

**Национальная Академия Наук Азербайджана
Институт Систем управления**

На правах рукописи

СЕВИНДЖ РАМИЗ кызы ИСМАЙЛОВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛУЖЕБНОГО И ПОЛЕЗНОГО ТРАФИКОВ В
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ**

**3338.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертация на соискание научной степени
доктора философии по техническим наукам**

БАКУ – 2017

Работа выполнена в Институте Систем управления
Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный руководитель: **ИБРАГИМОВ Б.Г.**
Доктор технических наук, проф.

Официальные оппоненты:
Доктор технических наук, доцент **АЛИЕВ И.М.**

Кандидат технических наук, доцент **РЗАЕВ А.Г.**

Ведущая организация: Кафедра «Информационные
технологии и программирование» Бакинского Государственного
университета

Защита состоится «20» октября 2017 г. в 16⁰⁰ на заседании
Диссертационного Совета Д 01.121 при Институте Систем
управления Национальной Академии Наук Азербайджана по
адресу: AZ1141, г. Баку, ул. Б.Вахабзаде, 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
Систем управления НАН Азербайджана.

Автореферат разослан "19" сентября 2017 г.

Ученый секретарь
Диссертационного
Совета, к. ф.-м. н. **А.Б.ПАШАЕВ**

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. На современном этапе развития сетей NGN (Next Generation Network) и конвергенции интегральных сетей связи требуется эффективное использование систем и протоколов сигнализации, обеспечивающих качество функционирования систем управления телекоммуникаций при установлении соединений и оказании мультимедийных услуг.

Качество функционирования интегральных сетей телекоммуникации существенно зависит от пропускной способности служебного канала связи, вероятностно-временных характеристик систем и протоколов сигнализации, а также отказоустойчивости распределенной подсистемы Softswitch/IMS (Internet Protocol Multimedia Subsystem) с использованием архитектурной концепции NGN.

В основном, в качестве протокола и систем сигнализации для интегральных сетей связи при установлении соединений и оказании мультимедийных услуг используется семейство протоколов H.323, OKC-7 (Общеканальная система сигнализации), SIP (SIP-Session Initiation Protocol), Sigtran (Signaling Transport) и SCTP (Stream Control Transmission Protocol), которые должны обеспечивать необходимый уровень качества обслуживания – QoS (Quality of Service).

На основе исследования установлено, что эффективность передачи сигнального и полезного трафиков, характер обслуживания сигнальных сообщений в системе сигнализации с учетом свойств самоподобия, помехоустойчивость приема сигнальных единиц (CE) и отказоустойчивость сетевой платформы Softswitch/IMS, оказывают существенное влияние на эффективность функционирования интегральных сетей связи при установлении соединений и оказании мультимедийных услуг.

Для решения таких задач большую актуальность приобретает исследование и анализ эффективности интегральных сетей связи на базе архитектурной концепции NGN при управлении передачей служебных и полезных трафиков при взаимодействии систем и протоколов сигнализации.

Существующие протоколы и системы сигнализации по некоторым критериям эффективности функционирования интегральных сетей связи с коммутацией каналов и пакетов в полном объеме не удовлетворяют требованиям МСЭ-Т, абонентов и операторов связи, что требует создание высокоэффективной интегральной сети связи на базе сетевой платформы Softswitch/IMS

многофункционального и интеллектуального типа, использующего протоколы сетей NGN.

Таким образом, данная работа посвящена решению актуальных задач – исследованию и анализу характеристик служебного и полезного трафиков в интегральных сетях связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN.

Цель работы. Основной целью диссертационной работы является разработка методов исследования и анализ характеристик служебного и полезного трафиков в интегральных сетях связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN.

Объектом исследований являются интегральные сети связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN, **а предметом исследований** – математическая модель, методы и средства повышения качества функционирования систем передачи служебных трафиков.

Задачи диссертационной работы, решенные для достижения поставленной цели:

- осуществить анализ состояний и тенденции развития интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN;

- разработать методы расчета пропускной способности системы сигнализации подсистемы Softswitch/IMS;

- предложен новый подход, оценивающий эффективность мультисервисных сетей связи при взаимодействии систем и протоколов сигнализации NGN;

- разработать методы расчета вероятностно-временных характеристик интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN;

- исследовать стационарные характеристики сетей NGN с учетом свойств самоподобия сигнального трафика в мультисервисных сетях связи.

- улучшить помехоустойчивость систем сигнализации при приеме потоков пакетов служебного трафика;

- исследовать методы и средства повышения надежности интегральных сетей связи при установлении соединения.

Состояние проблемы и задачи исследований. Среди ученых стран СНГ и других зарубежных стран, занимающихся проблемами повышения эффективности интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации, можно выделить работы Г.П.Башарина, А.В.Рослякова, А.С.Аджемова, А.З.Меликова, А.Е.Кучерявого, А.П.Пшеничникова, Б.С.Гольдштейна, В.И.Битнера,

К.Е. Самуйлова, Б.Г.Ибрагимова, Ю.В. Гайдамака, J.Wieselmann D.Ting, M.Schwartz. Однако, в этих работах недостаточное внимание уделено созданию интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN, предназначенных для управления передачей служебным и полезным трафиком.

Методы исследований. Для решения поставленных задач используются основные положения математического анализа, теории вероятностей и математической статистики, теории распределения информации, теории цепей Маркова и теории надежности.

Научная новизна работы.

1.Разработан метод расчета пропускной способности подсистемы Softswitch/IMS, позволяющий определить системные показатели эффективности интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN;

2.Исследованы параметры качества работы мультисервисных сетей связи с использованием архитектурной концепции NGN и предложен новый подход, основанный на введении в модель описания системы и протоколы сигнализации. Получены аналитические выражения, позволяющие оценить эффективность мультисервисных сетей связи при взаимодействии систем и протоколов сигнализации NGN;

3.Предложена модель СМО с ожиданием, описывающая поведение SIP-сервера, позволяющая определить вероятностно-временные характеристики интегральных сетей связи при использовании систем и протоколов сигнализации NGN с учетом свойств самоподобия служебного трафика;

4.Разработаны модели и средства повышения помехоустойчивости приема пакетов служебного трафика и надежности функционирования базовых компонентов сетей NGN.

