

На правах рукописи

СЕНЧЕНКО ЮРИЙ ЛЕОНИДОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ,
АВТОРИЗАЦИИ И УЧЕТА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В
КОНВЕРГЕНТНЫХ СЕТЯХ ТИПА WLAN/UMTS**

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2010

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича на кафедре СКИРИ

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гольдштейн Борис Соломонович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сиверс Мстислав Аркадьевич

кандидат технических наук
Витченко Алексей Александрович

Ведущая организация: **ЛО ЦНИИС**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2010 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 219.004.02 при Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича по адресу: 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Отзыв об автореферате в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направлять по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного Совета.

Автореферат разослан «___» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

В.Х. Харитонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Значительная часть эволюционных изменений в сфере телекоммуникаций в наши дни проходит под знаком конвергенции фиксированных и мобильных сетей связи (*Fixed Mobile Convergence, FMC*). Подтверждением этому служат конвергентные сети типа WLAN/UMTS (*Wireless Local Area Network/Universal Mobile Telecommunications System*), получающие сегодня все более широкое распространение в нашей стране и за ее пределами. Как правило, сеть WLAN/UMTS является продуктом присоединения домена WLAN к инфраструктуре UMTS, которое осуществляет оператор UMTS с целью предоставления своим пользователям услуг по технологиям беспроводных локальных сетей.

Значительная часть абонентов современных сетей связи пользуется услугами на основе предоплаты, что требует контроля средств на счете в реальном времени. Можно выделить два подхода к контролю средств: периодическая проверка в процессе предоставления услуги и резервирование необходимой суммы до начала предоставления услуги.

Чанг (Chang), Янг (Yang) и Лин (Lin) рассматривают первый подход на примере системы AAA в сети мобильной связи, построенной в соответствии с архитектурой «узел услуг». Целью их исследования является решение следующей задачи оптимизации. В силу того, что стоимость биллинговой системы зависит от ее производительности, увеличение периодичности обращений к ней для достижения более высокой точности учета приведет к росту лицензионной стоимости. Уменьшение периодичности обращений снизит требования к производительности системы, но вместе с тем уменьшится и точность учета. Это, в свою очередь, приведет к росту потерь оператора, связанных с перерасходом абонентами предоплаченной суммы средств. Математический аппарат, предложенный авторами, позволяет выбрать оптимальную частоту обращений в биллинговую систему, при которой издержки оператора на предоставление услуги достигают минимального значения.

Примером использования второго подхода может служить механизм учета в домене WLAN конвергентной сети типа WLAN/UMTS, организованный по принципу резервирования средств на основе протокола кредитного контроля Diameter. Применительно к такой системе может быть сформулирована аналогичная задача оптимизации, однако результаты, полученные для узла услуг, подходят для ее решения лишь отчасти в силу следующих причин:

- в домене WLAN сети WLAN/UMTS учет выполняется путем предварительного резервирования ресурсов на основе протокола кредитного контроля Diameter, в то время как система AAA, построенная по принципу узла услуг, подразумевает организацию учета при помощи периодической проверки остатка на счете, выполняемой в режиме постфактум;
- различная природа потерь оператора сети при использовании неоптимальных параметров работы системы AAA. Потери в сети с системой AAA, построенной в соответствии с архитектурой «узел услуг», являются следствием перерасхода предоплаченных абонентами ресурсов, то есть, так называемого

«ухода» абонента «в минус». Система AAA, организованная по принципу резервирования, не имеет этого недостатка, однако допускает возникновение ситуации, когда остаток средств на счете абонента слишком мал для выполнения резервирования. В таком случае эти средства не могут быть потрачены, и их можно считать недополученным доходом оператора;

- Чанг, Янг и Лин рассматривают процесс учета сеансов речевой связи – по сути, единственной протяженной во времени услуги в мобильных сетях первого и второго поколений. В домене WLAN сети WLAN/UMTS помимо учета таких сеансов необходимо выполнять учет IP-сессий. Математический аппарат, используемый при работе с речевым трафиком, в данном случае неприменим;

- задача оптимизации параметров работы системы учета, построенной по принципу узла услуг, была решена графическим способом. При этом не приводится доказательство существования оптимума и его единственности, то есть фактически авторы лишь иллюстрируют возможность решения поставленной задачи. Эксплуатация реальной сети требует более точного и технологичного метода поиска оптимального значения: визуально зафиксированная точка (а точнее, группа точек, так как график является плавным, и четкий минимум прослеживается не всегда) на графике не является надежной основой для конфигурирования параметров сети.

Широкое распространение конвергентных сетей типа WLAN/UMTS в России и в мире требует скорейшего решения названной задачи оптимизации для получения научного обоснования выбора параметров системы AAA. Учитывая, что требуемые для этого математические модели практически отсутствуют, можно говорить об актуальности и ценности проводимого в настоящей работе исследования.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в разработке математической модели аутентификации, авторизации и учета (AAA) конвергентной сети WLAN/UMTS, обслуживающей абонентов, которые платят за услуги по предоплатным тарифным планам в реальном времени, и в нахождении оптимальных параметров работы систем AAA на основе этой модели.

Цель достигается путем решения следующих задач:

1. Исследование процесса формирования сигнальной нагрузки от системы AAA в сторону системы начисления платы при обслуживании абонентов сети WLAN/UMTS в реальном времени. Разработка критериев оптимальности параметров работы системы AAA сети WLAN/UMTS.
2. Создание формализованного описания системы AAA сети WLAN/UMTS. Определение вероятностно-временных характеристик наиболее распространенных услуг, предоставляемых доменом WLAN.
3. Разработка математической модели системы AAA сети WLAN/UMTS, обслуживающей абонентов в реальном времени.
4. Синтез процессов системы AAA сети WLAN/UMTS. Поиск оптимальных параметров работы системы AAA на основе полученной математической модели.
5. Обоснование методом имитационного моделирования корректности расчета оптимума процессов системы AAA сети WLAN/UMTS.

