

*На правах рукописи*

**Миронов Олег Юрьевич**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ  
ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КАНАЛЬНОГО  
РЕСУРСА ЗАЩИЩЕННЫХ КОРПОРАТИВНЫХ  
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ**

Специальность 05.12.13 –  
Системы, сети и устройства телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва – 2019 г.**

Работа выполнена в ордена Кутузова федеральном государственном казённом военном образовательном учреждении высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации».

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент **Лебеденко Евгений Викторович**

Официальные оппоненты:

**Душкин Александр Викторович** - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационная безопасность» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»;

**Ерёменко Владимир Тарасович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный университете им. И.С. Тургенева».

Ведущая организация:

Акционерное общество «Научно-технический центр высокоскоростных систем передачи «Супертел ДАЛС», г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 16 января 2020 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.219.001.04 при ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, МТУСИ, ауд. А-448.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте МТУСИ <http://www.srd-mtuci.ru/images/Dis-Mironov/dis-Mironov.pdf>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь,  
диссертационного совета Д.219.001.04  
доктор технических наук, доцент

\_\_\_\_\_ Максим Валерьевич Терешонок

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Создание новых и совершенствование существующих защищенных корпоративных мультисервисных сетей связи (ЗКМСС) имеет большое значение для развития телекоммуникационной инфраструктуры систем управления промышленных компаний, организаций, ведомств и органов государственной власти. Как правило, для таких сетей связи транспортная сеть создается на основе аренды канального ресурса у операторов Единой сети электросвязи РФ. Применение арендованных каналов связи порождает проблему эффективного использования их пропускной способности в условиях предоставления пользователям мультисервисных услуг, в частности, таких сервисов реального времени, как IP-телефония, видеотелефония, видеоконференция с требуемым уровнем качества обслуживания. При этом для предоставления данных услуг в качестве базового способа распределения канального ресурса используется предоставление каждому сервису полосы пропускания исходя из возможной нагрузки от пользователей всех категорий.

Другой особенностью ЗКМСС является необходимость обеспечения конфиденциальности и целостности передаваемой информации. Фактически, такие сети представляются множеством защищённых логических соединений (VPN-туннелей), создаваемых VPN-шлюзами (криptomаршрутизаторами), установленными на границе сети доступа и транспортной сети. Выбор туннельного режима обусловлен возможностью создания закрытого информационного пространства с обеспечением сокрытия сведений об IP-адресах узлов отправителя и получателя, типе транспортного протокола, являющихся наиболее значимыми в отношении понимания структуры взаимодействия узлов. Однако использование подобных механизмов не позволяет реализовать классификацию и приоритетное обслуживание субпотокa в ядре сети.

Указанные особенности ЗКМСС оказывают существенное влияние на качество предоставляемых услуг. В частности, в условиях динамического добавления абонентских терминалов, не предусмотренных схемой организации сети, возможно возникновение режима перегрузки (нештатный режим) – блокирования допуска потоков данных в транспортную сеть, в результате чего канальный ресурс может быть загружен низкоприоритетным трафиком. При этом даже в условиях штатного функционирования таких сетей связи возможны ситуации неэффективного использования канального ресурса, зарезервированного для предоставления высокоприоритетных инфокоммуникационных услуг, из-за невозможности перераспределения канального ресурса между предоставляемыми сервисами.

**Степень разработанности темы.** Существующий методологический аппарат моделирования процессов функционирования мультисервисных сетей связи, предложенный в работах Ф.П. Келли, В. Иверсена, С.Н. Степанова, представляет модификацию моделей Эрланга и Энгсета, ориентированных на использование эффективной скорости передачи данных. Существенным ограничением такого подхода является применение фиксированных значений выделяемого канального ресурса и использование средних значений длительности

обслуживания заявки, не зависящих от загрузки звена мультисервисной сети связи, что снижает точность получаемых оценок.

Методы динамического распределения канального ресурса, предложенные в работах С.Н. Степанова, предусматривают при увеличении интенсивности высокоприоритетных заявок как возможность снижения скорости передачи данных до некоторого минимального значения, так и возможность блокирования предоставляемой инфокоммуникационной услуги. При этом их особенностью является достаточно высокая вычислительная сложность алгоритма перераспределения канального ресурса, что позволяет эффективно использовать эти методы на этапе проектирования, а не на этапе оперативного управления сетью связи.

Методы оперативного управления канальным ресурсом, предложенные в работах Л. Георгадиса, Р.Л. Круза, Д. Кларка, А.К. Пареха и базирующиеся на аппарате теории сетевого исчисления в явном виде не могут быть использованы в VPN-шлюзах сети доступа ЗКМСС, поскольку служебная информация, необходимая для их функционирования, зашифрована, что, в свою очередь, не позволяет идентифицировать отдельные потоки данных и обеспечить их приоритетное обслуживание. Следовательно, эти методы обеспечивают управление канальным ресурсом преимущественно на уровне агрегированных потоков данных и сформированных для них VPN-туннелей.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в научно-технической области существует актуальная задача реализации максимальной загрузки дорогостоящего арендуемого канального ресурса транспортного уровня ЗКМСС и разработки эффективных алгоритмов, обеспечивающих решение задачи оперативного управления, связанной с оцениванием, резервированием и перераспределением требуемого канального ресурса для агрегированных потоков данных, передаваемых в VPN-туннелях.

**Объект исследования** - система управления потоками данных в VPN-шлюзах сети доступа защищенной корпоративной мультисервисной сети связи.

**Предмет исследования** - процесс агрегирования потоков данных сервисов реального времени в VPN-шлюзах сети доступа защищенной корпоративной мультисервисной сети связи.

**Целью диссертационного исследования** является разработка алгоритмов динамического оценивания, резервирования и перераспределения канального ресурса защищенной корпоративной мультисервисной сети связи, учитывающих процесс агрегирования потоков данных сервисов реального времени в VPN-шлюзах сети доступа и позволяющих обеспечить гарантированный уровень требуемого качества обслуживания предоставляемых сервисов, как в условиях штатного функционирования сети доступа, так и в условиях возникновения перегрузки.

