

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Объект авторского права
УДК 621.618

ВРУБЛЕВСКИЙ
Сергей Сергеевич

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ВИРТУАЛЬНОЙ ЧАСТНОЙ СЕТИ
В СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы
и компьютерные сети

Минск 2024

Научная работа выполнена в учреждении образования «Военная академия Республики Беларусь».

Научный руководитель **Машкин Евгений Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по развитию открытого акционерного общества «АГАТ-СИСТЕМ»

Официальные оппоненты: **Листопад Николай Измайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Байдаков Максим Николаевич, кандидат технических наук, доцент, первый заместитель начальника (по научной работе) государственного учреждения «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»

Оппонирующая организация Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»

Защита состоится «27» июня 2024 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел. 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Автореферат разослан «27» мая 2024 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций Д 02.15.04
кандидат технических наук, доцент



Н.А. Петровский

ВВЕДЕНИЕ

Современная технологическая революция в области инфокоммуникаций, связанная с концепцией сетей следующего поколения *Next Generation Network (NGN)* и внедрения платформы *IP Multimedia Subsystem (IMS)*, оказывает существенное влияние на развитие сетей электросвязи специального назначения (СЭСН). Предоставление современных инфокоммуникационных услуг в СЭСН предполагает широкое использования *IP*-шифраторов и криптомаршрутизаторов совместно с технологией *virtual private network (VPN)*.

На сегодняшний день при предоставлении услуги *VPN* в СЭСН остаются нерешенными ряд научно-технических задач: существующие способы планирования сетей *VPN* основаны на учете пропускной способности сети, а существующая архитектура маршрутизаторов СЭСН обеспечивает обработку пакетов трафика в структуре *VPN*-туннеля по общим правилам, что не позволяет выполнить требования по обеспечению *Quality of Service (QoS* – качество обслуживания пользователей) при передаче трафика реального времени.

Следовательно, разработка методов планирования *VPN*-туннелей в СЭСН, основанных на учете топологических особенностей сети, параметров трафика, пропускных способностей каналов связи, возможностей коммутационных устройств по обработке трафика и используемых протоколов маршрутизации, а также характеристиках *QoS* является актуальной научной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Тема диссертации включена в утвержденные планы научной работы учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» и соответствует Перечню перспективных направлений диссертационных исследований Вооруженных Сил Республики Беларусь в области совершенствования средств связи специального назначения. Содержание диссертационной работы соответствует Перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021-2025 годы, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь № 156 от 07.05.2020 в области цифровых информационно-коммуникационных и междисциплинарных технологий – средства связи и методы передачи данных (п.1).

Цель, задачи, объект и предмет исследования

Целью диссертационной работы является повышение пропускной способности *VPN*-туннелей в сети электросвязи специального назначения с учетом обеспечения качества обслуживания пользователей.

В диссертации решались следующие задачи:

разработка имитационной модели сети электросвязи специального назначения с целью определения параметров VPN-трафика, циркулирующего в сети электросвязи специального назначения;

разработка аналитической модели виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения;

разработка метода синтеза параметров виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения с учетом обеспечения качества обслуживания пользователей на заданном уровне;

разработка алгоритма администрирования VPN-туннелей и функциональной структуры маршрутизатора блока маршрутизации в сети электросвязи специального назначения;

экспериментальные исследования предложенных решений по повышению пропускной способности VPN-туннелей.

Объект исследования – виртуальная частная сеть в сети электросвязи специального назначения.

Предмет исследования – параметры виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения.

Выбор объекта и предмета исследования обусловлен актуальностью решения задачи повышения пропускной способности VPN-туннелей в СЭСН с учетом выполнения требований по обеспечению качества обслуживания пользователей.

Научная новизна

1. Предложена математическая модель виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения, учитывающей влияние задержки передачи пакета на оценку запаса по пропускной способности для создаваемых VPN-туннелей, позволяющей с высокой точностью на этапе планирования сети определить требуемые ресурсы для ее создания при использовании различных способов маршрутизации;

2. Решена задача оптимального распределения VPN-туннелей виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения по критерию максимальной пропускной способности при условии выполнения требований по задержке передачи пакета, в основу которого положено представление сети в виде двухвесового графа, учитывающего пропускную способность и задержку передачи пакета, и определение матрицы кратчайших расстояний на графе путем проведения операции унарного замыкания в тропическом полукольце.

3. Разработаны функциональная структура маршрутизатора, сервера и алгоритма администрирования VPN-туннелей в сети электросвязи специального назначения, осуществляющих в режиме реального времени конфигурирование таблиц маршрутизации на основе оценки ресурсов сети,

состояния каналов связи, загрузки коммутационных устройств с обеспечением требуемых характеристик качества обслуживания пользователей виртуальной частной сети.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения, разработанная в классе граф-комбинаторных моделей, отличающаяся от потоковой модели учетом задержки передачи пакета, позволяющая определить запас по пропускной способности для планируемых *VPN*-туннелей точнее на: от 7,6 до 15,2 % при использовании протокола *Routing Information Protocol (RIP)*, от 10,4 до 27,2 % при использовании протокола *Open Shortest Path First (OSPF)*, от 60,5 до 81,3 % при использовании технологии *Traffic Engineering (TE)*.

2. Метод параметрического синтеза сети *VPN*, отличающийся учетом задержки передачи пакета и позволяющий при помощи математического аппарата тропической математики повысить пропускную способность *VPN*-туннеля для интерактивного трафика, при сравнении с существующими методами параметрического синтеза сети *VPN* на: 36,15 – 36,89 % при использовании протокола *OSPF*; 14,46 – 16,04 % при использовании протокола *RIP*.

3. Алгоритм администрирования *VPN*-туннелей и функциональная структура маршрутизатора, отличающаяся наличием блока маршрутизации *VPN*-туннелей, позволяющие повысить пропускную способность *VPN*-туннеля на 12 и 10 % для граничных значений задержки передачи пакета в 100 и 400 мс соответственно, по сравнению со способом организации *VPN*-туннеля при помощи протокола *RIP*, на 27 и 29 % при использовании протокола *OSPF*.

Личный вклад соискателя ученой степени

Результаты, характеризующиеся научной новизной и выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Соавторами основных публикаций являются: научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Е.В. Машкин, который осуществлял определение целей и постановку задач, с ним проводилось обсуждение возможных способов решения поставленных задач, оценка полученных результатов. Анализ тенденций развития коммутационных устройств с функцией создания и поддержки *VPN*-туннелей в сети электросвязи специального назначения проводился при участии кандидата технических наук, доцента А.А. Бысова.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Теоретические и практические результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

Международный научно-технический семинар «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных» (г. Минск, 2021); Международная научная конференция «Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021)» (г. Минск, 2021); Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи» (г. Минск, 2022); Международная научная конференция «Информационные технологии и системы 2022 (ИТС 2022)» (г. Минск, 2022); Международная научная конференция «Военное образование и наука в условиях цифровой трансформации знаний» (г. Минск, 2022); Международная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи» (г. Минск, 2023); Международный научно-технический семинар «Технологии передачи и обработки информации» (г. Минск, 2023); XVII Международная научная конференция «Актуальные проблемы современной военной науки» (г. Актобе, 2023); XIV Международная научно-техническая конференция «Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023)» (г. Донецк, 2023).

