

УДК 004.724

На правах рукописи



СЕЙЛОВА НУРГУЛЬ АБАДУЛЛАЕВНА

**Разработка метода оптимального управления информационными
потоками в сетях передачи данных**

05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Республика Казахстан

Алматы, 2010

Работа выполнена в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Амиргалиев Е. Н.;

доктор технических наук
Ашигалиев Д. У.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сыздыков Д.Ж.;

кандидат технических наук, доцент
Пащенко Г. Н.

Ведущая организация: Институт космических исследований

Защита состоится 9 декабря 2010 года в 14.30 ч. на заседании объединенного диссертационного совета ОД 14.13.03 при Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева по адресу: Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, нефтяной корпус, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К. И. Сатпаева.

Автореферат разослан 6 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Б.Х. Айтчанов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. В процессе перехода и становления рыночной экономики в Республике Казахстан на современном уровне развития нашего общества огромное значение приобретают вопросы по развитию информационно-телекоммуникационных технологий. Научно-технический прогресс, всевозрастающая тенденция роста числа предприятий государственного и частного производства, предъявляют новые требования, как количественные, так и качественные, к сбору, передаче и доставке информации.

Традиционно проблема управления потоками в сетях передачи данных решается с помощью математического аппарата теории массового обслуживания, теории графов, теории сетей, теории автоматов и др., которые были разработаны такими известными российскими и зарубежными учеными, как М.Г. Винарский, Г.П. Башарин, П.П. Бочаров, В.М., Л. Клейнрок, Вишневский, В.А. Горбатов, В.А. Жожикашвили, В.В. Корнеев, В.А. Наумов, В.И. Нейман и др.

Вопросом повышения скорости передачи пакетов активно занимаются разработчики коммутационного оборудования многих стран мира, которые стремятся повысить пропускную способность своих систем за счет новых технологий.

Актуальность темы исследования определяется важностью решения проблем при разработке перспективных вычислительных сетей. Среди них одной из центральных остается проблема проектирования сети передачи данных с наиболее эффективными методами транспортировки информационного трафика, причем это достигается за счет оснащения узлов коммутации современным оборудованием, соединенных высокоскоростными линиями связи, по которым осуществляется передача информации в цифровой форме. Помимо наличия модернизированных технических устройств на узлах коммутации и каналах связи, для более рационального использования вычислительных ресурсов сети передачи данных, необходимо разрабатывать методы и модели в области управления информационным трафиком. Это достигается главным образом как за счет улучшения характеристик качества работы коммутаторов, так и за счет разработки эффективного метода управления информационным потоком для всей сети. В результате повышается быстродействие и пропускная способность узлов коммутации и, тем самым обеспечивается требуемая производительность самой сети и её адаптация к изменениям трафика. Однако многолетние исследования в направлении развития сетей передачи данных пока еще не дали универсального высокоэффективного разрешения данной проблемы и поэтому, научно-фундаментальные изыскания данной темы диссертации, несомненно, важны и актуальны.

Целью диссертационной работы является разработка методов расчета характеристик коммутирующего элемента и управления информационными потоками, обеспечивающих повышение производительности сети передачи

данных за счет более эффективного распределения ресурсов сети.

На основе проведенного анализа и путей решения проблемы управления информационными потоками данных поставлена **задача исследования**:

- Разработка модели коммутирующего элемента, для определения основных ее характеристик.

- Построение графа состояний модели для более подробного изучения работы коммутирующего элемента.

- Разработка математической модели коммутации с использованием математического аппарата теории массового обслуживания.

- Разработка метода распределения потоков данных, эффективно использующий имеющиеся ресурсы и обладающей приемлемой сложностью.

- Разработка модели оптимального вычисления множества маршрутных переменных для оптимального управления трафиком. Получение необходимого и достаточного условия оптимальности решения задачи методом неопределенных множителей Лагранжа.

- Построение алгоритма оптимального управления информационными потоками в сетях передачи данных.

- Разработка программ для автоматизации расчетов предлагаемых моделей.

Объектом и предметом исследования являются коммутаторы, потоки и сети передачи данных.

Методы исследования. В работе для решения задач используются теория вероятностей, теория систем массового обслуживания, теория сетей связи, математическое моделирование, методы оптимизации, объектно-ориентированное программирование.

Научная новизна работы. Научной новизной полученных результатов диссертационной работы являются:

- Разработана математическая модель двухвходового коммутирующего элемента, которая позволяет вычислять основные характеристики функционирования его в оптимальном режиме.

- Получена система балансных уравнений, на основе которой строится граф вероятностных переходов всех состояний.

- Разработан алгоритм, позволяющий оптимизировать распределение потоков данных в модели коммутирующего элемента, тем самым обеспечивается увеличение пропускной способности и уменьшение задержки в передаче кадров.

- Разработана модель вычисления множества маршрутных переменных для оптимизации управления трафиком для сетей передачи данных.

- Построен алгоритм оптимального управления информационными потоками в сетях передачи данных, с целью достижения эффективной производительности сети.

- Разработан комплекс программ для расчета основных характеристик исследуемой модели коммутирующего элемента и оптимального управления потоками данных, с использованием объектно-ориентированного программирования.

Основные научные положения, вносимые на защиту:

- Разработанная математическая модель, граф схема и алгоритм, описывают работу коммутирующего элемента на основе математического аппарата теории массового обслуживания.

- Предложенный метод распределения потоков данных модели коммутирующего элемента позволяет увеличивать пропускную способность коммутирующего элемента сети, а также уменьшить задержку при передаче кадра.

- Модель оптимального вычисления множества маршрутных переменных для эффективного управления информационным трафиком в сетях.

- Распределенный алгоритм оптимального управления потоками данных в сетях передачи данных.

- Результаты численных экспериментов, которые подтверждают достоверность предлагаемого алгоритма.

- Комплекс программ для расчета основных характеристик разработанной модели коммутирующего элемента.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается корректностью постановки задачи, применением строгих математических моделей, непротиворечивостью результатов и выводов, моделированием, а также численными результатами, проведенными с использованием современных средств вычислительной техники.

