

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина

На правах рукописи

ЩЕБЕНЮК Владимир Сергеевич

УДК 621.391

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТОКОВ ДАННЫХ В МУЛЬТИМАРШРУТНОМ
ТРАКТЕ АДАПТИВНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

Специальность: 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети

**ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Научный руководитель
ШМАТКОВ Сергей Игоревич,
кандидат технических наук

Харьков – 2012

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
РАЗДЕЛ 1. Анализ и выбор математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей	15
1.1. Анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей	15
1.1.1. Аналитические методы моделирования ТКС	15
1.1.1.1. Характеристика математического аппарата теории массового обслуживания	15
1.1.1.2. Характеристика математического аппарата вероятностно-временных графов	19
1.1.1.3. Характеристика математического аппарата теории графов и сетевого анализа	22
1.1.1.4. Общая характеристика дифференциальных и разностных уравнений	24
1.1.1.5. Общая характеристика математического аппарата теории фракталов.	26
1.2. Требования к математическому аппарату моделирования процессов в адаптивных распределенных телекоммуникационных сетях. Выбор математического аппарата	28
1.3. Выводы по первому разделу	31
РАЗДЕЛ 2. Модели информационных процессов при различных способах организации мультимаршрутного тракта данных в адаптивных телекоммуникационных сетях	33
2.1. Методы мультимаршрутной передачи сообщений в адаптивных телекоммуникационных сетях	33

2.2. Математическая модель процесса информационного обмена в адаптивных телекоммуникационных сетях при использовании мультимаршрутного тракта типа «точка -многоточка» и «многоточка - точка»	36
2.3. Математическая модель процесса информационного обмена при использовании мультимаршрутного тракта типа «точка - точка»	44
2.4. Выводы по второму разделу	50
РАЗДЕЛ 3. Разработка моделей управления качеством обслуживания потоков данных в мультимаршрутном тракте адаптивных ТКС	53
3.1. Математическая модель процесса управления информационным обменом при одномаршрутной передаче данных	53
3.1.1. Математическая модель и метод оценки среднего значения и дисперсию времени передачи сообщения	54
3.2. Математические модели и методы оценки вероятности передачи сообщения за заданное время	60
3.3. Сравнительная оценка эффективности одномаршрутного и мультимаршрутного методов передачи при различных способах формирования сообщений. Условия применения мультимаршрутной передачи	68
3.3.1. Сравнительная оценка эффективности одномаршрутного и мультимаршрутного методов передачи при различных способах формирования сообщений	68
3.3.2. Условия применения мультимаршрутной передачи	76
3.4. Методы управления качеством обслуживания в	83

адаптивных телекоммуникационных сетях	
3.5. Выводы по третьему разделу	87
РАЗДЕЛ 4. Модели и методы управления качеством обслуживания	
потоков данных при мультимаршрутной передаче с учетом	89
влияния различных режимов работы	
4.1. Обоснование метода распределения фрагментов по	89
каналам в мультимаршрутном тракте	
4.2. Анализ эффективности восстановления потерянных и	
искаженных сообщений при мультимаршрутной передаче	92
4.3. Разработка математической модели и анализ процесса	
управления потоком данных при мультимаршрутной	
передаче с учетом влияния канальной межканальной	115
синхронизации	
4.4. Сравнительная оценка эффективности методов	
формирования сообщений из принятых фрагментов	135
4.5. Выводы по четвертому разделу	149
РАЗДЕЛ 5. Разработка математических моделей и анализ	152
эффективности методов синхронизации тракта обмена данными	
при мультимаршрутной передаче	
5.1. Разработка модели и анализ эффективности процесса	152
синхронизации канала передачи данных по фрагментам	
5.2. Общая характеристика процесса межмаршрутной	158
синхронизации	
5.3. Разработка математических моделей и анализ	164
эффективности методов межмаршрутной синхронизации в	
системах с обратной связью	
5.3.1. Математическая модель и анализ эффективности	164
одноосного метода синхронизации	
5.3.2. Математическая модель и анализ эффективности	172
двухосного метода синхронизации	

5.4. Разработка математической модели и анализ эффективности процесса межмаршрутной синхронизация в системах без обратной связи	180
5.5. Выводы по пятому отделу	188
РАЗДЕЛ 6. Демонстрационный прототип многопутевой системы передачи информации	191
6.1. Разработка имитационной модели системы мультимаршрутной передачи информации	192
6.2. Выводы по шестому разделу	201
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	202
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	205
Приложение А	213
Приложение Б	221
Приложение В	234