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликованы 15 печатных работ общим объемом 4,6 авторских листа, из них 6 статей в научных рецензируемых журналах и сборниках объемом 3,1 авторского листа, соответствующих пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, 8 публикаций в материалах и сборниках трудов научных конференций объемом 1,1 авторского листа, 1 тезис докладов на научных конференциях объемом 0,42 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня сокращений, введения, общей характеристики, 4 глав, заключения, списка использованных источников, 9 приложений. Список использованных источников включает библиографический список из 83 наименований и список публикаций соискателя ученой степени из 15 наименований. Общий объем составляет 128 страниц, в том числе 61 страница текста, 51 рисунок на 15 страницах, 5 таблиц на 2 страницах, 9 приложений на 40 страницах, список использованных источников из 83 наименований на 8 страницах, список публикаций автора из 15 наименований на 3 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В **первой главе** диссертации приведен анализ математических моделей и методов параметрического синтеза *VPN*, а также способов обработки трафика виртуальной частной сети маршрутизаторами СЭСН.

В результате анализа математических моделей *VPN* было определено, что для математического описания сетей *VPN* в сетях электросвязи общего пользования широко применяются *канальная и потоковая модели* в классе моделей, основанных на граф-комбинаторных алгоритмах.

Согласно канальной модели сетевой ресурс для предоставления услуги *VPN* – *запас сети по пропускной способности* должен стремиться к максимуму и определяется как

$$\begin{cases} \delta_{IS} = q_{IS} - \lambda_{IS} \rightarrow \max, \\ q_{IS} = q_{Ia_1} = q_{a_1a_2} = \dots = q_{a_nS}, \\ \lambda_{IS} = \text{const}, \\ p_{\text{опт } IS} = \{I, a_1, a_2, \dots, a_n, S\} = \text{const}, \end{cases} \quad (1)$$

где δ_{IS} – запас канала связи по пропускной способности для организации *VPN*-туннеля; q_{IS} – пропускная способность маршрута *VPN*-туннеля; λ_{IS} – интенсивность трафика, проходящего по *VPN*-туннелю, характер изменения которого известен заранее; q_{Ia_1} – пропускная способность звена Ia_1 в оптимальном маршруте *VPN*-туннеля между точками I (исток) и S (сток); $p_{\text{опт } IS}$ – оптимальный маршрут для организации *VPN*-туннеля; $\{I, a_1, a_2, \dots, a_n, S\} \in A$ – узлы (маршрутизаторы) оптимального маршрута; A – множество узлов, входящих в оптимальный маршрут.

Данная аппроксимация не рационально расходует сетевой ресурс, так как описание *VPN*-туннеля виртуальным каналом с заданной пропускной способностью не позволяет осуществить статистическое мультиплексирование.

Потоковая модель аппроксимирует совокупность *VPN*-туннелей потоком с заданной пропускной способностью между граничными маршрутизаторами и конечными точками *VPN*. Согласно данной модели запас сети по пропускной способности для организации *VPN*-туннеля определяется как

$$\begin{cases} \Delta \rightarrow \max, \\ \Delta = \mathbf{Q} - \mathbf{\Lambda}, \\ \mathbf{\Lambda} = [\lambda_{ij}(t)], \\ p_{\text{опт } IS} = \{I, a_1, a_2, \dots, a_n, S\}, \end{cases} \quad (2)$$

где Δ – запас по пропускной способности для формирования потока данных в *VPN*-туннеле; \mathbf{Q} – матрица пропускных способностей каналов связи между маршрутизаторами; $\mathbf{\Lambda}$ – матрица интенсивностей трафика, циркулирующего

в VPN-туннеле; $\lambda_{ij}(t)$, $i=1, \dots, X$, $j=1, \dots, X$ – интенсивность трафика между точками i и j , изменяющаяся во времени.

Согласно целевой функции (2) задачей параметрического синтеза сети VPN при ее аппроксимации потоковой моделью является *определение оптимальной матрицы запаса по пропускной способности для планируемых VPN-туннелей*.

Существующая потоковая модель VPN предполагает обеспечение QoS за счет увеличения пропускной способности в сети и не учитывает задержку передачи пакета, что не в полной мере применимо для СЭСН и приводит к оптимистичным оценкам характеристик и параметров планируемой сети VPN, что не в полной мере соответствует концепции построения современных СЭСН.

Вторая глава посвящена разработке математической модели виртуальной частной сети в СЭСН, отличающаяся от известных, учетом не только пропускной способности каналов связи между маршрутизаторами, но и задержки передачи пакета. Произведена оценка точности предлагаемой модели.

Целью моделирования является определение запаса по пропускной способности (сетевых ресурсов) для планируемых VPN-туннелей в СЭСН с учетом основного показателя QoS – задержки передачи пакета.

Для математического описания СЭСН представлена ориентированным графом $G=(X, E)$, где X – множество вершин (маршрутизаторов), E – множество ребер.

Введем матрицу оптимальных маршрутов

$$\mathbf{P}_{\text{опт}} = [p_{\text{опт } ij}], \quad (3)$$

где $p_{\text{опт } ij} = \{I, a_1, a_2, \dots, a_n, S\}_{I=i, S=j}$ – оптимальный маршрут между маршрутизаторами i и j ($i=1, \dots, X$, $j=1, \dots, X$).

Имея матрицу оптимальных маршрутов $\mathbf{P}_{\text{опт}}$ и матрицу пропускных способностей каналов связи между маршрутизаторами \mathbf{Q} , получена матрица пропускных способностей для каждого оптимального пути

$$\mathbf{Q}_{\text{опт}} = [q_{\text{опт } ij}], \quad (4)$$

где $q_{\text{опт } ij}$ – пропускная способность оптимального маршрута $p_{\text{опт } ij}$.

Введем матрицу интенсивности трафика между терминальными устройствами \mathbf{B}'

$$\mathbf{B}' = [B'_{hh'}] \quad (5)$$

где $B'_{hh'} = \beta_{hh'} \cdot \lambda_h$ – интенсивность трафика между терминальными устройствами h и h' , при $h=1, \dots, H$, $h'=1, \dots, H$ (H – множество терминальных устройств); λ_h – интенсивность трафика на выходе терминального устройства h (элемент матрицы $\mathbf{\Lambda}_T$); $\beta_{hh'}$ – элемент матрицы связи терминальных устройств

B, характеризующий передачу трафика между терминальными устройствами h и h' , при наличии трафика – $\beta_{hh'} = 1$, при его отсутствии – $\beta_{hh'} = 0$.

Введем матрицу связи терминальных устройств и маршрутизаторов

$$\Phi = [\varphi_{ij}], \quad (6)$$

где $\varphi_{ij} = 1$, если терминальное устройство $i = 1, \dots, H$ подключено к маршрутизатору $j = 1, \dots, X$, $\varphi_{ij} = 0$ – не подключено.

Путем проверки соединения терминальных устройств через матрицу **B**, а также создаваемой ими интенсивности трафика Λ_T , определена матрица интенсивности трафика, циркулирующего между маршрутизаторами i и j

$$\Lambda = [\lambda_{ij}], \quad (7)$$

где λ_{ij} – интенсивность трафика, циркулирующего между маршрутизаторами $i = 1, \dots, X$ и $j = 1, \dots, X$.

Имея матрицу минимальных пропускных способностей для каждого оптимального пути (4) и матрицу интенсивности трафика между маршрутизаторами (7), определена матрица запаса по пропускной способности

$$\Delta = Q_{\text{опт}} - \Lambda = [\delta_{ij}], \quad (8)$$

где $(\delta_{ij} = q_{\text{опт } ij} - \lambda_{ij})$ – запас по пропускной способности для оптимального маршрута между маршрутизаторами I и S .