Для достижения заявленной цели в диссертации были решены следующие **задачи**:

1. Проведен анализ существующих принципов построения сетей доступа и транспортной сети защищенной корпоративной мультисервисной сети связи,

существующих методов обеспечения качества обслуживания потоков данных реального времени, исследовано влияние процесса агрегирования потоков данных в VPN-шлюзе на значения таких параметров трафика, как мгновенная пиковая, средняя скорость информационного потока, длина пакетов, средняя задержка и вариация средней задержки для сервисов реального времени.

2. Разработан алгоритм динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока данных сервисов реального времени, определяющий зависимость объема зарезервированного канального ресурса для VPN-туннеля от задержки, вносимой процессом агрегирования потоков данных сервисов реального времени в процесс обработки пакетов в VPN-шлюзе сети доступа.

3. Разработан алгоритм допуска потоков в транспортную сеть и комплекс алгоритмов классификации и сглаживания трафика, управления планировщиком пограничного маршрутизатора, позволяющие повысить степень использования канального ресурса в условиях штатного и нештатного (условия возникновения перегрузки) функционирования сети.

4. Разработана имитационная модель сегмента защищенной корпоративной мультисервисной сети связи в среде моделирования Network Simulator 3 с целью проведения экспериментальных исследований эффективности предложенного комплекса алгоритмов, как для условий возникновения перегрузки, так и для условий ее штатного функционирования.

5. Предложены варианты технической реализации модельно-алгоритмического обеспечения в VPN-шлюзах.

#### **Научная новизна.**

1. Разработан алгоритм динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока данных сервисов реального времени, отличающийся от известных учетом влияния параметров трафика и максимальной допустимой задержки, связанной с процессом агрегирования потоков данных в VPN-шлюзах, на требуемый объем канального ресурса, распределяемого между множеством VPN-туннелей.

2. Разработан алгоритм допуска потоков в транспортную сеть, отличающийся от известных учетом приоритетов поступающих на обслуживание потоков данных, длительности сеансов сервисов реального времени, способа агрегирования потоков в VPN-шлюзах и уменьшением вероятности потерь вызовов от приоритетных пользователей.

3. Разработан комплекс алгоритмов согласования трафика с VPN-туннелем, позволяющих совместно с алгоритмом допуска потоков в транспортную сеть повысить степень использования канального ресурса: в условиях штатного функционирования сети доступа за счет перераспределения незадействованного канального ресурса между предоставляемыми инфокоммуникационными сервисами, а в условиях возникновения перегрузки за счет решения задачи выбора оптимального набора допущенных к обслуживанию потоков с учетом их приоритетов и длительности сеанса.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость работы состоит в совершенствовании методов динамического управления канальным ресурсом транспортной сети, арендуемой у

операторов Единой сети электросвязи, на основе учета процесса агрегирования потоков данных реального времени в VPN-шлюзах сети доступа защищенной корпоративной мультисервисной сети связи.

Практическая значимость работы заключается в доведении разработанного комплекса алгоритмов до уровня программного обеспечения, что подтверждается патентом на изобретение № 2601604 от 14.10.2016 г. «Способ сглаживания приоритетного трафика данных и устройство для его осуществления», а также его использовании в составе системы управления потоками VPN-шлюза сети доступа мультисервисной сети связи ПАО АКБ «Авангард», что подтверждается соответствующим актом реализации.

**Методы исследования.** Для решения задач диссертационного исследования применялись методы теории систем, теории вероятностей и математической статистики, теории сетевого исчисления, теории телетрафика, планирования эксперимента.

**Положения, выносимые на защиту.**

1. Результаты анализа существующих моделей потоков данных сервисов реального времени показали необходимость учета влияния процесса их агрегирования в VPN-шлюзах сети доступа на значения параметров мгновенной пиковой, средней скорости передачи данных, длины пакетов, средней задержки и вариации средней задержки предоставляемых инфокоммуникационных услуг.

2. Разработанный алгоритм динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока данных сервисов реального времени дает возможность учесть влияние задержки, связанной с процессом агрегирования потоков данных в VPN-шлюзах сети доступа защищенной корпоративной мультисервисной сети связи, на объем канального ресурса, распределяемого между множеством VPN-туннелей.

3. Разработанный алгоритм допуска потоков в транспортную сеть обеспечивает учет приоритетов поступающих на обслуживание потоков данных, длительность сеансов сервисов реального времени, способ агрегирования потоков в VPN-шлюзах и уменьшает вероятность потерь вызовов от приоритетных пользователей. При функционировании сети в условии перегрузки выигрыш (по значению вероятности потерь вызовов) от применения алгоритма может достигать до 30%.

4. Разработанный комплекс алгоритмов согласования трафика с VPN-туннелем совместно с алгоритмом допуска потоков в транспортную сеть дает возможность повысить степень использования канального ресурса: в условиях штатного функционирования сети доступа за счет перераспределения незадействованного канального ресурса между предоставляемыми инфокоммуникационными сервисами, а в условиях возникновения перегрузки за счет решения задачи выбора оптимального набора допущенных к обслуживанию потоков с учетом их приоритетов и длительности сеанса. При отсутствии перегрузки повышение степени использования резервируемого на этапе планирования сети канального ресурса федерального сегмента может составлять до 40 %.

### **Степень достоверности и апробация результатов.**

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается: корректно спланированными экспериментами, применением известных методов исследования, адекватных природе изучаемых процессов и явлений, непротиворечивостью и воспроизводимостью результатов, полученных теоретическим путем, и результатами имитационного моделирования.

Основные результаты докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «ИНФОКОМ-2013» (Ростов-на-Дону, 2013), VIII Международной молодежной научно-практической конференции «ИНФОКОМ-2015» (Ростов-на-Дону, 2015), XX Всероссийской научно-технической конференции «Научная сессия ТУСУР – 2015», (Томск, 2015), XXI, XXII Международных открытых научных конференциях «Современные проблемы информатизации» (Воронеж, 2015, 2017), XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества», (Москва, 2018).

Всего по теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 4 – в научных изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

**Реализация результатов.** Основные результаты диссертационного исследования внедрены в систему административного управления мультисервисной сети связи ПАО АКБ «Авангард».