Практическая ценность работы заключается в создании алгоритмов оптимального распределения и управления информационными потоками, обеспечивающие эффективное использование имеющихся ресурсов и повышение пропускной способности сети. Разработанные алгоритмы оптимизации использованы и внедрены в производственный процесс для модернизации и улучшения сетей передачи данных Научно исследовательской проектной группы Oil Gas (8 сентября 2010г.), АО КазГеоКосмос г. Алматы (22 сентября 2010г.), а также разработки по теме «Математическое моделирование и граф-схема алгоритма работы составного коммутатора» внедрены в учебный процесс Казахского национального технического университета по специальности 050704 «Вычислительная техника и программное обеспечение» (19 мая 2010г.).

Личный вклад автора. Все результаты исследований, составляющие основное содержание диссертации получены автором самостоятельно.

Апробация работы. Основные результаты диссертации обсуждались на научных семинарах кафедр «Вычислительная техника» и «Программное обеспечение систем и сетей», лаборатории распознавания образов и принятия решений Института проблем информатики и управления МОН РК, Института космических исследований, а также докладывались и обсуждались:

- на Международной научно-практической конференции «Состояние, проблемы информатизации в Казахстане» (КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2004);

- на Республиканской научной конференции «Молодые ученые – будущее науки» (Алматы, 2004);

- на V Международной научно-практической конференции «Бизнес и

образование: вектор развития» (Алматы, 2005);

- на Международном симпозиуме «Информационные и системные технологии в индустрии, образовании и науке» (Караганда, 2006);

- на VI Международной конференции «Системы обеспечения качества бизнес образования в РК: Инновационные подходы» (Алматы, 2006);

- на Международном форуме «Наука и инженерное образование без границ» (Алматы, 2009);

- на VI Казахстанско-Российской Международной научно-практической конференции «Математическое моделирование научно-технологических и экологических проблем» (Алматы, 2010).

Публикации. Основные, научные результаты представлены в 10 печатных работах, в том числе 4 работы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки для публикации основных результатов диссертации.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и приложения. Содержит 118 страниц основного текста, 8 таблиц, 26 рисунков, включает в себя 4 приложения. Список использованных источников составляет 95 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность исследуемой темы, сформулированы цель, задачи и результаты исследования диссертационной работы, раскрыта научная новизна, отмечена практическая значимость и приведены сведения об апробации полученных результатов.

В первом разделе рассмотрены работы авторов публикации в области управления скоростью в сетях передачи данных и анализированы современные результаты.

В результате анализа научно-технического материала, можно сделать следующие выводы:

- управление информационным трафиком связано с оптимизацией текущих параметров качества обслуживания;

- решение проблем перегрузки, связанные с неэффективным размещением ресурсов, могут быть решены посредством управления трафиком.

Рассматриваются общие понятия, определения и принципы структурной организации сетей передачи данных (СПД). Даны важнейшие определения, принципы и алгоритмы, которые используются в исследовании потоков данных. Определены цель и задачи оптимального управления потоками данных, проведен обзор методов оптимального управления потоками в сетях передачи данных, рассмотрены возможности применения моделей теории систем и сетей массового обслуживания для задач управления потоками данных в сетях.

Второй раздел посвящен способам организации архитектуры коммутаторов, описанию характеристик, влияющих на производительность коммутаторов. Описан основной математический аппарат для исследования

данной работы. Также описана структура и алгоритм работы коммутирующего элемента, для исследования работы представлена модель и граф-схема алгоритма работы коммутирующего элемента. Разработана программа для вычисления основных характеристик исследуемой модели.

Проведен аналитический расчет при различных нагрузках и разработан метод распределения потоков данных. Для проектирования и управления коммутатором необходима функциональная модель устройства. Реальный коммутатор может быть представлен различными моделями в зависимости от степени и полноты детализации процессов и конечной задачи исследования.

Базовую функциональную схему узла коммутации (УК) можно создать на основе теории массового обслуживания.

Коммутатор представляется с входным буфером и дисциплиной обслуживания заявок FIFO (First Input/First Output). Функциональная модель системы приведена в соответствии с рисунком 1.

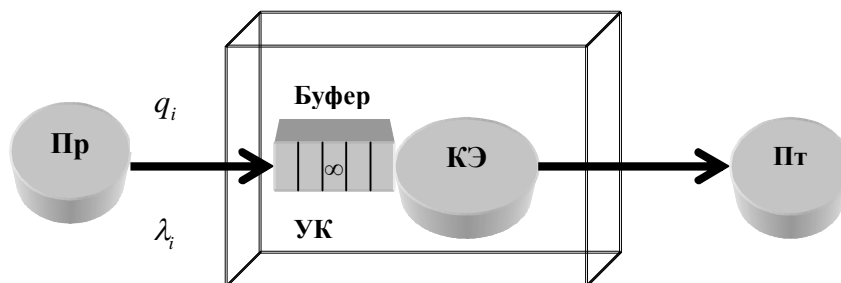


Рисунок 1 - Функциональная схема коммутатора в терминах СМО

Минимальной структурной единицей любого коммутатора является коммутирующий элемент (КЭ) с двумя и более входами, входной буфер это, кадры, которые генерирует процессор (Пр). Нагрузкой коммутатора является потребитель (Пт). Загрузка входного канала выражается через интенсивность потока заявок λ_i . Состояние канала обозначим q_i .

Опишем модель составного коммутатора 2x2 и раскроем блок узла коммутации приведенного на рисунке 1.

Интерес представляют модели (в соответствии с рисунком 2), где оцениваются взаимные конфликты между одновременно поступающими запросами на коммутацию.

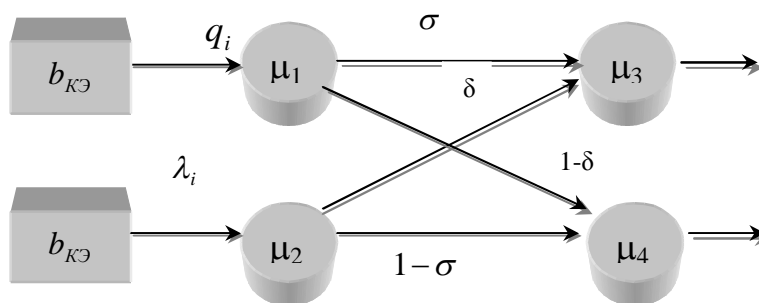


Рисунок 2 - Структура модели коммутатора 2x2

С этих позиции рассматривается поведение двухвходового коммутирующего элемента (КЭ).