Методы проведения исследования. Исследование, представленное в настоящей диссертационной работе, проведено на основе методов математического анализа, теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории

восстановления, теории оптимизации, а также методов имитационного моделирования на ЭВМ.

Научная новизна. В настоящей диссертационной работе впервые предложена математическая модель системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS, обслуживающей абонентов по предоплатным тарифным планам в реальном времени, а также сформулирована и решена задача поиска оптимальных параметров эксплуатации такой системы.

Личный вклад. Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Аналитические модели, полученные в этой работе, а также метод решения задачи оптимизации, могут быть использованы для определения оптимальных параметров работы системы AAA в реальном времени в конвергентной сети типа WLAN/UMTS, при которых минимизируются издержки оператора в процессе эксплуатации.

Результаты диссертационной работы были использованы при построении конвергентных сетей типа WLAN/UMTS в Поволжском и Столичном филиалах ОАО «Мегафон», а также в проектной деятельности Северо-Западного филиала ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ», что подтверждается соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на региональном форуме МСЭ-D по развитию для Европы и СНГ «Сети последующего поколения и широкополосная связь: возможности и задачи» (Кишинев, Молдова, 2009г.), на международном телекоммуникационном симпозиуме «Мобильная связь» (СПб, 2007), а также на ежегодных научно-технических конференциях (профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, студентов и аспирантов) СПбГУТ с 2007 по 2010 гг.

Публикации. По материалам диссертационной работы в научно-технических журналах и в трудах международных и всероссийских научных конференций опубликовано 14 печатных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы и приложения. Объем пояснительной записки 142 страницы, 46 иллюстраций, список литературы насчитывает 60 наименований.

Положения, выносимые на защиту

1. Формализованное описание задачи оптимизации параметров системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS, обслуживающей абонентов в реальном времени.
2. Функциональная модель системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS.
3. Математическая модель системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS, обслуживающей абонентов в реальном времени.

4. Обоснование выбора метода решения задачи оптимизации и решение этой задачи на основе полученной математической модели системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS.

5. Результаты имитационного моделирования системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS, подтверждающие аналитические модели диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы его цель и задачи, определены практическая ценность и сфера применения результатов работы, приведены сведения об апробации работы, изложены положения, выносимые на защиту, а также представлены основные результаты исследования.

В первом разделе приводится обзор эволюционных процессов в сетях мобильной связи в контексте их движения в направлении Интернет-технологий, а также рассматриваются конвергентные сети типа WLAN/UMTS как наиболее актуальная стратегия конвергенции фиксированных и мобильных сетей. Описываются способы объединения сетей WLAN и UMTS, специфицированные 3GPP, рассматривается архитектура предмета исследования – системы AAA WLAN-домена объединенной сети. Обосновывается необходимость учета абонентов, оплачивающих услуги по предоплатным тарифным планам WLAN-домена в реальном времени. Анализируются существующие на момент написания работы механизмы AAA в реальном времени и связанные с ними исследования, делается вывод об их неприменимости в рамках конвергентной сети типа WLAN/UMTS. Далее в разделе рассматриваются особенности приложения кредитного контроля Diameter, на основе которого, согласно 3GPP, должна быть построена система AAA в реальном времени в домене WLAN, определяется проблематика организации системы учета средств на основе данного протокола на примере следующего противоречия. Предоставление абоненту услуги начинается только после того, как на его счете в биллинговой системе резервируется необходимая сумма средств. Это позволяет контролировать расходование средств, не допуская превышения заранее предоплаченной суммы. При приближении остатка на счете к нулю возникает ситуация, когда система AAA не может выполнить резервирование, так как у абонента недостаточно средств. В результате эта сумма остается на счете на следующий отчетный период, и оператор недополучает доход. Снижение минимального порога резервирования уменьшит этот остаток, однако в процессе предоставления услуги возрастет количество запросов в биллинговую систему, так как при расходовании одинаковой суммы придется выполнить процедуру резервирования большее число раз. Рост числа обращений в биллинговую систему сказывается на ее лицензионной стоимости, и затраты оператора на предоставление услуги абонентам возрастают. Такое противоречие позволяет сформулировать задачу оптимизации.

Пусть на предоставление абоненту услуги за отчетный период оператор тратит сумму, равную C . В соответствии с приведенными рассуждениями, ее можно определить как

$$C(B, I) = N(B, I) \cdot \varphi + R(I), \quad (1)$$

где I – объем квоты, резервируемой при одном обращении в систему начисления платы, $R(I)$ – потери оператора из-за невозможности резервирования квоты меньшей, чем I , B – сумма средств, расходуемая абонентом за отчетный период, $N(B, I)$ – количество обращений в систему начисления платы за отчетный период, φ – стоимость одного обращения.

Требуется определить такой размер квоты I , при котором затраты оператора на предоставление услуги $C(B, I)$ будут минимальны.

Решение поставленной задачи требует:

- 1) На основе описания, приведенного в первом разделе, разработать функциональную модель системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS.
- 2) Исследовать процесс формирования сигнальной нагрузки системы начисления платы в реальном времени сервером AAA, работающим по протоколу приложения кредитного контроля Diameter.
- 3) Определить вероятностно-временные характеристики наиболее распространенных услуг, предоставляемых абонентам сети WLAN/UMTS.
- 4) Разработать математическую модель системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS на основе функциональной модели и вероятностно-временных характеристик предоставляемых услуг.
- 5) На основе математической модели получить аналитическое выражение для слагаемого функции стоимости (1) $N(B, I)$ – количества обращений в систему начисления платы за отчетный период.
- 6) На основе математической модели системы получить аналитическое выражение для слагаемого функции стоимости (1) $R(I)$ – потерь оператора из-за невозможности резервирования квоты меньшей, чем величина I .
- 7) Выбрать метод решения задачи оптимизации функции стоимости (1) и определить оптимальную величину параметра I .
- 8) Разработать и реализовать в виде приложения на ЭВМ процедуры верификации полученного решения задачи оптимизации.
- 9) С помощью приложения, эмулирующего работу системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS, провести имитационное моделирование и на его основе сделать выводы о корректности полученного решения и его применимости для оптимизации систем AAA эксплуатируемых сетей.

