

На правах рукописи



Лысиков Андрей Александрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
МЕТОДА ОЦЕНКИ ГРАНИЧНЫХ ЗАДЕРЖЕК
В ВИРТУАЛЬНЫХ ЧАСТНЫХ СЕТЯХ**

Специальность 05.12.13 -
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Самара – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Росляков Александр Владимирович
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
заведующий кафедрой автоматической электросвязи

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Сухов Андрей Михайлович
ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева», профессор кафедры суперкомпьютеров и общей информатики

кандидат технических наук, доцент
Абилов Альберт Винерович
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»,
декан Приборостроительного факультета

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Защита состоится 22 декабря 2017 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 219.003.02 при Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики по адресу: 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, д. 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» и на официальном сайте <http://www.psuti.ru/>.

Автореферат разослан « » ноября 2017 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета Д 219.003.02
доктор технических наук, профессор



Тяжев А.И.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Виртуальные частные сети (VPN) являются одной из наиболее востребованных услуг в операторских пакетных сетях, таких как мультисервисные сети следующего поколения NGN. Отличительной особенностью операторских сетей является гарантированное качество обслуживания (QoS). Характеристики QoS прописываются в договоре SLA, заключаемом между оператором и клиентом. Важнейшей характеристикой QoS является задержка передачи пакетов трафика клиента из конца в конец. При реализации услуг VPN оператор должен соблюдать как задержку передачи трафика из конца в конец, так и задержки в отдельных узла. Маршруты разных VPN между точками подключения клиентов часто пересекаются, поэтому при реализации множества VPN возникает проблема оптимального распределения сетевых ресурсов. На этапе планирования топологий VPN оператор должен определить оптимальные маршруты для обеспечения максимального объема реализованных услуг и эффективного распределения сетевых ресурсов по VPN. Для анализа задержек в таких сетях обычно используют модели, основанные на теории массового обслуживания (ТМО), которая изначально разрабатывалась для телефонных сетей с коммутацией каналов. ТМО позволяет определять средние значения задержек исходя из предположений о конкретных распределениях потоков заявок и дисциплин их обслуживания, но на практике в мультисервисных пакетных сетях эти распределения часто неизвестны ввиду сложного характера трафика (часто самоподобного) и сложных дисциплин обслуживания трафика в узлах (наличие различного рода формирователей, планировщиков и др.).

В силу сложности объекта исследования очевидным является отказ от моделей, позволяющих определять точные и средние значения задержек, в пользу моделей, оперирующих с их граничными значениями. Данный подход используется в рекомендациях международных организаций по стандартизации в области телекоммуникаций, таких как МСЭ-Т, IETF, 3GPP и др. Так, согласно рекомендации МСЭ-Т G.1010 задержка при двухсторонней голосовой связи в норме не должна превышать 150 мс, а максимальная задержка не более 400 мс. Перспективной теорией, позволяющей получить граничные значения характеристик сетевых моделей, является сетевое исчисление NC (Network Calculus). В рекомендации МСЭ-Т Y.1315 теория NC предлагается для анализа характеристик качества работы VPN. Однако в рекомендации приведен только базовый подход без конкретных методов

анализа задержек в VPN. Поэтому разработка моделей и методов оценки граничных задержек в VPN является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами разработки и исследования моделей и методов анализа характеристик качества обслуживания и оптимального распределения ресурсов в VPN занимались Лузгачев М. В., Пономарев Д. Ю., Росляков А. В., Самуйлов К. Е., Стрелковская И. В., Balasubramanian A., Duffield N. G., Juttner A., Mitra D., Veciana G и др. В работах авторов разработаны методы оптимального распределения ресурсов сети NGN, решены задачи анализа и синтеза топологии VPN, эффективного разделения ресурсов сети между многоадресной и несколькими одноадресными VPN с использованием теории графов, тензорного анализа. Во всех работах используются модели оценки средних значений характеристик QoS. В данной диссертационной работе предлагается новый подход, позволяющий определять граничные значения задержек из конца в конец для планируемой VPN с учетом влияния кросс-трафика других сетей.

Объект исследования. Виртуальные частные сети.

