

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Кировоградский национальный технический университет

На правах рукописи
УДК 621.391 (0.43)

Мелешко Елизавета Владиславовна

**МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧЕРЕДЯМИ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

Специальность 05. 12. 02 – Телекоммуникационные системы и сети

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Смирнов Алексей Анатольевич

Харьков – 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. Анализ и исследование методов идентификации трафика и управления сетевыми ресурсами для повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети. Обоснование выбора направления исследования	15
1.1. Анализ и сравнительное исследование перспективных направлений развития единой информационно-телекоммуникационной системы.....	15
1.2. Анализ требований к качеству обслуживания при передаче данных в телекоммуникационной сети, обоснование критериев и показателей эффективности.....	19
1.3. Сравнительный анализ алгоритмов управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.....	29
1.4. Анализ и оценка существующих и перспективных методов идентификации трафика.....	39
1.5. Постановка задачи разработки метода повышения оперативности передачи данных на основе идентификации трафика и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи ТКС.....	50
Выводы.....	53
РАЗДЕЛ 2. Разработка метода идентификации трафика в телекоммуникационной сети	55
2.1. Исследования поведения информационного потока в телекоммуникационной сети.....	55
2.2. Разработка процедуры оценки статистических зависимостей в информационном трафике.....	63
2.2.1. Выявление статистических зависимостей в информационном трафике на основе BDS-тестов.....	64

2.2.2. Сравнительный анализ результатов BDS-тестирования с результатами, полученными известными корреляционными методами.....	72
2.3. Разработка процедуры идентификации информационного трафика на основе n-мерного шкалирования.....	77
2.3.1. Описание процедуры идентификации информационного трафика на основе n-мерного шкалирования.....	79
2.3.2. Оптимизация размерности идентификационной шкалы.....	81
Выводы.....	85

РАЗДЕЛ 3. Разработка метода управления очередями в

многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.....	87
3.1. Математическая модель подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи.....	87
3.1.1. Постановка задачи моделирования.....	88
3.1.2. Моделирование подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи.....	90
3.1.3. Исследования зависимости вариации времени доставки информационного пакета от вероятностно-временных характеристик телекоммуникационной сети.....	103
3.1.4. Сравнительные исследования разработанной математической модели подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи с известными моделями.....	105
3.2. Процедура динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.....	107
3.2.1. Алгоритм установки первоначальных параметров обслуживания информационных потоков.....	108
3.2.2. Алгоритм динамического распределения ресурсов подсистемы управления и обслуживания многопротокольного узла связи.....	112
Выводы.....	117

РАЗДЕЛ 4. Исследование эффективности разработанных методов и обоснование практических рекомендаций по их использованию.....	120
4.1. Разработка имитационной модели систем идентификации трафика и управления очередями в многопротокольных узлах связи в телекоммуникационной сети.....	120
4.2. Оценка эффективности разработанных методов идентификации трафика и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи.....	123
4.3. Обоснование достоверности результатов математического и имитационного моделирования систем идентификации трафика и управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.....	127
4.4. Обоснование рекомендаций по практическому использованию разработанных методов идентификации трафика и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи.....	134
Выводы.....	138
ВЫВОДЫ.....	140
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	144
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Имитационная модель системы идентификации трафика и управления очередями в многопротокольных узлах связи в телекоммуникационной сети.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акты реализации результатов диссертационной работы.....	161

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень информатизации и компьютеризации украинского общества, внедрение множества интерактивных мультимедийных инфо-коммуникационных услуг практически во все сферы общественной деятельности, совершенствование средств связи и обработки данных, цифровизация радио и телевизионного вещания обуславливают интеграцию ряда телекоммуникационных услуг в единую многофункциональную интерактивную мультимедийную подсистему и дифференциацию задач обработки данных и приложений по приоритетности отдельных показателей качества передачи информации [16, 24, 31]. Основные подходы в решении целого комплекса задач, стоящих перед разработчиками в связи с кардинальными изменениями в системах управления телекоммуникационными ресурсами определены законом Украины «Про концепцію Національної програми інформатизації», постановлениями Кабинета Министров Украины «Про концепцію розвитку зв'язку України до 2010 року», «Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження)». Ряд концептуальных проблем, в первую очередь связанных с необходимостью обеспечения показателей качества обслуживания, к которым, в соответствии со стандартами Международного союза электросвязи, предъявляются повышенные требования, обуславливают актуальность проведения прикладных исследований на пути создания и внедрения перспективных средств и систем связи, а также разработки новых методов управления процессами обработки и передачи информации [30, 33, 62].