Второй раздел диссертационной работы посвящен построению функциональной и математической моделей системы AAA и получению выражения для первого слагаемого формулы стоимости (1).

На основе описания приложения кредитного контроля Diameter, а также описания архитектуры WLAN-домена конвергентной сети типа WLAN/UMTS, приведенных в первом разделе, разработана функциональная модель объекта исследования, элементами которой являются:

- множество источников нагрузки – абоненты, оплачивающие услуги по предоплатным тарифным планам, пользующиеся услугами WLAN-домена сети;
- сервер доступа (NAS), предоставляющий абонентам доступ к услугам на основе информации, полученной от сервера аутентификации, авторизации и учета. Сервер

доступа осуществляет контроль ресурсов, потребляемых абонентами при пользовании услугами, так как является точкой прохождения всего абонентского трафика в сети;

- сервер аутентификации, авторизации и учета (сервер AAA). Этот элемент выполняет запросы резервирования ресурсов по команде сервера доступа, а также получает параметры услуг из устройства HSS/HLR;

- система начисления платы в реальном времени (OCS) – хранилище счетов абонентов, выполняющая управление платежными средствами абонентов и отвечающая на запросы резервирования, выполняемые сервером аутентификации, авторизации и учета;

- устройство HSS/HLR, хранящее параметры услуг, предоставляемых абонентам сети.

Далее в разделе на основе функциональной модели разрабатывается математическая модель объекта исследования, позволяющая получить выражения для математического ожидания количества запросов в систему начисления платы (OCS) при учете VoIP-вызовов и IP-сессий. Выделяются два основных способа начисления платы за услуги – начисления платы по продолжительности пользования услугой и начисления платы на основе объема потребляемых ресурсов.

Выражение для математического ожидания количества обращений в систему начисления платы при учете VoIP-вызовов выводится на основе предположения об эрланговском распределении длительности обслуживания, причем стоимость сеанса связи считается пропорциональной его длительности:

$$f(x) = \frac{(m \cdot \gamma)^m}{(m-1)!} \cdot x^{m-1} \cdot e^{-m \cdot \gamma \cdot x}.$$

Пусть абонент за отчетный период расходует сумму B , при этом объем резервируемых за одно обращение к системе начисления платы средств равен I . Рассмотрим процесс учета сеансов речевой связи. Пусть за время одного сеанса сервер AAA выполняет n резервирований квот, и стоимость сеанса равна x . Если эта стоимость не превышает объема резервируемых за один раз ресурсов I , то очевидно, что сервер AAA выполнит только 1 резервирование средств. Если стоимость сеанса превысит I , но не будет превышать $2I$, то потребуются 2 резервирования и т.д.

Таким образом, математическое ожидание количества обращений в систему начисления платы в реальном времени $E(n)$ определяется выражением:

$$E(n) = \sum_{j=1}^{\infty} \int_{(j-1) \cdot I}^{jI} j \cdot f(x) dx =$$

$$= 1 + \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{m-1} [(m \cdot \gamma \cdot j \cdot I)^k \cdot \exp(-m \cdot \gamma \cdot j \cdot I)] / k!$$

Чтобы определить математическое ожидание количества запросов в систему начисления платы при обслуживании абонента за отчетный период, необходимо найти математическое ожидание количества вызовов от абонента за отчетный период. Так как продолжительность, а значит, стоимость каждого сеанса не зависит от продолжительности предыдущих сеансов и не влияет на последующие, стоимость

любого сеанса является независимой случайной величиной с одним и тем же у всех сеансов распределением.

Отсюда, математическое ожидание количества сеансов $E(K)$, суммарная стоимость которых не превысит величину B , определяется формулой

$$E(K) = \sum_{n=1}^{\infty} P(y_n \leq B) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^B f(y_n) dy_n,$$

где y_n – суммарная стоимость n сеансов речевой связи, плотность вероятности которой может быть найдена путем свертки плотностей вероятностей n случайных величин x .

Для случайных величин, распределенных по закону Эрланга, для $E(K)$ получена аппроксимация $E(K) \approx (2 \cdot m \cdot \gamma \cdot B + m + 1) / 2m$.

Величина $N(B, I)$ для речевых сеансов, согласно тождеству Вальда, определяется произведением $E(K)$ и $E(n)$:

$$N(B, I) = E(K) \cdot E(n) = \\ = ((2 \cdot m \cdot \gamma \cdot B + m + 1) / 2m) \cdot (1 + \sum_{j=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{m-1} [(m \cdot \gamma \cdot j \cdot I)^k \cdot \exp(-m \cdot \gamma \cdot j \cdot I)] / k!).$$

На рис. 1 представлена зависимость количества обращений в систему начисления платы для речевых сеансов от размера резервируемой квоты при сумме средств на счете абонента 100, 300 и 500 единиц, $m=1$, $\gamma=1/30$.