Предмет исследования. Граничные оценки задержек из конца в конец в VPN.

Цели и задачи исследования. Разработка и исследование модели и метода оценки граничных значений задержек из конца в конец при передаче трафика планируемой VPN с учетом кросс-трафика других сетей.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

1. Анализ существующих моделей и методов оценки характеристик QoS в VPN.

2. Разработка модели VPN, учитывающей кросс-трафик других сетей.

3. Разработка метода оценки границ задержек при передаче трафика из конца в конец при вложенных и невложенных маршрутах кросс-трафика.

4. Исследование влияния характеристик и маршрутов пересечения кросс-трафика других сетей на границу задержки из конца в конец в планируемой VPN.

5. Разработка программного пакета планирования топологии VPN с учетом оценки граничных задержек из конца в конец.

Научная новизна работы.

1. Предложена новая модель VPN, отличающаяся от известных тем, что в ней учитываются характеристики и маршруты пересечения

кросс-трафика других сетей.

2. Впервые для анализа задержек трафика из конца в конец в VPN предложено использование теории сетевого исчисления (Network Calculus), позволяющей получить верхние граничные оценки задержек, необходимые для выполнения требований SLA.

3. Разработан новый метод оценки задержки передачи трафика из конца в конец в планируемой VPN, отличающийся от известных тем, что в нем учитываются вложенные и невложенные маршруты пересечения кросс-трафика других сетей.

4. Доказано, в отличие от известных результатов, что наибольшее влияние на границу задержки передачи трафика из конца в конец в планируемой VPN оказывают берстность и маршруты пересечения кросс-трафика других сетей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в разработке модели VPN, учитывающей кросс-трафик других сетей, и метода оценки границ задержек трафика из конца в конец с учетом вложенных и невложенных маршрутов кросс-трафика, основанного на теории NC. В результате исследования модели доказано, что наибольшее влияние на границу задержки трафика планируемой VPN оказывает берстность и маршруты пересечения потоков кросс-трафика других сетей. Практическая значимость работы состоит в разработке программного пакета планирования распределения сетевых ресурсов по множеству VPN, который наряду с оценкой доступной полосы пропускания учитывает также требования по граничным задержкам передачи трафика из конца в конец.

Методология и методы исследования. Все исследования, проведенные в диссертационной работе, основывались на теории сетевого исчисления, (min,+)-алгебре, имитационного моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модель VPN, учитывающая интенсивность, берстность и маршруты пересечения кросс-трафика других сетей, а также потребляемые ими ресурсы узлов путем определения остаточной кривой обслуживания. Разработанная модель VPN учитывает особенности механизмов обработки трафика в современных сетях, таких как формирователи трафика и пакетные планировщики.

2. Метод оценки задержки из конца в конец в планируемой VPN, учитывающий вложенные и невложенные маршруты пересечения кросс-трафика других сетей.

3. Результаты экспериментального исследования, доказывающие, что наибольшее влияние на границу задержки передачи трафика из

конца в конец в планируемой VPN оказывает берстность и маршруты кросс-трафика других сетей.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертации подтверждается корректным применением математического аппарата и результатами имитационного моделирования.

Основное содержание диссертационной работы докладывалось и обсуждалось на Российских НТК ПГУТИ (Самара, 2013–2016 гг.); Международных НТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (КНИТУ им. А. Н. Туполева–КАИ, Казань, 2014 г.; Уфа, УГАТУ, 2012 г., 2015 г.; Самара, ПГУТИ, 2013 г., 2016 г.), Международных молодежных научно-практических конференциях СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2013» и «ИНФОКОМ-2014» (Ростов-на-Дону, 2013 г. и 2014 г.); Международных отраслевых НТК «Технологии информационного общества» (Москва, МТУСИ, 2014 г., 2015 г.); Международной молодежной научной школе-конференции «Современные проблемы физики и технологий» (Москва, НИЯУ МИФИ, 2016 г.).