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ТКС	- Телекоммуникационная сеть
СМО	- системой массового обслуживания
ТМО	- теория массового обслуживания
КСв	- канал связи
ВВГ	- Вероятностно-временные графы
СП	- сети Петри
БЗУ	- буферное запоминающее устройство
СГ	- синхрогруппа
МПС	- межпутевая (межмаршрутная) синхронизация
ВВД	- выравнивание времени доставки
ОП	- окончательный пункт
ОЗ	- отсчетного значения
ВВХ	- вероятностно-временные характеристики
РВД	- разность времени доставки
МС	- межканальная синхронизация
ЗВР	- Значение времени рассогласования
NGN	- Next Generation Network
	- Transmission control protocol
TCP	
ATM	- Asynchronous Transfer Mode
EGP	- Exterior Gateway Protocol
MPLS	- Traffic Engineering
HDLC	- High-level Data Link Control
UDP	- User Datagram Protocol

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития общества требует необходимости решения в науке и технике за короткие сроки все более сложных задач. Для решения таких задач широко используются телекоммуникационные сети с параллельной обработкой. При реализации такой обработки, в случае использования территориально разнесенных элементов необходимо внедрение распределенных телекоммуникационных сетей.

Под распределенной телекоммуникационной сетью понимают совокупность территориально разнесенных взаимосвязанных вычислительных и коммутационных подсистем, подсистемы взаимосвязанного программного обеспечения, поддерживающего выполнение дистанционных операций, функций управления операционной средой и контроля ее функционирования, реализованных по принятым стандартам.

Примером такой системы, которая получила широкое распространение, является технология GRID (вычислительная решетка), как наиболее эффективная модель распределенной обработки [1-3].

В отличие от традиционных компьютеров распределенные телекоммуникационные сети имеют следующие преимущества:

- Обладают большими вычислительными ресурсами (число доступных процессоров, объем памяти и т. п.).
- Компоненты сети могут быть удалены на значительное расстояние друг от друга, обеспечивая при этом оперативность их взаимодействия.
- Имеется возможность динамически изменять конфигурацию сети.
- Возможно распределение решаемых задач между элементами системы с целью повышения эффективности их решения.

Однако современные известные телекоммуникационные системы обладают рядом недостатков, которые ограничивают возможность дальнейшего повышения эффективности их применения. Такими недостатками являются:

- Решаемые задачи рассматриваются, как неделимое целое.
- Обмен данными осуществляется по единому маршруту без фрагментации сообщений, что приводит к неравномерности нагрузки отдельных участков сети.
- Отсутствует поддержка параметра времени, информационных параллельных процессов, как важного фактора повышения показателей эффективности распределенных телекоммуникационных сетей.
- Сложность обеспечения синхронизации вычислительных процессов в условиях удаленности элементов сети.
- Ограниченные возможности адаптации к изменяющимся условиям функционирования.
- Недостаточный учет влияния характеристик качества функционирования сети (ошибки при передаче, потере пакетов и т. д.) на качество решения задач.

Следствием этих недостатков является существенное ограничение возможностей распределенных телекоммуникационных систем. Все это обуславливает актуальность решения научно-технической проблемы разработки новых методов и моделей построения и организации параллельных процессов, обработки данных, процессов управления и обмена информации как в интересах повышения эффективности известных, так и создания перспективных телекоммуникационных систем.

Одним из направлений решения этой проблемы, обеспечивающей повышение эффективности распределенных телекоммуникационных систем, является переход к адаптивной организации параллельного решения задач пользователей, выполнение алгоритмов управления сетью

и обмена в ней информацией на основе учета фактора времени и передачи данных.

Основой создания этих систем является автоматизация таких процессов, как фрагментация задач и сообщений, управления сетью при использовании моделей мультипараллельных процессов, обмен данными на основе моделей мультимаршрутной передачи.

Необходимость внедрения адаптивных распределенных телекоммуникационных систем, повышения качества обслуживания пользователей, мультипротокольность, организация адаптивного управления, организация мультимаршрутной передачи предъявляют новые требования к телекоммуникационным сетям. Для удовлетворения указанным требованиям необходима разработка новых моделей и методов обмена сообщениями.

