**Федеральное агентство информационных технологий и связи РФ ГОУВПО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ І ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»**

***0520t25L0L8***

**На правах рукописи**

**ГАВЛИЕВСКИЙ СЕРГО ЛЕОНИДОВИЧ**

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ С  
НЕСКОЛЬКИМИ КЛАССАМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**Специальность 05.12.13 -**

**«Системы, сети и устройства телекоммуникаций»**

**Диссертация**

**на соискание ученой степени  
доктора технических наук**

**Научный консультант доктор технических наук, профессор В.Г. Карташевский**

**Самара 2012**

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 7**

**ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 11**

**ВВЕДЕНИЕ 18**

1. **АРХИТЕКТУРА, ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

**МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА27**

* 1. **ЭВОЛЮЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

**РЕГИОНАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ И ПРОВАЙДЕРОВ 27**

* 1. **АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ**

**ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА 33**

* + 1. [**Общие требования к системам телекоммуникаций 33**](#bookmark5)
    2. [**Основные компоненты архитектуры 34**](#bookmark6)
    3. [**Особенности оказания услуг для квартирного сектора 38**](#bookmark7)
    4. [**Особенности оказания услуг для корпоративных клиентов 41**](#bookmark8)
  1. **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ**

**МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ 46**

* + 1. [**Подключение конечных пользователей 46**](#bookmark10)
    2. [**Транспортная сеть 57**](#bookmark11)
  1. **ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ. 64**
     1. [**Задача планирования 64**](#bookmark15)
     2. [**Выбор бизнес - стратегии 69**](#bookmark16)
     3. [**Моделирование и системный анализ сетей 72**](#bookmark17)
  2. **Методы анализа распределенных информационно­**

[**вычислительных, компьютерных и телекоммуникационных систем и сетей 78**](#bookmark19)

* 1. [**Выводы 87**](#bookmark21)

1. **ОПИСАНИЕ КОМПОНЕНТОВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ В ТЕРМИНАХ ТЕОРИЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И МНОЖЕСТВ 90**
   1. **Формирование потоков в мультисервисных сетях 90**
   2. [**Описание узлов сети как систем массового обслуживания 94**](#bookmark23)
      1. [**Узел с одним классом обслуживания 94**](#bookmark24)
      2. [**Узел с несколькими классами обслуживания 98**](#bookmark28)

з

**как сетей массового обслуживания 99**

1. **Описание типовых топологий транспортных магистралей в**

**терминах теории множеств 105**

1. [**Выводы 119**](#bookmark34)
2. **МЕТОД АНАЛИЗА СЕТЕЙ С ПАКЕТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ**

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АДРЕСНОЙ РАССЫЛКИ ПАКЕТОВ, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ АППАРАТА КОНЕЧНЫХ**

**ДИСКРЕТНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА 120**

* 1. [**Вводные замечания 120**](#bookmark35)
  2. **Общий подход к расчету элементов матрицы переходных**

**вероятностей 122**

* + 1. [**План распределения информации 122**](#bookmark37)
    2. [**Вектор и таблица вероятностей состояний узла 128**](#bookmark39)
    3. **Таблица условных вероятностей выбора направлений,**

[**получение полных вероятностей выбора направлений 131**](#bookmark42)

* + 1. [**Примеры расчета элементов МПВ 132**](#bookmark44)
  1. **Вывод соотношений для расчета элементов матриц переходных вероятностей при использовании стохастических маршрутных таблиц138**
  2. **Вывод соотношений для расчета элементов матриц переходных**

**вероятностей при использовании простых маршрутных таблиц 141**

* + 1. [**Простые маршрутные таблицы 141**](#bookmark50)
    2. [**Заполнение таблицы условных вероятностей 142**](#bookmark55)
  1. **Описание процесса передачи одиночного пакета по сети, находящейся в стационарном режиме при помощи аппарата КДЦМ... 146**
     1. **Матрица переходных вероятностей и ее представление в**

**каноническом виде 146**

* + 1. [**Фундаментальная матрица 151**](#bookmark62)
    2. [**Определение вероятности успешной доставки пакетов 152**](#bookmark63)
    3. [**Модифицированная фундаментальная матрица 153**](#bookmark64)
    4. **Определение вероятности возвращения пакета в исходный узел 154**
  1. [**Соотношения для определения времени доставки пакетов 155**](#bookmark68)
  2. **Особенности расчета показателей качества обслуживания между**

**каждой парой узлов и среднесетевых характеристик 157**

* 1. **Математическая модель для расчета показателей качества**

**обслуживания при использовании одного класса обслуживания 160**

**КОММУТАЦИЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

**ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАССЫЛКИ ПАКЕТОВ 191**

1. [**Потоки на ветвях и узлах сети 160**](#bookmark71)
2. **Оценка требований к производительности узлов коммутации 162**
3. **Система уравнений для определения потоков на ветвях в**

**стационарном режиме 164**

1. [**Пример составления системы 171**](#bookmark85)
2. [**Алгоритмы решения системы и расчета вероятностно­временных характеристик сетей 177**](#bookmark87)
3. **Математическая модель для расчета показателей качества обслуживания при использовании нескольких классов обслуживания 181**
4. **Выводы 190**

**4. МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ С ПАКЕТНОЙ**

1. **Вводные замечания 191**
2. **Широковещательная рассылка пакетов на сетях с кольцевой**

**топологией 192**

1. **Соотношения для расчета характеристик сети при адресной**

**пересылке пакета 192**

1. **Соотношения для расчета задержек и вероятностей доставки**

**пакетов в широковещательном режиме 196**

1. [**Соотношения для расчета нагрузки на ветви сети 200**](#bookmark101)
2. **Алгоритм расчета характеристик при передаче пакетов в**

**широковещательном режиме относительно заданного узла 204**

1. **Система уравнений для расчета характеристик сети при**

**использовании широковещательной рассылки 207**

1. **Алгоритм расчета решения системы и расчета характеристик**

**между каждой парой узлов 209**

1. **Широковещательная рассылка пакетов на сетях с**

**топологиями, не содержащих петель 211**

1. **Некоторые особенности построения сетей на базе**

**коммутаторов Ethernet второго уровня 211**

1. **Описание процесса рассылки пакетов в широковещательном**

**режиме в терминах теории множеств 213**

1. **Алгоритм расчета характеристик относительно исходного узла**

**при передаче пакетов в широковещательном режиме 217**

1. **Система уравнений для расчета характеристик сети при**

**широковещательной рассылке пакетов 219**

* 1. [**Выводы 221**](#bookmark131)

1. **МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ ПРИ**

**ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЛЯ РАССЫЛКИ ПАКЕТОВ НАПРАВЛЕННОЙ ВОЛНЫ 222**

* 1. **Использование направленной волны для рассылки пакетов 222**
  2. **Соотношения для определения вероятности успешной передачи**

**пакетов между заданной парой узлов 228**

* 1. **Соотношения для расчета времени доставки пакетов между**

**заданной парой узлов 231**

* 1. **Расчет потоков на ветвях и узлах сети 233**
  2. **Описание процесса пересылки пакета по сети при помощи**

**направленной волны в терминах теории множеств 234**

* 1. **Алгоритм расчета характеристик относительно исходного узла**

**при передаче пакетов методом направленной волны 238**

* 1. [**Система уравнений для расчета характеристик сети 240**](#bookmark146)
  2. **Выводы 243**

\

1. **РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ**

**МАГИСТРАЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ КЛАССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ 244**

* 1. **Вводные замечания 244**
  2. **Входные данные и результаты расчета 244**
  3. **Топология магистрали - кольцевая 246**
     1. **Передача по кольцевой магистрали ассиметричного трафика 246**
     2. **Накопление задержек при передаче пакета по магистрали сети с**

**кольцевой топологией 256**

* + 1. [**Исследование влияния места отказа каналов 261**](#bookmark150)
    2. **Исследование влияния изменения нагрузки и пропускных**

[**способностей каналов 269**](#bookmark152)

* 1. [**Топология магистрали — квадратная ячейка 281**](#bookmark155)
     1. [**Исследование влияния изменения нагрузки и увеличения пропускных способностей наиболее загруженных ветвей 281**](#bookmark156)
     2. **Исследование влияния отказа наиболее загруженной ветви... 298**
  2. **Топология — логическая звезда на базе системы спектрального**

**уплотнения 305**

* 1. [**Выводы 313**](#bookmark159)

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 315**

**ЛИТЕРАТУРА 317**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 350**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной в диссертационной работе целью полу­чены следующие теоретические и практические результаты:

1. Проведен анализ существующего состояния сетей традиционного опе­ратора и сценариев их развития, рассмотрена архитектура сети пере­ходного периода, получена оценка требуемой пропускной способности магистрали мультисервисной сети для крупного областного центра.
2. Сформулирован методологический подход к построению моделей и разработке методов расчета характеристик мультисервисных сетей.
3. Получены соотношения, описывающие типовые топологии магистра­лей мультисервисных сетей в терминах теории множеств, что позволя­ет генерировать топологии сетей большой размерности.
4. Для описания потоков на ветвях и узлах сети в стационарном режиме при адресной (unicast) рассылке пакетов составлена СНАУ, решение которой позволяет рассчитать для каждой категории обслуживания время задержки и вероятности потерь пакетов между каждой парой уз­лов сети, а также потоки на ветвях и узлах сети, задержки, вероятности блокировок и уровни загрузок каналов.
5. Составлены СНАУ, описывающие потоки на ветвях и узлах сети при широковещательной рассылке пакетов (broadcast) для двух важнейших для практики частных случаев - для сетей с кольцевой топологией и для сетей с топологиями без петель. Ее решение позволяет рассчитать все основные показатели качества обслуживания.
6. Для метода направленной волны, занимающего промежуточное поло­жение между табличными (unicast) и широковещательными (broadcast) методами, составлена СНАУ, описывающая потоки на ветвях и узлах сети при адресной рассылке пакетов в стационарном режиме. Ее реше­ние позволяет рассчитать такие важнейшие параметры, как время за­держки и вероятности потерь кадров между каждой парой узлов сети, а также потоки на ветвях и узлах сети; задержки, вероятности блокиро­вок и уровни загрузок каналов.
7. Разработаны методы, позволяющие рассчитывать характеристики сети в условиях совместного воздействия различных факторов в том числе при изменениях: нагрузки; структуры тяготения; пропускной способ­ности каналов; при отказе оборудования и обрывах каналов; числа классов обслуживания.

• 8. Получены результаты расчетов, позволяющие определить наиболее критические места на сети в условиях совместного воздействия раз­личных факторов, оценить эффект от разделения пакетов на классы об­служивания.

Таким образом, в результате выполненных исследований решена науч­но-техническая проблема создания моделей, методов и алгоритмов анализа современных сетей, в том числе и с несколькими классами обслуживания, что имеет важное народно-хозяйственное значение для отрасли связи