**Основное содержание работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Основная часть изложена на 148 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунка и 19 таблиц. Список литературы состоит из 139 источников.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулирована ее цель и частные научные задачи, необходимые для достижения цели исследования. Сформулированы научные положения, выносимые на защиту, представлена их научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о публикациях, апробациях и реализации полученных результатов.

**В первом разделе** диссертационной работы проанализированы особенности организации и принципы функционирования защищенных корпоративных мультисервисных сетей связи (ЗКМСС). Гарантированное качество обслуживания (КО) сервисов реального времени в ЗКМСС достигается путем обеспечения требуемой задержки обработки пакетов  $i$ -го потока в пограничном маршрутизаторе (ПМ) транспортной сети  $t_{\text{ПМ}}$ . Модель распределения суммарной задержки «из конца в конец» по сетевым элементам ЗКМСС представлена на рисунке 1, где  $t_{\text{КС}}$  – задержка передачи пакета в арендованном канале связи,  $t_{\text{Ш}}$  – задержка обработки пакета вследствие реализации процедуры шифрования информации в VPN-шлюзе.

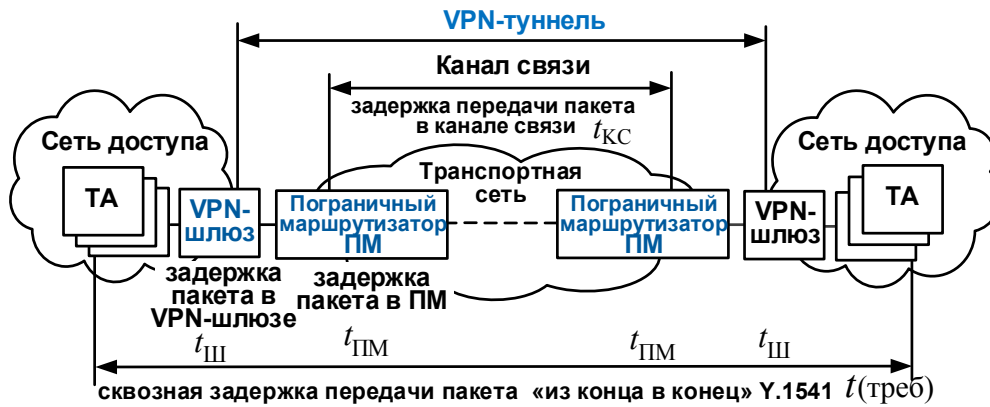


Рисунок 1 – Обобщенная схема тракта прохождения пакетов данных от источника к получателю защищенной корпоративной мультисервисной сети связи

Распределение суммарной задержки «из конца в конец»  $t(\text{треб})$  по сетевым элементам ЗКМСС определяется выражением:

$$2t_{\text{Ш}} + 2t_{\text{ПМ}} + t_{\text{КС}} \leq t(\text{треб}). \quad (1)$$

На основании выражения (1) оценка максимально допустимой задержки обработки пакета в пограничном маршрутизаторе (ПМ) может быть вычислена следующим образом:

$$t_{\text{ПМ}} \leq \frac{t(\text{треб}) - t_{\text{КС}} - 2t_{\text{Ш}}}{2}.$$

Обобщенная схема организации VPN-шлюза сети доступа, обеспечивающего формирование защищенных VPN-туннелей, представлена на рисунке 2.

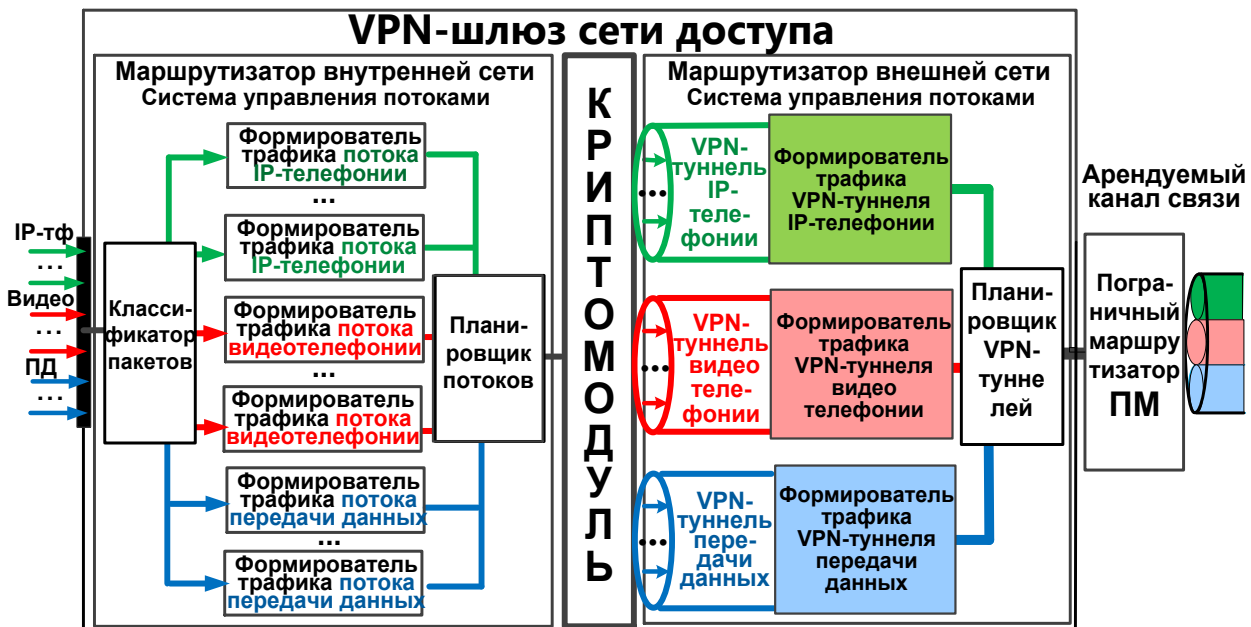


Рисунок 2. – Обобщенная схема VPN-шлюза сети доступа

На основе данных о функционировании сети доступа ЗКМСС ПАО АКБ «Авангард» при агрегировании 20 потоков видеотелефонии и 100 потоков IP-телефонии было выявлено влияние процедур функционирования VPN-шлюза



на параметры передаваемого трафика: пиковую ( $p$ ) и среднюю ( $r$ ) скорость передачи данных, длину генерируемых пакетов ( $L$ ) сервисов видеотелефонии и IP-телефонии. Результаты статистической обработки данных представлены в таблице 1, а условия и результаты выполнения статистического эксперимента – в работах [3, 4].