Исследования, проводимые автором по теме диссертационной работы, были поддержаны РФФИ в 2016 году в рамках проекта № 16-37-00363 «Исследование и разработка математических моделей и методов анализа виртуальных частных сетей на основе теории Network Calculus». Результаты диссертационной работы внедрены в Тульском филиале ПАО «Ростелеком» и в учебный процесс на кафедре автоматической электросвязи ПГУТИ, что подтверждено соответствующими актами о внедрении, которые приведены в приложении диссертационной работы.

Личный вклад. Все результаты диссертационной работы получены автором лично и соответствуют пунктам 12 «Разработка методов эффективного использования сетей, систем и устройств телекоммуникаций в различных отраслях народного хозяйства» и 14 «Разработка методов исследования, моделирования и проектирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций» паспорта специальности 05.12.13.

Публикации. Содержание и результаты диссертационной работы отражены в 28 опубликованных работах. Публикации включают в себя 5 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья, индексируемая в РИНЦ, и 22 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 108 страницах текста и включает содержание, введение, четыре главы, заключение, приложение, библиографический список из 139 наименований. Работа содержит 42 рисунка и 10 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, указаны предмет и объект исследования, определены цель и задачи, представлены основные пункты научной новизны, а также положения, выносимые на защиту. Обоснована практическая ценность и реализация результатов работы, приведено краткое ее содержание.

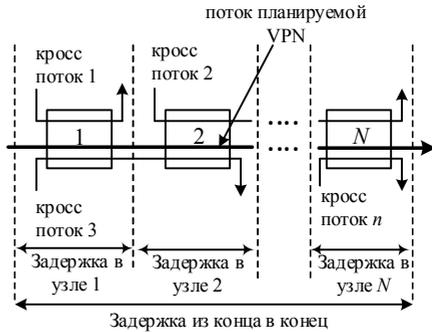


Рис. 1 – Задержка передачи трафика VPN из конца в конец

В первой главе рассматривается проблема оптимального планирования топологии VPN. Каждый фиксированный маршрут VPN можно представить как цепочку из N сетевых узлов, соединяющую две конечные точки VPN (рис. 1). В каждом узле с маршрутом VPN могут пересекаться кросс-потоки других сетей, которые будут занимать определенный ресурс производительности узла. Это приводит к тому, что на этапе планирования топологии VPN необходимо оценивать взаимное влияние различных сетей на качество предоставляемых услуг.

Существующие модели и методы оценки характеристик QoS в VPN не позволяют определять граничные оценки задержки из конца в конец и не учитывают влияние на них кросс-потоков. Поэтому в работе был использован математический аппарат теории сетевого исчисления NC (Network Calculus), оперирующий с граничными оценками характеристик сетей.

Поток планируемой VPN, проходящий через узел, в теории NC может быть представлен как входящий поток $A(t)$ и исходящий поток $D(t)$, которые являются суммарным числом бит, поступивших (обслуженных) за интервал времени $[0, t]$. Поток $A(t)$ может быть описан кривой поступления $\alpha(t)$ при условии, что:

$$A(t) - A(s) \leq \alpha(t - s), \quad 0 \leq s \leq t. \quad (1)$$

Дисциплина обслуживания узла может быть описана кривой обслуживания $\beta(t)$ при условии, что:

$$D(t) \geq \inf[A(s) + \beta(t - s)], \quad 0 \leq s \leq t, \quad (2)$$

где \inf – точная нижняя грань $(\min,+)$ -свертки функций, записанной в квадратных скобках в правой части неравенства, т.е. $A(t) \otimes \beta(t)$.

Функция, описывающая поток VPN на выходе узла, в общем виде может быть определена, как:

$$\alpha^*(t) = \alpha(t) \oslash \beta(t), \quad (3)$$

где \oslash обозначает обратную $(\min,+)$ -свертку.

Модель обслуживания трафика двух конечных точек VPN без учета кросс-потоков NC показана на рис. 2.