Анализ адаптивной распределенной телекоммуникационной системы (ТКС)[4,5] показывает, что ее эффективность (в частности, временные показатели) во многом зависит от функционирования коммуникационной подсистемы. Это объясняется тем, что обмен данными между компонентами ТКС приводит к большим временным затратам. Поэтому предложенные новые принципы построения ТКС и организации в них информационных процессов могут быть применены только в случае разработки методов и алгоритмов организации функционирования эффективной телекоммуникационной подсистемы.

При решении указанной задачи необходимо учитывать имеющиеся ограничения на ресурсы сети, которые могут оказать существенное влияние на такие важные показатели сети, как время доставки за заданное время и достоверность.

Один из путей решения задачи основан на использовании мультимаршрутной передачи сообщений между пользователями. При этом сообщение разбивается на фрагменты, каждый фрагмент передается по своему маршруту и на приемной стороне осуществляется сборка

сообщения из фрагментов. Эта процедура дает возможность адаптации к изменяющимся условиям обработки и передачи информации, динамической реконфигурации сети и распределению трафика с целью повышения эффективности использования имеющихся ресурсов. Необходимо отметить, что при мультимаршрутной передаче, при сборке сообщений из фрагментов, существенное влияние на основные характеристики будут играть процедуры синхронизации.

Применение мультимаршрутной передачи позволит обеспечить необходимый уровень качества обслуживания и обеспечит совместное использование удаленных ресурсов.

Эффективность обмена информацией при мультимаршрутной передаче определяется качеством процесса передачи и управления этим процессом информационном канале.

В области теоретических исследований имеется значительное число работ, посвященных вопросам повышения эффективности канала передачи данных. Часть из них ориентирована на исследовании пропускной способности и достоверности передачи, разработку моделей управления процессом обмена. Имеются работы в области динамического управления сетями, методом повышения их производительности [6-13]. Каждая из этих работ посвящена решению частной задачи.

Мировая индустрия связи в соответствии с концепцией построения сетей нового поколения стремительно развивается в направлении создания универсальных многоцелевых телекоммуникационных сетей, способных обеспечить передачу разнородной по составу (видео, речь, данные и др.) информации с предоставлением широкого спектра услуг с заданными показателями качества обслуживания. Современные средства и телекоммуникации будущего строятся как широкополосные мультисервисные системы [8, 14, 15]. Однако в них не учитывается необходимость и возможность мультимаршрутной передачи.

Имеется ряд работ, в которых описываются принципы функционирования многомаршрутного тракта. Широкое применение находит мультимаршрутная передача для обеспечения требуемой скорости информационного обмена в сетях Fast Ethernet, gigabit Ethernet [16-19].

В [20] описаны некоторые процедуры управления информационным каналом, включающим несколько параллельно работающих подканалов. Приведена математическая модель системы $M/m/n$ с групповым поступлением заявок, интервалы между которыми распределены по экспоненциальному закону. Получены выражения оценки ВВХ системы при пуассоновском законе поступления заявок. Рассмотрена двухканальная система с разноскоростными каналами. В [20] на основе теории массового обслуживания с присущими для этой теории ограничениями получены модели мультимаршрутной системы, позволяющие оценить ее ВВХ с учетом использования разноскоростных каналов. Однако в этих моделях различие в скорости обслуживания учитывается введением понятия эквивалентной интенсивности обслуживания, равной среднему значению этого параметра с учетом всех используемых каналов.

В [21,22] приведена математическая модель процесса информационного обмена при мультимаршрутной передаче без ограничения на закон поступления заявок и закон их обслуживания. Однако эта модель не позволяет оценить такие важные характеристики, как дисперсию времени доставки и вероятность доставки за заданное время. Модель не учитывает возможность различной организации информационного обмена при мультимаршрутной передаче.

В [23] разработана модель оценки ВВХ информационных технологий с учетом специфики протоколов. Эта модель разработана для условий передачи только по одному каналу и не предусматривает возможность

возникновения ряда ситуаций. Например, не учитывается возможность потери сообщения при невыполнении требований по времени.

В [22] описаны математические модели многопутевой маршрутизации, основанные на теории графов и теории массового обслуживания. Известны математические модели, основанные на использовании линейного программирования.

Однако в приведенных работах не учитываются особенности функционирования мультимаршрутного тракта, заключающиеся в необходимости фрагментации сообщений, их сборки из принятых фрагментов, канальной и межмаршрутной синхронизации, особенности восстановления искаженных и потерянных фрагментов. Анализ известных, в том числе и приведенных выше работ, показывает, что вопросам построения и организации эффективного мультимаршрутного тракта уделяется мало внимания поэтому актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью решения научной задачи разработки методов и моделей организации мультимаршрутного тракта, обеспечивающего эффективный обмен данными в адаптивных распределенных телекоммуникационных сетях.