С учетом требований по задержке передачи пакета, выражение (8) примет вид

$$\Delta_3 = Q_{\text{опт}} - \Lambda|_{w_{\text{опт } IS} < w_n(k_T) \forall k_T = \overline{1,7}} = [\delta_{3 IS}], \quad (9)$$

где w_n – пороговое значение задержки передачи пакета для определенного класса трафика $k_T = \overline{1,7}$, определенного в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т Y.1541; $\delta_{3 IS}$ – запас по пропускной способности для оптимального маршрута между маршрутизаторами I и S ; $w_{\text{опт } IS}$ – задержка передачи пакета по оптимальному маршруту.

На рисунке 1 представлены следующие зависимости, расположенные соосно: зависимость удельного запаса по пропускной способности от удельной интенсивности трафика; зависимость задержки передачи пакета от удельной интенсивности трафика.

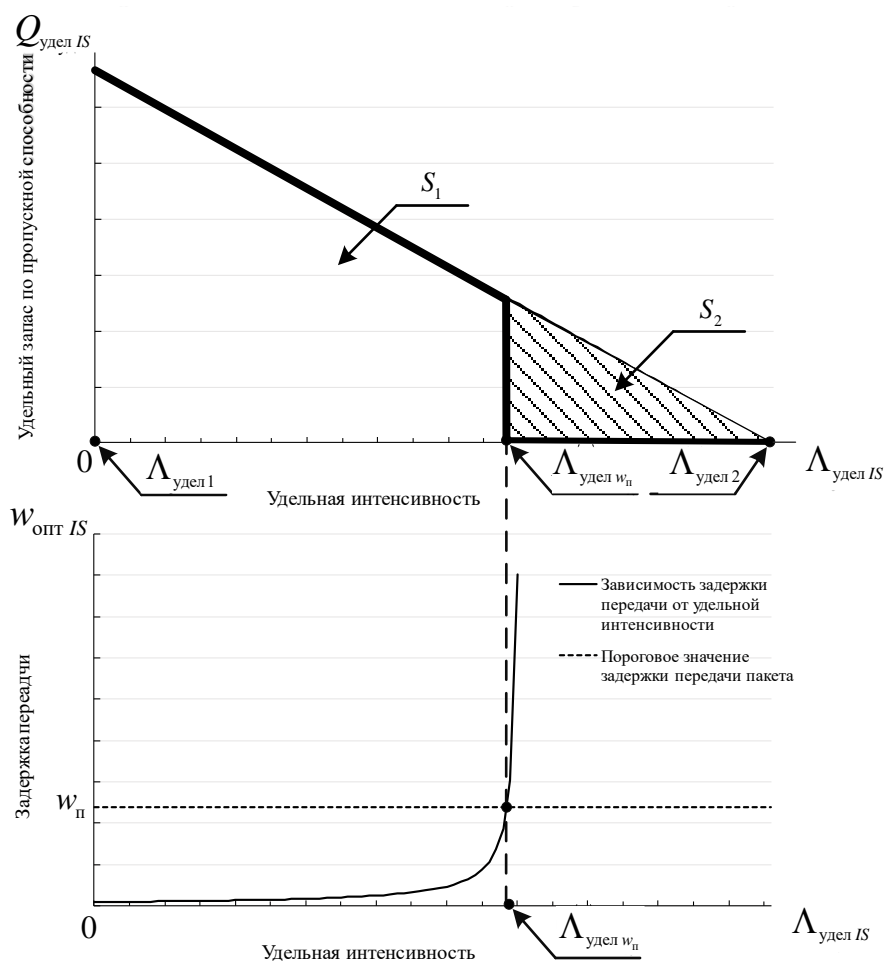


Рисунок 1 – Зависимости удельного запаса по пропускной способности и задержки передачи пакета от удельной интенсивности

Для оценки точности модели введен следующий показатель – ошибка определения запаса по пропускной способности для планируемых VPN-туннелей $k_{\text{ош}}$.

Так как ошибка зависит от интенсивности трафика ее оценку рационально представить в обобщенном виде как

$$k_{\text{ош}} = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где S_1 – площадь всей фигуры под кривой до достижения допустимого порогового значения задержки передачи на отрезке; S_2 – площадь фигуры под кривой после достижения допустимого порогового значения задержки передачи на отрезке.

При разработке математической модели, было исследовано влияние на $k_{\text{ош}}$ следующих факторов: изменение пропускной способности каналов связи между маршрутизаторами; изменение допустимой задержки передачи пакета для определенного класса трафика; изменение длины передаваемого пакета; выбор способа маршрутизации (*RIP*, *OSPF*, *TE*). Результаты исследования отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения ошибки для различных способов маршрутизации

Способ маршрутизации	Значения ошибки при изменении пропускных способностей каналов связи между маршрутизаторами, %	
	Минимальное значение	Максимальное значение
<i>RIP</i>	7,575	15,24
<i>OSPF</i>	10,434	21,007
<i>TE</i>	63,179	81,252
Способ маршрутизации	Значения ошибки при изменении допустимой задержки передачи пакета для классов трафика, %	
<i>RIP</i>	10,91	11,056
<i>OSPF</i>	25,264	25,598
<i>TE</i>	60,522	60,605
Способ маршрутизации	Значения ошибки при изменении длины передаваемого пакета, %	
<i>RIP</i>	10,967	11,896
<i>OSPF</i>	25,561	27,162
<i>TE</i>	71,531	74,183

Из таблицы 1 следует, что для применяемых в настоящее время в СЭСН способов маршрутизации значение $k_{\text{ош}}$ для планируемых VPN-туннелей составляет: от 7,6 до 15,2 % при использовании протокола *RIP*; от 10,4 до 27,2 % – *OSPF*; а для технологии *TE* – от 60,5 до 81,3 %.

В третьей главе предлагается метод параметрического синтеза сети VPN в СЭСН, позволяющий увеличить пропускную способность VPN-туннеля, при сравнении с существующими способами его организации.

Для решения задачи параметрического синтеза предложена нелинейная целевая функция

$$\left[\frac{w_{Ia_1}^{(d)}}{\delta_{3Ia_1}^{(d)}} + \frac{w_{a_1a_2}^{(d)}}{\delta_{3a_1a_2}^{(d)}} + \dots + \frac{w_{a_{n-1}a_n}^{(d)}}{\delta_{3a_{n-1}a_n}^{(d)}} + \frac{w_{a_nS}^{(d)}}{\delta_{3a_nS}^{(d)}} \right]_{I, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n, S} \rightarrow \min, \quad (11)$$

с ограничением

$$[w_{Ia_1}^{(d)} + w_{a_1a_2}^{(d)} + \dots + w_{a_{n-1}a_n}^{(d)} + w_{a_nS}^{(d)}] \leq w_{\Pi}^{(d)}. \quad (12)$$

где $w_{a_{n-1}a_n}^{(d)}$ – задержка передачи пакета между узлами a_{n-1} и a_n оптимального маршрута $\{I, a_1, a_2, \dots, a_n, S\}$ для организации d -ого VPN-туннеля; $\delta_{3a_{n-1}a_n}^{(d)}$ – запас по пропускной способности между узлами a_{n-1} и a_n оптимального маршрута для организации d -ого VPN-туннеля; $d = 1, \dots, D$ – номер VPN-туннеля из множества D .