Достоверность полученных результатов. Достоверность научных положений, выводов, сформулированных в диссертации, подтверждаются корректными математическими решениями, базирующимися на теории вероятностей и математической статистики, результатами проведенных многочисленных расчетов сетевых характеристик систем и протоколов сигнализации.

Практическая ценность полученных в диссертационной работе результатов состоит в следующем:

- разработаны физические структуры интегральных сетей связи при использовании систем и протоколов сигнализации NGN;
- предложены аналитические выражения для оценки характеристик пропускной способности систем и протоколов сигнализации NGN;

-разработана функциональная архитектура инфраструктуры интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN;

-предложены аналитические выражения для расчета вероятностно-временных характеристик интегральных сетей связи при установлении соединения;

-проанализированы характеристики сетей NGN с учетом свойств самоподобия служебного трафика;

-получены выражения для оценки помехоустойчивости и надежности функционирования систем протоколов сигнализации NGN.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты теоретических и практических исследований характеристик служебного и полезного трафиков в интегральных сетях связи при установлении соединений;
- метод расчета пропускной способности интегральных сетей связи при использовании систем и протоколов сигнализации NGN;
- результаты расчета стационарных характеристик сетей NGN с учетом свойств самоподобия служебного трафика;
- модели расчета показателя эффективности систем и протоколов сигнализации NGN в мультисервисных сетях связи;
- разработка модели SIP-серверов при обслуживании сигнального и полезного трафиков;
- результаты расчета и средства повышения помехоустойчивости приема служебного трафика в канале связи;
- методы расчета показателей отказоустойчивости функционирования платформы Softswitch/IMS сетей NGN.

Реализация и внедрение результатов работы. Основные результаты теоретических исследований и практических разработок были включены в отчеты НИР Института Систем управления НАН Азербайджана по теме: «Разработка методов повышения эффективности передачи служебного и полезного трафиков в интегральных сетях связи» (Гос. Рег. № 0106Az00401, ИСУ НАНА) и были внесены в список важнейших результатов НАН Азербайджана за 2015г. Результаты диссертационной работы нашли внедрение в:

- ПО "Аз.Телеком" Министерства связи и Информационных Технологий Азербайджанской Республики;
- в учебном процессе на кафедре «Коммутационные системы и почтовые связи», о чем имеются соответствующие акты о внедрении. Общий годовой экономический эффект от внедрения составляет 1,584 млн. AZN на уровне цен 2015 г.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на совместном заседании лаборатории ИСУ НАН Азербайджана и на кафедре Азербайджанского технического университета (Аз.ТУ), а также на республиканских, всесоюзных и международных конференциях, семинарах, симпозиумах, в том числе:

1. На НПК «Современные проблемы образования в технических ВУЗах» посвященной 90-летию со дня рождения общенационального лидера Г.Алиева (Баку, 2012);
2. На международной конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» (Москва, МГУСИ, 2012, 2013);
3. На международном Симпозиуме «Надежность и Качество» (Пенза, Российская Федерация, ПГТУ, 2012);
4. The International Conference «Problems of Cybernetics and Informatics». Dedicated to the 50th Anniversary of the ICT in Azerbaijan. (Baku, Azerbaijan, 2012);
5. На семинаре лаборатории «Теория телетрафика» Институт Систем управления НАН Азербайджана (Баку, 2015);
6. На Всероссийской НТК «Теория телетрафика», Российский Университет Дружбы Народов (Москва, РУДН, 2012);
7. На отраслевой научной конференции "Технологии Информационного Общества" Московский технический университет связи и информатики. (Москва, МГУСИ, 2012, 2014);
8. На Международной НТК «Современные средства связи» (Минск, ВГКС, 2013);
9. На НТ конференции профессорско-преподавательского состава Аз.ТУ (Баку, АзТУ, 2011 - 2015);
10. На международной НТК «Современное состояние и перспективное развитие ИКТ», ИСТ-2016 (Баку, АзТУ, 2016).

Публикации. По результатам исследований и разработок опубликованы 16 научных работ.

Личный вклад. Основные результаты диссертационной работы получены самостоятельно. Внедрение основных научных результатов осуществлялось при непосредственном участии автора.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, 2-х приложений. Основная часть работы изложена на 133 страницах машинописного текста, 27 рисунках, списка литературы из 100 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, обозначены цель и задачи исследования, аргументирована научная новизна и практическая значимость достигнутых результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, даны сведения о публикациях, апробации и структуре диссертации.

В первой главе рассмотрены объект исследования и анализ методов повышения эффективности передачи служебного и полезного трафиков в интегральных сетях связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN.

Приведена обобщенная физическая структура технических средств управления передачей служебным трафиком, обоснованы и выбраны показатели эффективности интегральных сетей связи, использующие подсистемы Softswitch/IMS (Internet Protocol Multimedia Subsystem), которые являются объектом исследования данной диссертационной работы.

В данной инфраструктуре для управления передачей служебным и полезным трафиком в интегральных сетях связи используются основные технологии сигнализации и семейства протоколов, которые обеспечивают базовые принципы архитектурной концепции NGN.

На основе системно-технического анализа, математическая формулировка задачи эффективности функционирования интегральных сетей связи при передаче полезного и служебного трафиков по каналам связи (КС) может быть представлена следующей целевой функцией:

$$Q_{K\Phi} = W[\max_i(E_{\text{эф}})], \quad i = \overline{1, n} \quad (1)$$

при следующем ограничении

$$C_{i, \max} \leq C_{i, \max}^{\text{доп}}, V_{i, \text{ck}} \geq V_{i, \text{ck}}^{\text{доп}}, P_{i, \text{ou}} \leq P_{i, \text{ou}}^{\text{доп}}, C_a \leq C_{a, \text{доп}}, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $C_{i, \max}$ – максимальная пропускная способность системы сигнализации при передаче информации i -го полезного и служебного трафиков; $V_{i, \text{ck}}$ – скорость передачи пакетов трафика систем и протоколов сигнализации по служебным КС; $P_{i, \text{ou}}^{\text{доп}}$ – допустимая вероятность ошибки приема пакетов трафика сигнализации; W – оператор совместной передачи полезного и служебного трафиков; C_a – стоимость аппаратно-программных и канальных средств сетей связи при обслуживании информационного и служебного трафика.