Работа является обобщением и продолжением исследований, связанных с выполнением научно-исследовательских работ проведенных в ХНУ имени В.Н. Каразина «Математичне та комп'ютерне моделювання інформаційних процесів в складних природних та технічних системах» (№ держреєстрації 0112U002098) и проекта «Розробка макету, що забезпечує аналіз основних характеристик комп'ютерних мереж та її елементів».

Основной целью данной диссертации является разработка методов и моделей обмена информацией в адаптивных распределенных телекоммуникационных сетях, позволяющих повысить их эффективность на основе использования мультимаршрутной передачи.

Для достижения этой цели необходимо решить ряд новых взаимосвязанных научных задач:

1. Разработать математическую модель процесса информационного обмена при мультимаршрутной передаче в ТКС, которая позволяет учитывать использование разноскоростных каналов, особенностей применяемых протоколов, а также свойств самоподобности входного трафика.

2. Разработать математическую модель управления качеством обслуживания в ТКС, позволяющую определять временные параметры сети (среднее значение и дисперсию времени доставки фрагментов, вероятность доставки за заданное время).

3. Провести сравнительную оценку эффективности методов одномаршрутной и мультимаршрутной передачи сообщений. Доказать, что для уменьшения времени доставки целесообразно разделение сообщения на фрагменты и его мультимаршрутная передача.

4. Разработать методы управления потоком данных при мультимаршрутной передаче (распределение фрагментов по каналам, восстановление потерянных и искаженных сообщений, формирование сообщений из принятых фрагментов).

5. Разработать методы и модели синхронизации тракта обмена данными при мультимаршрутной передаче.

Объектом исследования является процесс информационного обмена в адаптивных распределенных телекоммуникационных сетях по мультимаршрутному тракту.

Предметом исследований являются методы построения и организации обмена данными в мультимаршрутной тракте.

Научная новизна полученных результатов.

В результате проведенных исследований автором были получены следующие научные результаты:

1. Получила дальнейшее развитие модель процесса информационного обмена в телекоммуникационных сетях, которая в отличие от известных основана на особенностях организации мультимаршрутного тракта в адаптивных телекоммуникационных сетях. Модель отличается тем, что при оценке основных ВВХ дает возможность учесть качество используемых разноскоростных каналов в мультимаршрутном тракте, особенности применяемого протокола, самоподобие трафика и вводимую избыточность.

2. Усовершенствована модель процесса управления каналом обмена данными, отличительной ее особенностью является комплексное использование как вероятностно-временных графов и производящих функций, так и цепей Маркова и теории массового обслуживания. Модель позволяет оценить не только среднее значение и дисперсию времени доставки сообщений, а и вероятность доставки за требуемое время, без ограничений на характеристику трафика.

3. Получили дальнейшее развитие методы и модели управления трафиком при мультимаршрутной передаче, восстановлении потерянных и искаженных сообщений, учета влияния различных режимов работы и формирования сообщений из принятых фрагментов.

4. Впервые разработаны методы и модели канальной и межмаршрутной синхронизации, отличающиеся от известных тем, что они описывают как одноосный, так и двухосный методы, а также метод без использования обратной связи. Модели дают возможность оценить вероятностно-временные характеристики, сравнить различные методы режима синхронизации и обосновано выбрать пороговые значения перехода от одного этапа к другому процесса установления синхронной работы.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что разработанные методы и модели могут быть использованы при модернизации как существующих, так и создании перспективных

телекоммуникационных сетей. Результаты анализа, полученные в работе позволяют обоснованно разрабатывать архитектуру адаптивных распределенных телекоммуникационных сетей.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе ХНУ им. В.Н. Каразина на кафедре «Теоретической и прикладной системотехники».

Апробация результатов диссертации проводилась в ходе докладов на 2 конференциях.