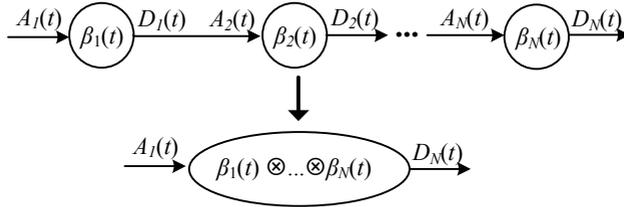


Рис. 2 – Преобразование последовательности узлов в эквивалентный узел

С использованием $(\min,+)$ -свертки кривых обслуживания цепочка узлов может быть преобразована в один эквивалентный узел с эквивалентной кривой обслуживания узла:

$$\beta^*(t) = \beta_1(t) \otimes \beta_2(t) \otimes \dots \otimes \beta_N(t). \quad (4)$$

Для определения ресурсов, которые узел может предоставить потоку VPN с учетом ресурсов, потребляемых кросс-потоками, в диссертационной работе введено понятие остаточной кривой обслуживания узла. Если узел без потерь обслуживает в порядке FIFO поток VPN с кривой поступления $\alpha_1(t)$ и кросс-поток с кривой поступления $\alpha_2(t)$

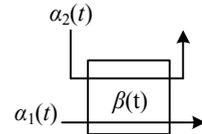


Рис. 3 – Узел с потоком VPN $\alpha_1(t)$ и кросс-потоком $\alpha_2(t)$

(рис. 3), то остаточная кривая обслуживания определяется как:

$$\beta_1(t, \tau) = [\beta(t) - \alpha_2(t - \tau)]^+ \cdot 1_{\{t > \tau\}}, \quad (5)$$

где $1_{\{t > \tau\}}$ является индикаторной функцией, выражение $[x]^+$ обозначает $\max\{0, x\}$.

Во второй главе разработана модель VPN, учитывающая характеристики и маршруты пересечения кросс-трафика других сетей, основанная на теории NC. В диссертационной работе предполага-

лось, что потоки планируемой VPN и кросс-потоки до обслуживания в узле формируются по классическому алгоритму «дырявое ведро», позволяющему настраивать политику обслуживания с учетом интенсивности и берстности входящих в узел потоков трафика. Поток VPN и кросс-потоки можно задать кривой поступления вида (рис. 4):

$$\gamma_{\sigma, \rho}(t) = \sigma_x + \rho_x \cdot t, \quad (6)$$

где σ_x максимальная берстность потока (размер «ведра»), ρ_x постоянная интенсивность потока (размер отверстия в «ведре») при условии, что $t \geq 0$ и $1 \leq x \leq n$, n – общее число всех потоков, входящих в узел, x – номер потока.

Работу сетевого узла VPN можно задать кривой обслуживания вида (рис. 4):

$$\beta_{\theta, R}(t) = R \cdot [t - \theta]^+, \quad (7)$$

где R постоянная скорость обслуживания в узле, θ фиксированная задержка обработки пакетов в узле при условии, что $R \geq 0$ и $\theta \geq 0$. Кривая обслуживания (7) описывает известный алгоритм работы идеального планировщика пакетов GPS (и его модификаций WFQ и DRR), обеспечивающего справедливое распределение ресурсов узла между всеми потоками трафика на интервале времени $[0, t]$. При этом суммарная интенсивность всех потоков, входящих в узел, не должна превышать скорость обслуживания узла R .

Метод оценки границ задержек для планируемой VPN с учетом кросс-потоков, разработанный в диссертационной работе, основан на методологии LUDB (Least Upper Delay Bound) авторов L. Lenzini, G. Stea и E. Mingozzi. Методология LUDB позволяет определять наименьшую верхнюю границу задержки для отдельных потоков трафика, проходящих через цепочку сетевых узлов. В отличие от существующих методов, методология LUDB позволяет наиболее точно определять детерминистические границы задержки с использованием простых моделей трафика (6) и дисциплины обслуживания узлов (7), описывающих работу реальных формирователей трафика и планировщиков пакетов. В работах авторов методологии LUDB доказано, что в ряде случаев кривая обслуживания (7) не подходит для описания

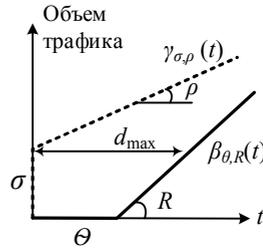


Рис. 4 – Кривая поступления потока VPN и кросс-потоков $\gamma_{\sigma, \rho}$ и кривая обслуживания узла $\beta_{\theta, R}$