Для оценки характеристик и исследования поведения представленного коммутирующего элемента строится двухфазная модель массового обслуживания.

Система М/М/2/∞, то есть М - входной поток требований - пуассоновский, М - распределение времени обслуживания – экспоненциальный, 2 - число каналов = 2; очередь = ∞ (неограниченный буфер).

Первая фаза включает два обслуживающих прибора с интенсивностями обслуживания μ_1 и μ_2 . Приборы второй фазы с интенсивностями обслуживания μ_3 и μ_4 . Для определения пропускной способности данного элемента предполагается наличие на входе каждого прибора первой фазы источников заявок с конечными очередями. Блок буферной памяти предназначен для сглаживания кратковременных пульсации трафика. Вторая фаза обслуживает запросы в зависимости от их поступления. Приборы первой фазы блокируются от момента выставления запроса до приема второй фазы.

Для оценки системы должны быть определены:

- интенсивность транзитных потоков на входе КЭ ω_1, ω_2 ;
- интенсивность выходных потоков ω_3, ω_4 ;
- коэффициенты загрузки η_i .

Предполагаем что, время появления и длины кадра независимы и случайны; это включает предположение, что интервалы обслуживания в фазах является случайными величинами с экспоненциальными законами распределения со средними значениями:

$$v_i = 1/\mu_i \quad (i=1,4) \quad (1)$$

Функции коммутации на модели определяются вероятностями δ и σ , через которые выставляются запрос на верхнюю шину, а с вероятностями $1-\delta$ и $1-\sigma$ - на нижнюю шину. Дисциплина обслуживания бесприоритетная FIFO (first input – first output).

Функционирование модели описывается системой балансных уравнений, полученных на основе графа состояний и переходов, с условием нормировки:

$$\sum_{i=0}^{10} x_i = 1 \quad (2)$$

По найденным вероятностям состояния определяются следующие характеристики:

- коэффициенты загрузки коммутирующего элемента η_i
- интенсивности транзитных потоков на входе КЭ ω_i
- поток на выходе коммутирующего элемента

Интенсивности потоков определяют пропускную способность КЭ W . Для оценки эффективности определяется коэффициент использования пропускной способности КЭ:

$$\Delta W = W/V, \quad (3)$$

где V – максимально возможная пропускная способность КЭ.

Она определяется на основе того, что время выполнения коммутации состоит из 2 этапов:

- τ_1 – время демультиплексирования;
- τ_2 – время мультиплексирования запроса.

Были проведены расчеты коэффициентов загрузки КЭ, интенсивности транзитных потоков, в условиях симметричной и асимметричной загрузки. Способы распределения загрузки оценены в условиях минимальной, номинальной и высокой нагрузке на КЭ. Эти условия определены с учетом одинаковой интенсивности обслуживания на приборах фаз, т.е. $\mu_1 = \mu_2 = \mu_1; \mu_3 = \mu_4 = \mu_2$.

Симметричная загрузка обеспечивает более высокое качество коммутации, когда ее пропускная способность используется в наибольшей степени.

При асимметричной загрузке получается перекося потоков на один выход, что существенно снижает коэффициент использования производительности.

Задача оценивания характеристик КЭ сформулирована следующим образом. При заданных значениях параметров построить математическую модель, обеспечивающую анализ характеристик варианта загрузки КЭ. Таким образом, для модели двухвходового коммутатора выведены условия сбалансированного распределения загрузки коммутируемых потоков, что обеспечивает распределение в зависимости от загрузки.

Для оценки полученного коэффициента пропускной способности (ΔW), найдена плотность и функция распределения потоков и на основе полученных результатов рассчитаны математическое ожидание и дисперсия. Результаты проведенных расчетов показано на рисунке 3.

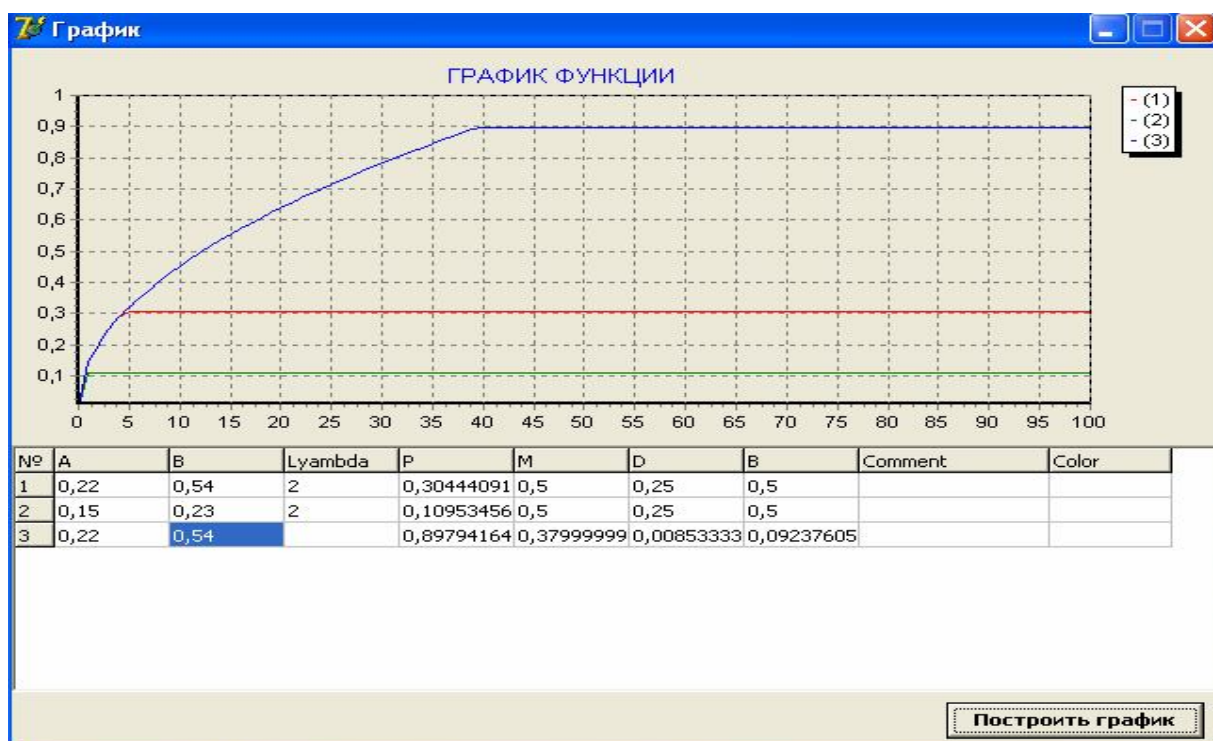


Рисунок 3 – Оценка коэффициента пропускной способности

Все расчеты для определения основных характеристик предлагаемой модели проведены с помощью средств вычислительной техники.