Основные результаты работы опубликованы в 5 научных статьях в журналах и сборниках, утвержденных ВАК Украины, а также в трудах 2 научно-технических конференций и форумов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воеводин В. В. Параллельные вычисления [Текст] / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – Спб.: БХВ – Петербург, 2004. – 608 с.
2. Корнеев В. В. Вычислительные системы [Текст] / В. В. Корнеев. – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 512 с.
3. Методы и модели планирования ресурсов в GRID-системах [Текст] / Пономаренко В. С., Листровой С. В., Минухин С. В., Знахур С. В. – Х.: ВД «ИНЖЕК», 2008. – 408 с.
4. Поляков Г. А. Адаптивные самоорганизующиеся системы с мультипараллельной обработкой данных – стратегия развития цифровой вычислительной техники в XXI веке [Текст] // Сб. научн. тр. «Прикладная радиоэлектроника». – Х.: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2002. – Т. 1, № 1. – С. 57–69.
5. Шматков С. И. Проблемы построения адаптивных распределительных вычислительных сетей с временной параметризацией параллельных процессов / С. И. Шматков [Текст] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: УДАЗД, – 2010. – № 2. – С.42–43.
6. Степанов А. Н. Архитектура вычислительных систем и компьютерных сетей [Текст] / А. Н. Степанов. – СПб.: Питер, – 2007. – 609 с.
7. Стеклов В. К. Основы управління мережами та послугами телекомунікацій [Текст] / В. К. Стеклов, Е. В. Кильчицкий. – К.: Техніка, 2002. – 432 с.
8. Поповский В. В. Основные тенденции мирового развития телекоммуникаций [Текст] / В. В. Поповский // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2001. – Вып. 123. – С. 4–8.
9. Гребешков А. Ю. Стандарты и технологии управления сетями связи [Текст] / А. Ю. Гребешков. – М.: Эко–Трендз, 2003. – 288 с.

10. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы [Текст]: учебник для ВУЗов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
11. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка [Текст] / Х. Остерлох. – СПб.: ВHV-СПб., 2002. – 512 с.
12. Дымарский Я. С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи [Текст] / Дымарский Я. С., Крутякова Н. П., Яновский Г. Г. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 384 с.
13. Абдельхамид Зугбор. Методы адаптации и управления в задачах профилирования трафика [Текст] / Зугбор Абдельхамид, Звягольская Г. В., Селевко С. Н. // Радиотехника: Всеукр. межведомств. науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 138. – С. 130–133.
14. Поповский В.В. Перспективы теории и практики телекоммуникаций [Текст] / В. В. Поповский, Т. И. Григорьева // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2002. – Вып. 128. – С. 4–10.
15. Хиленко В. В. Сетевой интеллект и сети нового поколения [Текст] / В. В. Хиленко, В. Ф. Михайлов. – Зв'язок. – 2003. – № 1. – С. 2–5.
16. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации [Текст] / И. Г. Бакланов; под ред. Ю. Н. Чернышева. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400с.
17. Гольдштейн А. Б. Softswitch [Текст] / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006. – 368 с.
18. Гольдштейн А. Б. Технология и протоколы MPLS [Текст] / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 304 с.
19. Шварцман В. О. Качество услуг сетей следующего поколения [Текст] / В. О. Шварцман // Электросвязь. – 2006. – № 3. – С. 26–31.
20. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями [Текст] / Л. Клейнрок; пер с англ. – М.: Мир, 1979.

21. Арипов М. Н. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений [Текст] / М. Н. Арипов. – М.: Радио и связь, 1988. – 285 с.
22. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ [Текст] / М. Шварц. – М.: Наука, Главная редакция физмат. литературы, 1992. – Ч. 1. – 336 с
23. Лосев Ю. И. Методика определения вероятностно–временных характеристик информационных технологий с учетом специфик протоколов [Текст] / Ю. И. Лосев, З. З. Закиров // Системи обробки інформації: зб наук. пр. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 1 (68). – С. 44–47.
24. Авен О. И. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем [Текст] / Авен О. И., Гурин Н. Н., Коган Я. А. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 464 с.
25. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания [Текст] / Л. Клейнрок; пер. с англ. И. И. Грушко; под ред. В. И. Неймана. – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с.
26. Мизин И. А. Сети коммутации пакетов [Текст] / Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П.; под ред. В. И. Семинихина. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
27. Кофман А. Массовое обслуживание (теория и приложения) [Текст] / А. Кофман, Р. Крюон; пер. с фр.; под ред. И.Н. Коваленко. – М.: Мир, 1965. – 302 с.
28. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование [Текст] / М. Шварц; пер. с англ.; под ред. В.А. Жожикашвили. – М.: Радио и связь, 1981. – 336 с.
29. Будко П. А. Управление в сетях связи. Математические модели и методы оптимизации: монография [Текст] / П. А. Будко, В. В. Федоренко. – М.: Изд. физико-математической литературы, 2003. – 228 с. – ISBN 5-94052-064-2.