На основе проведенного исследования выбран критерий для анализа качества функционирования интегральных сетей связи с

использованием систем и протоколов сигнализации NGN, при выполнении функциональной возможности «Triple Play Services», обеспечивающих обмен сигнальной и полезной информацией, представленной в трех видах – речь, данные, видео.

На основе анализа определены основные задачи исследований интегральных сетей связи при установлении соединений для эффективной передачи служебного трафика.

Во второй главе исследованы характеристики пропускной способности интегральных сетей связи при передаче полезного и служебного трафиков.

На основе исследования мультисервисных сетей связи следующего поколения NGN, предложен метод расчета пропускной способности подсистемы Softswitch/IMS, учитывающий совместное обслуживание служебных и полезных трафиков при оказании мультимедийных услуг.

Математическая формулировка задачи предлагаемого метода расчета для оценки характеристик пропускной способности мультисервисных сетей связи описывается следующей целевой функцией:

$$Q_{эфф} = \{[\max_i(C_{i.cnc})], \quad i = \overline{1, n}\}, \quad (3)$$

при следующих ограничениях

$$T_{i.cп.з} \leq T_{i.cп.з.дон}, \quad C_a \leq C_{a.дон}, \quad \eta_i \leq \eta_{i.дон}. \quad (4)$$

где $C_{i.cnc}$ – максимальное значение пиковой пропускной способности подсистемы Softswitch/IMS при передаче i -го потока пакетов; $T_{i.cп.з}$ – среднее время задержки при передаче i -го потока пакетов; C_a – стоимость аппаратных и программных средств сетевой платформы Softswitch/IMS; η_i – коэффициент эффективного использования сетевых ресурсов Softswitch/IMS при передаче i -го потока пакетов.

В интегральных сетях связи одним из ключевых показателей является коэффициент эффективного использования ресурсов сетевой платформы Softswitch/IMS и выражается следующим образом:

$$\eta_i = \frac{\lambda_i}{N_{i.t}} \cdot T_{i.cп.з} \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (5)$$

С учетом нагрузочных характеристик сетевой платформы Softswitch/IMS, величина максимального значения пропускной способности интегральных сетей связи при установлении соединений определяется следующим образом:

$$C_{\max}(\lambda) = N_{\text{обр.}} / E[T_{\text{уст}}(\lambda)], \quad (6)$$

где $N_{\text{обр.}}$ – число обработанных пакетов служебных трафиков Softswitch/IMS при установлении соединений.

Выражения (3), (6) характеризуют предлагаемый метод расчета, который определяет показатели качества функционирования мультисервисных сетей связи с использованием сетевой платформы Softswitch/IMS.

На основе предложенного метода расчета определены величины общей сигнальной нагрузки $Y_{\text{наг}}^{\text{об}}$ между коммутационными узлами и среднего значения $T_{\text{уст}}$ времени установления соединения, которые являются показателем их QoS (Quality of Service).

Третья глава посвящена разработке методов расчета показателей эффективности систем и протоколов сигнализации интегральных сетей связи следующего поколения NGN.

Учитывая важность взаимодействия систем и протоколов сигнализации для оказания интегрированных услуг, предлагается новый подход, основанный на упрощениях в описании исследуемой модели функционирования маршрутизатора в узле Softswitch/IMS.

Предлагаемый подход учитывает алгоритмы работы сигнального мультиплексора (СМ) с функциями управления медиа-шлюза, функционирование исследуемой модели самоподобного случайного процесса и показатели звена сети связи при взаимодействии систем и протоколов сигнализации NGN.

Для решения поставленной задачи, предлагается схема функционирования исследуемой модели звена сети сигнализации, которая показана на рис.1, где важным блоком является система управления маршрутизатора в узле Softswitch/IMS, а также сигнальный шлюз (SG), сигнальный мультиплексор (СМ) и буферный накопитель (БН) звена сети сигнализации с использованием протоколов IP/MPLS (Multiprotocol Label Switching).

Рассматриваемое звено IP-сети сигнализации представляет собой систему массового обслуживания (СМО) типа $M/G/1/N_{\text{бн}}$ с некоторыми допущениями при критической загрузке $\rho_i \leq 1$ (коэффициент перегрузки канала).

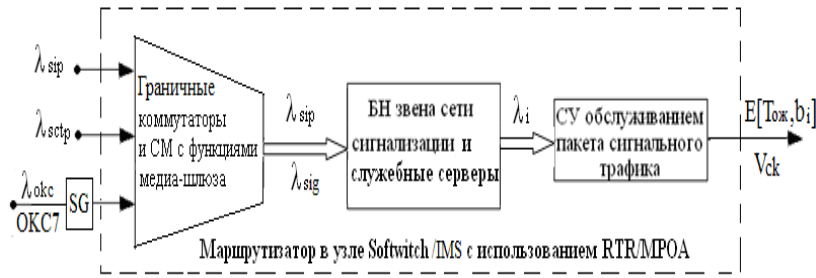


Рис.1. Структурная схема функционирования исследуемой модели звена сети сигнализации

В СМО поступающий сигнальный трафик на обслуживание является пуассоновским, с интенсивностью $\lambda_i, i = \overline{1, n}$, длительность обслуживания i -го трафика имеет функцию распределения $B(t) = P[B \leq t]$ с преобразованием Лапласа-Стилтьеса (ПЛС) $b(s) = E[\exp(-bs)]$ и моментами $b_i, i = \overline{1, n}$. При этом условие $\rho_i = (\lambda_i \cdot L_i^{ce} / V_{ck}) < 1$, является необходимым и достаточным для существования стационарного режима системы (где V_{ck} – средняя скорость работы маршрутизатора, $V_{ck} \geq 2048$ Кбит/с).