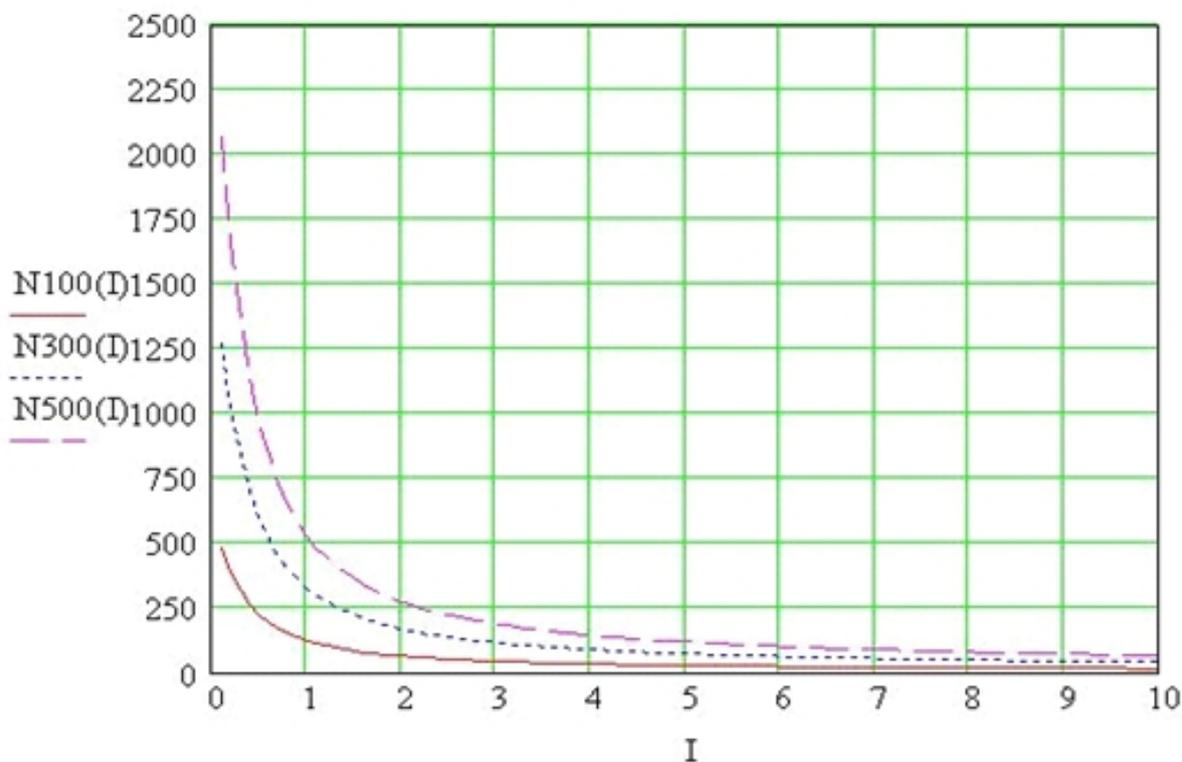


Рисунок 1. Количество обращений в систему начисления платы в зависимости от размера резервируемой квоты при учете сеансов речевой связи

На основе аналогичных рассуждений выводится выражение для математического ожидания количества запросов в систему начисления платы за отчетный период при тарификации IP-сессий. Стоимость IP-сессии считается

пропорциональной передаваемому в ней количеству информации. Предполагается, что количество передаваемой в рамках сессии информации распределено по логнормальному закону:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), & x > 0 \\ 0, & x \leq 0. \end{cases}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} E(n) &= \sum_{j=1}^{\infty} \int_{(j-1) \cdot I}^{jI} j \cdot f(x) dx = \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} \int_{(j-1) \cdot I}^{jI} j \cdot \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx. \end{aligned}$$

Далее определяется математическое ожидание количества IP-сессий $E(K)$, доступных абоненту с суммой на счете, расходуемой за отчетный период, равной B , аналогично выражению для VoIP-вызовов:

$$E(K) = \sum_{n=1}^{\infty} P(y_n \leq B) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^B f(y_n) dy_n.$$

При расчете $E(K)$ для учета IP-сессий получение выражения плотности вероятности y_n – суммарной стоимости n IP-сессий – требует использования аппроксимации, так как свертка плотностей вероятности n логнормально распределенных случайных величин не может быть выражена в виде элементарных функций. В диссертационной работе использована аппроксимация Фентона (Fenton), в результате которой получены следующие выражения:

$$f(y_n) = \frac{1}{y_n \cdot \Sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(\ln(y_n) - M)^2}{2\Sigma^2}\right),$$

где

$$\begin{aligned} \Sigma &= \sqrt{\ln\left(\frac{e^{\frac{\sigma_{ucx}^2}{n}} - 1}{n} + 1\right)} \\ M &= \ln\left(e^{m_{ucx}} \cdot e^{\frac{\sigma_{ucx}^2}{2}} \cdot n\right) - \frac{\ln\left(\frac{e^{\sigma_{ucx}^2} - 1}{n} + 1\right)}{2}. \end{aligned}$$

Перемножением, согласно тождеству Вальда, величин $E(K)$ и $E(n)$ получено выражение для математического ожидания количества обращений в систему начисления платы за отчетный период при учете IP-сессий. На рис. 2 представлена зависимость математического ожидания количества обращений в систему начисления платы от размера резервируемой квоты при сумме средств, расходуемых за отчетный период 100, 300 и 500 единиц, $\mu=3$, $\sigma=1/2$.