Третий раздел посвящен разработке метода управления информационными потоками в сетях передачи данных (СПД), функционирующей в режиме коммутации пакетов (КП). Рассмотрены различные способы и ограничения с точки зрения управления потоками данных и вычислительными ресурсами сети передачи данных. Управление потоками данных связано с оптимизацией текущих параметров качества обслуживания СПД. При этом технология передачи потока основана на разработке такой модели управления, которая включает в себя научные принципы измерения интенсивностей, как поступления пакетов, так и обработки их на узлах коммутации, процесс формирования узлового и канального потока и непосредственно управление этими потоками. Главной целью управления потоками данных в СПД является достижение эффективной и надежной работы сети.

Концептуальной основой организации и функционирования, современных СПД является технология коммутации пакетов. Абоненты СПД обмениваются между собой сообщениями - информационными блоками произвольной длины. Сообщения, поступающие от абонентов, разбиваются на пакеты - блоки фиксированной длины. Пакеты нумеруются, снабжаются адресом получателя и передаются по СПД. Размеры пакетов обычно регламентируются в соответствующих протоколах.

Будем рассматривать проблему управления потоками СПД в следующей постановке. Заданы места возможного размещения узлов коммутации СПД, известны количество и существенные характеристики абонентских вычислительных комплексов (в том числе локальных и корпоративных сетей), подключаемых к каждому УК, и примерная интенсивность трафика (ожидаемая или та, которую желательно обеспечить) по передаче и приему, определена доступная номенклатура аппаратных средств (маршрутизаторы, модемы, адаптеры и т.д.) и их технические характеристики, а также доступные каналы связи (КС) между возможными пунктами размещения УК и их характеристики. Требуется построить такую модель процесса обмена информацией, которая обеспечивает оптимальное значение критерия качества обслуживания СПД.

Пусть топологическая структура СПД представляется неориентированным графом $G = \{V; L\}$, где V - заданное множество мест размещения узлов коммутации СПД, L - множество ветвей, соответствующих множеству доступных каналов связи между узлами коммутации, $(ik) \in L$ (i, k - соседние узлы) тогда и только тогда, когда между пунктами $i, j \in V$ существует возможность непосредственного соединения с помощью линии связи. и n - число элементов множества V . Каждой ветви $(ik) \in L$ (i, k - соседние узлы) сопоставим группу c_{ik} обслуживающих устройств (временных каналов магистрального тракта), которые используются для передачи информации методом КП.

На каждый узел СПД с заданными интенсивностями поступают нагрузки

(пакеты), планы распределения которых, по всем трактам определяются традиционными методами адаптивной маршрутизации. Эти методы позволяют распределять пропускную способность каналов связи СПД. Пакеты на обслуживание поступают в сеть случайно и время их обслуживания заранее неизвестно. Основной этап анализа трафика состоит в описании процесса поступления пакетов и времени их обслуживания. После этого эффективность сети можно будет оценить объемом ее трафика и тем, как часто этот трафик может превысить пропускную способность сети.

Поступающая нагрузка - это общая нагрузка, которая могла бы быть обслужена сетью, если бы она была способна обслуживать все пакеты по мере того, как они возникают. Поскольку обычно экономические факторы не позволяют проектировать сеть так, чтобы обеспечивать немедленное обслуживание максимальной поступающей нагрузки, то обычно небольшой процент поступающей нагрузки блокируется или задерживается. Если заблокированные пакеты остаются не обслуженными сетью, то такой режим работы называют режимом с явными потерями. По существу, предполагается, что заблокированные вызовы не исчезают, а становятся в буфер-накопитель УК для дальнейшего обслуживания. Это предположение в наибольшей степени подходит для пучков соединительных линий с обходными путями. В этом случае заблокированные пакеты обычно обслуживаются другим пучком линий и фактически не возвращается.

На предварительном этапе описания модели управления потоками СПД обычно предполагают следующие допущения:

- все узлы коммутации являются абсолютно надежными и время обработки в них пренебрежимо мало;
- все каналы передачи данных свободны от ошибок (являются бесшумными и абсолютно надежными) и пропускные способности канала связи могут иметь любые неотрицательные значения;
- исходный трафик, поступающий в сеть из внешних источников на рассматриваемом интервале времени является стационарным и пуассоновским, причем служебный трафик (трафик управляющих сообщений, генерируемый внутри СПД) не учитывается;
- длины всех сообщений распределены по экспоненциальному закону со средним значением $\frac{1}{\mu}$ бит/с.;
- система находится в состоянии статистического равновесия;
- система с неограниченным ожиданием, то есть объем памяти в УК не ограничен.

Все эти перечисленные допущения используются проектировщиками практически для всех разрабатываемых моделей, так они с достаточной точностью определяют степень приближения рассматриваемой модели к реальной сети КП.

Исходными данными при определении оптимальных параметров качества обслуживания в сети передачи данных являются:

- структура СПД (расположение узлов, емкость ветвей);

- входная нагрузка для обслуживания между каждой пары узлов;
- план распределения потоков СПД.

В качестве потока сети рассматривается поток пакетов, поступающего в СПД на узел – отправитель i и предназначенного узлу–адресату j . Вообще адрес это закодированное обозначение пункта отправления либо назначения данных. Адрес объекта определяется числом, кодом, фразой. В список объектов входят регистры, ячейки памяти, внешние устройства, каналы связи, процессы, системы, сети. Объекты-получатели данных принято именовать адресатами. Часто адрес связывают с именем объекта.