С учетом потока пакетов сигнального трафика, создаваемого системой и протоколом сигнализации SIP и Sigtran, коэффициент загрузки системы при обслуживании i -го пакета трафика протокола определяется следующим образом:

$$\rho_i = (\lambda_{sip} + \lambda_{sig}) \cdot b_i \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (7)$$

Установлено, что интеграция и конвергенция в сетях коммутации пакетов различного по своей природе служебного трафика сетей NGN является одной из причин проявления самоподобного характера сетевого трафика, или иначе, его фрактальных свойств. Для более точного описания сигнального трафика его рассматривают как самоподобный случайный процесс с показателем Хэрста $H \in [0, 5; 1]$. Основной характеристикой самоподобного трафика является параметр Хэрста – H , являющийся мерой самоподобия, или статистической инерцией процесса.

Данное предположение позволяет использовать общий тип $f_{BM} / G / 1 / N_{\sigma n}$ для исследования процессов функционирования сетевой платформы Softswitch/IMS при произвольном обслуживании пакетов сигнального трафика различных сервисных классов качества.

На основании данного предположения, коэффициент эффективного использования системы управления маршрутизатора в узле Softswitch/IMS при обслуживании трафика систем и протоколов сигнализации NGN выражается следующим образом:

$$\rho(\lambda_i, H) = \frac{\lambda_i}{V_{ck}} \cdot f(H) \cdot \mu_i^{ce} \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (8)$$

где μ_i^{ce} – параметр процесса обслуживания i -го пакета сигнального трафика и равно $\mu_i^{ce} = (1/L_i^{ce})$, L_i^{ce} – длина передаваемого пакета сигнальных единиц (СЕ) i -го трафика систем и протоколов сигнализации; $f(H) = 2H$ – функция, учитывающая свойство самоподобия поступающих пакетов сигнального трафика протокола; H – коэффициент Хэрста для потока трафика протокола и равно $H = 1 - 0,5\beta$, $0 < \beta < 1$.

Согласно «закону сохранения накопленной в очереди работы», для «FIFO» дисциплин, не допускающих прерывания обслуживания и свойства эквивалентности систем управления маршрутизатора в узле Softswitch/IMS, среднее время ожидания обслуживания пакетов определяется выражением:

$$E[T_{ож}^{ce}(\rho, H, V_{ck}, b_i)] = E[L_{cd}(H, \lambda, C_s^2)] / \lambda_i, \quad (9)$$

где $E[L_{cd}(H, \lambda, C_s^2)]$ – средняя суммарная длина очереди пакетов в узле Softswitch/IMS.

Учитывая метод диффузионной аппроксимации, коэффициент вариации входящего процесса C_s^2 и скорость работы сигнального канала при малых нормах потерь пакетов, средняя суммарная длина очереди пакетов в узле Softswitch/IMS общего типа $fBM/G/1/N_{bn}$ определяется следующим образом:

$$E[L_{cd}(H, C_s^2, \lambda)] = L_n^{ce} \cdot \frac{1 + C_s^2}{2 \cdot (1 - \rho)} \cdot \lambda \cdot \frac{f(H)}{V_{ck}} \cdot \rho \cdot b_i^2, \quad (10)$$

На основе методов расчета вероятностно-временных характеристик сетей NGN с учетом свойств самоподобия трафика протокола сигнализации получены аналитические выражения, с помощью которого проведены численные расчеты с использованием MATLAB 7.0 и её пакетов Signal Processing Communications. С учетом

полученных численных результатов построено семейство графической зависимости (рис.2).

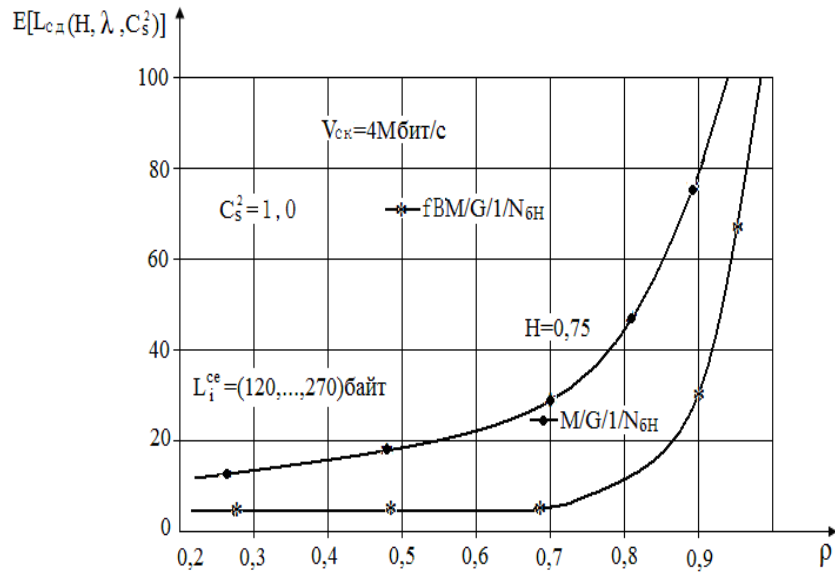


Рис.2. График зависимости средней суммарной длины очереди пакетов от коэффициента загрузки звена сети сигнализации

Для проверки адекватности численных значений, получаемых с помощью предложенного подхода к модели систем и протоколов сигнализации NGN, использованы рекомендации ITU-T Q.543, I.352 и Y.1530, описывающие требования к традиционным услугам связи, поскольку именно они предоставляются с помощью узлов Softswitch/IMS. Таким образом, вклад узлов Softswitch/IMS в среднее время ожидания обслуживания сигнального пакета при передаче неоднородного трафика является значимым и должен учитываться при планировании сетей NGN.