Повышенные требования к качеству предоставляемых услуг, основным показателям оперативности, своевременности, достоверности и надежности предполагает использование в современных разработках методов и

технологий цифровой обработки сигналов, кодирования, сжатия и преобразования информации, статистического мультиплексирования, оптимального распределения вычислительных ресурсов и др. Все это и обуславливает высокую сложность при реализации указанных систем.

Особое место в комплексе решаемых задач занимает разработка перспективных методов и алгоритмов идентификации и обработки данных, а также динамического управления очередями в узлах связи телекоммуникационной сети, которые могут обеспечить оптимальное распределение сетевых ресурсов между поступающими информационными потоками [18, 19, 21, 22, 30]. Актуальными в этом смысле представляются методы повышения оперативности передачи данных на основе идентификации трафика и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.

В настоящее время для обеспечения требуемых показателей оперативности передачи данных, в частности вариации времени доставки информационных пакетов, используется ряд методов и протоколов управления информационными потоками (WRED, WFQ, OSPF, BGP, TCP и др.), работающих на основе анализа служебной информации поступающих данных (приложений) [30, 41, 42]. Реализация подобных функций в многопротокольных узлах связи (маршрутизаторах) и последующее перенаправление сетевых приложений в сформированной сети доменов позволяло до недавнего времени обеспечивать требуемое время передачи данных. Однако рост числа пользователей и потребителей информации, расширение телекоммуникационных услуг, а также объективная необходимость в использовании различными интерактивными сетевыми службами (прежде всего мультимедийными сервисами) одних и тех же сетевых приложений (например, как при обеспечении услуг IP-телефонии, так и при получении доступа к WWW-ресурсам используется FTP-служба со своими встроенными протоколами управления), в последнее время ухудшает точность идентификации информационного трафика и соответственно

затрудняет процесс управления очередями в узлах связи телекоммуникационной сети. Это в свою очередь делает невозможным обеспечение требуемых показателей оперативности передачи данных, в частности вариации времени доставки информационных пакетов.

Возникает противоречие между постоянно растущими объемами данных, циркулирующих в телекоммуникационных системах, увеличением числа мультимедийных и других интерактивных услуг и технологий и жесткими требованиями к оперативности (вариации времени передачи данных) накладываемыми в процессе обмена информацией.

Проведенный анализ показал, что обеспечение указанных требований оперативности передачи данных возможно на основе комплексного подхода с использованием современных методов и алгоритмов управления сетевыми ресурсами. В условиях высокой интенсивности входных потоков информации наиболее перспективным направлением представляется разработка и применение методов идентификации трафика и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.

Актуальность темы. Теоретические основы современных методов идентификации и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети заложены в работах известных ученых: Задираки, Бертсекаса, Галлагера, Клейнрока, Петерса, Саати, Шенона и др., в которых изложены основные положения теории связи и теории массового обслуживания, определены принципы построения, функционирования и управления очередями в сетях передачи данных, рассмотрены подходы решения широкого круга задач идентификации объектов управления. Дальнейшее развитие данного направления получено в работах Брока, Дечерта, Шейнкмана, Вегешны, Кликушина, Кучерявого, Назарова и др., в которых разработаны методы и вычислительные алгоритмы структурной и параметрической идентификации объектов управления, расчета основных вероятностно-временных

характеристик сетей передачи данных, исследованы сетевые модели управления информационными потоками и сетевыми ресурсами, что позволило разработать механизмы, алгоритмы и протоколы, обеспечивающие требуемое качество обслуживания для отдельных приложений и услуг сети связи. Однако методы повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационных сетях с современными протоколами прикладного уровня, процедурами доступа и управления, критериями и ограничениями, учитывающими особенности передачи различного рода данных (потокное видео, аудиоинформация, интерактивные службы и т.д.), исследованы недостаточно.

Перспективным направлением в разрешении указанных противоречий является разработка и применение методов, алгоритмов и процедур идентификации трафика и динамического управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.

Таким образом, разработка метода динамического управления очередями с учетом результатов идентификации трафика в многопротокольных узлах связи для повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети является актуальной.