Обозначим через $r_i(j)$ – среднюю интенсивность входного потока, поступающего в СПД в узле-отправителе i и предназначенного узлу–адресату j . Величину $r_i(j)$ будем называть входной нагрузкой сети. При распределении входных нагрузок по ветвям на узлах сети формируются узловые потоки. Пусть $t_i(j)$ – средняя интенсивность общего потока вызовов, проходящего через транзитный узел i и предназначенного узлу j . Величину $t_i(j)$ будем называть узловой нагрузкой сети.

Система управления сетью функционирует в процессе установления соединений на коммутируемой сети. Она предназначена для распределения потоков нагрузки по каналам передачи с целью обеспечения заданного качества обслуживания при различном состоянии сети (перегрузка, повреждения и т.д.). Система должна обеспечивать преимущество для приоритетных абонентов при установлении соединений.

В разветвленных коммутируемых сетях связи между любыми двумя узлами сети (источником и адресатом) имеется, как правило, несколько независимых путей, по которым могут быть переданы узловой нагрузки. Основной задачей маршрутизации является выбор определенного пути из указанного множества. Выбор осуществляется с помощью матриц (таблиц) маршрутов, которые хранятся в каждом УК. Матрица маршрутов M_i i -го УК задает очередность выбора исходящих направлений при установлении связи i -го узла к любому из сети. Порядок выбора исходящих из узла i направлений для передачи нагрузки $t_i(j)$ ко всем остальным соседним узлам, т.е. план ее распределения, представляется матрицей маршрутов M_i для узла i :

$$M_i = \left\| \mu_{ik_{S_i}, j} \right\|_{S_i \times n}$$

В матрице маршрутов число столбцов равно $n-1$ (столбец в матрице M_i для узла i отсутствует), а число строк – числу узлов S_i , инцидентных с узлом i . Элемент $\mu_{ik_{S_i}, j}$ матрицы M_i представляет собой номер очередности выбора ветви (ik_{S_i}) при установлении соединения к узлу j , т.е. $\mu_{ik_{S_i}, j} \in \{1, 2, \dots, S_i\}$. Если задана совокупность маршрутных матриц $\{M_i, i = \overline{1, n}\}$, то это означает, что для всей сети задан план распределения информации. При статическом плане распределения информации осуществляется статическая (фиксированная) маршрутизация в сети. Однако наиболее эффективное

использование ресурсов сети достигается при адаптивной маршрутизации, когда план распределения информации изменяется в соответствии с изменяющимися условиями работы сети (перегрузками на отдельных направлениях или участках сети, повреждениями каналов или их пучков, повреждениями УК и др.).

Адаптивная маршрутизация предусматривает выбор оптимальных путей передачи информации в зависимости от ситуации на сети. Оптимизация маршрутизации может производиться как по общесетевым, так и локальным критериям. К первым относятся средняя задержка при передаче пакетов по сети и средняя вероятность своевременной доставки в сетях, интегральные потери в сетях с максимально допустимыми значениями длины или стоимости пути. Локальными критериями могут быть задержка при передаче между группой (парой) абонентов, вероятности потерь на отдельных направлениях связи и др.

В общем случае выбор критерия оптимальности в алгоритмах систем динамического управления неоднозначен. Предпочтение следует отдавать критериям, связанным с коэффициентами использования пропускной способности трактов сети. Это означает, что оптимальными считаются такие решения по маршрутизации или управлению потоками, которые при выполнении требований к характеристикам доставки информации позволяют максимально использовать пропускную способность трактов сети, или получить максимальные значения коэффициента, использования пропускной способности трактов сети.

В соответствии с критерием оптимальности для каждой ветви, входящей в тот или иной маршрут, определяется некоторый ее вес (стоимость). Маршрут с минимальным либо максимальным весом, который является линейной суммой весов ветвей, считается оптимальным по данному критерию, или кратчайшим путем. Например, при оптимизации маршрута по числу транзитных участков каждая ветвь может иметь вес 0 или 1, при оптимизации по минимальной задержке сообщения вес определяется задержкой либо ее приращением на ветви (ребре) графа и т.д. Различие в выбираемых критериях оптимизации делает невозможным существование универсальной маршрутизации.

Между каждой парой узлов i и j сети определено множество маршрутов передачи нагрузок L_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$, сети КП, которые образуют полностью доступный пучок. Нагрузка $t_i(j)$ может обслуживаться по любому маршруту L_{ik} , где узел k – соседний узел по отношению к узлу i , $k = 1, 2, \dots$. Порядок занятия маршрутов определяется матрицей маршрутов. Каждый следующий маршрут занимает при невозможности обслуживания по предыдущему маршруту матрицы маршрутов. В каждой ветви, входящей в маршрут L_{ij} при обслуживании одного сообщения занимается одновременно по одному не обслуженному прибору. При отсутствии свободных приборов обслуживания и любой ветви одного маршрута путь считается заблокированным. Если все маршруты множества L_{ik} заблокированы, нагрузка $t_i(j)$ получает отказ в обслуживании и хранится в запоминающем устройстве

до разблокировки хотя бы одного маршрута. При введенных допущениях сеть представляет собой марковскую систему с конечным фазовым пространством E , изменения состояний которой происходит в дискретные моменты времени, соответствующие моментам поступления пакетов в сеть.

Определение 1. Будем говорить, что по направлению движения потока сети узел s является нижележащим по отношению к узлу l , если имеется маршрут из узла l через s в узел j , где $s, l \in V_i(j)$. Соответственно будем говорить, что по направлению движения потока сети узел l является вышележащим по отношению к узлу s .

Процесс формирования суммарной узловой нагрузки, которая включает в себя как входной поток $r_i(j)$, так и поток $t_i(j)$, поступающие в узел i со всех смежных с ним узлов l , представлен в соответствии с рисунком 4.