Таблица 1 – Значения параметров трафика на входе и выходе VPN-шлюза

	Значения параметров трафика					
	Видеотелефония			IP-телефония		
	$p$ Мбит/с	$r$ Мбит/с	$L$ Байт	$p$ Мбит/с	$r$ Мбит/с	$L$ Байт
От терминала	2,1	0,87	1346	0,112	0,096	214
На выходе VPN-шлюза	1,74	1,22	1392	0,126	0,107	254

Результаты статистического эксперимента позволили ввести поправочные коэффициенты  $\alpha, \beta, \gamma$  для соответствующих параметров передаваемого трафика, учитывающие искажения, вносимые криптомодулем:  $\alpha = \frac{p(\text{от терминала})}{p(\text{после VPN - шлюза})}$ ,

$$\beta = \frac{r(\text{от терминала})}{r(\text{после VPN - шлюза})}, \quad \gamma = \frac{L(\text{от терминала})}{L(\text{после VPN - шлюза})}.$$

Задача управления доступом к ресурсам сети в условиях перегрузки сводится к задаче снижения вероятности потерь вызовов от приоритетных категорий пользователей, при этом принято допущение, что нагрузка, создаваемая абонентами высших категорий, при возникновении перегрузки обслуживается с гарантированным качеством.

**Второй раздел** посвящен разработке и исследованию алгоритма динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока данных сервисов реального времени, учитывающего влияние VPN-шлюзов на параметры передаваемого трафика. Его основой является модель управления потоками данных с использованием механизмов «корзина маркеров» и взвешенной справедливой очередности WFQ (Weighted Fair Queuing), разработанная А.К. Парехом и Р.Г. Галлагером.

В ходе разработки алгоритма было выявлено, что при конфигурировании системы управления потоками VPN-шлюза, в частности механизма «корзина маркеров»,  $i$ -ый поток данных на его выходе может быть представлен кусочно-линейной функцией, зависящей от параметров трафика  $(\alpha p_i, \beta r_i, \gamma L_i)$ , пропускной способности VPN-туннеля и размера «корзины маркеров»  $b_i$ .

Предполагая, что задержка передачи пакета от VPN-шлюза сети доступа до пограничного маршрутизатора (ПМ) транспортной сети не существенна и, вследствие этого, не учитывается при вычислении канального ресурса, описание потоков в системе управления потоками VPN-шлюза можно применить к формирователю трафика ПМ транспортной сети. Тогда поток на выходе ПМ при резервировании доли пропускной способности канала связи с пропускной

способностью  $R_{\text{КС}}$  для  $i$ -го потока данных  $R_i$  получает запаздывание при обслуживании равное  $t_{\text{зап}i} = \frac{\gamma L_i}{R_i} + \frac{\gamma L_i}{R_{\text{КС}}}$ .

Совместное рассмотрение функции потока на выходе VPN-шлюза и времени запаздывания для сервисов видеотелефонии и IP-телефонии с переменной скоростью передачи позволяет получить верхнее значение максимально достижимой задержки для  $i$ -го потока в ПМ:

$$t_{\text{ПМ}} = \begin{cases} \frac{(b_i - \gamma L_i)(\alpha p_i - R_i)}{R_i(\alpha p_i - \beta r_i)} + \frac{2\gamma L_i}{R_i} + \frac{\gamma L_i}{R_{\text{КС}}}; \\ \frac{2\gamma L_i}{R_i} + \frac{\gamma L_i}{R_{\text{КС}}}. \end{cases} \quad (3)$$

Из выражения (3) были получены значения резервируемого канального ресурса (КР) для  $n$  агрегируемых потоков VPN-туннеля на выходе VPN-шлюза. При этом были рассмотрены два способа агрегирования: на основе изолированного обслуживания потоков (4) и на основе суммарной функции их поступления (СПФ) (5).

$$R_{\text{VPN}}^{\text{изол}}(n) = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha p_i \frac{(b_i - \gamma L_i)}{(\alpha p_i - \beta r_i)} + 2\gamma L_i}{t_{\text{ПМ}} + \frac{(b_i - \gamma L_i)}{(\alpha p_i - \beta r_i)} - \frac{\gamma L_i}{R_{\text{КС}}}}, \quad (4)$$

$$R_{\text{VPN}}^{\text{СФП}}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha p_i \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \gamma L_i}{\sum_{i=1}^n (\alpha p_i - \beta r_i)} + 2\gamma L_i}{t_{\text{ПМ}} + \frac{\sum_{i=1}^n b_i - \gamma L_i}{\sum_{i=1}^n (\alpha p_i - \beta r_i)} - \frac{\gamma L_i}{R_{\text{КС}}}}. \quad (5)$$

КР агрегированного потока на основе эффективной скорости передачи определяется выражением:

$$R_{\text{VPN}}^{\text{эфф}}(n) = n \left(1 - \frac{1}{50} \log P_{\text{loss}}\right) \beta r_i \left(1 + 3 \left(-\frac{2\alpha p_i}{R_{\text{КС}}} \log P_{\text{loss}}\right) \left(1 - \frac{\beta r_i}{\alpha p_i}\right)\right).$$

Сравнение способа агрегирования на основе изолированного обслуживания потоков и на основе суммарной функции их поступления с значением резервируемого канального ресурса (КР) на основе эффективной скорости передачи  $R_{\text{VPN}}^{\text{эфф}}(n)$  для 0-класса качества обслуживания (рекомендация Y.1541) проводилось при ограничении максимально допустимой вносимой задержки в ПМ  $t_{\text{ПМ}} = 10$  мс и допустимом коэффициенте потерь пакетов  $P_{\text{loss}} = 10^{-3}$  (рисунок 3).