Для решения задачи (11) необходимы следующие исходные данные:

$I^{(d)}$ – номер маршрутизатора, от которого прокладывается VPN-туннель;
 $S^{(d)}$ – номер маршрутизатора, к которому прокладывается VPN-туннель;
 $q_{VPNIS}^{(d)}$ – требуемая пропускная способность планируемого VPN-туннеля;
 $w_{\Pi}^{(d)}$ – максимально допустимая задержка передачи пакетов в структуре

VPN-туннеля в соответствии с классом трафика; $\mathbf{W}^{(d)} = [w_{ij}^{(d)}]$ – матрица суммарных задержек передачи пакета между маршрутизаторами $i = 1, \dots, X$ и $j = 1, \dots, X$; $\mathbf{\Lambda}^{(d)} = [\lambda_{ij}^{(d)}]$ – матрица интенсивности трафика между маршрутизаторами i и j ; $\mathbf{\Phi}^{(d)} = [\phi_{ij}^{(d)}]$ – матрица удельных запасов по пропускной способности, где $\phi_{ij}^{(d)} = \frac{w_{ij}^{(d)}}{q_{ij} - \lambda_{ij}^{(d)}}$ – удельный запас по пропускной способности между маршрутизаторами i и j , являющийся метрикой для решения задачи оптимального распределения VPN-туннелей в СЭСН.

Решением оптимизационной задачи (11) с ограничением (12) является вектор, представляющий последовательное соединение узлов в оптимальном маршруте для организации VPN-туннеля под номером d

$$VPN^{(d)} = \{I^{(d)}, a_1^{(d)}, a_2^{(d)}, \dots, a_{n-1}^{(d)}, a_n^{(d)}, S^{(d)}\}. \quad (13)$$

С учетом нелинейного вида целевой функции (11) и ограничения (12) в задаче параметрического синтеза сети VPN необходимо применять итеративные нестандартные способы оптимизации – математический аппарат тропической математики. Применение данного аппарата подразумевает следующие свойства

$$x \oplus y = \min\{x, y\} \text{ – идемпотентное сложение,}$$

$$x \otimes y = x + y \text{ – идемпотентное умножение,}$$

где \oplus – тропическая сумма, \otimes – тропическое произведение.

Для решения задачи минимизации (11) вводится матрица Φ^* , являющейся матрицей наименьших расстояний, которая определяется как

$$\Phi^* = \bigoplus_{x=1}^{X-1} \Phi^x = \mathbf{I} \oplus \Phi \oplus \Phi^2 \oplus \dots \oplus \Phi^{X-1} = [\phi_{xx}^*], \quad (14)$$

где $\phi_{ij}^* = \min\{\infty, \min\{\phi_{i1} + \phi_{1j}, \phi_{i2} + \phi_{2j}, \dots, \phi_{ix} + \phi_{xj}\}\}$ – удельный запас по пропускной способности (наименьшее расстояние) между маршрутизаторами i и j , после тропического возведения матрицы Φ в степень $X-1$; \mathbf{I} – единичная матрица, определяемая в тропическом полукольце.

Для определения оптимального маршрута для организации VPN-туннелей необходимо выбрать $I^{(d)}$ и $S^{(d)}$. Далее найдем вес маршрута

$$\begin{aligned} \Theta &= \bigoplus_{i=1}^V (\phi_{I^{(d)}g_v} \otimes \phi_{g_v S^{(d)}}^*) = \\ &= \min\{\phi_{I^{(d)}g_1} + \phi_{g_1 S^{(d)}}^*, \phi_{I^{(d)}g_2} + \phi_{g_2 S^{(d)}}^*, \dots, \phi_{I^{(d)}g_v} + \phi_{g_v S^{(d)}}^*, \dots, \phi_{I^{(d)}g_v} + \phi_{g_v S^{(d)}}^*\}, \end{aligned} \quad (15)$$

где g_v – узел, смежный узлу $I^{(d)}$, а V – количество смежных узлов узлу $I^{(d)}$.

Узел g_v добавляем в вектор $VPN^{(d)}$ только при выполнении равенств: $\Theta = \varphi_{I^{(d)}g_v} + \varphi_{g_v S^{(d)}}^*$ и $I^{(d)} = g_v$. После этого, производится повтор вычисления (15), до тех пор, пока $g_v \neq S^{(d)}$.

Оценка эффективности предлагаемого метода проводилась путем сравнения с существующими методами параметрического синтеза сети VPN. Зависимости задержки передачи пакета от удельной пропускной способности VPN-туннеля между пограничными маршрутизаторами представлены на рисунке 2.

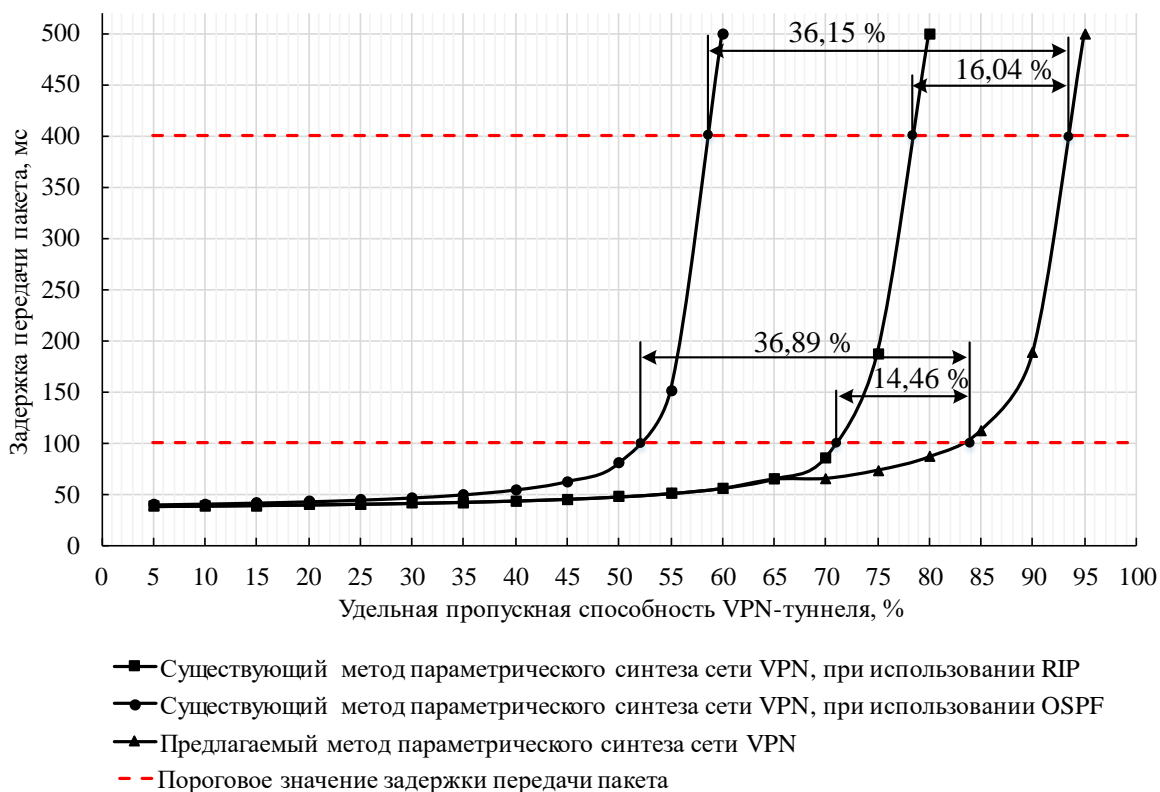


Рисунок 2 – Зависимости задержки передачи пакета от удельной пропускной способности VPN-туннеля между пограничными маршрутизаторами

Из зависимостей рисунка 2 следует, что предлагаемый метод позволяет повысить пропускную способность VPN-туннеля при сравнении с существующими методами параметрического синтеза сети VPN на: 36,15 – 36,89 % при использовании протокола OSPF; 14,46 – 16,04 % при использовании протокола RIP.