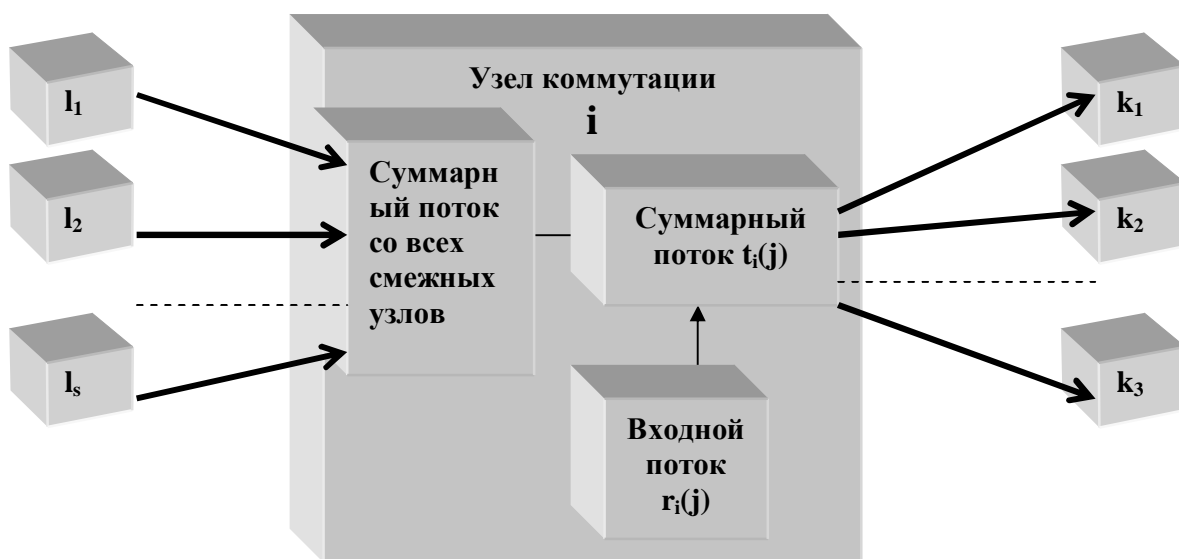


Рисунок 4 - Формирование нагрузки на узле

При распределении входных потоков по ветвям путей передачи на узлах образуются узловые нагрузки, исходя из своего **определения 1**, все величины $t_i(j)$ удовлетворяют следующей системе уравнений:

$$t_i(j) = r_i(j) + \sum_l t_l(j) \varphi_{li}(j), \quad \forall i, j, l \in V(j) \quad (4)$$

Согласно определению $\varphi_{ik}(j)$ выполняется следующее равенство

$$\sum_k \varphi_{ik}(j) = 1, \quad \forall k \in K(j). \quad (5)$$

Исходя из этих формул поток линии связи (ik) , предназначенный для узла-адресата j составит:

$$f_{ik}(j) = \sum_{i,k} t_i(j) \varphi_{ik}(j),$$

а суммарная интенсивность пропущенной ветвью (ik) нагрузки сети определяется по формуле:

$$f_{ik} = \sum_j f_{ik}(j). \quad (6)$$

В связи с тем, что рассматриваемая СПД представляется системой с ожиданием, то качество обслуживания абонентов на ней будет оцениваться средней задержкой пакетов в СПД. Если заданы топология СПД, представленная графом $G = \{V; L\}$, пропускные способности каналов передачи данных c_{ik} и интенсивности потоков λ_{ik} , то при вышеуказанных предположениях в качестве целевой функции получим среднюю задержку t_{ik} в канале связи $(ik) \in L$ по формуле, которую впервые вывел американский ученый Л. Клейнрок:

$$t_{ik} = \frac{1}{\mu c_{ik} - \lambda_{ik}},$$

а средняя задержка пакетов в СПД равна

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i,k} \frac{\lambda_{ik}}{\mu c_{ik} - \lambda_{ik}},$$

где $\gamma = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}$ - общий суммарный поток режима КП, n - число узлов СПД.

Используя обозначение $f_{ik} = \frac{\lambda_{ik}}{\mu}$, получим

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i,k} \frac{f_{ik}}{c_{ik} - f_{ik}}. \quad (7)$$

Учитывая формулы (5) и (7), математическая модель задачи вычисления оптимального значения качества обслуживания СПД запишется в следующем виде:

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum_{i,k} \frac{f_{ik}}{c_{ik} - f_{ik}} \rightarrow \min_{\varphi_{ik}(j) \in \Phi}, \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K_i(j)} \varphi_{ik}(j) = 1, \quad (9)$$

$$0 \leq \varphi_{ik}(j) \leq 1, \quad (10)$$

где $\Phi = \{\varphi_{ik}(j)\}$ - множество маршрутных переменных, которые содержатся в суммарном потоке f_{ik} , значение которого определяется по формуле (6).

Задача (8)–(10) является задачей нелинейного программирования, решение которой связано с определенными трудностями. Конечно, задачу можно решить с помощью последовательных вычислений, однако, даже для небольшого числа узлов сети это сложный и весьма трудоемкий процесс. Поэтому в данной работе предлагаю построить достаточно эффективный алгоритм, с помощью которого можно получить аналитическое решение оптимизационной задачи (8)–(10).

Определение 2. Множество $\Phi = \{\varphi_{ik}(j)\}$, $(ik) \in L(j)$, называется множеством переменных задачи (8)–(10) для n -узловой СПД ($1 \leq i, k, j \leq n$), если выполняются следующие условия:

1) для всех $(ik) \notin L(j)$, либо $i = j$, либо $i = k$, следует $\varphi_{ik}(j) = 0$;

2) из всех допустимых путей передачи, соединяющих узлы i и j , существует хотя бы один путь, содержащий последовательность узлов i, k, s, \dots, m, j , для которых $\varphi_{ik}(j) > 0, (\varphi_{ks}(j) > 0, \dots, \varphi_{mj}(j) > 0$.

При построении множества Φ первое условие будет исключать все те переменные задачи, которые для данного адреса не участвуют в распределении нагрузок по допустимым путям передачи. Это условие также гарантирует, что доставленные по назначению нагрузки в дальнейшем рассмотрении участия в процессе их оптимального распределения принимать уже не будут. Второе условие из определения множества Φ обеспечивает доставку ненулевого трафика по назначению.