дисциплины обслуживания узла при обработке им потоков с кривой поступления (6). В результате может быть определен новый класс кривых обслуживания, получаемых путем $(\min,+)$ -свертки функции δ_θ и составной функции $\gamma_{\sigma_x, \rho_x}$:

$$\pi = \delta_\theta \otimes \left[\bigotimes_{1 \leq x \leq n} \gamma_{\sigma_x, \rho_x} \right], \quad (8)$$

где $\delta_\theta = \delta_\phi(t) = \begin{cases} +\infty & t \geq \phi, \phi = \theta \\ 0 & t < \phi, \phi = \theta \end{cases}$, а

выражение в квадратных скобках обозначает $(\min,+)$ -свертку кривых поступления каждого потока, входящего в узел.

Используя (8), остаточную кривую обслуживания VPN с учетом кросс-потоков можно в общем виде определить как:

$$E(\pi, \alpha, s) = \delta_{h(\alpha, \pi) + s} \otimes \left[\bigotimes_{1 \leq x \leq n} \gamma_{\rho_x \{s + h(\alpha, \pi) - \theta\} - (\sigma - \sigma_x), \rho_x - \rho} \right], \quad (9)$$

где $h(\alpha, \pi)$ – максимальное горизонтальное расстояние между кривой поступления суммарного потока α и кривой обслуживания узла π , s – временной параметр, σ – суммарная берстность потока VPN и кросс-потоков, σ_x – берстность отдельного потока x , ρ – суммарная интенсивность потока VPN и кросс-потоков, ρ_x – интенсивность отдельного потока x .

Граница задержки передачи трафика VPN через сетевой узел с учетом n кросс-потоков можно определить как:

$$d = h(\alpha, \pi) = \theta + \max_{1 \leq x \leq n} \left[\frac{(\sigma - \sigma_x)}{\rho_x} \right]^+. \quad (10)$$

В диссертационной работе введены понятия вложенных кросс-потоков, которые не пересекаются или вложены друг в друга (рис. 5 а), и невложенных кросс-потоков, которые пересекаются в узлах (рис. 6

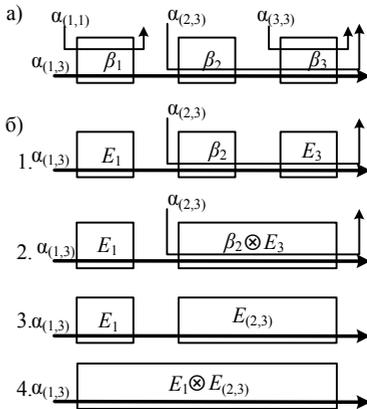


Рис. 5 – а) Вложенные кросс-потоки; б) алгоритм определения остаточной кривой обслуживания планируемой VPN с учетом вложенных кросс-потоков

а). На рис. 5 (б) показан алгоритм определения границы задержки передачи трафика VPN из конца в конец через 3 узла с учетом вложенных кросс-потоков.

Суть алгоритма заключается в итерационном удалении кросс-потоков с определением остаточных кривых обслуживания E для потока планируемой VPN $\alpha_{(1,3)}$ с применением формулы (9). Сначала определяются остаточные кривые обслуживания потока $\alpha_{(1,3)}$ в тех узлах, где пересечение с одним кросс-потокom происходит один раз. Узлы, в которых VPN пересекается с одним и тем же кросс-потокom, сводятся к эквивалентному узлу. В результате удаления всех кросс-потоков цепочка узлов сводится к эквивалентному узлу с кривой обслуживания, равной остаточной кривой обслуживания потока VPN.