В четвертой главе предложен алгоритм и структура сервера администрирования VPN-туннелей, структура маршрутизатора, отличающаяся наличием блока маршрутизации VPN-туннелей, а также проведен эксперимент, по оценке эффективности предложенной структуры и алгоритма.

Функциональная модель маршрутизатора с предлагаемым блоком и сервером представлены на рисунке 3.

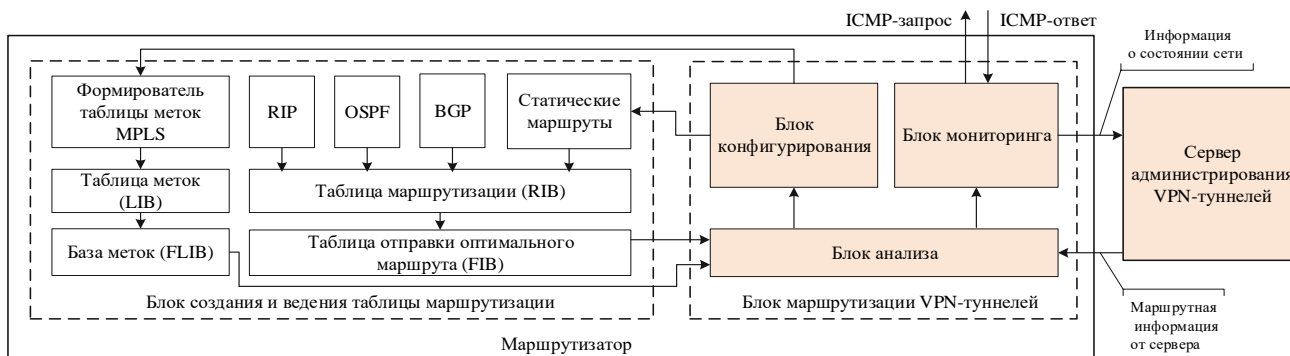
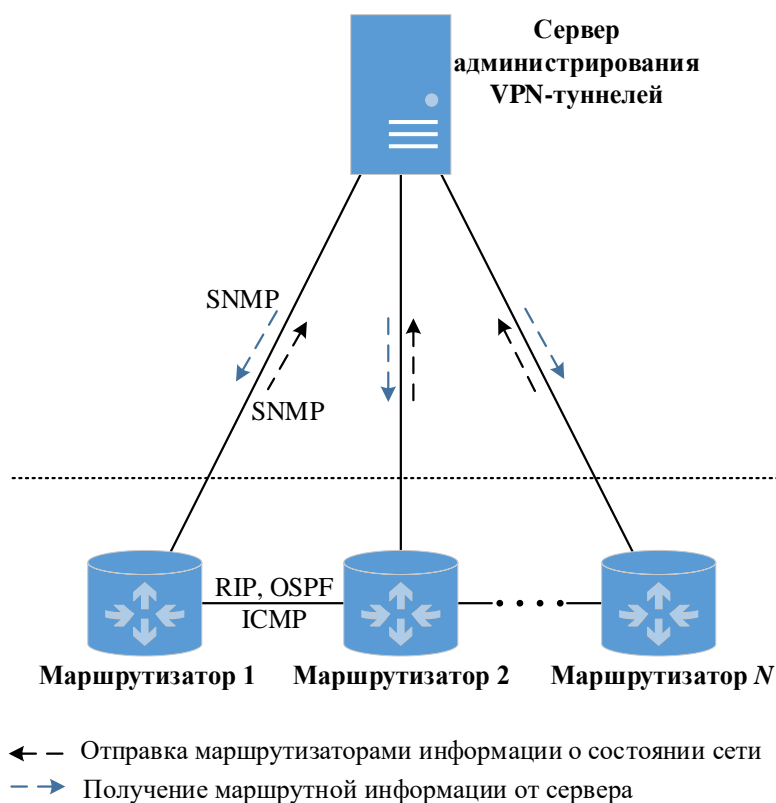


Рисунок 3 – Функциональная структура маршрутизатора

Функции сервера администрирования и блока маршрутизации VPN-туннелей, а также их взаимодействие представлено на рисунке 4.



Функции сервера администрирования VPN-туннелей:

1. Получение информации о состоянии сети, определение доступных ресурсов при помощи математической модели сети VPN;
2. Определение оптимальных маршрутов VPN-туннелей путем решения задачи параметрического синтеза сети VPN;
3. Формирование маршрутной информации и отправка маршрутизаторам.

Функции блока маршрутизации VPN-туннелей:

1. Сбор и передача на сервер информации о состоянии сети;
2. Получение от сервера маршрутной информации, ее анализ и, при необходимости, корректирование таблиц маршрутизации;

Рисунок 4 – Схема функционирования сети по администрированию VPN-туннелей

Для реализации блока маршрутизации VPN-туннелей было выбрано ядро операционной системы *Linux* ввиду широкого использования в маршрутизаторах СЭСН. Алгоритм взаимодействия маршрутизатора и сервера по определению оптимальных маршрутов для организации VPN-туннелей и перенастройки маршрутизаторов СЭСН представлен на рисунке 5.