Для получения аналитического решения задачи (8)–(10) используем метод неопределенных множителей Лагранжа. Функция Лагранжа для этой задачи имеет вид:

$$L = T + \sum_{i, j} \lambda_i(j) [1 - \sum_k \varphi_{ik}(j)] - \sum_{i, j, k} \mu_{ik}(j) \varphi_{ik}(j) - \sum_{i, j, k} \theta_{ik} \varphi_{ik},$$

где $\lambda_i(j), \mu_{ik}(j), \theta_{ik}(j)$ - неопределенные коэффициенты. Условия, которым должен удовлетворять оптимальный выбор $\varphi_{ik}(j)$ имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)} - \lambda_i(j) - \mu_{ik}(j) - \theta_{ik}(j) = 0, \\ \mu_{ik}(j) \cdot \varphi_{ik}(j) = 0, & \mu_{ik}(j) \geq 0, \\ \theta_{ik}(j) \cdot \varphi_{ik}(j) = 0, & \theta_{ik}(j) \geq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Первое выражение (11) запишем в виде

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)} = \lambda_i(j) + \mu_{ik}(j) + \theta_{ik}(j). \quad (12)$$

Если $\varphi_{ik}(j) > 0$, то, как следует из второй и третьей формул системы (11), $\mu_{ik}(j) = 0, \theta_{ik}(j) = 0$. Тогда из выражения (12) получаем

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)} = \lambda_i(j).$$

Если $\varphi_{ik}(j) = 0$, то согласно (11) $\mu_{ik}(j) > 0, \theta_{ik}(j) > 0$ и, как следует из (12) получим неравенство

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)} = \lambda_i(j) + \mu_{ik}(j) + \theta_{ik}(j) \geq \lambda_i(j).$$

Таким образом, объединяя (11) и (12) получаем необходимое условие достижения минимума общей задержки

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)} \begin{cases} = \lambda_i(j), & \text{если } \varphi_{ik}(j) > 0, \\ \geq \lambda_i(j), & \text{если } \varphi_{ik}(j) = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Полученное условие (13) означает, что все ветви (ik), для которых $\varphi_{ik}(j) > 0$, должны иметь производную от задержки равную $\frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)}$, а все ветви (ik), для которых $\varphi_{ik}(j) = 0$, - производную от задержки, большую или равную $\frac{\partial T}{\partial \varphi_{ik}(j)}$. При этом под производной от задержки подразумевается приращенная функция общей задержки (мера градиента целевой функции общей задержки).

В четвертом разделе описан основной принцип адаптивного алгоритма по выравниванию значений производных от задержек, который позволяет вычислять оптимальное значение качества обслуживания СПД и поэтапное описание реализации каждого шага алгоритма. Также приведены результаты численного эксперимента, позволяющие оптимально распределить потоки в сети. Расчеты проводились с помощью разработанных программ. Достоинством этих программ является то что, их можно использовать для проведения расчетов и нет необходимости вручную выполнить огромное количество вычислений, которые лежат в основе большинства алгоритмов исследования операции.

В заключении приведены основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложении приведены акты внедрения и листинги реализованных программ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований автором получены следующие основные, имеющие научное и практическое значение, результаты:

- Разработана математическая модель двухвходового коммутирующего элемента, которая позволяет вычислять основные характеристики функционирования его в оптимальном режиме.

- Получена система балансных уравнений, на основе которой строится граф вероятностных переходов всех состояний.

- Разработан алгоритм, позволяющий оптимизировать распределение потоков данных в модели коммутирующего элемента, тем самым обеспечивается увеличение пропускной способности и уменьшение задержки в передаче кадров.

- Разработана модель вычисления множества маршрутных переменных для оптимизации управления трафиком для сетей передачи данных.

- Построен алгоритм оптимального управления информационными потоками в сетях передачи данных, с целью достижения эффективной

производительности сети.

- Разработан комплекс программ для расчета основных характеристик исследуемой модели коммутирующего элемента и оптимального управления потоками данных, с использованием объектно-ориентированного программирования.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ермаков, А.С., Сейлова Н.А. Оценка пропускной способности сети при разной степени нагрузки с различной степенью сбалансированности // Материалы Международной научно-практической конференции «Состояние, проблемы информации в Казахстане» - Алматы, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2004. - С. 263-265.

2. Ермаков А.С., Сейлова Н.А. Оценка пропускной способности коммутирующего элемента составного коммутатора // Материалы Республиканской научной конференции «Молодые ученые – будущее науки». - Алматы, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2004.- Т.2.- С.121-126.

3. Сейлова Н.А. «Проблемы защиты информации в компьютерных сетях» // Материалы V международной научно-практической конференции «Бизнес и образование: вектор развития», направление «Развитие информационных технологий в бизнесе и образовании». - Алматы, 2005.- Т.1.- С.409-413.

4. Сейлова Н.А. «Оценка производительности коммутатора» // Материалы VI Международной конференции «Системы обеспечения качества бизнес образования в РК: Инновационные подходы», направление «Развитие информационных технологий в бизнесе и образовании». Алматы - 2006. - С.211-215.

5. Ермаков А.С., Сейлова Н.А. «Сравнительный анализ распределенной коммутации запросов» // Материалы Международного симпозиума «Информационные и системные технологии в индустрии, образовании и науке» - Караганда, 2006. - С.101-103.

6. Сейлова Н.А. «Расчет пропускной способности глобальной сети» // Материалы Международного форума «Наука и инженерное образование без границ» - Алматы, КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2009. – Т.2.- С.303-306.

7. Сейлова Н.А. Оценка пропускной способности трехвходового мультиплексора // Вестник КазНТУ. 2009. №1 С. 149-153

8. Сейлова Н.А. Коммутационные системы для построения виртуальных сетей // Научный журнал Министерства Образования и Науки Изденіс-Поиск. 2009. -№4 (1). С.219-222.

9. Ашигалиев Д.У., Сейлова Н.А. Метод распределения нагрузки составного коммутатора // Вестник КБТУ. 2010 № 1(12). С.24-28.

10. Сейлова Н.А., Ашигалиев Д.У., Амиргалиев Е.Н. Метод оценки качества обслуживания и задача оптимального управления информационным потоком в сети. //Вестник КазНУ. 2010 №4(67). С.195-197.

Сейлова Нүргүл Абадуллаевна

**Деректерді тасымалдау желілерінде ақпараттық ағындарды
оңтайлы басқару әдісін құру**

ТҮЙІНІ

05.13.01 – Жүйелік талдау, басқару және ақпаратты өңдеу

Жаңа сервистік қызметтер енуімен және трафиктің тез өсуімен провайдерлерден осы өзгерістерге жылдам әсер ету мен өзгеріп тұратын жағдайға бейімделуді талап ететін есептерге талап қойылады. Бірінші көз қарасқа есептеу желілерді жұмыс күйінде ұстау үшін керекті механизмдері бар сияқты, бірақ олардың көбі желілік қорларын рационалды қолдануды кепілдемейді.

Сондықтан деректерді тасымалдау желісін жобалау кезінде ақпараттық ағындарды оңтайлы басқару есебі маңызды болады. Өйткені, ол желінің керекті жұмыс көлемін қамтамасыз етеді және трафиктің өзгеруіне бейімделеді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты деректерді тасымалдау желілерінде ақпараттық ағындарды оңтайлы басқарудың жаңа әдістері мен алгоритмдерін құруға арналған.

Зерттеу объектісі және пәні коммутаторлар, ағындар және деректерді тасымалдау желілері болып табылады.

Диссертацияда қолданылған әдістер: ықтималдық теориясы және математикалық статистика, жүйелер мен желілерге жаппай қызмет көрсету теориясы, математикалық модельдеу, оңтайландыру. Сандық есептеулер заманауи есептеу техника құралдарын қолдану арқылы жүргізілген.

Жүргізілген зерттеулер кезінде автор ғылыми және тәжірибелік маңызы зор мынадай негізгі нәтижелер алған:

- Құрамдас коммутатор жұмысының негізгі сипаттамаларын анықтау үшін оның математикалық моделі, граф-сұлбасы және алгоритмі құрылған.

- Берілген қорларды тиімді қолданатын және жүзеге асырылу күрделілігі жарамды болып табылатын аспаптар арасында деректер ағынын үлестіру әдісі құрылған.

- Желі трафигін оңтайлы басқару үшін бағдарғылық айнымалыларының жиынтығын оңтайлы есептеудің моделі құрылған. Қойылған мәселе Лагранж анықталмаған көбейткіштерін қолдану арқылы шешілген.

- Деректерді тасымалдау желілерінде қызмет көрсету сапасының оңтайлы мәнін есептеуге мүмкіндік беретін оңтайландыру есептерін шешуге арналған жаңа әдіс құрылған.

- Ұсынылған моделдердің негізгі сипаттамаларын шешу және ақпараттық ағындарды оңтайлы басқару үшін объектілі-бағдарланған бағдарламалау технологиясын қолдану арқылы бағдарламалар кешені құрылған.

Диссертациялық жұмыс алынған нәтижелердің анықтылығын есептің дұрыс қойылуымен, қатаң математикалық моделдің қолдануымен,

нәтижелердің және шешімдердің қарама-қайшылықсыз орындалуымен расталады, сонымен қатар есептеу техниканың құралдарының қолдануымен сандық нәтижелердің өткізілуімен дәлелденеді.

Жұмыстың практикалық құндылығы. Өзгермелі жүктеме кезінде ағындарды оңтайландыру үшін «КазГеоКосмос» АҚ, Oil Gas ғылыми-зерттеу жобалау тобының желісін жаңарту кезінде осы әзерленген оңтайландыру алгоритмі қолданылған. «Құрамдас коммутатордың жұмыс істеу алгоритмін математикалық модельдеу және граф-сұлбасын құру» тақырыбы бойынша ғылыми-зерттеулердің нәтижесі Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінің 050704 «Есептеу техника және бағдарламалық қамтама» мамандығының оқу үдерісіне енгізілген. Жұмыс нәтижелері ендіру тиісті актілермен расталған.

Қорғауға шығарылған негізгі ғылыми нәтижелер 10 баспа жұмыстарында берілген.

Seilova Nurgul Abadullaevna

Working out of the method of optimal control by information flows in data networks

SUMMARY

05.13.01- The system analysis, management and information processing

With introduction of new services and fast growth of the traffic providers have to quickly react to these changes and adapt for this changing situation. At first sight, computer networks have necessary mechanisms for self support, but not all of them guarantee the rational use of network resources. Therefore, when designing the data network it is important to consider the task of optimal control of information flows, which provides the required network performance and convergence.

The purpose of thesis is to work out methods and algorithms of optimal control of information flows. These methods and algorithms should provide increase of switches throughput by using effective network resources distribution and optimal control of information flows in data networks.

On the basis of analysis of solving the problem of information flow control the following research tasks are given:

- Working out of the model of switching element for defining its main characteristics;
- Construction of the model of state graph in order to explore the work of switching element;
- Working out of the mathematical model of switching using the mathematical apparatus of queueing theory;
- Working out of the method of data flow distribution, which effectively uses the available resources and possessing comprehensive complexity;
- Working out of the model of optimal calculation of the set of routing variables for optimal traffic control. The necessary and sufficient condition of optimality of solving the task should be obtained using the method of Lagrange multipliers;
- Construction of the algorithm of optimal control of information flows in data networks;

- Program development for automation of calculations of the offered models.

The object and the subject of research are switches, flows and data networks.

Research methods. For solving the mentioned above tasks the probability theory, the queueing theory, the theory of communication networks, mathematical modeling, optimization methods, object-oriented programming are used.

The scientific novelty of the thesis. The scientific novelty of the received results are the following:

- The mathematical model of two-input switching element was worked out. The model allows to calculate the main operation characteristics in its optimal mode.
- The system of balance equations was developed. On its base the graph of probabilistic transitions of all states is constructed.

- The optimization algorithm was worked out. The algorithm allows to optimize the distribution of data flows in the model of switching element, providing increase of throughput and reduction of delay in frame transfer.

- The model of calculating the set of routing variables for optimization the traffic control in data networks.

- The algorithm of optimal control of information flows in data networks was worked out. It helps to achieve the effective network performance.

- The program complex was developed using object-oriented programming. The complex allows to calculate the main characteristics of the research model of the switching element and optimal control of data flow.

Reliability of the results confirmed by the correct problem statement, using the strict mathematical models, results and conclusions consistency, modeling, and numerical results, which were made using modern means of computer engineering.

Practical value of the work consists in creating the algorithms of optimal distribution and control of information flows, which provide effective use of available resources and incense of the network throughput. The developed optimization algorithms were used and implemented in production process by Scientific and research project group of JSC “Oil and Gas” for modernization and improvement of their data networks. Working outs on thesis “Mathematical modeling and graph-scheme of algorithm of composite switch” were implemented into the educational process of the Kazakh national technical university, specialty 050704 “Computer engineering and software”.

Main scientific results are represented in 10 publications.