Границу задержки из конца в конец для VPN, проходящей через цепочку из N узлов с учетом n кросс-потоков, можно определить как:

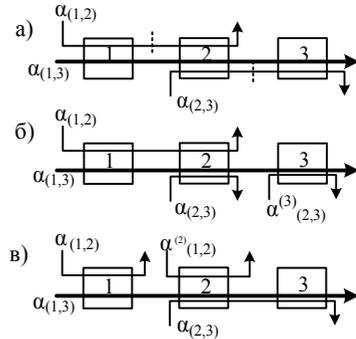


Рис. 6 – а) Невложенные кросс-потоки; б-в) варианты вложенных кросс-потоков, полученные путем разрезания невложенных кросс-потоков

$$d_{(1,N)} = \min \left\{ \sum_{i=1}^N \theta + \max_{1 \leq x \leq n} \left[\frac{(\sigma_{(1,N)} - \sigma_x)^+}{\rho_x} \right] \right\}, \quad (11)$$

где $\sigma_{(1,N)}$ суммарная берстность всех потоков в цепочке узлов, i – номер узла. Невложенные кросс-потоки разрезаются так, чтобы получились вложенные кросс-потоки (рис. 6 б-в).

Для каждой полученной цепочки узлов с вложенными кросс-потоками определяется граница задержки из конца в конец для потока VPN с использованием метода, описанного выше. В

местах разрезов кривые поступления потоков равны кривым исходных потоков в предыдущих узлах, и могут быть определены по формуле (3). Граница задержки из конца в конец для VPN с последова-



Рис. 7 – Схема исследования

тельностью из N узлов и k цепочек с вложенными кросс-потоками, определяется как:

$$d_{(1,N)} = \min \left\{ d_{(1,N)}^1, \dots, d_{(1,N)}^k \right\}. \quad (12)$$

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования модели VPN с вложенными (рис. 7) и невложенными (рис. 6 а) кросс-потоками. Для проведения экспериментов был разработан программный пакет VPN Designer NC. Целью экспериментального исследования являлась оценка влияния характеристик σ и ρ кросс-потоков и характеристик θ и R узлов на границу задержки из конца в конец d планируемой VPN. Скорость обслуживания каждого узла принималась $R = 10$ Мбит/с. Задержка каждого узла принималась $\theta = 1$ мс. Доля кросс-потоков изменялась от 20% до 80%.

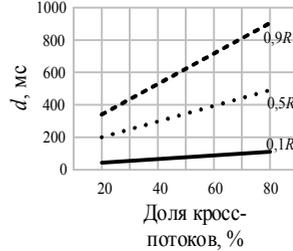


Рис. 8 – Зависимость границы задержки потока VPN от доли кросс-потоков для разной берстности

Доказано, что берстность кросс-потоков оказывает наибольшее влияние на величину задержки планируемой VPN (рис. 8). Например, увеличение берстности кросс-потоков в 3 раза приводит к увеличению границы задержки планируемой VPN в 2 раза. При больших нагрузках узлов интенсивность кросс-потоков начинает оказывать заметное влияние, например, при загрузке узлов на 90% увеличение интенсивности в 4 раза ведет к росту задержки до 30%.

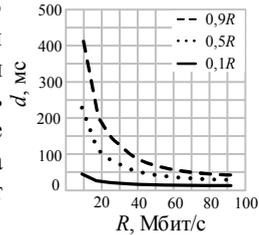


Рис. 9 – Зависимость границы задержки потока VPN от скорости узлов R и доле кросс-потоков 20%

Показано, что граница задержки d потока VPN нелинейно убывает при увеличении скорости узлов R (рис. 9).

Выявлено, что маршруты кросс-потоков оказывают значительное влияние на поток VPN. Так, граница задержки из конца в конец потока VPN при варианте пересечения с кросс-потоком на рис. 10 (а) больше на 60%, чем при варианте пересечении с тем же потоком на рис. 10 (б).

В четвертой главе рассматриваются алгоритм планирования оптимальной топологии VPN и программный пакет VPN Designer NC.

Пакет VPN Designer NC позволяет планировать топологию VPN с учетом допустимых границ задержек из конца в конец и доступной полосы пропускания на используемых участках сети. VPN Designer NC написан на языке C++ и позволяет анализировать до 100 узлов и 100 потоков VPN. Пакет имеет возможность дальнейшего



Рис. 10 Пересечение маршрутов VPN и кросс-потоков

расширения. Использование пакета на практике позволяет повысить эффективность загрузки ресурсов узлов и каналов сети связи, а также обеспечить выполнение требуемых параметров SLA и улучшить качество предоставляемых услуг VPN.

Заключение содержит формулировки основных научных и практических результатов диссертационной работы.

В приложениях приведены акты внедрения.

Заключение

Поставленная в диссертационной работе цель была достигнута. Все поставленные задачи были решены, в результате чего были получены следующие научные и практические результаты:

1. Выявлено, что существующие модели и методы оценки характеристик QoS в VPN не позволяют определять их граничные значения характеристик QoS и не учитывают влияния кросс-трафика на характеристики QoS планируемой VPN.

2. Разработана модель VPN, позволяющая учесть ресурсы узлов, потребляемые кросс-трафиком других сетей.

3. Разработан метод оценки границ задержек из конца в конец при передаче трафика планируемой VPN в цепочках узлов с вложенными и невложенными кросс-потоками.

4. Доказано, что наибольшее влияние на границу задержки передачи трафика из конца в конец планируемой VPN оказывает берстность и маршруты пересечения кросс-потоков других сетей. В частности, увеличение берстности кросс-потоков может привести к увеличению границ задержки в несколько раз. В меньшей степени на величину задержки влияет интенсивность кросс-потоков. Различие границ задержек при различных маршрутах пересечения кросс-трафика может составлять 50% и больше.

5. Разработан программный пакет VPN Designer NC, позволяющий планировать топологию VPN с учетом совместной оценки граничных задержек из конца в конец и доступной полосы пропускания на маршрутах VPN.

Направлениями дальнейшей разработки темы являются разработка и исследование модели VPN на основе теории стохастического сетевого исчисления.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в научных журналах, рекомендованных ВАК

1. Росляков А. В. Расчет характеристик сетей следующего поколения NGN / А. В. Росляков, Е. Н. Кудрявцева, А. А. Хаёров, А. А. Лысков // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – №7. – С. 171-177.

2. Росляков, А. В. Применение теории стохастических сетевых исчислений к анализу характеристик VPN / А. В. Росляков, А. А. Лысков // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №7. – С. 106-108.

3. Лысков, А. А. Вычисление задержки передачи для узла VPN с использованием программных пакетов Network Calculus / А. А. Лысков, А. В. Росляков // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – №8. – С.60-62.

4. Росляков, А. В. Задачи планирования и оптимизации наложенных сервисных сетей / А. В. Росляков, А. А. Лысков, Ю. Т. Халиуллина // Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т.9. –№6. – С. 15-20.

5. Лысков, А. А. Исследование граничных значений задержек трафика VPN с учетом конкурирующих потоков / А. А. Лысков // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. – Т.15. – № 1. – С. 40-49.

Публикации в научных журналах, индексируемых в РИНЦ

6. Лысков, А. А. Программный пакет планирования виртуальных частных сетей на основе теории сетевого исчисления / А. А. Лысков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11-3. – С. 375-379.

Публикации в сборниках трудов международных конференций, индексируемых в РИНЦ

7. Лысков, А. А. Использование LUDB-методологии для определения сквозной функции обслуживания виртуальной частной сети / А. А. Лысков // Труды VI-Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2013», Ростов-на-Дону, 2013. – С. 133-136.

8. Лысков, А. А. Определение границы задержки передачи пакетов для VPN с невложенной последовательностью узлов / А. А. Лысков // Труды VII-Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014», Ростов-на-Дону, 2014. – С. 267-270.

9. Лысков, А. А. Особенности применения Network Calculus для моделирования параметров QoS в сетях VPN / А. А. Лысков // Тез. докл. на XV Международной НТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", Казань, 2014 г. – Т.1. – С. 294-296.

10. Лысыков, А. А. Классы функций в моделях сетей VPN на основе теории Network Calculus / А. А. Лысыков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XV Международной НТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", Казань, 2014 г. – Т.1. – С. 300-302.

11. Лысыков, А. А. Моделирование сетей VPN с использованием программного пакета DEBORAH / А. А. Лысыков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XV Международной НТК «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций», Казань, 2014 г. – Т.1 – С. 297-299.

12. Лысыков, А. А. Теория Network Calculus и ее применение к исследованию систем автоматики и электроники / А. А. Лысыков, А. В. Росляков // Тез. докл. на V Международной молодежной научной школе-конференции «Современные проблемы физики и технологий», МИФИ, Москва, 2016. – Ч.1– С. 184-186.

Публикации в сборниках тезисов докладов международных и российских конференций

13. Росляков, А. В. Использование теории стохастических сетевых исчислений для анализа и расчета характеристик сетей NGN / А. В. Росляков, А. А. Лысыков // Тез. докл. на XIII Международной НТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Уфа, 2012. – С. 108-109.

14. Лысыков, А. А. Использование LUDB-методологии для расчета сквозного граничного значения задержки в VPN / А. А. Лысыков, А. В. Росляков, // Тез. докл. на XX Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2013. – С. 58-59.

15. Росляков, А. В. Выбор оптимального маршрута в сети VPN на основе оценки стохастической сквозной кривой обслуживания / А. В. Росляков, А. А. Лысыков // Тез. докл. на XX Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2013. – С.57-58.

16. Росляков, А. В. Теория сетевых исчислений Network Calculus и ее применение к исследованию пакетных сетей / А. В. Росляков, Е. Н. Кудрявцева, А. А. Лысыков // Тез. докл. на XX Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2013. – С.61-62.

17. Лысыков, А. А. Применение преобразования Лежандра для определения граничных значений задержки пакетов и загрузки узлов VPN / А. А. Лысыков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XIV Международной НТК «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», Самара, 2013. – С.133-135.

18. Росляков, А. В. Применение программных пакетов Network Calculus для моделирования сетей VPN / А. В. Росляков, А. А. Лысыков // Тез. докл. на XXI Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2014. – С. 55-56.

19. Лысыков, А. А. Вычисление задержки передачи для узла VPN с использованием программных пакетов Network Calculus / А. А. Лысыков, А. В. Росляков // Тез. докл. на VIII Международной отраслевой НТК «Технологии информационного общества», МТУСИ, Москва, 2014. – С. 15.

20. Лысыков, А. А. Использование методов Network Calculus для решения задачи планирования VPN / А. А. Лысыков // Тез. докл. на XXII Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2015. – С. 36-37.

21. Росляков, А. В. Разработка модели VPN сети с использованием теории Network Calculus / А. В. Росляков, А. А. Лысиков // Тез. докл. на XXII Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2015. – С. 35-36.
22. Лысиков, А. А. Достоинства и недостатки теории Network Calculus при моделировании сетей VPN / А. А. Лысиков // Тез. докл. на XXII Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2015. – С. 37-38.
23. Лысиков, А. А. Планировщик услуг VPN / А. А. Лысиков, А. В. Росляков // Тез. докл. на IX Международной отраслевой НТК «Технологии информационного общества», МТУСИ, Москва, 2015. – С. 20-21.
24. Лысиков, А. А. Алгоритм планирования VPN на основе моделей теории Network Calculus / А. А. Лысиков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XVI Международной НТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", Уфа, 2015 г. – Т.1. – С. 210-212.
25. Лысиков, А. А. Экспериментальное исследование модели VPN на основе теории Network Calculus / А. А. Лысиков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XXIII Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2015. – С. 76-77.
26. Лысиков, А. А. Программная система анализа и планирования распределения сетевых ресурсов при реализации услуг VPN / А. А. Лысиков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XXIII Российской НТК ПГУТИ, Самара, 2016. – С. 77-78.
27. Лысиков, А. А. Теория сетевого исчисления и ее применение к VPN / А. А. Лысиков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XVII Международной НТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", Самара, 2016 г. – С. 37-41.
28. Лысиков, А. А. Исследование влияния конкурирующих потоков на границу задержки передачи трафика VPN / А. А. Лысиков, А. В. Росляков // Тез. докл. на XVII Международной НТК "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций", Самара, 2016 г. – С. 88-89.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики»
443010, г. Самара, ул. Льва Толстого 23

Подписано в печать _____ 2017 г. Формат 60 x 84/16

Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс.

Заказ . Печать оперативная. Усл. печ. л. 0,91. Тираж экз.

Отпечатано в издательстве учебной и научной литературы
Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики
443090, г. Самара, Московское шоссе 77, т. (846) 228-00-44