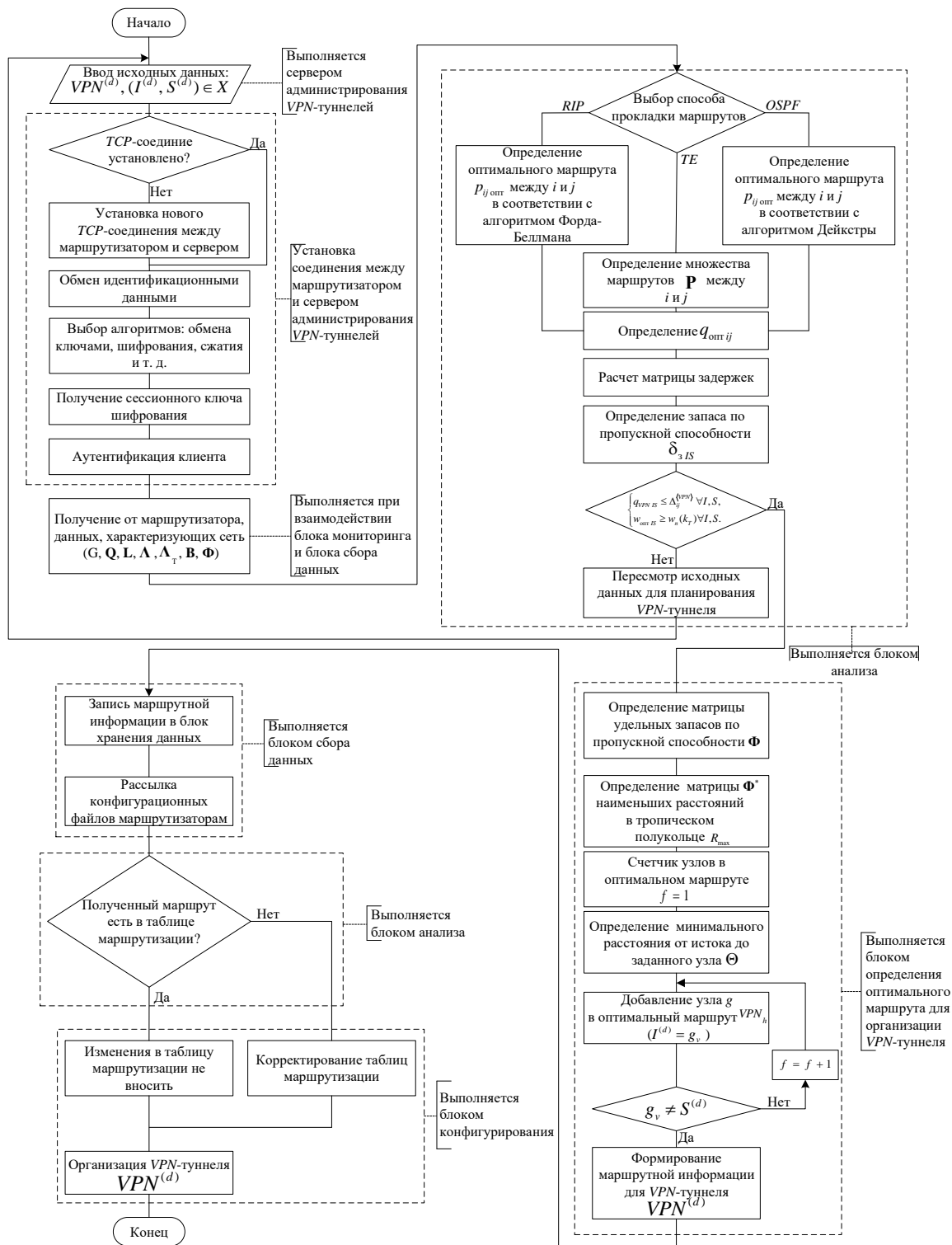


Рисунок 5 – Алгоритм администрирования VPN-туннелей

Оценка эффективности предложенной функциональной структуры и алгоритма производилась при помощи эксперимента по критерию пропускной способности сети VPN при условии выполнения требований по обеспечению качества обслуживания пользователей.

Измерения основных параметров трафика проводилось для трех случаев организации VPN-туннелей: без учета задержки передачи пакета при использовании протокола RIP – способ I; без учета задержки передачи пакета

при использовании протокола OSPF – способ II; с учетом задержки передачи пакета при использовании предложенных функциональной структуры маршрутизатора и алгоритма администрирования VPN-туннелей – способ III.

Для рассматриваемых случаев при помощи анализатора трафика Wireshark получена зависимость средней задержки передачи пакета от доли использования VPN-туннелем пропускной способности канала связи (рисунок 6).

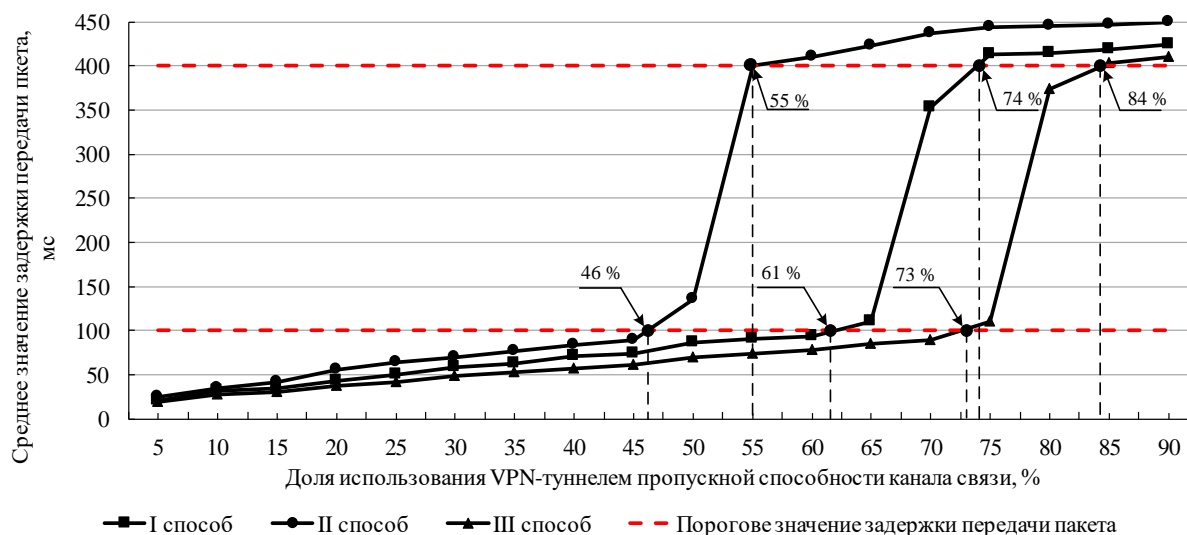


Рисунок 6 – Зависимость средней задержки передачи пакета от доли использования VPN-туннелем пропускной способности канала связи

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 6, показывает, что предлагаемые решения *позволяют повысить пропускную способность VPN-туннелей* за счет их оптимального распределения при выполнении требований по обеспечению качества обслуживания пользователей. Доля использования VPN-туннелем пропускной способности канала связи с доверительными интервалами при доверительной вероятности 0,95 для граничных значений задержки передачи пакета показана в таблице 2.

Таблица 2 – Доля использования VPN-туннелем пропускной способности канала связи для граничных значений задержки передачи пакета

Пороговое значение задержки передачи пакета, мс	Доля использования VPN-туннелем пропускной способности канала связи, %		
	I	II	III
100	61±0,4	46±0,3	73±0,6
400	74±0,4	55±0,3	84±0,6

Таким образом, в результате эксперимента определено, что использование предложенных решений позволило повысить пропускную способность VPN-туннелей по сравнению со способом их организации при помощи протокола RIP на 12 и 10 % для граничных значений задержки

передачи пакета в 100 и 400 мс соответственно, на 27 и 29 % при использовании протокола *OSPF*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате проведенного анализа принципов построения виртуальных частных сетей, существующих математических моделей для их описания, методов синтеза, определяющих параметры сети, а также способов обработки трафика в структуре *VPN*-туннелей маршрутизаторами определено, что учет единственного параметра – пропускной способности каналов связи между маршрутизаторами не позволяет в полной мере обеспечить заданное качество обслуживания пользователей виртуальной частной сети в СЭСН ввиду особенностей ее построения [1-А, 2-А, 7-А, 8-А, 15-А].

2. Разработана математическая модель виртуальной частной сети в СЭСН, решающая задачу повышения точности оценки запаса по пропускной способности в условиях преобладания интерактивного трафика в структуре *VPN*-туннелей и необходимости обеспечения качества обслуживания пользователей СЭСН, которая отличается от потоковой модели учетом задержки передачи пакета и позволяет определить запас по пропускной способности для планируемых *VPN*-туннелей точнее на: от 7,6 до 15,2 % при использовании протокола *RIP*, от 10,4 до 27,2 % при использовании протокола *OSPF*, от 60,5 до 81,3 % при использовании технологии *TE* [3-А, 4-А, 9-А, 12-А].

3. С целью оптимального распределения *VPN*-туннелей в СЭСН с учетом выполнения требований по обеспечению качества обслуживания пользователей предложена целевая функция, учитывающая дополнительный параметр – задержку передачи пакета. Задача параметрического синтеза виртуальной частной сети по критерию минимальной задержки передачи пакета и максимальной пропускной способности участка сети решена при помощи математического аппарата тропической математики. В основу предложенного метода параметрического синтеза сети *VPN* положено представление числовых полей тропическими полуполями для определения матрицы кратчайших расстояний при аппроксимации сети *VPN* двухвесовым графом путем проведения операции унарного замыкания в тропическом полукольце. Это позволило повысить пропускную способность *VPN*-туннелей при сравнении с существующими методами параметрического синтеза сети *VPN* на: 36,15 – 36,89 % при использовании протокола *OSPF*; 14,46 – 16,04 % при использовании протокола *RIP* [5-А, 11-А, 13-А, 14-А].