30. Адаптивная компенсация помех в каналах связи [Текст] / Лосев Ю. И., Бердников А. Г., Гойхман Э. Ш., Сизов Б. Д.; под ред. Ю. И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
31. Борисов А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / Борисов А. Н., Алексеев А. В. и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
32. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта [Текст] / Аверкин А. Н., Батыршин И. З., Блишун А. Ф. и др.; под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 316 с.
33. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман; пер. с фр.; под ред. С. И. Травкина. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
34. Нечеткие множества и теория возможностей (последние достижения) [Текст] / под ред. Р. Ягер; пер. с англ. под ред. С. И. Травкина. – М.: Радио и связь, 1986. – 406 с.
35. Шапиро Д. И. Выбор решений при нечетком описании системы [Текст] / Д. И. Шапиро, А. Ф. Блишук // Алгоритмы и программы. – 1978. – № 1. – 75 с.
36. Такеда Э. Связность расплывчатых графов [Текст] / Вопросы анализа и процедуры принятия решений // Сб. переводов; под ред. И. Ф. Шахнова. – М.: Мир, 1976. – С. 173–215.
37. Филлипс Д. Методы анализа сетей [Текст] / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас; пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.; с ил.
38. Фрэнк Г. Сети связи и потоки [Текст] / Г. Фрэнк, И. Фриш; пер. с англ. – М.: Связь, 1978. – 448 с.
39. Бертсекас Д. Сети передачи данных [Текст] / Д. Бертсекас, Р. Галлагер; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
40. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах [Текст] / Э. Майника. – М.: Мир, 1981. – 323 с.
41. Басакер Р. Г. Конечные графы и сети [Текст] / Р. Г. Басакер, Т. Л. Саати. – М.: Наука, 1973. – 368 с.

42. Форд Л. Р. Потоки в сетях [Текст] / Л. Р. Форд, Д. Фалкерсон. – М.: Мир, 1966. – 276 с.
43. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях [Текст] / Т. Ху. – М.: Мир, 1974. – 519 с.
44. Лосев Ю. И. Сравнительный анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей [Текст] / Ю. И. Лосев, К. М. Руккас // Збірник наукових праць. Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 8. (66). – С. 55–61.
45. Лосев Ю. И. Анализ системы массового обслуживания с приоритетами с учетом фрактальности трафика [Текст] / Ю. И. Лосев, К. М. Руккас // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – Х.: ХНУРЭ, 2006. – Выпуск 144. – С. 59–65
46. Руккас К. М. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов [Текст]: [монография] / Г. А. Кучук, А. А. Можаяев, А. С. Васильев. – Х.: ХООО «НЭО Экоперспектива», 2006. – 348 с.
47. Крылов В. В. Теория телетрафика и ее приложения [Текст] / В. В. Крылов, С. С. Самохвалова. – Санкт–Петербург: БХВ–Санкт–Петербург, 2005. – 288 с.
48. Морозов А. Д. Введение в теорию фракталов [Текст] / А. Д. Морозов. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 159 с.
49. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах [Текст] / Р. М. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
50. Заборовский В. С. Методы и средства исследования процессов в высокоскоростных компьютерных сетях [Текст] / Заборовский Владимир Сергеевич // Дис. доктора техн. наук: 05.13.01. – СПб., 1999. – 268 с.
51. Столлингс В. Современные компьютерные сети. [Текст] / В. Столлингс. –СПб.: Питер, 2003. – 2-е изд. – 784 с.
52. Лосев Ю. И. Анализ моделей вероятности потери пакетов в буфере маршрутизатора с учетом фрактальности трафика [Текст] / Ю. И. Лосев,