С целью эффективного взаимодействия сигнальных протоколов OKS-7, Sigtran и SIP для случаев прямого и обратного направлений установления соединения, предложена структурная схема функционирования модели, для описания процесса обслуживания служебного трафика (рис.3), на основе которого разработана модель мультиплексирования служебных трафиков, учитывающая процессы функционирования звена сети сигнализации NGN.

На основе модели предполагаем, что случайный процесс $r(t)$, описывающий функционирование СМО, задается компонентами

$r(t) = \{i_{oks}(t), i_{sig}(t), i_{sip}(t)\}$, непрерывно зависящими от параметра времени $t \in (0, T]$, и принимает значения в конечном пространстве состояний, которые описываются Марковским процессом.

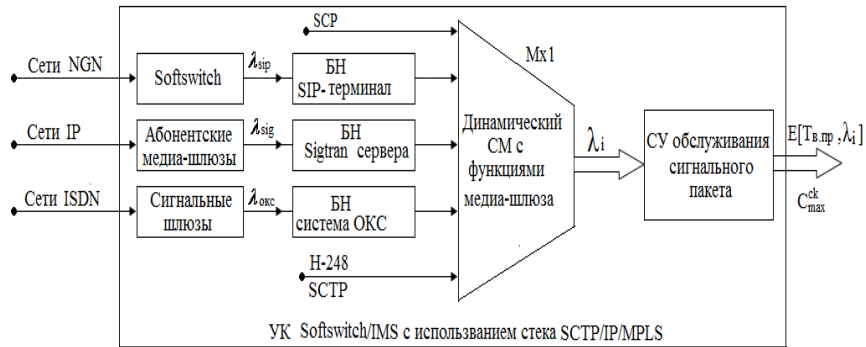


Рис.3. Структурная схема функционирования модели для описания процесса обслуживания служебного трафика

Установлено, что при выполнении условия $(\lambda_{окс} + \lambda_{sig} + \lambda_{sip}) / (N_{ck} / b_i)$ существует стационарное состояние и множество возможных состояний S , описываемые следующим образом:

$$S = \{(i_{окс}, i_{sig}, i_{sip}) : [i_{окс} + i_{sig} + i_{sip}] \leq N_{ck}\}, \quad (11)$$

где N_{ck} – число функциональных элементов узлов Softswitch/IMS и сигнальных КС в звеньях мультисервисных сетей связи

В данном случае, полученный Марковский процесс является процессом рождения и гибели. Эти условия можно сформулировать с помощью процесса размножения и гибели в следующем виде:

$$\lambda = \lambda_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_{ck} + N_{он}; \quad (12)$$

$$b_i = \begin{cases} i \cdot \mu^{-1}, & \text{при } 0 \leq i \leq N_{ck} \\ N_{ck} \cdot \mu^{-1} + i \cdot \nu, & \text{при } N_{ck} \leq i \leq N_{ck} + k \end{cases} \quad (13)$$

где ν – скорость ухода от узла Softswitch/IMS из очереди; k – число мест для ожидания; μ – интенсивность обслуживания потоков пакетов.

Для существования стационарного распределения очереди будем считать, что загрузка системы

$$\rho_i = [\lambda_i \cdot L_{cn} \cdot (N_{ck} \cdot C_{i,max})^{-1}] < 1, \quad i = \overline{1, n}. \quad (14)$$

где L_{cn} – средняя длина передаваемого сигнального пакета.

Используя формулу Литтла, определим среднюю длину очереди пакетов трафика сигнального протокола в виде СМО типа $M / G / N_{ck} / N_{\bar{on}}$:

$$L_{i,cp.}(C_s^2, \rho) = \lambda_i \cdot E(T_{ож}, \lambda_i), \quad i = \overline{1, n}, \quad (15)$$

Учитывая выражения (9),..., (15) можно определить среднее время пребывания пакетов трафика протоколов и систем сигнализации сетей NGN:

$$E[T_{в.пр}, \lambda_i] = (1 / \lambda_i) \cdot L_{i,cp.}(C_s^2, \rho) + (1 / \mu), \quad i = \overline{1, n} \quad (16)$$

Выражения (9),..., (21) определяют вероятностно-временные характеристики узлов коммутации Softswitch/IMS и являются показателем качества обслуживания служебного трафика систем и протоколов сигнализации – QoS.

$$\eta_k = \eta_k(\lambda_i) = q_i \cdot (L_{cn} / T_{cn} \cdot N_{ck} \cdot C_{\max}) \leq 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (17)$$

В (17) характеристика q_i определяет вероятность наличия пакетов сигнального трафика в системе и отражает полезную занятость Softswitch/IMS, для которого равна $q_i = \lambda_i \cdot T_{cn}$, $i = \overline{1, n}$, где T_{cn} – длительность цикла работы системы сигнализации.

Выражение (17) характеризует эффективное использование переменной пропускной способности УК Softswitch/IMS при установлении соединений и мультимедийных услуг. На основе полученных численных результатов построены семейства графических зависимостей (рис.4) $E[T_{в.пр.}, \lambda] = W[L_{cn}, \eta_k, C_{\max}]$ при $M = 6$ и $N = 4$.

Анализ семейства графической зависимости показал, что, при низком коэффициенте использования пропускной способности узлов Softswitch/IMS, среднее время пребывания служебного пакета в сети NGN больше, чем в системе типа $M / M / N_{ck} / N_{\bar{on}}$ и $M / D / N_{ck} / N_{\bar{on}}$ с той же нагрузочной активностью. Очевидно, что чем выше η_k , C_{\max} и чем меньше $E[T_{в.пр.}, \lambda_i]$, тем эффективнее при обеспечении требуемой достоверности выбранный алгоритм обслуживания потоков пакетов трафика систем и протоколов сигнализации сетей NGN.