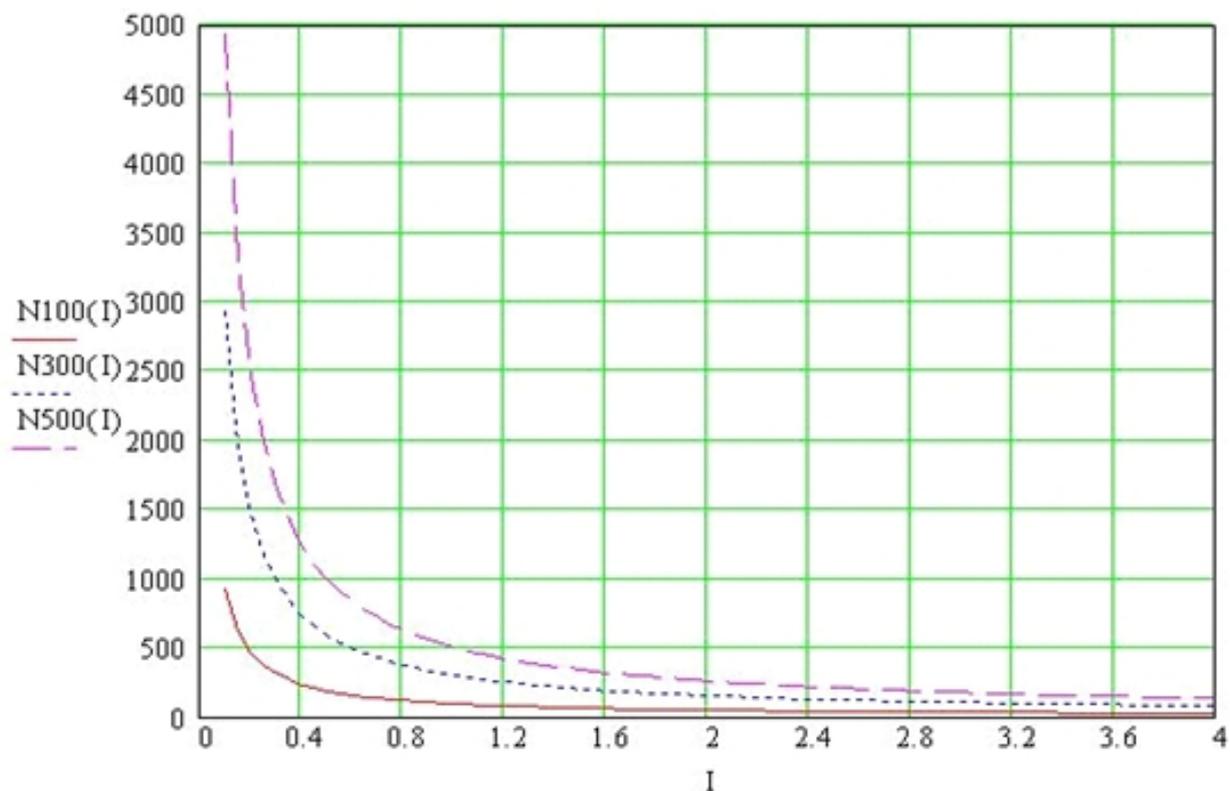


Рис. 2. Математическое ожидание количества обращений в систему начисления платы в зависимости от размера резервируемой квоты при учете IP-сессий.

В **третьем разделе** определяется второе слагаемое функции стоимости (1) - выражение для потерь оператора $R(I)$, возникающих в результате невозможности выполнения резервирования, а также производится выбор метода оптимизации этой функции с целью поиска оптимального параметра объема резервируемых за одно обращение ресурсов, при котором затраты оператора на предоставление услуги минимальны. В продолжение исследования, начатого во втором разделе, поочередно рассматривается процесс учета двух основных услуг конвергентной сети типа WLAN/UMTS – VoIP-сеансов и IP-сессий.

Существует две взаимоисключающих ситуации, при которых на счете абонента заканчиваются средства, и дальнейшее пользование услугой невозможно:

Ситуация 1: Абонент заканчивает потребление услуги, когда остаток средств на его счете меньше, чем величина $B-I$. Если он попытается воспользоваться услугой в дальнейшем, не пополнив средства на счете, он получит отказ, так как сервер AAA не сможет зарезервировать сумму I , требуемую для начала предоставления услуги, в системе начисления платы.

Ситуация 2. Абонент потребляет услугу, и в процессе потребления остаток средств на счете становится меньше, чем величина $B-I$. В этом случае система принудительно остановит процесс оказания услуги, так как сервер AAA не сможет зарезервировать сумму I , требуемую для продолжения пользования услугой, в системе начисления платы.

Обозначим математическое ожидание остатка средств на счете при возникновении ситуации 1 и ситуации 2 как $R_1(I)$ и $R_2(I)$ соответственно.

$$R(I) = R_1(I) + R_2(I).$$

Рассматриваются варианты возникновения ситуации 1. Делается предположение, что абонент потребляет всю квоту за одну IP-сессию, и завершает её в момент, когда остаток на его счете меньше, чем $B-I$. В этом случае величина неизрасходованного остатка будет равняться $B-x$, где x – стоимость IP-сессии.

Математическое ожидание остатка на счете в этом случае определяется выражением

$$C_1 = \int_{B-I}^{([B/I]-1) \cdot I} (B-x) \cdot f(x) dx.$$

Ситуация 1 может также возникнуть в результате расходования абонентом суммы на счете за 2 и более IP-сессий. Предполагается, что за последнюю сессию было выполнено l резервирований квот по I , причем перед этим абонент пользовался услугой n раз. Следуя принятым во втором разделе обозначениям, за y_n принимается суммарная стоимость n первых IP-сессий. Остаток на счете абонента в этом случае определяется разностью $B-y_n-x$, где x – стоимость последней сессии.

Математическое ожидание остатка на счете определяется выражением

$$C_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{[B/I]-2} \int_{(l-1)I}^{lI} \int_{B-I-x}^{B-lI} (B-y_n-x) \cdot f(x) \cdot f(y_n) dx dy_n.$$

Последний случай в рассматриваемой ситуации 1 происходит, когда стоимость предыдущих n сессий принимает значение из интервала $(0, B-([B/I]-1)I)$. Остаток на счете абонента в этом случае определяется разностью $B-y_n-x$, где x – стоимость последней IP-сессии.