- К. М. Руккас // Вісник Харківського національного університету. – Х., 2008. – Випуск 10, № 833. – С. 163–170.
53. Городецкий А. Я. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях: учебное пособие [Текст] / А. Я. Городецкий, В. С. Заборовский. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 102 с.
54. Раскин Л. Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления [Текст] / Л. Г. Раскин. – М.: «Сов. радио», 1976. – 344 с.
55. Розенберг В. Я. Что такое теория массового обслуживания [Текст] / В. Я. Розенберг, А. И. Прохоров. – М.: «Сов. радио», 1962. – 245 с.
56. Queueing networks and Markov chains: modeling and performance evaluation with computer science approach 2nd ed [Text] / Bolch G., Greiner S., De Meer H., Trivedi K. – Wiley-Interscience, 2006. – 869 p.
57. G.Bolch, A.Scheuerer. Analytische Untersuchungen Asymmetrischer Prioritatgesteuerter Wartesysteme. [Text] // In W. Gaul, A. Bachem, W.Habenict, W. Runge and W. Stahl. Editors, Operations Research Proc. Stuttgart, Berlin, September 1991. – 283,284,285,290,294 p. p.
58. K. S. Trivedi. Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Application. [Text] / John Wiley and Sons, New York, second edition, 2001. – 644 p.
59. R. Geist and K. S. Trivedi. The integration of user Perception in Heterogeneous M/M/2 Queue [Text] // In A. Agrawala and s. Tripathy, editors, Proc. Performance '83. – P. 203–216. Amsterdam, 1983. North-Holland. – 294 p.
60. Лосев Ю.И. Математическая модель процесса мультимаршрутной передачи в адаптивных компьютерных сетях с времяпараметризованной параллельной обработкой [Текст] / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас, В.С. Щебенюк // Зб. наук. праць. Системи управління, навігації та зв'язку. – Київ: ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління», 2011 р. – Випуск №2(18). – С.251-254

61. Лосев Ю.И. Математическая модель процесса мультимаршрутного обмена данными типа «точка - точка» в адаптивных компьютерных сетях [Текст] / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас, В.С. Щебенюк // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУкр. – Х.: ХУПС, 2011 р. – Випуск №1(5). – С.123-127.
62. Лосев Ю.И. Сравнительная оценка эффективности одномаршрутного и мультимаршрутного методов передачи сообщений [Текст] / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас, В.С. Щебенюк // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х: ХУПС, 2011 р. – Випуск № 2(28). – С.132-135.
63. Лосев Ю.И. Методы управления потоком данных при восстановлении потерянных и искаженных данных в мультимаршрутном тракте [Текст] / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас, В.С. Щебенюк // Зб. наук. праць. Системи обробки інформації. – Х: ХУПС, 2012 р. – Випуск №2(100). – С.199-202.
64. Лосев Ю.И. Математические модели и методы межмаршрутной синхронизации в системах с обратной связью / Ю.И. Лосев, С.И. Шматков, К.М. Руккас, В.С. Щебенюк [Текст] // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х: ХУПС, 2012 р. – Випуск №1(30). – С.120-123.
65. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон; пер. с англ.. – М.: Мир, 1984.–264 с.
66. Котов В. Е. Сети Петри [Текст] / В. Е. Котов. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 160 с.
67. С.В. Рошин, С.М. Аракелян. Использование специализированных систем моделирования для анализа устойчивости телекоммуникационной инфраструктуры к вирусным и другим атакам [Текст] // Единая образовательная информационная среда: проблемы и пути развития. – Владимир: ВГУ, 2003 р. – С.123
68. Котенко И.В. Многоагентные модели противоборства злоумышленников и систем защиты в сети Интернет [Текст] // Третья Общероссийская

конференция «Математика и безопасность информационных технологий» (МаБИТ-04). – М.: МГУ, 2004. – 234 с.

69. Cappuccino [Электронный ресурс] / Режим доступа – <https://github.com/280north/cappuccino/wiki/FAQ>. - Загл. с экрана. (Дата обращения: 04.11.2010).
70. Learn More About Cappuccino & Objective-J [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://cappuccino.org/learn/> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 04.11.2010).
71. Kerman Deboo. XNetMod: A Design Tool for Large-Scale Networks [Text] // CITI Technical Report 93–6, 1993. – 8с.
72. Netrule, a Complete Modeling Environment [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://www.analyticalengines.com/> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 15.05.2011).
73. The Network Simulator NS2 [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 05.11.2010).
74. NetSim Network Simulator & Router Simulator [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://www.boson.com/AboutNetSim.html> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 07.08.2011).
75. PDNS – Parallel/Distributed NS [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://www.cc.gatech.edu/computing/pads/pdns.html> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 05.11.2010).
76. Описание, документация, исходники системы дискретного моделирования OMNET++ [Электронный ресурс] / Режим доступа – <http://www.omnetpp.org> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 25.03.2012).
77. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Карпов Ю. Г. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.