Связь работы с научными программами, планами, темами.
Исследования в диссертационной работе проводились в соответствии со следующими нормативными актами.

1. Концепция Национальной программы информатизации, одобренная Законом Украины «Про Концепцію Національної програми інформатизації» от 4 февраля 1998 г. N 75/98-ВР.

2. Концепция развития связи Украины до 2010 года, утвержденная постановлением Кабинета Министров Украины «Про Концепцію розвитку зв'язку України до 2010 року» от 9 декабря 1999 г. №2238.

3. Концепция создания Государственной интегрированной информационной системы обеспечения управления подвижными объектами, утвержденная постановлением Кабинета Министров Украины от 17 июля

2003 г. №410-р.

4. Концепция развития связи Украины, одобренная распоряжением Кабинета Министров Украины от 7 июня 2006 г. №316-р.

Цель и задачи исследований. Цель диссертационного исследования состоит в повышении оперативности передачи данных на основе динамического управления очередями с учетом результатов идентификации трафика в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.

В соответствии с целью работы необходимо решить **научно-прикладную задачу**, состоящую в разработке метода динамического управления очередями с учетом результатов идентификации трафика в многопротокольных узлах связи для повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **частные задачи:**

1. Провести анализ и исследование методов управления сетевыми ресурсами для повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети, обосновать выбор направления исследования и формализовать постановку научной задачи.

2. Разработать метод идентификации трафика в телекоммуникационной сети, учитывающий статистические зависимости в информационном потоке различных инфо-коммуникационных услуг и параметры трафика, и позволяющий оптимизировать процесс параметрической идентификации информационного трафика по критерию максимума вероятности правильной идентификации.

3. Разработать математическую модель подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи, учитывающую особенности механизма «заказного» обслуживания информационных пакетов с приоритетными очередями для мультимедийного трафика при оценке «виртуального времени поступления» информационного пакета в очередь.

4. Разработать метод управления очередями в многопротокольных узлах

связи телекоммуникационной сети, позволяющий минимизировать показатель вариации времени задержки информационных пакетов (джиттер задержки) и обеспечивающий динамическое распределение сетевых ресурсов в зависимости от изменений этого показателя.

5. Провести исследование эффективности разработанного метода динамического управления очередями по сравнению с известными, с учетом результатов идентификации трафика в многопротокольных узлах связи и обосновать практические рекомендации по его использованию, для повышения оперативности передачи данных телекоммуникационной сети.

Объект исследования. Процесс передачи данных в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.

Предмет исследования. Метод динамического управления очередями с учетом результатов идентификации трафика в многопротокольных узлах связи для повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети.

Методы исследования. Исследование структурных и функциональных свойств многопротокольных узлов связи проводилось с использованием теории графов и теории массового обслуживания. Исследование характера изменения интенсивности информационных потоков между отдельными элементами телекоммуникационной сети опиралось на основные положения теории вероятностей, теории связи и теории телетрафика. Оценка корректности и достоверности теоретических и практических результатов проводилась с помощью методов математического и имитационного моделирования.

Научная новизна полученных результатов обусловлена теоретическим обобщением и новым решением важной научно-прикладной задачи, состоящей в разработке метода динамического управления очередями с учетом результатов идентификации трафика в многопротокольных узлах связи для повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети.

Получены следующие **научные результаты**:

1. **Усовершенствован** метод идентификации трафика в телекоммуникационной сети, отличающийся от известных оптимизацией n -мерной идентификационной шкалы по критерию максимума вероятности правильной идентификации при учете статистических зависимостей информационного потока, полученных с помощью BDS-тестирования, что позволит повысить достоверность структурно-параметрической идентификации информационного трафика [29, 37, 52, 54].

2. **Усовершенствована** математическая модель подсистемы управления и обслуживания в многопротокольном узле связи, отличающаяся от известных учетом особенностей механизма «заказного» обслуживания информационных пакетов с приоритетными очередями для мультимедийного трафика за счет введения дополнительной функции приоритетности выбора k -ого информационного пакета i -ого потока информации, при оценке «виртуального времени поступления» информационного пакета в очередь, что позволяет повысить точность оценки показателя вариации времени доставки информационных пакетов в условиях повышенной интенсивности мультисервисного трафика [36, 38].