Таким образом, результаты исследований показали, что с целью улучшения эффективности передачи служебного трафика систем и протоколов сигнализации сетей NGN с использованием сетевой платформы Softswitch/IMS при установлении соединений и оказании

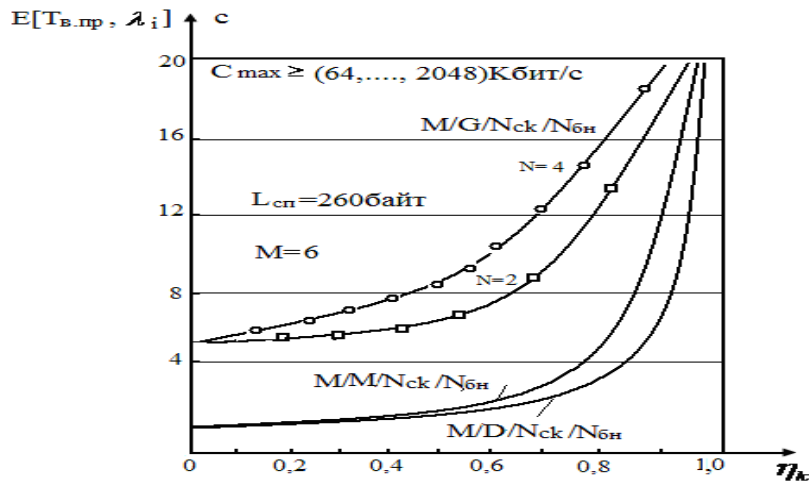


Рис.4. Зависимость среднего времени пребывания пакетов трафика протокола сетей NGN от коэффициента эффективного использования УК Sofiswitch/IMS

мультимедийных услуг требуется создание интегральных сетей связи с повышенной помехоустойчивостью и отказоустойчивостью.

В четвертой главе исследованы методы и средства повышения помехоустойчивости и надежности функционирования системы сигнализации при передаче сигнального трафика.

Для решения поставленной задачи предложена типичная структурно-функциональная схема приема пакетов трафика систем и протоколов сигнализации, на основе которого разработан метод расчета показателей помехоустойчивости приема служебных сигналов, учитывающий воздействия источников помехи, отношение сигнал-шум на выходе сигнального канала связи, помехи оборудования оптического линейного тракта и искажения пакета данных.

Математическая формулировка предложенного метода расчета для исследования помехоустойчивости приема служебных сигналов может быть представлена следующей целевой функцией:

$$D_{\text{доп.}} = \min_i [P_{i,\text{доп.}}], \quad i = \overline{1, n} \quad (18)$$

при следующих ограничениях

$$V_{\text{ck}} \geq V_{\text{ck,доп.}}, \quad \text{SNR} \leq \text{SNR}_{\text{доп.}}, \quad Q_i \leq Q_{i,\text{доп.}}, \quad (19)$$

где V_{ck} – скорость передачи служебных трафиков в сигнальном канале связи; SNR – отношение сигнал-шум (SNR- Signal to Noise Ratio) на

выходе сигнального канала связи; Q_i – показатель качества принимаемого служебного i – го сигнала, $i = \overline{1, n}$.

Одним из важных показателей качества связи при приеме служебных сигналов является вероятность ошибки приема служебных сигналов, определяющая помехоустойчивость системы сигнализации. На основе метода расчета показателей помехоустойчивости приема сигнальных единиц служебного трафика получено выражение для расчета вероятности ошибки приема служебных сигналов.

На рис.5 представлена графическая зависимость вероятности ошибки приема СЕ протокола сигнализации от коэффициента отношения сигнал-шум на выходе модема при заданных L_{CE} и V_{ck} ($V_{ck} = 64$ Кбит/с и $V_{ck} = 2,0$ Мбит/с).

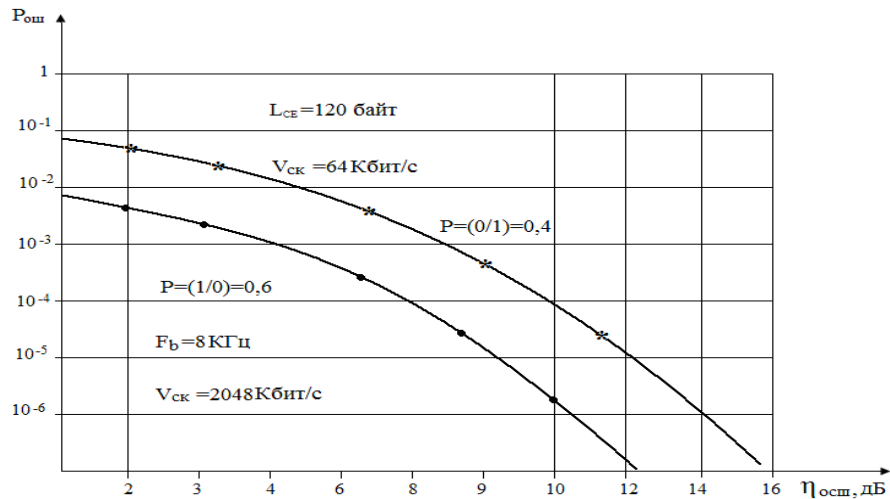


Рис.5. Зависимость вероятности ошибки приема СЕ протокола сигнализации от коэффициента отношения сигнал-шум на выходе модема

Из семейства графических зависимостей видно, что при увеличении коэффициента отношения сигнал-шум на выходе модема, значительно возрастает помехоустойчивость приема пакетов трафика протоколов и систем сигнализации. Его заметный рост начинается со значений $\eta_{осш} \geq 6,5$ дБ при $V_{ск} \leq 2048$ Кбит/с, $P_{ош} = 10^{-4} \leq P_{ош.дон}$.

Далее, в четвертой главе разработана модель отказоустойчивости общеканальной системы сигнализации в интегральных сетях связи.