4. Задача обработки и распределения трафика в структуре *VPN*-туннелей маршрутизаторами СЭСН с учетом обеспечения качества обслуживания пользователей решена путем изменения функциональной

структуры маршрутизатора, заключающегося в разработке и реализации блока маршрутизации и алгоритма администрирования *VPN*-туннелей, предполагающих совместное использование предлагаемых решений со стандартизированными протоколами маршрутизации и позволяющего без внесения изменений в аппаратное обеспечение маршрутизаторов повысить пропускную способность *VPN*-туннелей на 12 и 10 % для граничных значений задержки передачи пакета в 100 и 400 мс соответственно, по сравнению со способом организации *VPN*-туннелей при помощи протокола *RIP*, на 27 и 29 % при использовании протокола *OSPF* [6-А, 10-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Оценку ресурса СЭСН для планируемых *VPN*-туннелей (определение совокупной пропускной способности создаваемых *VPN*-туннелей при условии обеспечения качества обслуживания пользователей) рекомендуется проводить на основе предложенной математической модели сети *VPN*.

Для оптимального распределения *VPN*-туннелей в СЭСН по критериям максимальной пропускной способности и минимальной задержки передачи пакета рекомендуется использовать предложенный метод параметрического синтеза сети *VPN*.

Построение сетей *VPN* в СЭСН рекомендуется осуществлять с использованием сервера администрирования *VPN*-туннелей и маршрутизаторов, в которых реализован блок маршрутизации *VPN*-туннелей. Для обработки пакетов трафика в структуре *VPN*-туннелей рекомендуется совместное использование предлагаемых решений с стандартизированными протоколами маршрутизации.

Результаты диссертационного исследования внедрены и использованы:

при выполнении опытно-конструкторской работы «Разработка аппаратно-программного комплекса средств коммутации и маршрутизации цифровых потоков для полевых систем связи» (акт о практическом использовании в ОАО «АГАТ-СИСТЕМ» от 21.07.2023);

в ходе подготовки и проведения оперативно-специального учения войск связи Вооруженных Сил Республики Беларусь (акт о практическом использовании в Управлении связи Вооруженных Сил Республики Беларусь от 18.09.2023).

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс кафедры связи учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» для специальности 1-95 02 04-01 «Телекоммуникационные системы (эксплуатация)» (профилизации «Эксплуатация средств и сетей связи, управление подразделениями войск связи») в практическом занятии № 3, лабораторной работе № 3, лекции № 16, курсовой работе (приложение).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных изданиях, соответствующих требованиям пункта 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий

1-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В., Бысов А.А. Анализ математических моделей VPN и обоснование необходимости их применения в сетях электросвязи специального назначения // Весн. сувязі. – 2021. – № 6 (170). – С. 52–55.

2-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В., Бысов А.А. Анализ характеристик качества обслуживания сети VPN на основе имитационной модели // Весн. сувязі. – 2022. – № 5 (175). – С. 68–72.

3-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В., Бысов А.А. Обоснование необходимости учета задержки передачи пакетов при планировании VPN-туннелей в сетях электросвязи специального назначения // Вестник ВАРБ – 2023. – № 1 (78). – С. 24–31.

4-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В., Бысов А.А. Математическая модель VPN в сети электросвязи специального назначения, определяющая запас по пропускной способности, для планируемых VPN-туннелей с учетом класса передаваемого трафика // Доклады БГУИР – 2023. – № 4. – С. 93–100.

5-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В., Бысов А.А. Метод параметрического синтеза сети VPN на основе математического аппарата тропической математики // Вестник ВАРБ – 2023. – № 2 (79). – С. 37–43.

6-А. Врублевский С.С. Повышение пропускной способности VPN-туннелей в сетях электросвязи специального назначения // Вестник ВАРБ – 2023. – № 3 (80). – С. 19–26.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

7-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В. Имитационное моделирование фрагмента сети электросвязи специального назначения с технологией IPSec в сетевом симуляторе NS-3 // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы междунар. науч.-техн. семинара (Минск, ноябрь – декабрь 2021 г.), Минск, ноябрь – декабрь 2021 г. / Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: М.Н. Бобов [и др.]. – Минск, 2021. – С. 35–38.

8-А. Врублевский С.С., Бысов А.А. Разработка имитационной модели виртуальной частной сети электросвязи специального назначения в сетевом симуляторе NS-3 // Информационные технологии и системы 2021 (ИТС 2021): материалы междунар. науч. конференции, Минск, 24 нояб. 2021 г. / Белорусский гос. ун-т инф. и радиоэлектроники; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2021. – С. 74–75.

9-А. Врублевский С.С., Бысов А.А. Учет задержки передачи пакета при планировании VPN-туннелей в сети электросвязи специального назначения // Информационные технологии и системы 2022 (ИТС 2022): материалы междунар. науч. конференции, Минск, 23 нояб. 2022 г. / Белорусский гос. ун-т инф. и радиоэлектроники; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2022. – С. 117–118.

10-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В. Оценка показателей качества обслуживания сети электросвязи специального назначения с использованием технологии VPN на основе имитационной модели // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи : материалы XVII междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, 11 мая–12 мая 2022 года, Минск / Белорусский гос. акад. связи ; редкол.: А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2022. – С. 69–70.

11-А. Врублевский С. С. Анализ способов прокладки VPN-туннелей в сетях электросвязи специального назначения // Актуальные проблемы современной военной науки : сборник статей XVII междунар. науч. конф., 19 мая 2023 года, Актобе / Военный институт Сил воздушной обороны им. Т.Я. Бегельдинова. – Актобе, 2023. – С. 267–269.


12-А. Врублевский С.С., Бысов А.А. Поточковая модель VPN с учетом задержки передачи пакета в сети электросвязи специального назначения // Технологии передачи и обработки информации : материалы междунар. науч.-техн. семинара (Минск, март – апрель 2023 г.), Минск, март – апрель 2023 г. / Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: В.Ю. Цветков [и др.]. – Минск, 2023. – С. 97–101.

13-А. Врублевский С.С., Машкин Е.В. Применение тропической математики для определения оптимального маршрута для прокладки VPN-туннелей в сети электросвязи специального назначения // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи : материалы XVIII междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, 16 мая – 17 мая 2023 года, Минск / Белорусский гос. акад. связи; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2023. – С. 255 –256.

14-А. Врублевский С.С. Поиск кратчайшего расстояния в двухвесовом графе для планирования VPN-туннелей в сети электросвязи специального назначения // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023): сборник трудов XIV международной научно-технической конференции в рамках IX Международного Научного форума Донецкой Народной Республики / Донецкий нац. техн. ун-т ; редкол. : Р.В. Мальчевой [и др.]. – Донецк, 2023. – С. 200 – 203.

Статьи в сборниках тезисов докладов научных конференций

15-А. Врублевский С.С., Бысов А.А. Анализ математических моделей VPN, основанных на граф-комбинаторных алгоритмах в сетях электросвязи специального назначения // Военное образование и наука в условиях цифровой трансформации знаний: тезисы докладов междунар. науч. конф. УО «ВА РБ», Минск, 20–21 апреля 2022 г. / Воен. акад. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – С. 92.

A handwritten signature in black ink, appearing to be the initials 'С.С.' followed by a stylized surname.