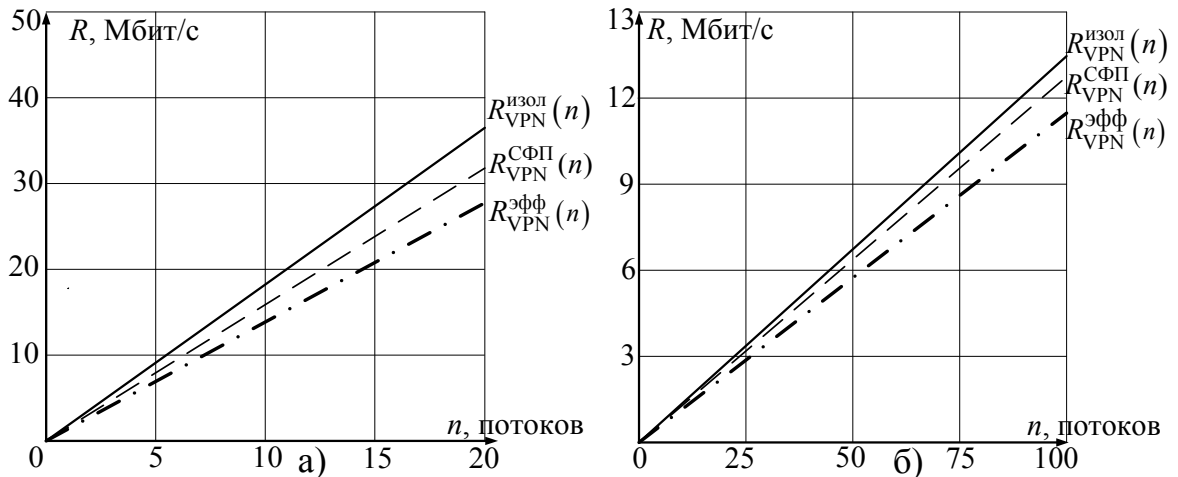


Рисунок 3 – Результаты численного анализа резервируемого канального ресурса агрегированного потока данных а) видеотелефонии, б) IP-телефонии

С целью практического исследования разработанного алгоритма был спланирован и проведен имитационный эксперимент, функцией отклика которого было выбрано значение  $t_{\text{ПМ}}$  агрегированного потока данных, а фактором – значение резервируемого КР [4]. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4.

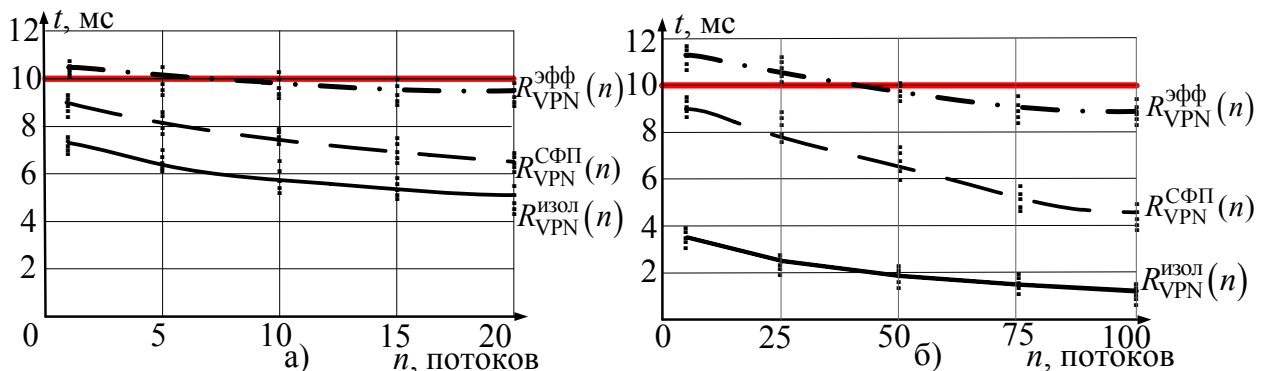


Рисунок 4 – Экспериментальное оценивание максимально достижимой задержки в ПМ: а) видеотелефония, б) IP-телефония

Экспериментальное исследование разработанного алгоритма показало возможность оценки с его помощью требуемого КР для обслуживания поступающей нагрузки с гарантированным качеством. При обслуживании агрегированного потока IP-телефонии и видеотелефонии задержка обработки пакетов данных в ПМ не превышает заданное значение, в то время как при использовании модели агрегирования на основе эффективной скорости передачи данное условие на всем диапазоне входных данных не выполняется.

**Третий раздел** посвящен разработке и оцениванию свойств алгоритма, обеспечивающего решение задачи допуска потоков данных реального времени в транспортную сеть в условиях перегрузки.

Приоритет потока вычисляется исходя из выражения:

$$Pr_i = (kat - kat_i^A) \times S + kat_i^B,$$

где  $S$  – количество предоставляемых сетью связи сервисов,  $kat$  – количество категорий пользователей;  $kat_i^A$  – категория пользователя-источника;  $kat_i^B$  – категория пользователя-получателя. При недостаточности КР решается задача определения оптимального набора потоков данных с максимальным суммарным приоритетом. Данная задача может быть отнесена к классу задач «рюкзачного» типа. Поскольку допуск потоков осуществляется в режиме реального времени, то решающее значение имеет быстродействие алгоритма, а не его точность. В работе предлагается для этих целей использовать «жадный» алгоритм как наиболее быстрый. Критерий максимального суммарного приоритета не дает однозначного решения. Для разрешения неоднозначности используется второй критерий, учитывающий длительность установленных сеансов связи. При таком подходе для потоков данных одного приоритета блокируются соединения с максимальной длительностью установленных сеансов связи (рисунок 5).