Математическая формулировка предложенной модели для исследования отказоустойчивости функционирования сетей ОКС может быть представлена следующей целевой функцией:

$$W_{omk} = \arg \max_i [W_{i,\text{эф}}], \quad i = \overline{1, n} \quad (20)$$

при следующих ограничениях

$$Q \leq Q_{\text{дон}}, T_b \leq T_{b,\text{дон}}, C_{i,\text{ан}} \leq C_{i,\text{ан},\text{дон}}, P_{i,\text{ВББ}}(\lambda_i) \leq P_{i,\text{ВББ}}(\lambda_i) \quad (21)$$

где Q – вероятность отказа ОКС из-за отсутствия резервного элемента сигнального канального средства любого типа; T_b – среднее время восстановления ЗС; $C_{i,\text{ан}}$ – стоимость аппаратных и программных средств сетей ОКС с использованием сигнальных канальных ресурсов.

В приложении включено соответствующие акты о внедрении.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Проанализированы характеристики служебного и полезного трафиков и перспективы развития систем и протоколов сигнализации интегральных сетей связи на базе архитектурной концепции NGN и их техническое обеспечение, обоснована актуальность задач в предметной области и показаны методы и средства их решения на основе системного подхода.

2. На основе системно-технического анализа интенсивности служебной и полезной нагрузки системы сигнализации NGN, разработана модель сигнального трафика, создаваемого сообщениями систем и протоколов Softswitch/IMS при выполнении мультимедийных услуг. Получены аналитические выражения для оценки характеристики пропускной способности интегральных сетей связи следующего поколения, позволяющие определить вероятностно-временные характеристики узлов коммутации Softswitch/IMS при установлении соединений и объемы сетевых оборудований.

3. Исследованы интегральные сети связи с использованием NGN, образованные программно-аппаратным модулем Softswitch, сигнальным каналом и сетевой платформой IMS, на основе которых предложен метод расчета пропускной способности системы сигнализации, позволяющий получить аналитические выражения для оценки их основных характеристик при оказании мультимедийных услуг.

4. На основе исследования интегральных сетей связи на базе архитектурной концепции NGN, разработан новый подход,

учитывающий алгоритмы работы узлов коммутации Softswitch/IMS, характер самоподобного случайного сигнального трафика и показатели звена сети при взаимодействии систем и протоколов сигнализации NGN. Получены аналитические выражения, позволяющие оценить эффективность и стационарные характеристики систем и протоколов сетей NGN при заданном коэффициенте вариации для распределения времени обслуживания сигнального пакета.

5. В результате исследования мультисервисных сетей связи, разработана математическая модель СМО с ожиданием общего типа $fBM / G / N_{ck} / N_{\text{он}}$, использующая архитектурную концепцию NGN, которая описывает функционирование системы управления маршрутизатором в узле коммутации Softswitch/IMS и получены аналитические выражения, позволяющие оценить показатели эффективности систем и протоколов сигнализации NGN при установлении соединения и оказании интегрированных услуг. На основе предложенной модели установлено, что при использовании сетевой платформы Softswitch/IMS, среднее время ожидания начала обслуживания сигнального пакета является значимым и должен учитываться при планировании сетей NGN.

6. Исследованы методы повышения достоверности передачи служебных трафиков, на основе которых предложен метод расчета показателей помехоустойчивости приема CE служебного пакета трафика, учитывающий воздействие источников помех и параметры отношения сигнал-шум, и получены аналитические выражения для оценки вероятности ошибки приема служебных сигналов.

7. На основе системно-технического анализа эффективности функционирования интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN при оказании мультимедийных услуг, разработана математическая модель отказоустойчивости функционирования узлов коммутации Softswitch/IMS и получены аналитические выражения, которые позволяют оценить показатели отказоустойчивости базовых компонентов системы сигнализации NGN.

8. Предложена и разработана структурно-функциональная архитектура инфраструктуры интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов сигнализации NGN, обеспечивающая высокую эффективность и помехоустойчивость систем передачи служебного и полезного трафиков. Получен экономический эффект от внедрения функциональных узлов коммутации Softswitch/IMS за счет повышения эффективности интегральных сетей связи с использованием систем и протоколов

сигнализации NGN, который составляет 1,584 млн. AZN в год, что подтверждено актом внедрения.

По теме диссертационной работы опубликованы следующие работы:

- 1. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Об одном подходе к оценке качества функционирования звена сети сигнализации // Всероссийская НТ конференция «Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем», секция - «Теория телетрафика», Российский Университет Дружбы Народов, РУДН, Москва, 2012. – с. 38-40.
- 2. Ибрагимов Б.Г., Мамедов И.М., Исмаилова С.Р.** Исследование эффективности функционирования оптических телекоммуникационных сетей связи // Вестник компьютерных и информационных технологий, № 8, Москва, 2012. - с.3 - 7.
- 3. Ibrahimov B.G., Ismaylova S.R.** Research efficiency of integrated communication networks with use of signaling system // The IV-International Conference «Problems of Cybernetics and Informatics». Vol.1. PCI-12. Baku, Azerbaijan. 2012. – pp.71- 74.
- 4. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Анализ показателей эффективности функционирования мультисервисных сетей связи при передаче полезного и служебного трафика // Труды шестой отраслевой научной конференции "Технологии Информационного Общества". Московский технический университет связи и информатики. 2012. - с.52 – 53.
- 5.Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р., Гусейнов Ф.И.** Исследование методов отказоустойчивости сети общеканальной системы сигнализации // Труды Международного Симпозиума «Надежность и Качество». I-том. ПГТУ. Пенза, 2012.- с.59-63.
- 6. Исмаилова С.Р.** Исследование показателей мультисервисных сетей связи с использованием систем сигнализации//Материалы республиканской НК «Гейдар Алиев и Азербайджанское Образование».АзТУ. Баку, 2013. - с.398 – 401.
- 7. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Оценка служебной нагрузки системы сигнализации в интегральных сетях связи //Известия Высших технических учебных заведений Азербайджана АГНА.Баку,№4,2013,с.73-78.
- 8.Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р., Гусейнов Ф.И.** Исследование эффективности гибридных сетей связи с использованием протоколов сигнализации // Вестник компьютерных и информационных технологий, №11, Москва, 2013. - с.50 - 54.

