов прокладки трассы контроля узла №4 (матрица-вектор трассы ТС имеет вид: $\bar{T} = \{0111010010\}$). Всего таких вариантов два, если в качестве ограничения выступает наименьшее количество транзитных узлов в трассе ТС.

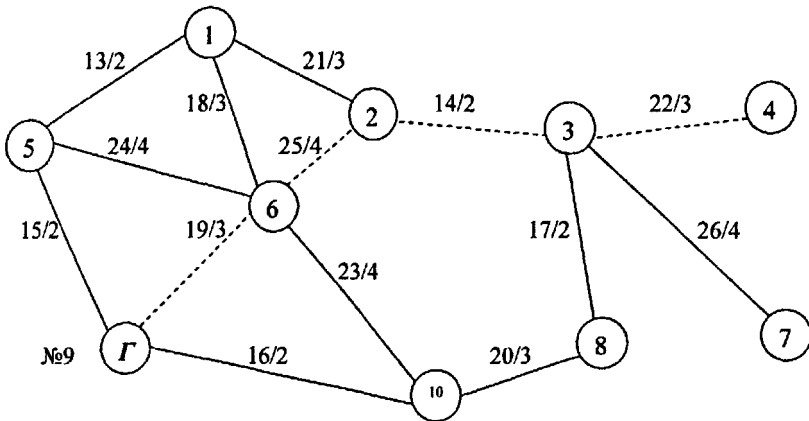


Рис. 3.

Участок	1-2	1-5	1-6	2-3	2-6	3-4	3-7	3-8	5-6	6-10	9-5	9-6	9-10	8-10
Ёмкость	21	13	18	14	25	22	26	17	24	23	15	19	16	20
Необходимо ТС	3	2	3	2	4	3	4	2	4	4	2	3	2	3

Табл. 1.

Комбинации вариантов прокладки ТС контроля всех узлов сети	Коэффициент магистральной загруженности соединительных линий сети технологическими сигналами (источник в узле № 9)					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	
1	112111111	5 участков	5 участков	3 участка	2 участка	Нет участков
2	111121111	5 участков	5 участков	3 участка	3 участка	Нет участков
3	111111211	7 участков	4 участка	3 участка	2 участка	Нет участков
4	211211111	4 участка	4 участка	3 участка	3 участка	1 участок
5	211111211	6 участков	3 участка	3 участка	2 участка	Нет участков

Табл. 2.

В таблице № 2 представлены пять оптимальных комбинаций прокладки трассы ТС контроля всех узлов сети, выбранных с точки зрения минимального количества магистралей сети (участков между узлами), превысивших коэффициент загруженности технологическими сигналами.

Анализируя представленные результаты исследования можно сделать вывод о том, что с точки зрения наименьшего количества участков сети, превысивших контрольные значения загрузки соединительных линий технологическими сигналами, предпочтительнее комбинация № 5, в которой узлы № 1, 7 контролируются вариантами №2 трассы контроля ТС, узлы № 2,3,4,5,6,8,9,10 - вариантами № 1.

Сделан вывод о том, что окончательное решение о маршруте прокладки технологических сигналов необходимо принимать после применения нескольких критериев оптимизации трасс прокладки ТС и в конечном итоге зависит от требований, предъявляемых к системе контроля.

Анализ полученных результатов показал, что все параметры в отдельности косвенно зависят друг от друга и связаны сложной зависимостью, которая не поддаётся математическому описанию. Однако зависимость всех показателей от одного входного параметра можно предсказать. Этот параметр - общее количество источников технологических сигналов, необходимых для контроля распределительных абонентских сетей каждого из узлов.

Реализована модель расчёта оптимального количества и мест расположения источников технологических сигналов в сети. В данной модели расчёт производился с учётом следующих ограничений: проектировщиком задаются различные параметры затухания технологического сигнала на линии связи и различные значения загрузки общей канальной ёмкости соединительной линии технологическими сигналами.

Рассмотрены требования к узлам сети связи, в которых планируется размещение пунктов управления и контроля различных уровней иерархии территориально-организационного деления структуры сети. Обращено внимание на необходимость применения методов, которые могут использоваться для обеспечения живучести центров управления сети. На всех этапах проектирования методы повышения живучести системы должны учитываться так же, как и основные технические решения, необходимые для обеспечения заданного функционирования системы.

В четвёртой главе "Проектирование местных и узловых проводных сетей передачи данных" определены основные задачи проектирования сетей абонентского кабеля и определения оптимальных размеров подрайонов подключения в зависимости от плотности размещения абонентов на территории района подключения.

Отмечены принципиально различные методические подходы, характеризующие существующие разработки оптимальной структуры сетей абонентского доступа. В настоящее время для сетей абонентского кабеля созданы две модели: модель прямоугольного и секторного подрайонов подключения (ПРП). В них используются следующие предпосылки и допущения:

1. Модель прямоугольного района подключения характеризуется:

- ортогональной прокладкой трасс питающего кабеля;
- прямоугольными подрайонами подключения и однородной плотностью линий.

Эта модель учитывает, прежде всего, старые способы застройки в крупных городах и отличается сравнительно простыми вычислениями.

2. Модель секторного района подключения характеризуется:

- радиальной прокладкой трасс питающего кабеля;
- трапециевидными формами подрайонов подключения;
- любыми (в том числе разнородными) плотностями линий.

Эта модель возникла в результате анализа сетей абонентского кабеля в малых городах и позволяет учитывать преобладающую в них неоднородную плотность линий.

Для определения оптимальных размеров подрайонов подключения автор исходил из общего уравнения затрат на распределительный кабель, кабельный распределительный шкаф и питающий кабель некоторого подрайона подключения.

Исследованы основные модели определения оптимальных размеров подрайонов подключения абонентского кабеля в соответствии с плотностью размещения абонентов. Реализован алгоритм определения оптимального размера прямоугольного подрайона подключения, в котором учтены современные параметры стоимости линейно-кабельного оборудования, линейные размеры и ёмкостные параметры соединительных линий абонентского доступа. По сравнению с известными методами, рассмотренными Р. Бесслером, А. Дойчем и другими, предложен следующий вариант определения оптимального размера ПРП, учитывающий особенность ведомственных сетей связи, которая заключается в том, что количество абонентов ПРП относительно невелико.

Если принять число пар жил кабеля в одном ПРП $p = \frac{L_1 L_2}{n_1 n_2} g$, где n_1, n_2 - число разбиений РП по вертикали и горизонтали соответственно ($n_1 \geq 2, n_2 \geq 2$);

$L_1=l_1 n_1$; $L_2=l_2 n_2$ – размеры района подключения; l_1 l_2 – размеры ПРП, g – плотность абонентов, то стоимость одной ветки питающего кабеля:

$$K_p = \left(\alpha + \beta p \times \frac{n_1}{2} \right) \times \frac{l_1}{4} + \left(\alpha + \beta p \times \left(\frac{n_1}{2} - 1 \right) \right) \times l_1 + \left(\alpha + \beta p \left(\frac{n_1}{2} - 2 \right) \right) \times l_1 + \dots + \left(\alpha + \beta p \times 1 \right) \times l_1 =$$

$$\left(\alpha + \beta p \times \frac{n_1}{2} \right) \times \frac{l_1}{4} + \left(\alpha + \beta p \times \left(\frac{n_1}{2} - 1 \right) + \alpha + \beta p \times 1 \right) \times l_1 \times \frac{\left(\frac{n_1}{2} - 1 \right)}{2} =$$

$$K_p = \left(\alpha + \beta p \times \frac{n_1}{2} \right) \times \frac{l_1}{4} + \alpha \times l_1 \times \left(\frac{n_1}{2} - 1 \right) + \beta p \times \frac{n_1}{2} \times l_1 \times \frac{\left(\frac{n_1}{2} - 1 \right)}{2},$$

где α – постоянная часть стоимости кабеля и работ по прокладке трассы;

β – зависящая от ёмкости часть стоимости кабеля;

p – количество пар жил распределительного (питающего) кабеля;

L – длина прассы кабеля,

число веток $N=2 \times n_2$, поэтому стоимость всех ветвей $K_{p,общ} = N \times K_p$.

Следующая составляющая стоимости – стоимость распределительных шкафов, поскольку шкафы устанавливаются в каждом ПРП:

$$K_{ш} = (\alpha_{ш} + \beta_{ш} \times p) \times n_1 \times n_2.$$

Стоимость распределительного кабеля в ПРП, если принять, что участок кабеля прокладывается вдоль большей стороны ПРП, а затем от него отводятся подводящие кабели к разветвителю – подсчитывается следующим образом:

$$K_{np} = n_1 \times n_2 \times (p/2 \varepsilon \times \min(l_1, l_2) \times \alpha_n + (\alpha_n + \beta_{ш} \times p) \times \max(l_1, l_2)),$$

где число оконечных разветвителей в ПРП равно p/ε (ε – среднее количество пар жил в распределительном кабеле на каждый оконечный разветвитель).

Таким образом, общая стоимость района подключения будет равна:

$$K_{общ} = K_{p,общ} + K_{ш} + K_{np}$$

Данная сумма вычисляется для различных l_1 и l_2 и находится минимум, учитывая ограничения на минимальную ёмкость распределительного шкафа и размеры ПРП.

На основании результатов выработаны рекомендации для более эффективного применения рассмотренных моделей.

Реализованы алгоритмы различных методов определения потребности в путях передачи (перспективных значений нагрузок) между различными районами подключения (РП) зоны местной сети абонентского доступа. Методы определения

потребностей различались по критериям вводимых при расчетах параметров нагрузки, создаваемой конечными коммутационными устройствами.

Заинтересованность в телефонном обмене в зоне местной сети, выраженная заданными значениями нагрузки и направлениями связи является основанием для определения потребности в путях передачи. В настоящее время оказались применимы три принципиально различных подхода:

1. Исходя из гипотезы об изменении средней нагрузки между абонентами двух РП можно вычислить будущую нагрузку, при неизменных РП. При появлении новых РП или изменении их прежних границ следует произвести перерасчёт значений нагрузки, рассчитанных для остающихся неизменными районов подключения.

2. По существующим в настоящее время потокам нагрузки можно определить нормированные коэффициенты телефонного тяготения, с помощью которых можно дать общую оценку коэффициента тяготения в зависимости от удалённости абонентов.

3. Предполагая увеличение среднего значения местной нагрузки на абонента, можно сначала определить общее увеличение местной нагрузки в РП. Используя другое предположение, основанное на характере предыдущего развития сети связи и предполагаемой доле внутренней нагрузки, можно рассчитать её абсолютное значение.

Произведён сравнительный анализ трёх рассмотренных методов, выработаны рекомендации.

Для определения эффективности прокладки соединительных линий местной кабельной сети реализован алгоритм, использующий критерий модифицированной длины, включающий в себя основные параметры стоимости канала, плотности узлов в сети, а также степень трудности прокладки трасс и количество путей передачи.

Сделан вывод о том, что при рассмотрении зависимости стоимости зон местной сети от различных параметров стоимости её структурных элементов и количества районов подключения определение оптимального количества районов подключения - сложная комплексная задача.

Для решения вопроса о месте размещения сетевого узла абонентского кабеля предложен и реализован модифицированный метод Лагранжа, позволяющий определить квадрат размещения сетевого узла с учётом влияния координат места расположения центра коммутации сети, а также особенности ведомственных сетей нижнего уровня, упоминавшейся ранее. Получены результаты и сделаны выводы по проектированию.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Общим результатом работы является сформулированная концепция применения перспективных методов определения оптимальной топологической структуры сети передачи данных, основанная на эвристических приёмах. При решении данной проблемы получены следующие основные результаты:

1. Реализованы алгоритмы определения оптимальной структуры сети связи и оптимизации её с использованием концентраторов, в том числе, когда несколькими подсетями используются единые каналы первичной сети.

2. Рассмотрены различные параметры сети как критерии оптимизации прокладки трасс технологических сигналов контроля сети, реализован алгоритм определения оптимального количества и мест размещения источников технологических сигналов.

3. Реализован эвристический алгоритм определения оптимальных размеров прямоугольного подрайона подключения с учётом современных параметров стоимости элементов сети абонентского доступа.

В ходе исследования сетей передачи данных автором применялся системный подход. Анализируя полученные результаты топологического проектирования можно сделать следующие выводы:

1. Точное и целостное решение задачи анализа для реальных топологий с большим количеством взаимодействующих узлов затруднительно из-за громоздкости вычислений. Необходимо применение подхода, направленного на отыскание приближённых методов, позволяющих решить проблему с приемлемыми для практических целей точностью и затратами машинного времени.

2. Для успешного решения проблемы синтеза оптимальной структуры системы передачи данных необходима разработка соответствующего математического обеспечения такого проектирования, основу которого должны составлять проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ, обеспечивающие поэтапное решение общей задачи определения оптимальной топологической структуры.

Применение реализованных в ходе научного исследования моделей и методов определения оптимальной топологической структуры сети на практике показали преимущества и эффективность заложенных в них алгоритмов и решений по сравнению с разработками, существующими в данной предметной области в настоящее время.

1. Кривоносов Д.М., Земцов А.Н. Импационная модель проектирования топологических структур сетей / Прогрессивные технологии в обучении и производстве. Материалы Всероссийской конференции, г. Камышин, 24-27 апреля 2002г. - Волгоград. 2002: Изд-во Волгоградского технического университета, 2002. - С. 133.

2. Кривоносов Д.М. Методы проектирования распределённых сетей связи, характеристика новых задач по совершенствованию топологической структуры городской сети / Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии: Межвузовский сборник научных трудов. - Волгоград: Изд-во РПК "Политехник", 2002. - С.130-136.

3. Лукьянов В.С., Кривоносов Д.М. Модели топологических структур сетей Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе. Материалы XXX юбилейной международной конференции и I международной конференции молодых учёных, 19-28 мая 2003. - Гурзуф: Изд-во Запорожского государственного университета, 2003. - С. 179.

4. Лукьянов В.С., Кривоносов Д.М. Модели концептуального проектирования топологических структур сетей связи / Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологии. / Материалы Международной научно-технической конференции и Российской научной школы. Часть 3. Том №1, 1-12 октября 2003.- М: Изд-во Радио и связь, 2003.- С.11.

5. Кривоносов Д.М. Метод проектирования структуры сетей связи с концентраторами / Известия ВолГТУ. Серия "Концептуальное проектирование в образовании, технике и технологии". Межвузовский сборник научных статей. - Волгоград: Изд-во РПК "Политехник", 2004. - С. 81-85.

6. Кривоносов Д.М., Лукьянов В.С., Палашевский А.В. Особенности проектирования ведомственных сетей нижнего уровня / Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Материалы II международной конференции молодых учёных, 19-28 мая 2004. - Гурзуф.

Соискатель _____ Д. М. Кривоносов

Подписано в печать 22.11 2004 г. Заказ № 43 и, р а ж 100 экз. Печ. л. 1,0.
Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Типография «Политехник»
Волгоградского государственного технического университета.

400131, Волгоград, ул. Советская,35