Математическое ожидание остатка на счете определяется выражением

$$C_3 = \sum_{n=1}^{\infty} \int_{([B/I]-2)I}^{([B/I]-1)I} \int_0^{B-([B/I]-1)I} (B-y_n-x) \cdot f(x) \cdot f(y_n) dx dy_n.$$

События C_1 , C_2 и C_3 несовместны, поэтому

$$R_1(I) = C_1 + C_2 + C_3.$$

Далее рассматриваются варианты возникновения ситуации 2. В первом случае абонент расходует все средства со счета за одну IP-сессию, причем она завершается принудительно, когда остаток на счете становится меньше, чем $B-I$. Величина неизрасходованных средств будет равна $B-([B/I]-1)I$, а ее математическое ожидание будет определяться выражением

$$D_1 = \int_{([B/I]-1) \cdot I}^{\infty} (B-([B/I]-1) \cdot I) \cdot f(x) dx.$$

Второй случай принудительного завершения сессии возникает, когда абонент расходует сумму на счете за 2 и более сессии, причем в течение последней сессии система начисления платы выполняет резервирование l раз. Остаток на счете в этом случае будет равен $B-y_n-lI$, где y_n – суммарная стоимость первых n сессий, а l – сумма, резервируемая в системе начисления платы за одно обращение.

Математическое ожидание остатка на счете в этом случае будет определяться выражением

$$D_2 = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{[B/I]-2\infty} \int_{B-I-l}^{B-l} (B - y_n - l) \cdot f(x) \cdot f(y_n) dx dy_n .$$

Последний случай в рассматриваемой ситуации 2 происходит, когда стоимость предыдущих n сессий принимает значение из интервала $(0, B - ([B/I] - 1)I)$. Остаток на счете абонента в этом случае определяется разностью $B - y_n - [B/I - 1]I$.

Математическое ожидание остатка на счете определяется выражением

$$D_3 = \sum_{n=1}^{\infty} \int_{([B/I]-1)I}^{\infty} \int_0^{B - ([B/I]-1)I} (B - y_n - [B/I - 1] \cdot I) \cdot f(x) \cdot f(y_n) dx dy_n .$$

Случаи D_1 , D_2 и D_3 несовместны, поэтому $R_2(I) = D_1 + D_2 + D_3$.

Используя аналогичные рассуждения для VoIP-сеансов получены аналогичные выражения для потерь оператора из-за невозможности выполнения резервирования $R(I)$.

На рис. 3 и 4 представлены графики зависимостей потерь $R(I)$ от величины резервируемых за одно обращение ресурсов при учете VoIP-сеансов связи и IP-сессий соответственно.



Рис. 3. Зависимость потерь от размера резервируемой за одно обращение к системе начисления платы суммы средств при учете речевых сеансов связи. $B=300$, $m=1$, $\gamma=1/10$ (L1), $\gamma=1/30$ (L2), $\gamma=1/50$ (L3).



Рис. 4. Зависимость потерь от размера резервируемой за одно обращение к системе начисления платы суммы средств при учете IP-сессий. $B=300$, $\sigma=4$, $m=3$ (L1), $m=3.5$ (L2), $m=4$ (L3)

Далее в разделе выбирается и обосновывается метод решения задачи оптимизации формулы стоимости (1). Слагаемое $N(B,I)$ определяет потери, которые формируются вследствие сигнальной нагрузки системы начисления платы. Функция $N(B,I)$ является монотонно убывающей, так как увеличение количества средств, резервируемых за одно обращение, ведет к уменьшению общего количества запросов. По графикам, представленным на рисунках 1 и 2 также видно, что функция монотонно убывает на интервале значений аргумента I , не превышающих величины B .

Функция $R(I)$ является монотонно возрастающей, так как увеличение резервируемых за одно обращение средств ведет к росту остатка на счете абонента, который не может быть зарезервирован. По графикам, представленным на рисунках 3 и 4, видно, что при достаточно большом значении суммы средств на счете по сравнению с математическим ожиданием стоимости сеанса/сессии функция $R(I)$ стремится к функции $I/2$ на интервале, где значения аргумента I принадлежат промежутку от 0 до математического ожидания стоимости сеанса/сессии. За пределами этого интервала функция принимает вид $R(I) = I-x$, где x - математическое ожидание стоимости сеанса/сессии.

Функция стоимости (1) является функцией одной переменной при условии, что сумма на счете абонента B постоянна. Решение задачи оптимизации такой функции представляет собой поиск минимального значения на интервале $(0,B]$, так как резервироваться может сумма, большая, чем 0, но меньшая, чем сумма средств на счете абонента. Учитывая, что функция потерь включает в себя операции суммирования и двойного интегрирования, и поэтому ее выражение через

аналитические функции представляется чрезмерно сложной задачей, метод поиска минимума с помощью производной в данном случае не подходит. Как правило, в таких случаях используют метод направленного поиска экстремума функции, такой как метод золотого сечения или метод чисел Фибоначчи.

Применение этих методов требует, чтобы оптимизируемая функция была унимодальной, то есть имела один минимум на заданном отрезке. Функция стоимости (1) состоит из двух слагаемых, первое из которых является монотонно убывающей функцией, а второе – монотонно возрастающей. Сумма двух таких функций на интервале $(0, B]$ будет иметь только один минимум во всех случаях, кроме того, когда скорость убывания первого слагаемого совпадет со скоростью возрастания второго. В последнем случае функция будет иметь бесконечно много минимумов на отрезке $(0, B]$, однако вероятность возникновения такой ситуации ничтожно мала, поэтому в практических задачах ей можно пренебречь. В остальных случаях оптимизируемую функцию можно считать унимодальной и применить для поиска ее минимума метод направленного поиска.

В диссертационной работе используется метод золотого сечения, поскольку он, как последовательный метод оптимизации, более технологичен, чем непоследовательный метод чисел Фибоначчи. Практически это означает, что при увеличении требований к точности вычисления по методу золотого сечения могут быть просто продолжены, а по методу чисел Фибоначчи должны быть выполнены заново.

В **четвертом разделе** выполняется имитационное моделирование процессов AAA в сети типа WLAN/UMTS в целях проверки аналитических моделей, полученных в разделах 2 и 3. Моделирование проводится на ЭВМ на основе программ, написанных на языке Perl. Имитируется работа системы AAA при обслуживании 10000 абонентов для услуг двух типов – VoIP-сеансов связи и IP-сессий при заданном наборе исходных данных. Определяются издержки оператора на предоставление услуг за отчетный период. Далее в разделе проводится расчет издержек оператора с помощью пакета MathCad с использованием математических моделей диссертационной работы, при этом в качестве входных параметров для расчета используется идентичный набор исходных данных. Полученные в результате имитации и расчетов по аналитическим моделям данные сопоставляются для оценки достоверности предложенных математических моделей.