РЭЗІЮМЭ

Урублеўскі Сяргей Сяргеевіч

Параметрычны сінтэз віртуальнай прыватнай сеткі ў сетцы электрасувязі спецыяльнага прызначэння

Ключавыя словы: сетка электрасувязі спецыяльнага прызначэння, віртуальная прыватная сетка, якасць абслугоўвання карыстальнікаў, прапускная здольнасць, затрымка перадачы пакета, граф-камбінаторныя алгарытмы, трапічная матэматыка.

Мэта работы: распрацоўка матэматычнай мадэлі, метаду параметрычнага сінтэзу, функцыянальнай структуры маршрутызатара і алгарытму адміністравання *VPN*-тунэляў для павышэння прапускной здольнасці *VPN*-тунэля.

Метады даследавання: абшчелогічэскія – аналіз, сінтэз, параўнанне, абстрагаванне, абагульненне, індукцыя, дэдукцыя, аналогія і мадэляванне; эмпірычныя-назіранне – апісанне, вымярэнне і эксперымент; метады тэарэтычнага даследавання – фармалізацыя, матэматычная гіпотэза.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана матэматычная мадэль віртуальнай прыватнай сеткі ў сетцы электрасувязі спецыяльнага прызначэння, адрозная ад струменевай мадэлі улікам затрымкі перадачы пакета і якая дазваляе вызначыць запас па прапускной здольнасці для запланаваных *VPN*-тунэляў дакладней на: ад 7,6 да 15,2 % пры выкарыстанні пратаколу *RIP*, ад 10,4 да 27,2 % пры выкарыстанні пратакола *OSPF*, ад 60,5 да 81,3 % пры выкарыстанні тэхналогіі *TE*; распрацаваны метады параметрычнага сінтэзу сеткі *VPN*, які адрозніваецца улікам затрымкі перадачы пакета і які дазваляе павысіць прапускную здольнасць *VPN*-тунэляў пры параўнанні з існуючымі метадамі параметрычнага сінтэзу сеткі *VPN* на: 36,15 – 36,89 % пры выкарыстанні пратакола *OSPF*; 14,46 – 16,04 % пры выкарыстанні пратакола *RIP*; прапанавана функцыянальная структура маршрутызатара, якая адрозніваецца наяўнасцю блока маршрутызацыі *VPN*-тунэляў і алгарытм адміністравання *VPN*-тунэляў, якія дазваляюць павысіць прапускную здольнасць *VPN*-тунэляў на 12 і 10 % для межавых значэнняў затрымкі перадачы пакета ў 100 і 400 мс адпаведна, у параўнанні са спосабам арганізацыі *VPN*-тунэляў пры дапамозе пратакола *RIP*, на 27 і 29 % пры выкарыстанні пратаколу *OSPF*.

Ступень выкарыстання: вынікі дысертацыйнага даследавання ўкаранёны ў тэхналагічны працэс у ААТ «АГАТ-СІСТЭМ» пры выкананні доследна-канструктарскай работы «Распрацоўка апаратна-праграмачнага комплексу сродкаў камутацыі і маршрутызацыі лічбавых патокаў для палявых сістэм сувязі».

РЕЗЮМЕ

Врублевский Сергей Сергеевич

Параметрический синтез виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения

Ключевые слова: сеть электросвязи специального назначения, виртуальная частная сеть, качество обслуживания пользователей, пропускная способность, задержка передачи пакета, граф-комбинаторные алгоритмы, тропическая математика.

Цель работы: разработка математической модели, метода параметрического синтеза, функциональной структуры маршрутизатора и алгоритма администрирования VPN-туннелей для повышение пропускной способности VPN-туннеля.

Методы исследования: общелогические – анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, обобщение, индукция, дедукция, аналогия и моделирование; эмпирические – наблюдение, описание, измерение и эксперимент; методы теоретического исследования – формализация, математическая гипотеза.

Полученные результаты и их новизна: разработана математическая модель виртуальной частной сети в сети электросвязи специального назначения, отличающаяся от потоковой модели учетом задержки передачи пакета и позволяющая определить запас по пропускной способности для планируемых VPN-туннелей точнее на: от 7,6 до 15,2 % при использовании протокола *RIP*, от 10,4 до 27,2 % при использовании протокола *OSPF*, от 60,5 до 81,3 % при использовании технологии *TE*; разработан метод параметрического синтеза сети *VPN*, отличающийся учетом задержки передачи пакета и позволяющий повысить пропускную способность *VPN*-туннелей при сравнении с существующими методами параметрического синтеза сети *VPN* на: 36,15 – 36,89 % при использовании протокола *OSPF*; 14,46 – 16,04 % при использовании протокола *RIP*; предложена функциональная структура маршрутизатора, отличающаяся наличием блока маршрутизации *VPN*-туннелей и алгоритм администрирования *VPN*-туннелей, позволяющие повысить пропускную способность *VPN*-туннелей на 12 и 10 % для граничных значений задержки передачи пакета в 100 и 400 мс соответственно, по сравнению со способом организации *VPN*-туннелей при помощи протокола *RIP*, на 27 и 29 % при использовании протокола *OSPF*.

Степень использования: результаты диссертационного исследования внедрены в технологический процесс в ОАО «АГАТ-СИСТЕМ» при выполнении опытно-конструкторской работы «Разработка аппаратно-программного комплекса средств коммутации и маршрутизации цифровых потоков для полевых систем связи».

SUMMARY

Vrublevsky Sergey Sergeevich

Parametric synthesis of a virtual private network in a special-purpose telecommunication network

Keywords: special-purpose telecommunication network, virtual private network, user service quality, bandwidth, packet transmission delay, graph-combinatorial algorithms, tropical mathematics.

Purpose of work: to develop a mathematical model, a method of parametric synthesis, a functional structure of the router to increase the bandwidth of the VPN tunnel.

Research methods: general logical – analysis, synthesis, comparison, abstraction, generalization, induction, deduction, analogy and modeling; empirical – observation, description, measurement and experiment; methods of theoretical research – formalization, mathematical hypothesis

Results and scientific novelty: a mathematical model of a virtual private network in a special-purpose telecommunications network has been developed, which differs from the streaming model by taking into account the packet transmission delay and allows one to determine the bandwidth reserve for the planned VPN tunnels are more accurate by: from 7,6 to 15,2 % when using the RIP protocol, from 10,4 to 27,2 % when using the OSPF protocol, from 60,5 to 81,3 % when using TE technology; a method for parametric synthesis of a VPN network has been developed, which takes into account the packet transmission delay and allows increasing the throughput of VPN tunnels when comparing with existing methods of parametric VPN network synthesis on: 36,15 – 36,89 % when using the OSPF protocol; 14,46 – 16,04 % when using the RIP protocol; a functional structure of the router is proposed, characterized by the presence of a VPN tunnel routing block and an algorithm for administering VPN tunnels, which makes it possible to increase the throughput of VPN tunnels by 12 and 10 % for packet transmission latency limits of 100 and 400 ms, respectively, compared with a method for organizing VPN tunnels using the RIP protocol, on 27 and 29 % when using the OSPF protocol.

Recommended application areas: the results of the dissertation research were introduced into the technological process at JSC «AGAT-SYSTEM» during the development work «Development of a hardware and software complex for switching and routing digital streams for field communication systems».

Научное издание

Врублевский Сергей Сергеевич

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ВИРТУАЛЬНОЙ ЧАСТНОЙ СЕТИ
В СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы
и компьютерные сети

Подписано в печать **23.05.2024**. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. **1,45**. Уч. изд. л. **1,37**. Тираж 60. Заказ **250**.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/238 от 23.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014

Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск