

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ УКРАИНЫ
УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ
ИМ.А.С.ПОПОВА

На правах рукописи

УДК 621.391.24; 621.391.252;
621.395.38; 681.324

МАМЕДОВ ФАМИЛ ГУСЕЙН оглы

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Специальности : 05.12.14 - Теория телекоммуникаций
05.12.02 - Телекоммуникационные системы
и управление ими

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Одесса - 1996

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00740512 (J)

МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ УКРАИНЫ
УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ
ИМ.А.С.ПОПОВА

На правах рукописи

УДК 621.391.24; 621.391.252;
621.395.38; 681.324

МАМЕДОВ ФАМИЛ ГУСЕЙН оглы

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Специальности : 05.12.14 - Теория телекоммуникаций
05.12.02 - Телекоммуникационные системы
и управление ими

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Одесса - 1996

2
Работа выполнена в Азербайджанском Техническом Университете

Научные консультанты: академик МАИ, профессор, доктор техн. наук,
Чугреев О.С.;
академик МАИ, профессор, доктор техн. наук,
Захарченко Н.В.

Официальные оппоненты: Лауреат государственной премии СССР,
докт. техн. наук, профессор, Александров А.М.;
Заслуженный деятель науки и техники Украины,
академик академии связи Украины, Лауреат государственной премии Украины, докт. техн. наук,
профессор Стеклов В.К.
профессор, доктор техн. наук Яновский Г.Г.

Ведущее предприятие: институт кибернетики им.В.М.Глушкова,
НАН Украины, г.Киев

Защита состоится "13" 06 1996 г. в "10⁰⁰" часов на заседании специализированного совета Д 05.18.01 в Украинской государственной академии связи им.А.С.Попова по адресу 270021, г.Одесса, ул.Челюскинцев, д.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УГАС им.А.С.Попова.

Автореферат разослан "6" мая 1996 г.

И.В. Стефанюк
АН України

Ученый секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук, доцент

Н.А.Солоп

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современный этап научно - технического прогресса позволяет создать современную информационную инфраструктуру общества, базирующуюся на передовой компьютерной технологии и средствах коммуникации, объединяющих в единое целое разнородные распределенные системы обработки, сбора и передачи информации. Создание такой инфраструктуры имеет особое значение в условиях развития рыночной экономики и государственной независимости, а также вхождения в мировое информационное сообщество. Такая инфраструктура общества, создание которой предполагается в ближайшем будущем, позволит иметь информацию о потенциале всех сфер ее народного хозяйства, представлять ее в пользование мирового сообщества и использовать имеющийся во всем мире информационный потенциал в интересах собственного народа.

Распределенные телекоммуникационные системы РТС в составе своей физической структуры содержат абонентские сети АС, подсистемы управления ПУ, узлы связи УС и другие компоненты. Удельный вес указанных подсистем в РТС достаточно велик и от их структуры существенно зависит экономическая эффективность телекоммуникаций. Представителями РТС в настоящее время являются сети телеграфной и компьютерной связи, цифровые сети с интеграцией служб и др.

Возрастание объема обрабатываемой и передаваемой информации в РТС требует создания для них высокопроизводительных АС, ПУ и УС. Поэтому основное предложение в работе заключается в реализации указанных подсистем РТС на новой системной элементной базе - локальных сетях ЛС.

В работе поддерживается новая концепция электронного программного менеджмента в РТС вместо существующей полуавтоматизированной системы управления, основанной на производственной связи. Многообразие функций менеджмента приводит их к интеграции, для реализации которой необходимы неоднородные коммуникационные платформы с повышенной пропускной способностью. Последние, реализованные на локальных сетях, являются предметом исследования, развития и проектирования в данной работе.

Существующие локальные сети, методы их расчета и проектирования не ориентированы на предметную область управления РТС. Так известные сети "EtherNet" и "ArcNet" по существу являются ядром стандарта MAP/TOP, разработанного для производственно - учрежденческих однородных сетей. Для управления РТС нужны новые локальные коммуникационные платформы для обмена неоднородной информацией.

Развитие областей приложения ЛС на сегодняшний день определяется исследованиями по разработке их архитектуры, протоколов управления и программного обеспечения. В настоящее время наблюдается отставание в сфере приложений ЛС, так как такие направления новой информационной технологии, как распределенные базы данных, базы знаний и системы принятия решений все еще не реализуются на технологии локальных сетей. Остаются без внимания вопросы создания распределенных систем управления узлами связи, узлами объектовой связи, системами централизованной технической эксплуатации городской телефонной сети и др.

Настоящая диссертационная работа посвящена решению актуальной и перспективной проблемы — исследованию и созданию высокопроизводительных локальных сетей, нашедших разрешение в разработке базовой универсальной модели и вероятностно-временных характеристик, конструировании на этой основе модели ЛС с конкретными протоколами, проведении их анализа и оптимизации.

Объектом исследования являются локальные сети, АС, ПУ и УС распределенных телекоммуникационных систем.

Предметом исследования являются математические модели и методы проектирования однородных моноканальных и неоднородных по различным признакам локальных сетей с различными методами доступа и протоколами управления.

Цель работы. Основной целью диссертационной работы является разработка моделей и методов расчета однородных моноканальных и неоднородных ЛС с повышенной пропускной способностью, развитие основ теории локальных сетей, разработка методов их проектирования.

Состояние проблемы и задачи исследования. В настоящее время имеются работы ученых стран СНГ и зарубежных авторов, посвященные проблемам развития теории локальных сетей. Среди них можно выделить работы Г.П.Захарова, А.М.Александрова, Э.А.Якубайтиса, В.К.Стеклова, А.М.Лучука, О.С.Чугреева, Н.В.Захарченко, Г.П.Башарина, Л.Б.Богуславского, С.И.Самойленко, В.А.Ефимушкина, А.В.Андреева, Г.Г.Яновского, А.В.Суздалева, W.Bux, M.Sidi, A.Segall, A.J.Konheim, B.Meister и других авторов. В этих работах рассматриваются принципы построения, вопросы протокольного обеспечения и моделирования локальных сетей. Однако, в них имеются существенные пробелы в моделировании, методах расчета и проектировании ЛС. При моделировании используется ограниченное число методов доступа и протоколов управления. Недостаточное внимание уделено разработкам моделей и методов расчета неоднородных локальных сетей. В

недостаточной степени отражены вопросы имитационного моделирования, методика оптимизации параметров и структуры однородных и неоднородных локальных сетей. В настоящее время известны методы расчета локальных сетей раздельно в непрерывном и дискретном времени. Реальные системы часто являются комбинированными: сообщения поступают в систему в непрерывном времени, а их обработка внутри нее осуществляется цифровыми процессорными устройствами в дискретном времени. В работе впервые используются для исследования локальных сетей комбинированные стохастические системы.

В соответствии с указанной целью в данной работе поставлены и решены следующие основные задачи :

разработка моделей и методов проектирования однородных моноканальных и неоднородных по различным признакам локальных сетей с повышенной пропускной способностью;

разработка моделей и методов расчета вероятностно - временных характеристик ВВХ ЛС с комбинированным доступом, сочетающим различные протоколы доступа;

разработка методов расчета и программного обеспечения ВВХ однородных и неоднородных ЛС с различными методами доступа и протоколами управления логическим каналом;

исследование ВВХ однородных и неоднородных ЛС методами аналитического и имитационного моделирования;

разработка моделей и методов повышения пропускной способности двухполюсных сетей, являющихся частным случаем локальных сетей;

разработка методов оптимизации параметров и структуры однородных и неоднородных ЛС, а также их алгоритмического и программного обеспечения;

внедрение полученных в работе научных результатов в практику проектирования распределенных телекоммуникационных систем и других информационных систем различного назначения.

Методы исследования. Разработка и исследование методов проектирования ЛС базируются на математическом аппарате, сочетающем непрерывное и дискретное время, основанном на преобразовании Лапласа, z - преобразовании, вложенных цепях Маркова, теории массового обслуживания и теории вероятностей, а также на имитационном моделировании. С целью проверки достоверности разработанных аналитических моделей ЛС использованы имитационные модели и приводятся результаты их сравнительного анализа.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, основываются также на измерениях, проведенных при исследовании, административной сети АН Азербайджанской Республики, а также при разработке и создании распределенного узла управления объектовой связью и системы централизованной технической эксплуатации ГТС гор. Ленкорань Азербайджана.

Автор выносит на защиту :

физические структуры подсистем управления распределенными телекоммуникационными системами, базирующихся на новой системной элементной базе - локальных сетях;

алгебраическую модель подсистемы управления распределенными системами;

базовую модель ЛС, впервые сочетающую непрерывное и дискретное время, основанную на преобразовании Лапласа, z-преобразовании и описании протоколов управления ЛС марковскими стохастическими системами;

методы расчета вероятностных, вероятностно - временных и стоимостных характеристик ЛС, основанных на предложенной базовой модели;

проектные процедуры ЛС распределенных систем телекоммуникаций;

аналитические методы в непрерывном и дискретном времени однородных моноканальных ЛС, разработанные для различных методов доступа и протоколов управления логическим каналом;

структуры неоднородных ЛС с повышенной пропускной способностью, обобщенных за счет введения признаков неоднородности;

аналитические модели в дискретном времени неоднородной по различным признакам ЛС, а также типам передаваемой информации;

протокол комбинированного доступа, сочетающий маркерный и синхронно - временной способы доступа, и его аналитические модели в дискретном времени;

методику оптимизации параметров и структуры однородных и неоднородных ЛС, обеспечивающую увеличение их пропускной способности.

Научная новизна диссертационной работы состоит в :

развитии основ теории ЛС и методов их проектирования;

разработке методов исследования стохастических систем, моделирующих информационные процессы в локальных сетях и сочетающих непрерывное и дискретное время;

разработке формализованных моделей и структур управления распределенных систем телекоммуникаций;

введении вероятностных, вероятностно-временных и стоимостных характеристик локальных сетей распределенных телекоммуникационных систем;

обобщении структуры локальных сетей за счет введения признаков неоднородности;

разработке группы базовых моделей, позволивших развить методы оптимизации параметров и структуры локальных сетей с повышенной пропускной способностью;

распространении и развитии методов аналитического и имитационного моделирования на исследование локальных сетей распределенных систем телекоммуникаций.

Практическая ценность, полученных в диссертационной работе результатов, сводится к следующему :

разработаны физические структуры подсистем управления РТС, базирующихся на локальных сетях;

получены аналитические выражения для инженерного расчета вероятностных, вероятностно - временных и стоимостных характеристик однородных и неоднородных ЛС, позволяющие по заданным требованиям выбрать их параметры;

предложен протокол комбинированного доступа станций к каналу локальной сети;

разработано программное обеспечение расчета вероятностно - временных характеристик однородных и неоднородных ЛС с различными методами доступа и управления;

создана методология проектирования локальных сетей распределенных систем телекоммуникаций.

Личный вклад. Все основные результаты получены автором самостоятельно. Их внедрение осуществлялось коллективами разработчиков при непосредственном участии автора либо его руководстве.

Реализация и внедрение результатов работы. Основные результаты диссертационной работы получены в ходе выполнения научно исследовательских работ, проводимых в Азербайджанском Техническом Университете в рамках Государственной целевой научно - технической программы при участии и под руководством автора.

Результаты работы нашли внедрение в :

разработках локальных сетей для объектов связи (НИР "Канал", "Сопряжение - 2", "Локсеть", "Единство", ОКР "Север - 2М" - Россия);

Ленкоранской городской телефонной сети Министерства Связи Азербайджанской Республики;

республиканской информационно - вычислительной сети РАСУ "Азербайджан";

автоматизированной системе обработки информации Академии наук Азербайджана;

НИР и учебном процессе Азербайджанского Технического Университета, о чем имеются соответствующие акты о внедрении.

Экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составляет 17,76 млн. манат уровня цен на 1995 год.

Апробация работы. Теоретические и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 2-м Всесоюзном совещании "Информационные сети и автоматическая коммутация" (Москва, 1973 г.); Всесоюзном совещании по развитию средств автоматической коммутации (Москва, 1973 г.); Украинской научно - технической конференции "Основные направления в развитии радиоэлектроники, вычислительной техники и связи" (Киев, 1973 г.); 29-ой НТК по узловым проблемам радиотехники электроники и связи (Ленинград, 1974 г.); Республиканской НТК "Проблемы передачи данных по проводным каналам связи для обеспечения работы АСУ" (Киев, 1974 г.); Республиканской НТК "Качество и надежность средств связи" (Рига, 1977 г.); Симпозиуме по проблемам управления на сетях и узлах связи (Москва, 1974 г.); Республиканской НТК "Достижения радиотехники, электроники и связи - в народное хозяйство" (Баку, 1981 г.); Всесоюзной НТК "Информационные методы повышения эффективности и качества систем связи и радиоэлектроники" (Москва, 1981 г.); отраслевой НТК промышленности средств связи (Ленинград, 1986 г.); Республиканской НТК "Достижения науки - производству" (Баку, 1988 г.); 1-ой Всесоюзной конференции по информационным системам множественного доступа (Минск, 1989 г.); постоянно действующем семинаре ОП НТОРЭС им.А.С.Попова (Ленинград, 1989 г.); 3-м Всесоюзном совещании по распределенным автоматизированным системам массового обслуживания (Винница, 1990 г.); Республиканской НТК "Первичные преобразователи неэлектрических величин в цифровые коды" (Баку, 1990 г.); 6-ой Белорусской школе - семинаре по теории массового обслуживания "Математические методы исследования сетей связи и сетей ЭВМ" (Минск, 1990 г.); 7-ой Белорусской школе - семинаре "Сети связи и сети ЭВМ" (Гродно, 1990 г.); Международной НТК "Проблемы функционирования информационных сетей" (Новосибирск, 1991 г.); XXI - XXXXIII НТК профессорско-преподавательского состава и аспирантов с

участием представителей производственных, научных и проектных республиканских организаций (Баку, 1971 - 1995 гг); Республиканской НТК “Проблемы функционирования систем радио и электросвязи” (Баку, 1995 г.).

Публикации. Материалы, отражающие основное содержание работы, изложены в 50 печатных работах, в том числе в одной монографии и двух учебных пособиях. Часть результатов отражена в 15 отчетах по 8 НИР, в которых автор являлся научным руководителем темы или соответствующего раздела. В прилагаемом списке указано 32 основных публикаций.

Объем работы. Работа содержит 264 страницы текста, 127 рисунков, 7 таблиц и список литературы, включающий 237 наименований.

Работа состоит из введения, 7 разделов, заключения, списка литературы и 21 приложений, содержащих программы, описание алгоритмов, общие характеристики пакетов прикладных программ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется ее цель и основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе рассматривается состояние республиканской сети компьютерной связи, абонентскими системами которой являются автоматизированные системы обработки информации кабинета министров, Госкомэкономплана, Госкомстата, АзНИИНТИ, Госкомприроды и Академии наук. Приведено описание абонентской системы Академии Наук.

Предложена структура технических средств автоматизации пункта управления узлом связи на платформе Novell, используемой с ЛС “EtherNet”, “ArcNet” для сети АН Азербайджана. Разработана физическая структура вынесенной системы управления узлом связи глобальной телекоммуникационной сети. Предложена физическая структура, технические и программные средства распределенного узла объектовой связи. Описывается разработанная автором система централизованной технической эксплуатации СЦТЭ на городской телефонной сети ГТС, построенной на базе ЛС “EtherNet”.

Предложена алгебраическая модель РСТ в виде четверки $W_{ст} = [P_{ст}, R, B, A_{ст}]$, где $P_{ст}$ - множество прикладных процессов предметной области обработки информации; R - множество типов распределенных структур, зависящих от топологии РТС; $A_{ст}$ - множество типов административной системы РТС; множество протоколов представлено в виде $B = [B_p, X_{эм}]$, где B_p - подмножество протоколов прикладных процессов, $X_{эм}$ - подмножество протоколов ЭМВОС, поддерживающих B_p . В эталонной модели выделены две платформы : типа В

с множеством протоколов X_B и типа Н с множеством протоколов X_H так, что $X_{3M} = [X_B, X_H]$. В платформу типа В входят 4 - 7 уровни ЭМВОС, а типа Н - 1 - 3 уровни.

Введенную модель при воздействии на нее внешней среды, $U_{он}$ можно оценивать множеством $V_{ст}$ характеристик. При этом $V_{ст} = [V_{р,ст}, V_{3M}]$, $V_{3M} = [V_H, V_B]$ где $V_{р,ст}$ - множество характеристик прикладных процессов обработки информации, V_{3M} - множество характеристик ЭМВОС, V_B - множество характеристик платформы типа В и V_H типа Н. В качестве характеристик, входящих в $V_{ст}$, можно использовать, степень распределенности РТС, сложность предметной области, вероятностные, вероятно - временные, стоимостные и надежность характеристики.

Процесс управления в сетях связи реализуется на платформе прикладных процессов с учетом основных функций: планирование связи, оперативное управление, техническое управление, технологическое управление, учет вызовов, контроль характеристик, формирование документов и выработка принятия решений. Указанная платформа поддерживается эталонной моделью взаимодействия открытых систем.

Введена алгебраическая модель распределенной подсистемы управления РТС в виде $W_{yc} = [P_{yc}, R, B, A_{yc}]$, где P_{yc} - множество процессов управления связью, A_{yc} - множество типов административной системы РТС. Введенную модель при воздействии на нее внешней среды, как и в РТС, можно оценивать множеством характеристик, т.е. $V_{yc} = [V_{р,yc}, V_{3M}]$, где $V_{р,yc}$ - множество характеристик процессов управления связью. Для ПУ введены характеристики, аналогичные введенным выше.

Если при проектировании распределенных систем или ее отдельных компонентов должны учитываться входящие в V_{3M} вероятностные и вероятно - временные характеристики (это условие на практике всегда задается заказчиком), то приходится оценивать время реализации соединений, обеспечиваемые протоколами или совокупностью протоколов, поддерживающие эти соединения.

Нижняя платформа Н находится под воздействием потока от источников установления соединения, интенсивность которого определяется интенсивностями потоков двух лежащих выше платформ, откуда следует, что она должна обладать высокой производительностью. Платформа типа Н является наиболее "уязвимой" платформой среди указанных выше. Погрешность в ее проектировании существенно влияет на характеристики всех РТС, АС, ПУ и УС, особенно на характеристики прикладных процессов.

В диссертационной работе объектом исследования является платформа типа Н. При этом разработанные в диссертации модели и методы проектирования могут быть применены и для других слоев протокольной структуры РТС.

Обобщена структура неоднородной локальной сети НЛС, которая представлена в виде вектора $W=[W_1, \dots, W_j, \dots, W_J]$, $j=\overline{1, J}$, где подвектор $W_j=[Y_j, X_j, \mathcal{E}_j, A_j]$, $j=\overline{1, J}$, отображает структуру j-ой подсети НЛС, Y_j - топологической структуры, A_j - тип административной системы управления j-ой подсети, \mathcal{E}_j - тип элементной базы, X_j - тип протоколов. При построении системной математической модели осуществлен переход к ее макромодели со структурой W , имеющей вход U и выход V , $U=[U_1, \dots, U_j, \dots, U_J]$, $j=\overline{1, J}$. Компонента U_j связана с задаваемым для j-ой подсети рядом $f_{aj}(n_{aj})$ распределения интервалов n_{aj} между поступающими сообщениями, их интенсивностью λ_j , длиной k_j сообщений j-го типа, координатами размещения абонентов j-ой подсети на территории объекта и др. Выход $V=[V_1, \dots, V_j, \dots, V_J]$ отражает вероятностные, вероятностно - временные и стоимостные характеристики j-ой подсети НЛС. В моноканальной НЛС используется единая топологическая структура $Y_j=Y_1=Y$, одинаковая элементная база $\mathcal{E}_j=\mathcal{E}$ и административная система $A_j=A$ одного типа.

Для платформы Н введен $X_j=[x_{j1c}, x_{j1ф}, x_{j2л}, x_{j2л}]$, $j=\overline{1, J}$, где x_{j1c} отображает тип среды передачи, $x_{j1ф}$ - тип физического уровня, определяющего скорость передачи в среде, $x_{j2л}$ - тип протокола подуровня доступа, $x_{j2л}$ - тип протокола подуровня управления логическим каналом.

Разработана базовая модель однородных локальных сетей в непрерывном времени, основанная на преобразовании Лапласа и z-преобразовании, учитывающая программную структуру протоколов нижней платформы и интерференцию станций пользователей. В основе ее лежит одноканальная стохастическая система с пуассоновским входящим потоком и обслуживанием общего вида в дискретном времени, зависящим от параметров нагрузки и сети. Процесс пребывания заявки в очереди рассматривается в непрерывном времени, а ее обслуживание в дискретном времени. Показано, что преобразование Лапласа плотности распределения п.Л.п.р. времени задержки сообщения имеет вид

$$f_q(s) = f_i(0)(g_p(s)(\lambda - s) - \lambda g_p(s)) / (\lambda - s - \lambda g_p(s)), f_i(0) = 1 - \rho, \rho < 0. \quad (1)$$

В отличие от известных приведенное выражение учитывает обслуживание пакета, взятого из занятого и пустого буфера, с

соответствующими п.л.п.р. $g_p(s)$ и $g_{\bar{p}}(s)$. Последние определяются через z -преобразование ряда распределения z -п.р. интервалов обслуживания $g_{\ominus}(z)$ и $g_{\bar{\ominus}}(z)$ в дискретном времени сообщений, взятых из занятого и пустого буфера, следующим образом

$$g_p(s) = g_{\ominus}(z) \Big|_{z=c}^{ST}; \quad g_{\bar{p}}(s) = g_{\bar{\ominus}}(z) \Big|_{z=c}^{ST},$$

где s - оператор Лапласа, T - интервал дискретного времени.

С учетом протокола подуровня логического канала имеем

$$g_{\ominus}(z) = g_a(g_{s\ominus}^{-1}(z)); \quad g_{\bar{\ominus}}(z) = g_a(1)(g_{s\bar{\ominus}}(z) - g_{s\ominus}(z)) + g_{s\ominus}(z), \quad (2)$$

где $g_a(z)$ - z -п.р. количества повторных передач указанным выше протоколом и определяется так

$$g_a(z) = \sum_{v=1}^{\infty} g_a(v) z^{-v}, \quad (3)$$

а $g_a(1) = g_a(v) \Big|_{v=1}$ вероятность однократной передачи.

Интервалы однократной передачи, содержащиеся в интервалах обслуживания сообщения, взятых из занятого и пустого буфера, состоят из интервалов доступа и интервала передачи. Тогда

$$g_{s\ominus}(z) = g_{\Delta\ominus}(z) g_n(z); \quad g_{s\bar{\ominus}}(z) = g_{\Delta\bar{\ominus}}(z) g_n(z), \quad (4)$$

где $g_{\Delta\ominus}(z)$ и $g_{\Delta\bar{\ominus}}(z)$ - z -п.р. указанных выше интервалов доступа, а $g_n(z)$ - интервала передачи.

Показано, что

$$g_{\Delta\bar{\ominus}}(z) = (1 - \hat{g}_{\Delta\bar{\ominus}}(z)) / (\hat{g}_{\Delta\bar{\ominus}}(1)(z-1));$$

$$\hat{g}_{\Delta\bar{\ominus}}(z) = g_{\Delta\bar{\ominus}}(z) z^{-n_n}; \quad \hat{g}_{\Delta\bar{\ominus}}(1) = (d/dz^{-1}) \hat{g}_{\Delta\bar{\ominus}}(z) \Big|_{z=1},$$

где n_n - длина интервала передачи.

В (1) ρ - вероятность занятого буфера, которая находится из уравнения интерференции

$$\rho = -\lambda(\rho g'_p(0) + (1-\rho) g'_p(0)); \quad \rho < 1, \quad (5)$$

$$g'_p(0) = (d/ds) g_p(s) \Big|_{s \rightarrow 0}; \quad g'_{\bar{p}}(0) = (d/ds) g_{\bar{p}}(s) \Big|_{s \rightarrow 0},$$

где λ - интенсивность входящего в станции пуассоновского потока сообщений.

Из приведенных соотношений следует, что для конструирования базовой модели однородной локальной сети достаточно определить $g_{\Delta\ominus}(z)$ и $g_a(z)$ которые зависят от конкретных протоколов, подуровней доступа и управления логическим каналом. Интервал передачи определяется длинами полей формата кадра. А скорость передачи в среде указывает на длительность интервала

дискретного времени. Длина канала определяет время пролета кадра в среде, которое является составной частью интервала доступа.

Таким образом, для разработки модели конкретной локальной сети с заданной программной структурой и форматами кадра необходимо на первом этапе найти $g_{ae}(z)$ и $g_a(z)$, а на последующих этапах завершить построение моделей получением (1). Именно с помощью такого алгоритма получены модели для конкретных локальных сетей в разделах 2...6.

Для неоднородной локальной сети получена базовая модель в непрерывном времени, в которой выписаны указанные выше компоненты модели для каждого j -го типа станций сети, где $j = \overline{1, J}$. Так (5) будет представлено системой уравнений интерференции.

В научной литературе в основном применяется упрощенная модель, названная в работе моделью с верхней границей оценки времени задержки. Следовательно, вводится ошибка в расчетах вероятностно - временных характеристик. Такая упрощенная модель получается при замене $g^{\bar{}}(z)$ на $g_e(z)=g(z)$. Возможна другая упрощенная модель, названная в работе моделью с нижней границей оценки времени задержки. Для этого вводится замена $g_e(z)$ на $g^{\bar{}}(z)=g(z)$.

В работе получены базовые модели однородных и неоднородных локальных сетей в дискретном времени указанных выше типов. В основе их лежит одноканальная стохастическая система с входящим потоком Бернулли сообщений на интервале дискретного времени и обслуживанием общего вида, зависящем от параметра нагрузки и сети. Процесс пребывания заявки в очереди рассматривается в дискретном времени.

Впервые предложены: 1) вероятностные характеристики : вероятность необнаруженной ошибки P_{noj} , вероятность стирания P_{cj} и вероятность потерь из - за ограничения емкости буфера P_{nj} для каждого j типа станций; 2) вероятностно - временные характеристики : среднее время t_{cj} задержки, дисперсия D_{cj} времени задержки, вероятность P_{qj} своевременной доставки, информационная R_{cj}^{op} скорость общего пользования, информационная R_{cj}^{pb} скорость реального времени, предельная информационная скорость R_{1j} , информационная скорость R_{2j} по задержке для каждого j -го типа станций; а также средневзвешенное время \bar{t}_{oc} задержки, информационная скорость R_c^{op} общего пользования и реального времени R_c^{pb} , предельная информационная скорость R_{1c} и информационная скорость R_{2c} по задержке сети; 3) стоимостные

характеристики : стоимость c_j каждого j -го типа станций, и приведенные затраты Π_3 сети.

Для указанных характеристик приведены соответствующие им выражения. Так, среднее время задержки сообщения определяется следующим образом

$$\bar{t}_{qj} = -(d/ds)f_{qj}(s) \Big|_{s \rightarrow 0}, \quad (6)$$

где $f_{qj}(s)$ - определяется выражением (1). Вероятность своевременной доставки сообщения

$$\bar{\Pi}_{qj} = f_{qj}(s) \Big|_{s=v}, \quad (7)$$

где v - параметр старения информации. Информационная скорость общего пользования равна

$$R_{cj}^{on} = \lambda_j k_j N_j, \quad j = \overline{1, J}. \quad (8)$$

Информационная скорость реального времени будет

$$R_{cj}^{pb} = R_{cj}^{on} \bar{\Pi}_{qj} \quad (9)$$

Предельная информационная скорость и информационная скорость по задержке соответственно определяется так

$$R_{1j} = k/\bar{t}_{sj}; \quad R_{2j} = k/\bar{t}_{qj}; \quad \bar{t}_{sj} = -(d/ds)g_{pj}(s) \Big|_{s \rightarrow 0}; \quad j = \overline{1, J}, \quad (10)$$

где $g_{pj}(s)$ - определяется приведенными выше выражениями для базовой модели, а k_j - длина информационного поля кадра. Приведенные затраты сети

$$\Pi_3 = E_n \left(\sum_{j=1}^N c_j + b(i, d_m)m \right) + l(\epsilon), \quad (11)$$

где i - тип канала, ϵ - система технического обслуживания, а $l(\epsilon)$ - текущие расходы по содержанию центра по техническому обслуживанию ЦТО станции ϵ -го типа, E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, m - количество подсетей в НЛС.

Сформулированы постановки задач анализа и оптимизации структуры локальных сетей. Разработаны алгоритмы их решения. Для введенной выше макро модели имеет место $V=f(U, W)$. Задача нахождения V отнесена к проектной процедуре анализа структуры локальной сети. Обозначим через W' предъявленное к выбору множество вариантов w структуры W . Тогда постановка задачи двухкритериальной оптимизации структуры неоднородной локальной сети сводится к следующему

$$C(W') = \operatorname{argmin} \Pi_3(w); \quad C(W') = \operatorname{argmin} \bar{t}_{qj}(w), \quad j = \overline{1, J}, w \in W',$$

при ограничениях

$$\bar{\Pi}_{qj}(w) > \bar{\Pi}_{qj,d}; \quad P_{nj} < P_{nj,d}, \quad j = \overline{1, J}; \quad w \in W',$$

где $\bar{P}_{qд}$ и $P_{пд}$ - допустимые значения вероятностей соответственно своевременной доставки и потерь.

Приведены постановки других задач анализа и оптимизации.

Во втором разделе приведены методы анализа и модели в непрерывном времени для локальных сетей с методами доступа, используемыми в стандартах IEEE 802.3, IEEE 802.4 и IEEE 802.5, получившими в настоящее время применение в аппаратуре, имеющейся на телекоммуникационном рынке. Это относится к широко применяющимся сейчас сетям "ArcNet" и "EtherNet".

Разработана модель локальной сети с маркерным доступом, состоящей из N станций, имеющих бесконечную память, на входы которых поступают пуассоновские потоки сообщений с интенсивностью λ , обслуживаемые в дискретном времени с интервалом T . Для устранения ошибок, возникающих при передаче пакетов, используется алгоритм решающей обратной связи с ожиданием РОС-ОЖ.

В этих условиях рассматриваемая сеть может быть представлена упрощенной базовой моделью с верхней границей оценки времени задержки с пуассоновским входящим потоком и обслуживанием общего вида. Показано, что п.л.п.р. интервалов обслуживания заявок, взятых из занятого буфера станций исследуемой сети, соответственно имеют вид

$$g_p(s) = (Q_k g_{sp}(s)) / (1 - P_k g_{sp}(s)), \quad Q_k = (1-p)^{n_k}, \quad P_k = 1 - Q_k,$$

$$g_{sp}(s) = (\rho e^{-sTc_p} + \bar{\rho} e^{-sTc_p})^{N-1} e^{-sTn_p}; \quad \bar{\rho} = 1 - \rho,$$

где P_k - вероятность обнаруживаемых ошибок в кадре, p - вероятность ошибок в биномиальном дискретном канале, c_p , c_p и n_p - параметры протоколов. С использованием (6)...(10) и приведенных выше выражений получены соответствующие соотношения для расчета ВВХ локальных сетей с маркерным доступом. С учетом (1) из замены в нем $g_p(s)$ на $g_p(s)$ получено окончательное выражение для п.л.п.р. времени задержки сообщения $f_{q,н}(s)$.

Предложена модель сети с произвольными протоколами доступа и управления логическим каналом с ненадежной средой передачи в непрерывном времени. Такая сеть смоделирована стохастической системой с пуассоновским входящим потоком и обслуживанием общего вида. Показано, что п.л.п.р. времени задержки имеет вид

$$f_{q,н}(s) = ((1 - \rho)((\lambda - s)h_{\bar{p}}(s) - \lambda h_p(s))) / (\lambda - s - \lambda h_p(s)),$$

$$h_p(s) = g_p(s + c - c\delta(s)); \quad h_{\bar{p}}(s) = g_{\bar{p}}(s + c - c\delta(s)); \quad \delta(s) = d / (d + s),$$

где c - интенсивность отказов канала связи, d - интенсивность его восстановления.

п.Л.п.р. времени задержки сообщения с оценкой по верхней и нижней границам в ЛС с ненадежным каналом связи соответственно имеют вид

$$f_{q,н,вр}(s) = (1 - \rho_{вр})sh_p(s)/(s - \lambda + \lambda h_p(s)); \rho_{вр} = -\lambda h'_p(0); h'_p(0) = (d/ds)h_p(s) \Big|_{s \rightarrow 0};$$

$$f_{q,н,вр}(s) = (1 - \rho_{вр})sh_{\bar{p}}(s)/(s - \lambda + \lambda h_{\bar{p}}(s)); \rho_{вр} = -\lambda h'_{\bar{p}}(0); h'_{\bar{p}}(0) = (d/ds)h_{\bar{p}}(s) \Big|_{s \rightarrow 0}.$$

Определены ВВХ данной сети для модели с оценкой по верхней границе времени задержки. Сравнительный анализ ВВХ ЛС с идеальным и ненадежным каналами связи позволил установить, что среднее время задержки сообщения в ЛС с идеальным каналом связи в 8 раз ниже, чем в ЛС с ненадежным каналом.

Разработана модель локальной сети с методом доступа CSMA/CD, соответствующему стандарту IEEE 802.3. Рассматриваемая сеть включает в себя моноканал и N станций. Для устранения ошибок при передаче пакетов используется алгоритм РОС - ОЖ. Такая сеть смоделирована системой с пуассоновскими входящим потоком и обслуживанием общего вида. Показано, что п.Л.п.р. интервалов обслуживания заявок, взятых из занятого буфера станций сети, имеет вид

$$g_p(s) = Q_k e^{-csT} (e^{-sT} (Q_{M1} (e^{sT} - P_k) + Q_k P_{M1})) / (e^{sT} - P_k (1 - e^{-csT} (Q_{M1} e^{-sT} + Q_k P_{M1} e^{-sT})));$$

$$Q_{M1} = (1 - \rho)^{N-1}; P_{M1} = 1 - Q_{M1},$$

где c и Q_k - параметры протоколов. С учетом (1) и замены в нем $g_p(s)$ на $g_{\bar{p}}(s)$ получим окончательное выражение для п.Л.п.р. времени задержки сообщения $f_{q,вр}(s)$ с оценкой по верхней границе.

В третьем разделе разработаны аналитические и имитационные модели однородных моноканальных локальных сетей, имеющих кольцевую и шинную структуры в дискретном времени, основанные на предложенной базовой модели. Получена модель ЛС с МД, реализующая алгоритм РОС - ОЖ. Такая сеть смоделирована системой $M^2/G^2/1$. Приведены выражения для нахождения z - п.р.р. интервала обслуживания. Для определения ВВХ возникла необходимость решения уравнения интерференции. Оно осуществлено графическим способом и методом Кардано. Показано, что полученные корни методом Кардано совпадают с корнями, полученными графическим способом. С учетом уравнения интерференции определены ВВХ исследуемой сети. По результатам вычислительного эксперимента установлено смещение максимума R_c^{pb} со снижением его по мере увеличения количества станций. Показано, что с ростом длины моноканала величина R_c^{pb} уменьшается. Установлено, что при увеличении скорости V_c передачи максимальное значение R_c^{pb} возрастает нелинейно. Выявлено, что с ростом длины информационного поля кадра значения R_c^{pb} возрастают нелинейно при небольших длинах, а в области значительных информационных полей значения R_c^{pb} стабилизируются и слабо зависят от их длин. Показано, что в высокоскоростных сетях при передаче короткими пакетами R_c^{pb} уменьшается с ростом длины моноканала более

существенно, чем в низкоскоростных, а при передаче длинными пакетами указанное различие не столь существенно.

Предложена модель ЛС в дискретном времени с методом доступа CSMA/CD и алгоритмами ПС и РОС - ОЖ. Получено выражение для нахождения z- п.р.р. интервалов обслуживания для указанных алгоритмов. Определены ВВХ для исследуемой сети. Показано, что с возрастанием количества станций значение R_c^{pb} изменяется нелинейно. На изменение среднего времени задержки в ЛС с методом доступа CSMA/CD и алгоритмами ПС и РОС - ОЖ существенное влияние оказывают количество станций, загрузка сети и длины информационных полей кадров.

Разработана модель в дискретном времени однородной моноканальной ЛС с маркерным доступом с учетом двух опций протокола управления логическим каналом в соответствии с IEEE 802.2: "обслуживание без соединения без подтверждающего ответа" и "обслуживание без соединения с подтверждающим ответом". Найдены z- п.р.р. интервала обслуживания пакета $g_{\Theta 1}(z)$ и $g_{\Theta 2}(z)$ соответственно для указанных опций

$$g_{\Theta 1}(z) = g_{по}(z) g_{п}(z) g_{рк}(z) g_{пм}(z) (\Theta g_{по}(z) g_{рк}(z) g_{пм}(z) + (1-\Theta) g_{пм}(z))^{N-1};$$

$$g_{\Theta 2}(z) = g_{к}(z) g_{кк}(z) g_{пм}(z) (\Theta g_{к}(z) g_{кк}(z) g_{пм}(z) + (1-\Theta) g_{пм}(z))^{N-1};$$

$$g_{по}(z) = z^{-n} z^{+n}_{c \text{ ML}}, g_{п}(z) = z^{-n} z^{+n}_{пк \text{ p}}, g_{рк}(z) = z^{-n} z^{+n}_{c \text{ ML}}, g_{пм}(z) = z^{-n} z^{+n}_{ML \text{ p}},$$

$$g_{к}(z) = z^{-2n} z^{+2n}_{c \text{ ML p}}, g_{кк}(z) = z^{-n} z^{+n}_{пок \text{ пкк} \text{ ркк}}.$$

где $g_{по}(z)$, $g_{п}(z)$, $g_{рк}(z)$ и $g_{пм}(z)$ - z-п.р.р. соответственно интервалов предварительной обработки, передачи, разборки пакета и интервала передачи маркера, n_c - длина блока LCDU, передаваемого сетевым уровнем в тактах T_c , n_{ML} - длина блока LPDU, передаваемого подуровнем LLC в тактах T_c , $n_{пк}$ и n_p - интервалы передачи и распространения кадра по цифровому каналу в тактах T_0 соответственно, $T_0 = 1/V_0$, V_0 - скорость обработки кадра, $n_{пок}$, $n_{пкк}$ и $n_{ркк}$ - интервалы времени соответственно предварительной обработки, передачи и разборки пакета - квитанции. Получено выражение для z - п.р.р. времени задержки при использовании модели верхней границы оценки времени задержки.

Разработана модель сети в дискретном времени с учетом предварительной обработки сообщения на подуровне LLC для указанных опций и алгоритма РОС - ОЖ. Определены вероятностно - временные характеристики для указанных моделей и разработано программное обеспечение их расчета. Показано, что чем больше скорость передачи информации по сравнению со скоростью обработки, тем меньше средняя задержка, больше вероятность своевременной доставки кадра, информационная скорость общего пользования и реального времени.

Произведен сравнительный анализ ВВХ локальной сети с методом доступа CSMA/CD, полученных в результате ее имитационного и аналитического моделирования. Показана адекватность имитационной модели исследуемой сети сравнением результатов ее исследования с результатами аналитического расчета.

В четвертом разделе введен вектор неоднородности $A=[A_{ij}]$, $j=\overline{1,m}$, при помощи которого задается неоднородность исследуемых локальных сетей. Компонентами такого вектора являются коэффициенты неоднородности, определяемые следующими соотношениями

$$A_{1j}=\Lambda_j/\Lambda_1, \Lambda_j=N_j\lambda_j\bar{k}_j; \lambda_j=q_{nj}/T, \Lambda_1=N_1\lambda_1\bar{k}_1; \lambda_1=q_{n1}/T,$$

где Λ_1 и Λ_j - интенсивности входящих потоков сообщений на первую и j -ую подсети, $j=\overline{2,m}$, N_1 и N_j - количество станций в первой и j -й подсети, $j=\overline{2,m}$, λ_1 и λ_j - интенсивности входящих потоков сообщений, поступающих в буферы станций первой и j -й подсети, $j=\overline{2,m}$, \bar{k}_1 и \bar{k}_j - математические ожидания длин информационных полей кадра для станций первой и j -ой подсети, $j=\overline{2,m}$, q_{n1} и q_{nj} - вероятности поступления сообщений на интервале T работы сети в буферы станций первой и j -й подсети, $j=\overline{2,m}$.

Сообщения случайной длины \tilde{k}_j , $j=\overline{1,m}$, в такой сети поступают от абонентов на входы буферов передачи станций j -й подсети синхронно на тактах с интервалом T работы сети; буферы станций имеют бесконечную емкость, дисциплина обслуживания FIFO.

Разработана модель синхронной ЛС, содержащая N коммуникационных станций, подключенных к кольцевому каналу. Полагается, что станции этой сети разделены на две подсети, то есть на две группы станций, различающиеся по интенсивности входящего потока сообщений. Подсеть, на которую поступает меньшая интенсивность входящего потока сообщений, обозначается подсетью 1, а подсеть с большей интенсивностью потока - подсетью 2. Станции в пределах своих подсетей однородны по интенсивности входящего потока сообщений. В этом случае вектор неоднородности A определяется одной компонентой так

$$A_{12}=\Lambda_2/\Lambda_1, \Lambda_1=N_1\lambda_1\bar{k}_1; \Lambda_2=N_2\lambda_2\bar{k}_2; \lambda_1=q_{n1}/T, \lambda_2=q_{n2}/T.$$

Определены z - п.р.р. времени задержки сообщения для станций подсети 1 и подсети 2

$$f_{q1}(z)=\bar{\Theta}_1g_1(z)(1-z)/(1-P_{n1}z-q_{n1}zg_1(z)); p_{n1}=1-q_{n1};$$

$$f_{q2}(z)=\bar{\Theta}_2g_2(z)(1-z)/(1-P_{n2}z-q_{n2}zg_2(z)); p_{n2}=1-q_{n2}.$$

где $\bar{\Theta}_1$ и $\bar{\Theta}_2$ - вероятности пустого буфера станций подсети 1 и подсети 2, $g_1(z)$ и $g_2(z)$ - z -п.р.р. интервала обслуживания заявки в системе абонентов подсети 1 и подсети 2, которые для протокола маркерного доступа при условии, что абоненты сети генерируют сообщения постоянной длины k , равны

$$\begin{aligned} g_1(z) &= Q_{k1} g_{s1}(z) (1 - P_{k1} g_{s1}(z))^{-1}; & p_{k1} &= 1 - Q_{k1}; \\ g_2(z) &= Q_{k2} g_{s2}(z) (1 - P_{k2} g_{s2}(z))^{-1}; & p_{k2} &= 1 - Q_{k2}, \end{aligned} \quad (12)$$

где Q_{k1} и Q_{k2} - вероятность успешной передачи кадра длиной p_{km} бит для станций соответственно подсети 1 и подсети 2, $g_{s1}(z)$ и $g_{s2}(z)$ - z -п.р.р. интервала обслуживания в станциях соответственно подсети 1 и подсети 2 при использовании в них режима однократной передачи.

Определены ВВХ такой сети. Среднее значение задержки сообщения для станций подсети 1 и подсети 2 определяются так

$$\bar{t}_{q1} = (d/dz^{-1}) f_{q1}(z) \Big|_{z=1}; \quad \bar{t}_{q2} = (d/dz^{-1}) f_{q2}(z) \Big|_{z=1}.$$

Найдены вероятности своевременной доставки сообщений для станций подсети 1 и подсети 2, соответствующие информационные скорости общего пользования и реального времени.

В качестве характеристики неоднородной сети использовано также среднесетевое время задержки сообщения

$$\bar{t}_{qc} = (N_1 q_{n1} \bar{t}_{q1} + N_2 q_{n2} \bar{t}_{q2}) / (N_1 q_{n1} + N_2 q_{n2}).$$

Для исследования влияния коэффициентов неоднородности на ВВХ сети произведен вычислительный эксперимент. Установлено, что при низком и среднем уровнях интенсивности входящего потока сообщений на сеть разница между средней задержкой сообщения в неоднородной и однородной ЛС с МД незначительная. Поэтому расчеты ВВХ неоднородной сети целесообразно производить по соотношениям, полученным для однородной ЛС. При высоком уровне интенсивности входящего потока этой разницей пренебречь нельзя, так как разница в средней задержке сообщения в неоднородной ЛС с МД в сравнении с однородной значительна и составляет для станций подсети 1 - 46% при $A_{12}=10$ и 50% при $A_{12}>10$, а для станций подсети 2 она превышает в 6 раз при $A_{12}=20$ и в 7,5 раз при $A_{12}=40$. Следовательно, при расчете такой сети необходимо считать ее как неоднородную и производить расчет ее ВВХ по полученным для нее соотношениям.

Разработана модель ЛС, неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и параметрам распределения длины информационного поля кадра. При этом предполагается, что абоненты подсети 1 генерируют пакеты случайной длины k_1 , распределенной по полиномиальному закону с

параметрами P_i , $i = \overline{1, \xi}$, а для станций подсети 2 она является постоянной величиной k .

Получены выражения для z - п.р. интервала обслуживания кадра случайной длины для станций подсети 1, а также интервала обслуживания кадра постоянной длины для станций подсети 2 при использовании алгоритмов РОС-ОЖ и ПС.

Определены ВВХ рассмотренной сети и разработано программное обеспечение их расчета. Сравнительный анализ ВВХ исследуемой сети показал, что при расчете информационной скорости передачи в сети общего применения для НЛС можно использовать соотношения для расчета ВВХ сети, однородной по длине информационного поля кадра. При этом применительно к неоднородной сети в этих соотношениях следует учитывать математическое ожидание длины информационного поля кадра. При расчете же остальных ВВХ необходимо использовать выражения, полученные для ЛС, неоднородной по параметрам распределения длины информационного поля кадра.

Разработана модель неоднородной локальной сети с МД и ненадежным каналом, определены ВВХ.

Разработана имитационная модель НЛС с МД, позволяющая оценить предположения о независимости поведения станций в сети, введенные при создании аналитических моделей исследуемой сети. Показано, что различие результатов, полученных с помощью аналитической и имитационной моделей, составляет 2 - 18 % для станций подсети 1 и 1 - 19 % для станций подсети 2.

Разработана модель ЛС, неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений с протоколом синхронного - временного доступа. Определены z - п.р. интервала обслуживания сообщения в станциях подсети 1 и подсети 2. Определены ВВХ данной сети, в результате анализа которых установлено, что при низкой интенсивности входящего потока сообщений на сеть разница в средней задержке сообщения для станций подсети 1 и подсети 2 в сравнении с однородной незначительна и составляет 9 - 12 %. Этой разницей можно пренебречь и производить расчет сети ($A_{12} > 1$) как однородной ($A_{12} = 1$). При средней и высокой интенсивности входящего потока сообщений на сеть разница в средней задержке сообщения для станций обеих подсетей в сравнении с однородной значительна и составляет 20 % и более. Поэтому при расчете необходимо использовать полученные соотношения для НЛС.

Разработана модель НЛС с МД с учетом рассмотренных выше двух опций протокола управления логическим каналом LLC в соответствии со стандартом IEEE 802.2. Определены ВВХ исследуемой сети для обеих опций протокола LLC. В результате численного анализа этих характеристик

установлено, что средняя задержка сообщения на уровне звена данных, содержащего подуровни LLC и MAC, при скоростях обработки данных 10 и 50 Мбит/с выше средней задержки, вносимой уровнем звена данных, содержащего подуровень MAC, как минимум соответственно в 13,5 и 5 раз для станций подсети 1, и в 5 и 3,5 раза - для станций подсети 2. Средняя задержка сообщения на уровне звена данных, содержащего подуровни LLC и MAC при значениях вероятности блокировки приемного буфера 0,3 и 0,5 выше средней задержки, вносимой уровнем звена данных, содержащим подуровень MAC, соответственно в 1,7 и 2,3 раза для станций подсети 1, и в 1,5 и 2 раза - для станций подсети 2.

Рассмотрена ЛС шинной структуры, неоднородная по типу передаваемых сообщений, станции которой разделены на две подсети : на подсеть данных и подсеть речи. В первой подсети осуществляется передача данных без потерь, а во второй - речи с потерями, возникающих из - за двух факторов : ограничения емкости буфера станции речи величиной L и ограничения числа переспросов величиной h при обслуживании пакетов речи системой с обратной связью. Подсеть данных моделируется системой $M^D/G^D/1$, а подсеть речи - $M^D/G^D/1/1$. В такой сети имеется возможность регулировать потери пакетов речи параметрами L и h в зависимости от требований качества передачи. Предполагается, что возникающие из - за ошибок в канале связи переспросы независимы, а следовательно, их число в подсети речи распределено по усеченному геометрическому распределению, а в подсети данных ряд распределения числа переспросов представлен геометрическим распределением. На основе базовой модели определены z - п.р.р. времени задержки сообщений для станций подсети данных и подсети речи, с помощью которых найдены ВВХ ЛС, неоднородной по типу передаваемых сообщений.

В пятом разделе предложен протокол комбинированного доступа КД, сочетающий протокол МД и STDM. Станции, использующие протокол МД, являются станциями подсети 1, а STDM - подсети 2. Для обеспечения станциям подсети 1 доступа в канал используется маркер первого типа - "маркер -1". Командой цикловой синхронизации для станций подсети 2 является маркер второго типа - " маркер - 2". Эту команду передает станция по окончании своей передачи, являющаяся последней в географическом расположении в подсети 1. Станция, которая работает последней в подсети 2, по окончании своей передачи передает "маркер -1", являющийся "эстафетой" для станций подсети 1. Разработана модель ЛС с КД при использовании алгоритма РОС - ОЖ, z - п.р.р. интервала обслуживания сообщений в которой определяется (12), а для однократной передачи - из следующих выражений

соответственно равны k_1 и k_2 , получена модель неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и длине информационного поля кадра ЛС с КД, на основе которой определены ее ВВХ. В результате анализа ВВХ рассмотренной сети установлено, что при расчете ВВХ этой сети необходимо учитывать погрешности в средней задержке сообщения для станций обеих подсетей и производительности сети в сравнении с однородной и пользоваться полученными соотношениями, учитывающими данные погрешности.

Проведен сравнительный анализ ВВХ неоднородных ЛС с различными протоколами доступа, который показал, что использование протокола МД в неоднородной и однородной по интенсивности входящего потока сообщений ЛС эффективнее при низкой и средней интенсивностях потока сообщений на сеть, при которых обеспечивается минимальная средняя задержка сообщений для станций обеих подсетей в сравнении с протоколами КД и STDM. В области высокой интенсивности входящего потока сообщений на сеть предпочтительней использовать протоколы STDM (при $A_{12}=2$) и КД (при $A_{12}=5$) в неоднородной сети, а в однородной - протокол STDM.

В неоднородной по интенсивности входящего потока сообщений и длины информационного поля кадра ЛС в области низкой и средней интенсивности входящего потока сообщений на сеть более эффективным является использование МД, а в области высокой интенсивности - протокола КД.

В однородной по интенсивности входящего потока сообщений и неоднородной по длине информационного поля кадра ЛС в случае, когда $k_1 \ll k_2$ эффективнее использовать протокол МД, а в области высокой нагрузки - протокол КД.

В шестом разделе рассматриваются двухполюсные сети, являющиеся частным случаем ЛС. Разработаны модели механизма передачи информации в двухполюсных сетях, использующих протоколы решающей обратной связи с ожиданием РОС - ОЖ (протокол BSC), с непрерывной передачей РОС - НП (протокол HDLC) и с адресным переспросом РОС - АП. Для этих протоколов найдены z -п.р. интервала обслуживания сообщения, которые соответственно имеют вид

$$\begin{aligned} g_{ож}(z) &= Q/(z - P_{00}); \quad g_{ин}(z) = Qz^{h-1}/(z^h - P_{00}), \quad Q = 1 - P_{00} \\ g_{ап}(z) &= (1 - P_{00})^3 (z^2 + 2P_{00}z + 2P_{00}^2) / (z^5 + P_{00}z^4 - P_{00}^2z^2), \end{aligned} \quad (14)$$

где P_{00} - вероятность обнаруживаемых ошибок, h - емкость накопителя системы.

Определены первые \bar{t}_{1s} и вторые \bar{t}_{2s} начальные моменты времени обслуживания сообщения

$$\bar{t}_{1s} = \bar{t}_1 T_B; \bar{t}_{2s} = \bar{t}_2 T_B^2; \bar{t}_1 = -z^{-1}(d/dz)g(z)|_{z=1}; \bar{t}_2 = (d^2/dz^2)g(z)|_{z=1} - z^{-1}(d/dz)g(z)|_{z=1},$$

$$T_{Б,ОЖ} = n_0 t_0 + n'_0 t'_0; T_{Б,НП} = T_{Б,АП} = n_0 t_0, \quad (15)$$

где $T_{Б,ОЖ}$ - интервал времени с момента передачи сообщения по прямому каналу до момента поступления сигнала подтверждения на передающий пункт по обратному каналу для протокола РОС - ОЖ, $T_{Б,НП}$, $T_{Б,АП}$ и $T_{Б,АП}$

-интервалы однократной передачи сообщения для протоколов РОС-НП и РОС-АП соответственно, n_0 и n'_0 - длины кодовых комбинаций сообщения соответственно в прямом и обратном каналах; $t_0 = 1/V$ и $t'_0 = 1/V'$ - длительности элементарных посылок, передаваемых в прямом и обратном каналах, V и V' - скорости передачи сообщений по прямому и обратному каналам, $g(z)$ определяется для конкретных протоколов выражением (14).

Определено среднее время ожидания сообщения для рассматриваемых протоколов

$$\bar{t}_{1,ОЖ} = \rho \bar{t}_{2s} / 2(1-\rho) \bar{t}_{1s}; \rho = \lambda \bar{t}_{1s}, \quad (16)$$

где ρ - загрузка рассмотренных протоколов, \bar{t}_{1s} и \bar{t}_{2s} - определяются (15) с учетом (14).

Среднее время задержки сообщения определяется так

$$\bar{t}_{iq} = \bar{t}_{1s} + \bar{t}_{1,ОЖ},$$

где \bar{t}_{1s} и $\bar{t}_{1,ОЖ}$ - определяются для конкретных протоколов (15) и (16).

Найдены законы распределения интервала обслуживания сообщений для рассмотренных протоколов.

Разработаны модели двухполюсной сети с ненадежным каналом связи, осуществляющим передачу пакетной информации по двум параллельным каналам одинаковой надежности. Определены z - п.р. интервала обслуживания для рассмотренных протоколов соответственно

$$g_{ОЖ}(z) = Q_3(1-p)^n k K_r(2-K_r)/(z-P_{00}); g_{НП}(z) = (1-p)^n k K_r(2-K_r)z^{h-1}/(z^h-P_{00});$$

$$g_{АП}(z) = (Q_3(1-p)^n k K_r(2-K_r))^3(z^2+2P_{00}z+2P_{00}^2)/(z^5-P_{00}z^4-P_{00}z^3); \quad (17)$$

$$n_k = k + r_k; h = T_c V^{-1} n_k; T_c = (k + r_k + n_{кв})(V^{-1} + V_y^{-1}) + (2D_m/2,5 \cdot 10^5); Q_3 = 1 - P_3,$$

где V_y - скорость декодирования кадра, K_r - коэффициент готовности, P_3 , r_k и $n_{кв}$ - параметры протокола. Определены средние значения времени обслуживания, ожидания и задержки сообщения для рассмотренных протоколов. Найдены информационная R_c скорость, предельная R_{1c} скорость и информационная R_{2c} скорость по задержке.

Разработана модель двухполюсной сети с протоколами РОС- ОЖ с пакетной передачей измерительной информации. z - п.р. интервала обслуживания измерительной информации в данной сети определяется так

$$g(z) = Qz^{-a} / (z - P_{00}); a = T_w / T_c; T_w = h^* V_A^{-1}; T_c = n_k V^{-1} + 2t_p + 2t_{лк} + t_{ср},$$

где $t_{ср}$ - время передачи сигналов решения, T_c - время передачи кодового слова, T_w - время передачи одного отсчета измерительной информации, V_A - скорость квантования непрерывной информации, h^* - величина, выбираемая в зависимости от ВВХ и требований к передаче непрерывных сообщений. Определены ВВХ исследуемой сети.

В седьмом разделе решена задача оптимизации параметров однородных моноканальных локальных сетей, которая производится по критерию предельной информационной скорости R_1 и информационной скорости R_2 по задержке. С учетом (10) получены выражения для расчета R_1 и R_2 локальной сети с маркерным доступом. Установлено, что по критерию R_2 оптимальной длиной информационной части кадра для вероятности ошибки $p=10^{-3}$ и $N=5$ является 256 бит. При $p=10^{-4}$ и $N=5$ оптимальная длина информационной части кадра равна 1024 бит.

На основе (10) получаем расчетные выражения для R_1 и R_2 в локальной сети с методом доступа CSMA/CD. Найдено, что

$$R_1 = K Q_k^2 / ((c+1) Q_k + P_{M1}) T_{л},$$

где Q_k - вероятность успешной передачи кадра, P_{M1} - вероятность мешающего действия сети, c - параметр протокола, $T_{л}$ - время распространения сигнала в шине. Показано, что R_1 достигает максимума в шине при длине 1800 бит для числа станций $N=5$ и 3000 бит для $N=10$ при вероятности ошибки в канале 10^{-6} . При $p=10^{-7}$ R_1 достигает максимума соответственно для числа станций $N=5$ и 10 при длинах 5500 и 7500 бит.

При оптимизации по критерию R_2 оптимальные значения длин информационной части кадра равны 1800 и 3000 бит соответственно для $N=5$ и 10 при $p=10^{-6}$. При $p=10^{-7}$ R_2 достигает максимума при длинах 5700 и 7800 бит соответственно для $N=5$ и 10.

С использованием (10) получаем выражение для расчета R_1 и R_2 для двухполюсных сетей с протоколами РОС - ОЖ и РОС - НП. Так величина для протокола РОС - ОЖ имеет вид

$$R_1 = V k (1-p)^{n'} / n'$$

где V - скорость передачи, n' - длина блока. Результаты расчетов по критерию R_2 показали, что при увеличении интенсивности входящего потока оптимальная длина блока сообщения уменьшается.

Решена задача оптимизации структуры НЛС, которая сведена к поиску вектора W' , доставляющего минимум функции приведенных затрат

$$C(W') = \operatorname{argmin} \Pi_3(w), w \in W',$$

где W' - область допустимых значений вектора w при выполнении ограничений на среднее время задержки

$$\bar{t}_{qj}(w) < \bar{t}_{qjd}, j = \overline{1, m}, w \in W',$$

где m - количество сетей в НЛС, \bar{t}_{qjd} - допустимое значение средней задержки сообщения для станции j -ой подсети; на вероятность своевременной доставки сообщения в сети

$$\bar{\Pi}_{qj}(w) > \bar{\Pi}_{qjd}, j = \overline{1, m}, w \in W',$$

где $\bar{\Pi}_{qjd}$ - допустимое значение вероятности своевременной доставки сообщения для станций j -ой подсети; на дискретный характер компонентов вектора w и физическую реализуемость сети и допустимые трассы прокладки кабеля, а функция приведенных затрат определяется выражением (11). Решение задачи оптимизации структуры НЛС проведено в три этапа.

На первом этапе решается модифицированная задача коммивояжера, для чего производится отыскание вершин, лежащих на одной прямой. Они соединяются, если эта прямая совпадает с трассой прокладки кабеля. Затем производится приведение матрицы расстояний, для чего составляется матрица расстояний для вершин, лежащих на концах полученных таким образом ребер, и свободных несоединенных вершин. На втором этапе синтезируется сеть кольцевой и шинной структуры. На третьем этапе отыскивалась наиболее экономичная структура НЛС.

Второй и третий этапы этой задачи решались на ЭВМ. При этом использован следующий алгоритм. Заданы приведенная матрица расстояний $\|L_{ij}\|$, варианты сетей, имеющих различные топологические структуры, типы среды, качество канала связи, скорости передачи в среде, протоколы доступа.

Шаг 1. Направленным перебором отыскивается замкнутый контур (гамильтонов путь) и определяется его длина D_{mk} . Затем из длины этого контура исключается ребро максимальной длины, после чего получаем шину минимальной длины D_{min} .

Шаг 2. Осуществляется расчет приведенных затрат Π_3 всех вариантов сетей и упорядочение этих вариантов по Π_3 в порядке возрастания.

Шаг 3. Производится расчет среднего времени задержки сообщения для станций подсети 1 и подсети 2 для всех вариантов, упорядоченных по Π_3 .

Шаг 4. Производится проверка условий $\bar{t}_{q1} < \bar{t}_{q1a}$ и $\bar{t}_{q2} < \bar{t}_{q2a}$ (\bar{t}_{q1a} и \bar{t}_{q2a} - допустимые значения времени задержки сообщения для станций подсети 1 и подсети 2) для всех вариантов сетей с одновременным отбрасыванием вариантов, не удовлетворяющих этим условиям.

Затем из этого множества выбираются сети с минимальными приведенными затратами. Разработано программное обеспечение для оптимизации структуры НЛС. Приведены численные результаты задачи оптимизации НЛС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты проведенных в диссертационной работе исследований состоят в следующем :

1. Предложены распределенная система управления телекоммуникациями, базирующаяся на высокопроизводительных локальных сетях, и ее модель в виде совокупности трех платформ: прикладных процессов, верхних и нижних уровней ЭМВОС.

2. Разработан метод анализа неоднородных локальных сетей, в которых процесс доступа и обмена данными представлен марковскими стохастическими системами в дискретном времени.

3. Введена структура нижней платформы, впервые учитывающая различия протоколов доступа и управления логическим каналом, различия интенсивностей входящих потоков, распределения длин информационного поля кадра.

4. Разработаны базовые модели локальных сетей в непрерывном и дискретном времени, базирующиеся на преобразовании Лапласа и z-преобразовании и учитывающие программную структуру протоколов нижней платформы и интерференцию станций пользователей.

5. Предложены методы оценки вероятностно - временных характеристик неоднородных локальных сетей.

6. Предложен протокол комбинированного доступа обеспечивающий увеличение пропускной способности ЛС, основанный на маркерном и синхронно - временном методе доступа, на который получено авторское свидетельство.

7. Разработаны методы расчета вероятностных, вероятностно - временных и стоимостных характеристик неоднородных локальных сетей, отличающихся от однородных тем, что указанные характеристики представляются вектором ; количество его компонентов равно числу типов станций сети; каждый компонент зависит от типа протокола доступа, типа

протокола управления логическим каналом, интенсивности входящего потока сообщений в данную станцию сети, от параметра распределения длин информационного поля кадра станции и стоимости каждого типа станций. Для нахождения вероятностно - временных характеристик используется система уравнений интерференции вместо одного уравнения в случае однородных сетей.

8. Предложены алгебраические модели распределенных систем и телекоммуникаций, учитывающие множество прикладных процессов, типов распределенных структур, множество типов их административных систем, протоколов прикладных процессов и ЭМВОС.

9. Впервые предложены вероятностные, вероятностно - временные и стоимостные характеристики для каждого типа станций, а также средневзвешенные вероятностно - временные и стоимостные характеристики сети в целом.

10. Сконструированы модели в дискретном времени локальных сетей с комбинированным протоколом доступа, неоднородных по интенсивности входящего потока с учетом ограниченной емкости буфера и параметрам распределения длин информационного поля кадра.

11. Предложен метод многоэтапной оптимизации структуры неоднородной локальной сети. На первых двух этапах решается модифицированная задача коммивояжера, на последнем производится выбор структуры из предьявленного множества.

12. Разработаны модели в дискретном времени однородных и неоднородных локальных сетей с учетом опций протокола подуровня управления логическим каналом.

13. Предложены алгоритмы, программы расчета вероятностно - временных характеристик неоднородной локальной сети с различными способами доступа.

14. Разработаны модели в непрерывном и дискретном времени однородных локальных сетей с маркерным доступом и ненадежным каналом связи.

15. Разработаны имитационные модели однородной моноканальной сети с методом доступа CSMA/CD и неоднородной сети с маркерным доступом. Показаны адекватность имитационных моделей исследуемых ЛС сравнением их результатов с результатами аналитических расчетов и реальных измерений.

16. Предложены методы оптимизации параметров однородных моноканальных ЛС и двухполюсных сетей, использующих различные методы доступа и протоколы управления по критериям предельной информационной

скорости и информационной скорости по задержке и обеспечивающих максимум пропускной способности.

17. Разработана модель локальной сети в дискретном времени, осуществляющей одновременно передачу данных и речи с потерями.

18. Предложенные алгоритмы, протоколы, модели, методы расчета, а также их программное обеспечение внедрены в разработках распределенных систем телекоммуникаций.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах.

1. Мамедов Ф.Г. Гибридная модель неоднородной локальной сети передачи данных с ограничениями. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1988, N 5, с. 92-98.

2. Мамедов Ф.Г. Вероятностные характеристики кольцевой локальной сети с маркерным доступом. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1988, N 3, с.115-120.

3. Мамедов Ф.Г. Гезалов Э.Б. Оптимизация характеристик кольцевой локальной сети с маркерным доступом. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1988, N 5, с. 123-128.

4. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Вероятностные характеристики локальной сети передачи данных со случайным множественным доступом. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1990, N 1-2, с. 127-135.

5. Мамедов Ф.Г. Некоторые вопросы исследования сопряжения многоканальной системы связи с ЭВМ. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1974, N 3, с. 109 - 114.

6. Мамедов Ф.Г. Расчет объема памяти центра коммутации сообщений с учетом алгоритмов работы каналов передачи данных. "Труды учебных институтов связи", вып. 70, 1974, с. 9 -16.

7. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Параметры процесса обслуживания в отделениях связи. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1976, N 3, с. 58 - 64.

8. Мамедов Ф.Г. Определение объемов и выбор скорости передаваемой информации в оконечных пунктах АСУ. Ученые записки АзПИ им. Ч. Ильдрыма "Радиотехника, электронная техника, электрическая связь, металлургия и легкая промышленность". Сер.Х,N 1, Баку, 1977, с. 29 -37.

9. Мамедов Ф.Г. Исследование устойчивости систем передачи данных. Докл. АН АзССР, Т. XXXIV,N 2, 1978, с. 13 - 17.

10. Мамедов Ф.Г. Метод z-преобразования, как модель функционирования систем передачи данных. "За технический прогресс", 1978, с.17-23.

11. Мамедов Ф.Г., Ахадов Р.А. Устойчивость и старение информации в системах передачи данных с ожиданием. Ученые записки АзПИ им. Ч. Ильдрыма "Радиотехника, электронная техника, электрическая связь, металлургия и легкая промышленность." Сер. X, N 2, Баку 1979, с. 65 - 72.

12. Мамедов Ф.Г., Ахадов Р.А. Алгоритм и программа обслуживания сообщений в многоканальных СПД с ограниченной очередью. Тем.сб.науч.труд. АзПИ им. Ч. Ильдрыма "Системы и средства передачи информации". Баку, 1982, с. 37-45.

13. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Математические модели синхронных систем передачи и распределения информации. Докл. АН АзССР, т. XII, N 4, 1985, с.3-7.

14. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Синтез параметров информационных локальных сетей. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1985, N 3, с. 116 -120.

15. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С., Ахадов Р.А., Плеханов В.В., Мамедова А.А. и др. Унифицированный стык между окончным оборудованием данных(ООД) и аппаратурой окончания канала данных(АКД). Тем. сб. науч. труд. АзПИ им. Ч. Ильдрыма "Аппаратурная реализация устройств повышения качественных показателей систем электрорadiосвязи. Баку, 1986, с. 72-78.

16. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Модель передачи данных в измерительной системе с рассредоточенными нефтедобывающими объектами. "Изв. вузов"- "Нефть и ГАЗ", 1986, N 10, с. 78 - 83.

17. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Управление передачей данных в локальной информационной сети. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1986, N 3, с. 113 -118.

18. Мамедов Ф.Г. Методические указания к проектированию телеграфной связи в области. Баку, Изд. АзПИ им. Ч. Ильдрыма, 1986, 35 с.

19. Мамедов Ф.Г., Гезалов Э.Б., Мамедкулиев Г.Ю. Разработка абонентской станции локальной кольцевой сети с маркерным доступом. Тем. сб. науч. труд. АзПИ им. Ч. Ильдрыма. Электрорadiотехнические системы передачи и приема информации. Баку 1987, с. 9 -14.

20. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С., Плеханов В.В. Математическая модель передачи данных в локальной информационной сети. Изв. АН АзССР. Сер. физ. - техн. и мат. наук, 1988, N 2, с. 117 -121.

21. Мамедов Ф.Г., Абдуллаев Ф.Г., Мамедкулиев Г.Ю. Оптимизация длины кадра в локальной сети передачи данных с доступом CSMA/CD. Тем. сб. науч. труд. АзПИ. им. Ч. Ильдрыма "Повышение качественных характеристик систем электрорadiосвязи". Баку, 1990, с. 13 - 20.

22. А.С. 1660192 А1 Кольцевая пакетная сеть. / Мамедов Ф.Г., Гезалов Э.Б. /Бюл. N 24,1991,с. 1 -11.

23. Мамедов Ф.Г., Мамедкулиев Г.Ю. Модель локальной сети передачи данных с ненадежным каналом связи. XII Белорусская зимняя школа - семинар. Сети связи и сети ЭВМ как модели массового обслуживания. Гродно, 1991, с. 91 - 93.

24. Мамедов Ф.Г., Гезалов Э.Б. Исследование протоколов управления логическим звеном в неоднородной локальной сети связи. Материалы Международной НТК "Проблемы функционирования информационных сетей". ПФИС - 91, часть 3. Новосибирск, 1991, с. 137 -145.

25. Мамедов Ф.Г., Чугреев О.С. Модель интегральной локальной сети передачи данных и речи с потерями. Докл. АН Азерб. Республ., т. XLVIII, 1992, N1-12, с.33-38.

26. Мамедов Ф.Г. Сети и системы документальной электросвязи. Баку, изд. АзТУ, 1994. - 181 с.

27. Мамедов Ф.Г. Модели локальной сети передачи данных в дискретном времени. Тем. сб. науч. труд. АзТУ "Электротехника, электрическая связь". Баку, 1994, с. 20 - 28.

28. Мамедов Ф.Г., Гезалов Э.Б. Анализ производительности локальной сети связи с протоколом LLC. Тем. сб. науч. труд. АзТУ "Электротехника, электрическая связь". Баку, 1994, с. 88-94.

29. Мамедов Ф.Г., Гезалов Э.Б. Методическое указание к проектированию телеграфной сети общего пользования. Баку, изд. АзТУ, 1994. - 38 с.

30. Мамедов Ф.Г. Ахадов Р.А. Оптимизация параметров систем передачи данных. Тез. докл. Республиканской НТК "Качество и надежность средств связи", посвященная дню радио и 60-летию Великой Октябрьской Социалистической революции. Рига, 1977, ЛАТИНТИ, с. 190 - 193.

31. Мамедов Ф.Г., Алескеров А.Г., Ибрагимов Б.Г. О законе распределения времени ожидания сообщения в оконечных пунктах АСУ. Тем. сб. науч. труд. АзПИ им.Ч. Ильдрыма "Системы и средства радио- и электросвязи". Баку, 1984, с. 22-25.

32. Мамедов Ф.Г., Мамедов Э.Н. и др. Модель передачи данных в локальной сети с методом доступа CSMA / CD. Тез. докл.первой Всесоюзной конференции по информационным системам множественного доступа. Москва - Минск, 1989, с. 98-101.

Мамедов Фамил Гусейн оглы (Азербайджанская республика)
 “Исследование локальных сетей распределенных систем телекоммуникаций”.

Диссертация (рукопись) на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.12.14 – Теория телекоммуникаций и 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и управление ими. Украинская государственная академия связи им.А.С.Попова, Одесса, 1996. Защищается 32 научные работы и 1 авторское свидетельство.

Диссертационная работа посвящена исследованию и созданию высокопроизводительных локальных сетей на основе универсальной базовой модели, вероятностно-временных характеристик, конструированию на этой основе модели локальных сетей с конкретными протоколами, проведением их анализа и оптимизации.

Mamedov F.G. (Azerbaijan Republic). Research of local networks of the telecommunication space division system. Doctor of Science dissertation on speciality 05.12.14 – theory of telecommunication and 05.12.02 – telecommunication systems and control over them. Ukrainian state academy of telecommunications named after S.S.Popov, Odessa, 1996.

The problems of research and creation of highproductivity local networks on the basis of universal basic model, probability-timing, characteristics, the development on this basic the local networks model with the determinate protocols, the performance their analysis and optimization have solved.

Ключевые слова: распределенные телекоммуникационные системы, локальные сети, модели, вероятностно-временные характеристики, протоколы.

F. Mamedov

446293

AB 34.875