На рис. 5 и 6 представлены результаты проверки соответствия данных имитационного моделирования на ЭВМ (графики P_j) и данных, которые были получены в результате расчетов по математическим моделям, разработанным в диссертации (графики $C(I)$). Сделан вывод о точности математических моделей как при определении издержек оператора, так и при определении значения аргумента, при котором стоимостная функция достигает минимального значения.

В заключение раздела приводится пример решения задачи оптимизации – расчета оптимальной величины параметра I на основе разработанных математических моделей методом золотого сечения с точностью до второго знака для учета VoIP-сеансов связи и IP-сессий. Результаты расчета сопоставляются с экспериментально полученными данными, делается вывод о высокой достоверности математических моделей диссертационной работы.

Приложение содержит тексты программ на языке Perl, использовавшихся в работе при имитационном моделировании в разделе 4.

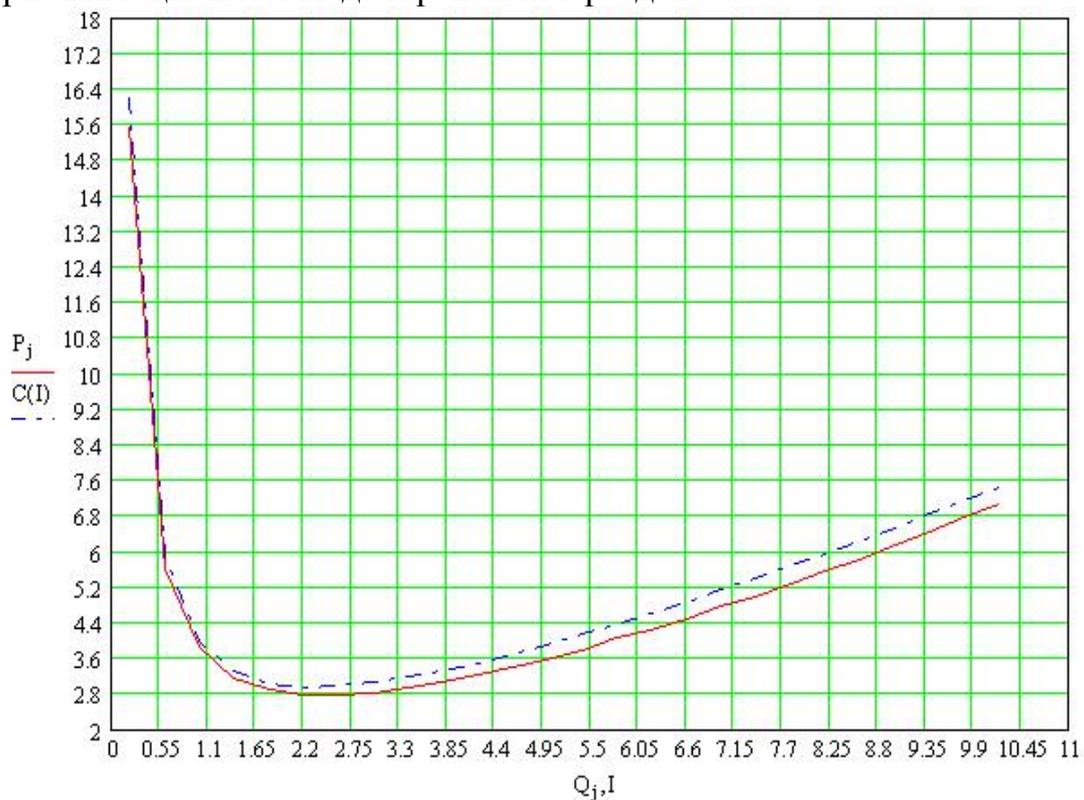


Рис. 5. Имитационное моделирование учета речевых сеансов. $\lambda=0.2$, $m=1$, $B=100$, $\varphi=0.03$

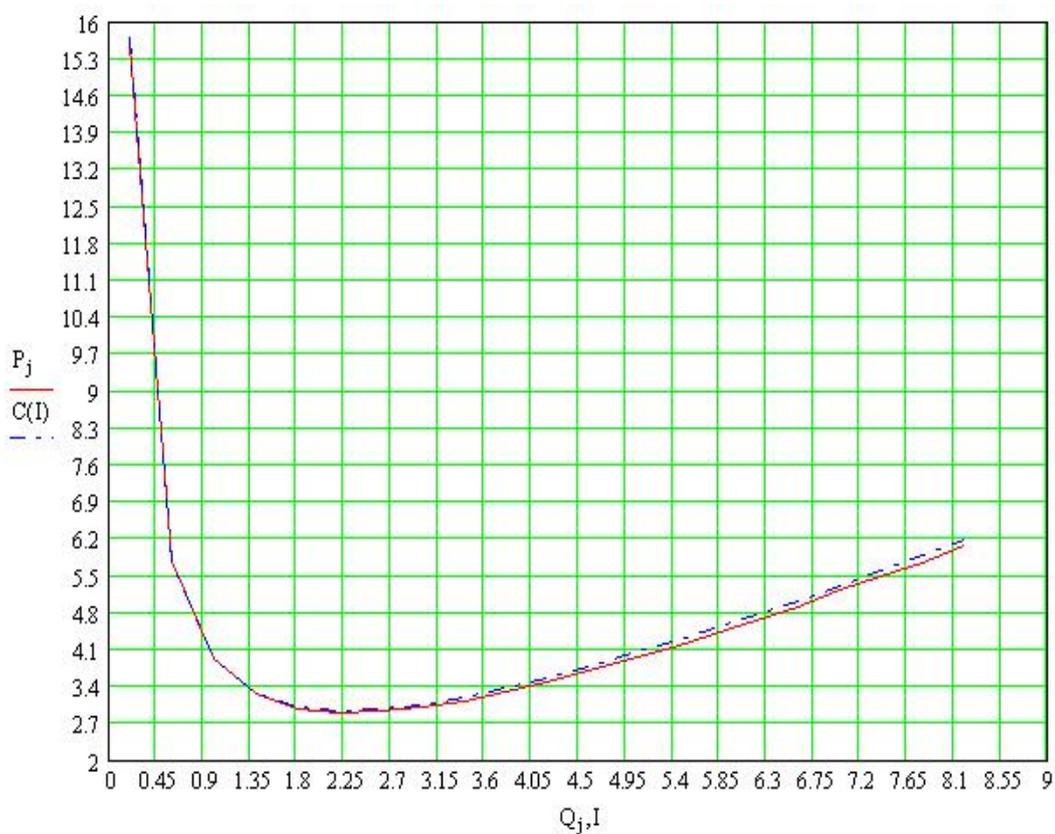


Рис. 6. Имитационное моделирование учета IP-сессий. $\sigma=1$, $\mu=1$, $B=100$, $\varphi=0.03$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе исследованы механизмы аутентификации, авторизации и учета (AAA) в реальном времени в конвергентных сетях типа WLAN/UMTS, а также сформулирована и решена задача оптимизации системы AAA по критерию издержек оператора на предоставление услуг.

В работе получены следующие результаты.

1. Разработано формализованное описание объекта исследования – системы AAA конвергентной сети типа WLAN/UMTS.
2. Исследованы механизмы AAA в реальном времени во WLAN-домене конвергентной сети типа WLAN/UMTS.
3. Сформулирована задача оптимизации системы AAA по критерию издержек оператора на предоставление услуг.
4. Предложена функциональная модель предмета исследования.
5. На основе функциональной модели разработана математическая модель системы AAA WLAN/UMTS-сети.
6. Создана имитационная модель объекта исследования, на ее основе разработана программа для ЭВМ, моделирующая процессы AAA. С помощью этой программы проведена серия экспериментов для проверки аналитических результатов диссертационной работы. Получено подтверждение годности разработанных моделей для оптимизации систем AAA конвергентных WLAN/UMTS-сетей.
7. Выбран и применен метод решения задачи оптимизации на основе предложенной математической модели. С использованием имитационного моделирования доказана корректность полученного решения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Сенченко Ю.Л. Протоколы AAA: RADIUS и Diameter. Серия «Телекоммуникационные протоколы» / Б.С. Гольдштейн, В.С. Елагин, Ю.Л. Сенченко – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 350 с. ISBN 978-5-9775-0331-0

Учебные пособия

2. Сенченко Ю.Л. Протокол Diameter. / А.В. Лейкин, Ю.Л. Сенченко. Учебное пособие (специальность 210406)/ ГОУВПО СПбГУТ. СПб, 2010. – 60 с. *(Рекомендовано УМО по образованию в области телекоммуникаций).*

Статьи

3. Сенченко Ю.Л. IMS и новые услуги связи // CONNECT! Мир связи. 2007. № 10. С. 86–90.
4. Сенченко Ю.Л. Фрейнкман В.А. Решения «ПРОТЕЙ» для сетей IMS – сервисные платформы нового поколения // Мобильные телекоммуникации. 2009. № 3-4. С. 50–52.
5. Сенченко Ю.Л. Оптимизация механизма тарификации в режиме реального времени в WLAN/UMTS сетях // «Информационно-управляющие системы». 2009. № 6. с. 59 – 62 *(в перечне ВАК).*

6. Сенченко Ю.Л. Исследование механизма тарификации в режиме реального времени в WLAN/UMTS сетях // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 11. С. 94 – 97 (в перечне ВАК).
7. Сенченко Ю.Л., Фрейнкман В.А. Особенности построения конвергентных WLAN/UMTS сетей // Федеральный справочник: Связь и массовые коммуникации в России. 2009. с. 211–214.
8. Сенченко Ю.Л. Вопросы построения AAA систем в конвергентных мультисервисных сетях // Вестник связи. 2010. № 7. С. 46–48. (в перечне ВАК).
9. Сенченко Ю.Л. FMC-решения корпоративного уровня // CONNECT! Мир связи. 2010. №9. С. 61 – 64.

Тезисы докладов

10. Сенченко Ю.Л. Услуга контроля присутствия в сети IMS: расчет емкости сервера услуги // Международный телекоммуникационный симпозиум «Мобильная связь»: сборник докладов. СПб, 2007. С. 63–67.
11. Сенченко Ю.Л. Услуга контроля присутствия в IMS: анализ трафика и оценка влияния на сетевые элементы //60-я НТК: материалы/ГОУВПО СПбГУТ. – СПб., 2008 с.
12. Сенченко Ю.Л. Фрейнкман В.А. Архитектура перспективных сервисных платформ в эпоху перехода к IMS [Электронный ресурс] // Региональный форум МСЭ-D по развитию для Европы и СНГ «Сети последующего поколения (NGN) и широкополосная связь: возможности и задачи»: [сайт]. URL http://www.itu.int/ITU-D/tech/DevelopmentForums/2009/EUR/RDF09_EUR_Program.html (дата обращения: 30.10.2009).
13. Сенченко Ю.Л. Проблематика организации систем AAA в конвергентных WLAN/UMTS сетях // 62-я НТК: материалы/ГОУВПО СПбГУТ. – СПб., 2010. С. 37-39
14. Сенченко Ю.Л. Моделирование системы AAA конвергентной WLAN/UMTS сети // 62-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича: материалы/ГОУВПО СПбГУТ. – СПб., 2010. С. 39-41.

Подписано к печати 09.09.2010г
Объем 1 печ. л. Тир. 80 экз.

Отпечатано в СПбГУТ 191186 Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 61