- 9. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Исследование и оценка пропускной способности системы служебного тракта // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» Москва, МТУСИ, 2013. – с. 68-69.
- 10. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Исследование и анализ узлового сигнального трафика в звене мультисервисной сети телекоммуникации // Материалы XVIII международной научно-технической конференции «Современные средства связи», ВГКС, Минск, 2013. с.59-60.
- 11. Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Анализ эффективности мультисервисных сетей связи при использовании архитектурной концепции NGN// Труды восьмой Международной отраслевой научной конференции "Технологии Информационного Общества", МТУСИ, Москва, 2014. с.13 .
- 12. Мамедов Г.А., Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Подход к оценке эффективности систем и протоколов сигнализации NGN в мультисервисных сетях связи //Вестник компьютерных и информационных технологий, № 10, Москва, 2014.– с.30 – 35.
- 13.Ибрагимов Б.Г., Исмаилова С.Р.** Исследования и анализ передачи трафика протокола SIP // Труды Международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективное развитие информационных и коммуникационных технологий», ICT-2014. АзТУ, Баку, 2014. – с. 258- 264.
- 14.Ибрагимов Б.Г.Исмаилова С.Р.** Исследование помехоустойчивости приема служебных сообщений в системах сигнализации // Ученые Записки-АзТУ, №3 Баку,2014,с.11-17.
- 15. Ибрагимов Б.Г.Исмаилова С.Р.** Исследование и анализ эффективности мультисервисных сетей связи при использовании архитектурной концепции NGN//T-Comm, Телекоммуникации и транспорт, Том 8, № 8, Москва, 2014.– с.47 – 50.
- 16.Ибрагимов Б.Г., Самуйлов К.Е., Исмаилова С.Р.** Исследования и анализ вероятностно-временных характеристик сетей NGN/IMS // Материалы Международной НТК «Современное состояние и перспективное развития ИКТ» АзТУ, Баку. 2016.-с.298-302.

Роль соискателя в трудах, опубликованных в соавторстве:

Работа [6], приведенная в списке научных трудов по диссертации написано лично автором. В совместно опубликованных работах [2, 3, 4, 5, 7, 8 10-16] личный вклад соискателя состоит в разработке методов и моделей исследования показателей эффективности интегральных сетей связи и проведении соответствующих расчетов.

**İNTEQRAL RABİTƏ ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ XİDMƏTİ VƏ FAYDALI
TRAFİKLƏRİN XARAKTERİSTİKALARININ ANALİZİ VƏ
TƏDQIQI**

Dissertasiya i□i **inteqral rabitə şəbəkələrində** xidm□ti və faydalı trafiklərin ötürülməsinin effektivliyinin yüks□ldikm□si üsullarının və v□saitil□rinin t□dqiqi müvzusunda h□sr edilm□dir.

□□in □sas m□qs□di siqnallaşma sistem və protokollarından istifadə etməklə, inteqral rabitə şəbəkələrində xidməti və faydalı trafiklərin xarakteristikalarının analizi və tədqiqi üçün üsulların işlənməsindən ibar□t olmu□dur.

T□dqiqat obyekt□ NGN (Next Generation Network) siqnallaşma sistem və protokollarından istifadə etməklə inteqral rabitə şəbəkələri və altsistem□rin manqalar□ n□z□rd□ tutulmu□dur.

Dissertasiya i□i qiri□d□n,dürd □sas texniki b□lm□rd□n, al□nm□ n□tic□rd□n, istifadə olunmu□ d□biyyatlar siyah□s□ndan və □lav□rd□n ibar□tdir.

Dissertasiya işinin birinci bölməsində NGN siqnallaşma sistem və protokollarından istifadə etməklə inteqral rabitə şəbəkələrində xidməti və faydalı trafiklərin ötürülməsinin effektivliyinin yüksəldilməsi üsullarının analizi və tədqiqat obyektinə baxılmışdır.

Dissertasiya işinin ikinci bölməsində xidməti və faydalı trafiklərin ötürülməsi zamanı inteqral rabitə şəbəkələrin buraxma qabiliyyətinin xarakteristikaları tədqiq edilmişdir.

Üçüncü bölmə NGN bazasında inteqral rabitə şəbəkələrin siqnallaşma sistem və protokolların effektivlik göstəricilərinin hesablama üsullarının işlənməsinə həsr olunmuşdur.

Dördüncü bölmədə xidməti trafiklərin ötürülməsi zamanı siqnallaşma sistemlərin maneəyədavamlılığının və etibarlılığının yüksəldilməsi üsul və vasitələri tədqiq edilmişdir.

Sevinc Ramiz qızı İsmayılova

**RESEARCH AND THE ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF
OFFICE AND USEFUL TRAFFIC IN INTEGRATED
COMMUNICATION NETWORKS**

This work is devoted – to research characteristics of office and useful traffic in integrated communication networks with use of systems and protocols signaling.

Main objective of dissertation work is development of methods of research and the analysis characteristic office and useful traffic in integrated communication networks with use of systems and protocols signaling.

Object of researches are integrated communication networks with use of systems and protocols signaling of the NGN (Next Generation Network).

The dissertation work consists of introduction, 4 heads, the conclusion, the list of references, 2 appendices.

In chapter 1 the object research and analysis methods increase of efficiency transfer office and useful traffic in integrated communication networks with use of systems and protocols signaling of the NGN are considered.

In chapter 2 characteristics capacity of integrated communication networks by transfer useful and office traffic are investigated.

The chapter 3 is devoted to development methods of calculation indicators efficiency of systems and protocols signaling of integrated communication networks of the next generation NGN.

In the fourth head methods and means increase of a noise stability and reliability functioning of system signaling by transfer office traffic are investigated.

Əlyazmalar hüququnda

SEVINC RAMİZ qızı İSMAYILOVA

**İNTEQRAL RABİTƏ ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ XİDMƏTİ VƏ FAYDALI
TRAFİKLƏRİN XARAKTERİSTİKALARININ ANALİZİ VƏ
TƏDQIQI**

3338.01 - Sistemli analiz, idarəetmə və informasiyanın işlənməsi

**Texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın**

A V T O R E F E R A T I

BAKI - 2017