3. **Усовершенствован** метод управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети, который отличается от известных учетом значений вариации времени задержки информационных пакетов (джиттера задержки) и динамическим распределением сетевых ресурсов в зависимости от изменений этого показателя, что позволяет повысить оперативность передачи данных в условиях высокой сетевой нагрузки [37, 57, 58].

Практическое значение полученных результатов заключается в адаптации процесса управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети к изменениям объемов поступающих сетевых приложений для уменьшения вариации времени доставки информационных пакетов, а также в возможности применения предложенных методов для

разработки программных средств управления передачей данных в телекоммуникационной сети.

1. Разработано специальное программное и математическое обеспечение для моделирования управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети, оценки вариации среднего времени доставки информационных пакетов с учетом особенностей механизма «заказного» обслуживания информационных пакетов с приоритетными очередями для мультимедийного трафика, оценки оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети. Показано, что их использование позволяет до 3 раз повысить точность оценки вариации времени доставки информационных пакетов в телекоммуникационной сети.

2. Разработаны вычислительные алгоритмы структурно-параметрической идентификации информационного потока. Показано, что их использование позволяет до 3,17 раз повысить достоверность идентификации информационного трафика по сравнению с известными корреляционными методами идентификации. Выработаны практические рекомендации по использованию разработанного метода идентификации трафика в телекоммуникационной сети.

3. Разработаны вычислительные алгоритмы установки первоначальных параметров обслуживания информационных потоков и динамического распределения ресурсов подсистемы управления и обслуживания в многопротокольных узлах связи. Показано, что использование разработанного метода при высокой загрузке ТКС позволяет до 10 раз уменьшить вариацию времени доставки информационных пакетов по сравнению с системами статического (централизованного) управления и до 4 раз по сравнению с системами «справедливого» распределения ресурсов. Выработаны практические рекомендации по использованию разработанного метода повышения оперативности передачи данных в телекоммуникационной сети.

4. Полученные результаты использованы в научно-исследовательской

работе Украинской государственной академии железнодорожного транспорта за темой “Дослідження та проведення лабораторних випробувань системи мультисервісного радіодоступу в діапазоні частот 10,5 ГГц в умовах станції Знам’янка” (0109U001519, 2010р.) и внедрены в учебный процесс кафедры программного обеспечения Кировоградского национального технического университета (акт № 17-36/21-2315 от 18.09.2010).

Достоверность полученных результатов обосновывается их непротиворечивостью основным теоретическим положениям и методам построения телекоммуникационных систем, теории связи и теории телетрафика, методам теории вероятности, теории графов и теории массового обслуживания. Достоверность подтверждается сходимостью результатов математического и имитационного моделирования систем идентификации трафика и управления очередями в многопротокольных узлах связи телекоммуникационной сети.

Личный вклад автора. Все результаты, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. В работах, выполненных в соавторстве и опубликованных в изданиях, которые вошли в перечень ВАК Украины, автору принадлежат:

– в [29] проведено исследование метода структурной идентификации информационных потоков в телекоммуникационных сетях на основе BDS-тестирования;

– в [52] проведено сравнительное исследование структурных методов идентификации трафика в телекоммуникационной сети;

– в [56] проведены сравнительные исследования методик оценки среднего времени обслуживания информационных пакетов в телекоммуникационной сети;

– в [57] проведен анализ перспективных направлений развития цифровых телекоммуникационных систем и сетей.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты

диссертации докладывались и были одобрены на следующих научно-технических конференциях:

– шестая научная конференция Харьковского университета Воздушных Сил «Новейшие технологии - для защиты воздушного пространства», г. Харьков, 14-15 апреля, 2010 г.;

– International Conference «Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)», Kiev, Ukraine, National Aviation University “NAU-Druk” Publishing House, October 13-14, 2010.

– третья научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Защита информации с ограниченным доступом и автоматизация ее обработки», г. Киев, 8-9 февраля 2011 г.;

– вторая всеукраинская научно-практическая конференция «Системный анализ. Информатика. Управление», г. Запорожье, 10-11 марта 2011 г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 6 научных статьях в специализированных изданиях из перечней ВАК Украины и 4 тезисах докладов научных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации содержит 162 страницы, в том числе 156 страниц основного текста, 2 приложения на 6 страницах, 49 рисунков, 7 таблиц, список использованных литературных источников состоит из 124 наименований на 13 страницах.