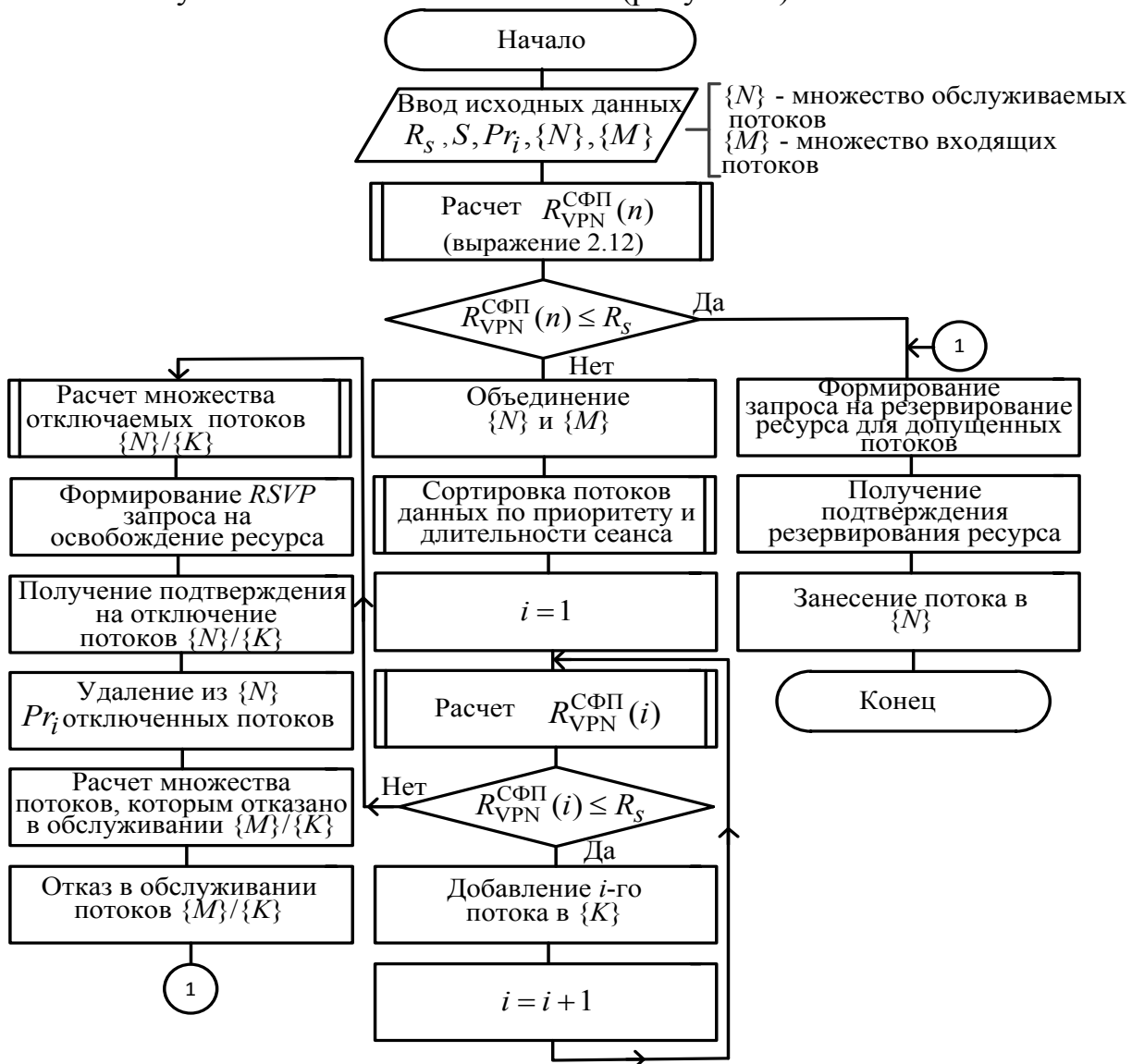


Рисунок 5 – Схема алгоритма допуска потоков в транспортную сеть защищенной корпоративной мультисервисной сети связи

Свойства разработанного алгоритма были оценены методом имитационного моделирования. Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Нагрузочные характеристики моделируемой защищенной корпоративной сети связи

Услуга	$N^{TA}$ ед.	$Z^{TA}$ Эрл	$p$ Мбит/с	$r$ Мбит/с	$L$ Байт	Арендуемый канальный ресурс, Мбит/с
IP-телефония	250	0,4	0,126	0,107	254	100
Видеотелефония	70	0,2	1,74	1,22	1392	

В качестве показателя оценивания степени использования КР ЗКМСС при возникновении перегрузки выбрана вероятность потерь вызовов приоритетных пользователей, при этом принято допущение, что нагрузка, создаваемая абонентами высших категорий, обслуживается с гарантированным качеством.

Реализация разработанного алгоритма позволяет уменьшить вероятность потерь вызовов за счет более точного оценивания требуемого КР по сравнению с ранее применимыми моделями. Полученный эффект относительно нормированного значения вероятности потерь вызовов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Технический эффект от применения модельно-алгоритмического инструментария (МАИ) при возникновении перегрузки при  $\pi^1 = 0,03$

Услуга	Резервируемый канальный ресурс на этапе проектирования сети, Мбит/с	Канальный ресурс, вычисленный на основе $R_{VPN}^{СФП}(n)$ , Мбит/с	$\Delta\pi^1$ после применения МАИ	Технический эффект, %
Видеотелефония	34,8	32,3	0,008	27 %
IP-телефония	13,8	13,7	0,004	13 %

Результаты работы алгоритма в отсутствие перегрузки представлены на рисунке 6.

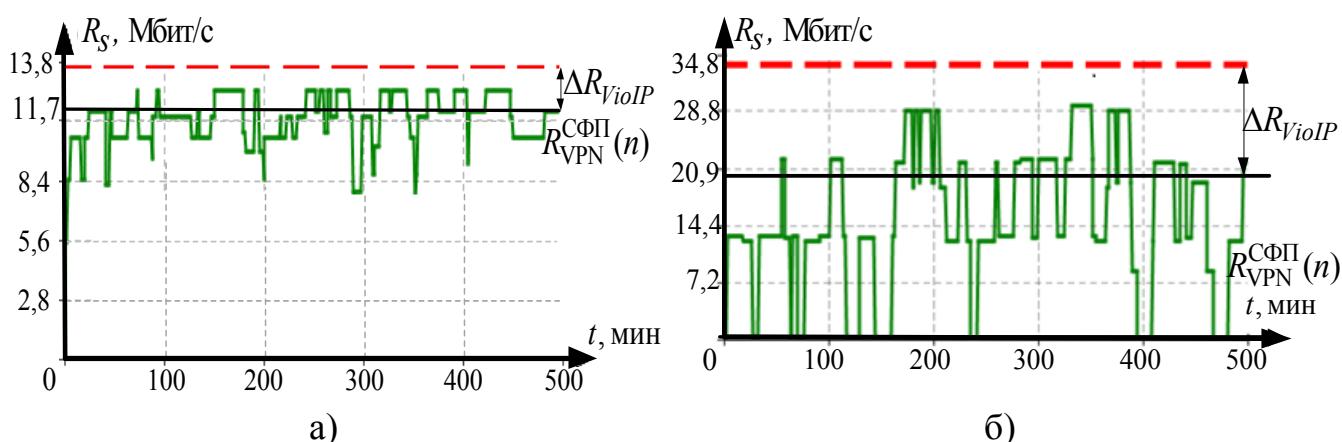


Рисунок 6 – Зависимость выделяемого канального ресурса от времени функционирования имитационной модели при предоставлении услуги  
а) IP-телефонии, б) видеотелефонии

Пунктирной линией на обоих графиках обозначен максимальный КР, резервируемый на этапе планирования сети с применением моделей теории телетрафика, для предоставления услуг IP-телефонии и видеотелефонии с требуемым качеством на уровне вероятности потерь вызовов, принятой равной 0,03 для ЗКМСС.

В каждый момент времени для обслуживания предложенной нагрузки услуг реального времени с требуемым качеством достаточно выделить ресурс, рассчитанный по разработанному алгоритму динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока данных реального времени на основе СФП, обозначенный ломаной линией. Разность между пунктирной и ломаной линиями определяет незадействованный КР трафиком каждого сервиса. Прямой сплошной линией обозначено усредненное значение задействованного КР в течение времени проведения опыта. Эффект от применения разработанного алгоритма в отсутствие перегрузки заключается в возможности перераспределения незадействованного КР, резервируемого для услуг IP-телефонии, видеотелефонии в пользу услуги передачи данных.

Степень использования суммарного резервируемого ресурса при предоставлении услуги IP-телефонии и видеотелефонии на этапе планирования КР можно повысить приблизительно до 40 % в течение 500 мин функционирования ЗКМСС.

Выражение для расчета технического эффекта:

$$\delta^{\text{исп}}(t) = \frac{\sum_{s=1}^n \Delta R_s}{\sum_{s=1}^n R_s} \cdot 100\%,$$

где  $\Delta R_s = R_s - \sum_{l=1}^L R_{\text{VPN}l}^{\text{СФП}}(n)$  – незадействованный КР для предоставления s-го предоставляемого сервиса,  $R_s$  – канальный ресурс, зарезервированный для предоставления s-го предоставляемого сервиса на этапе планирования,  $R_{\text{VPN}l}^{\text{СФП}}(n)$  – КР, рассчитанный на основе разработанного алгоритма динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока СФП для l-го VPN-туннеля из множества  $L$  VPN-туннелей, создаваемых для s-го предоставляемого сервиса. Оцененный эффект является частной опытной реализацией. Минимальный и максимальный частные эффекты представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Технический эффект от применения модельно-алгоритмического инструментария в отсутствие перегрузки

Высвобожденный канальный ресурс при предоставлении услуги IP-телефонии, Мбит/с	Высвобожденный канальный ресурс при предоставлении услуги видеотелефонии, Мбит/с	Эффект от перераспределения канального ресурса, %
1,74 – 3,31, 13 – 24 %	10,9 – 15,1, 32 – 44%	25 – 40

В четвертом разделе представлены алгоритмы, обеспечивающие согласование поступающих потоков данных с VPN. Алгоритмы позволяют гибко использовать КР арендуемого канала связи за счет переконфигурирования планировщика пограничного маршрутизатора (ПМ).

Алгоритм классификации трафика используется для идентификации потоков данных и их отнесения к VPN-туннелям, а также реализует процедуру фиксирования и запоминания времени установления сеанса связи, что в последующем позволит определять время занятия КР каждого установленного сеанса связи (рисунок 7).

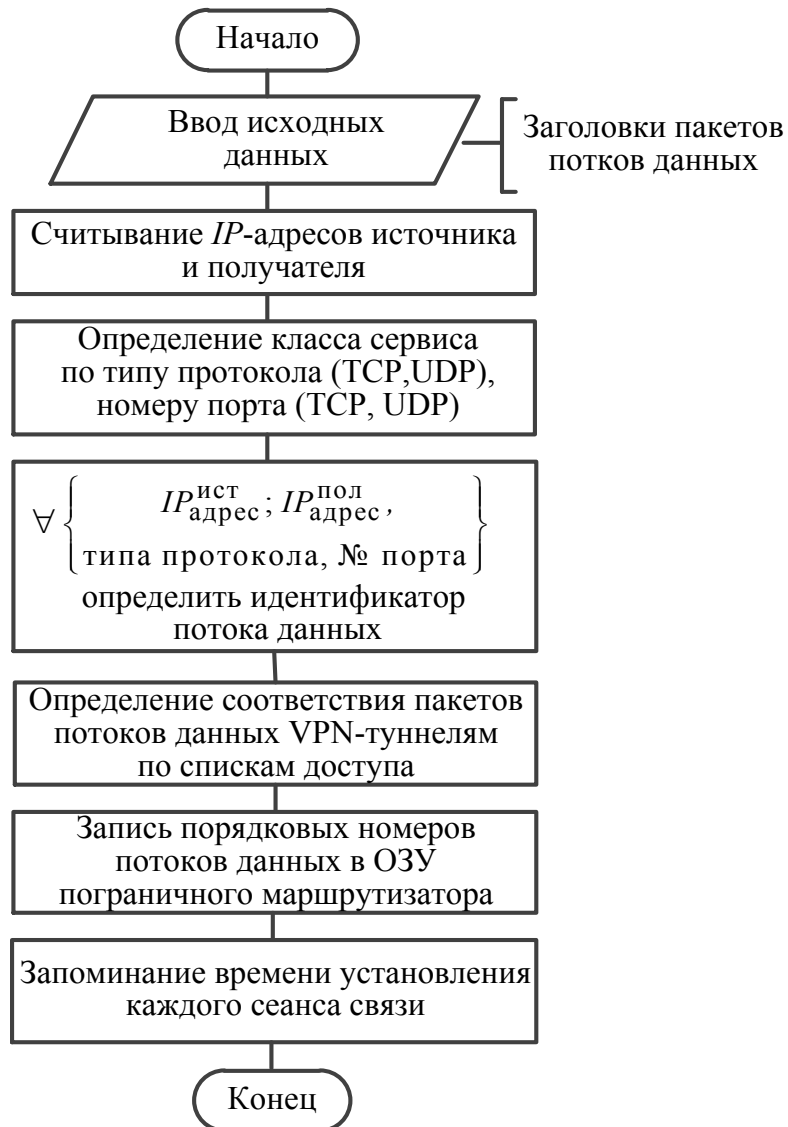


Рисунок 7 – Схема алгоритма классификации трафика

Для обеспечения качества обслуживания потоков данных, передаваемых по всем VPN-туннелям, в отсутствие перегрузки реализован алгоритм сглаживания трафика, выполняющий задачу формирования трафика VPN-туннелей каждого класса сервиса, поступающих из криптомодуля (КМ), в соответствии с параметрами изменившейся нагрузки по классам трафика, и передачи пакетов VPN-туннелей в выходной порт VPN-шлюза (рисунок 8).

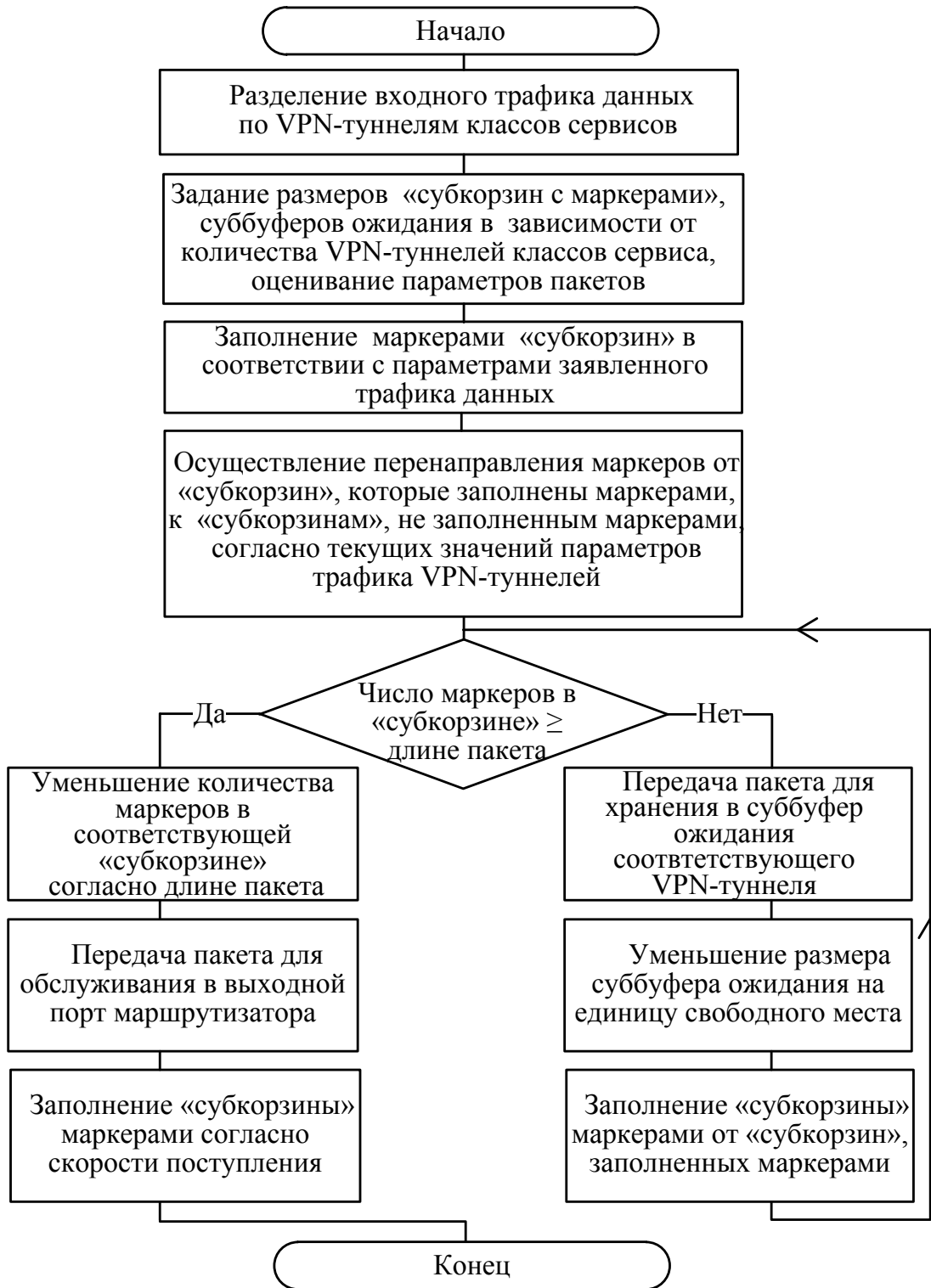


Рисунок 8 – Схема алгоритма сглаживания трафика

Перераспределение КР между сервисами в отсутствии перегрузки достигается посредством выполнения алгоритма управления планировщиком ПМ, вычисляющего веса очередей пакетов механизма WFQ и обеспечивающего переконфигурирование планировщика в соответствии с изменяющейся обстановкой по нагрузке информационных направлений и классов трафика с целью предоставления незадействованного КР, зарезервированного для



высокоприоритетных услуг, в интересах низкоприоритетных (передачи данных) (рисунок 9). Функционирование алгоритма осуществляется при каждом изменении нагрузки для предоставляемых классов сервиса.

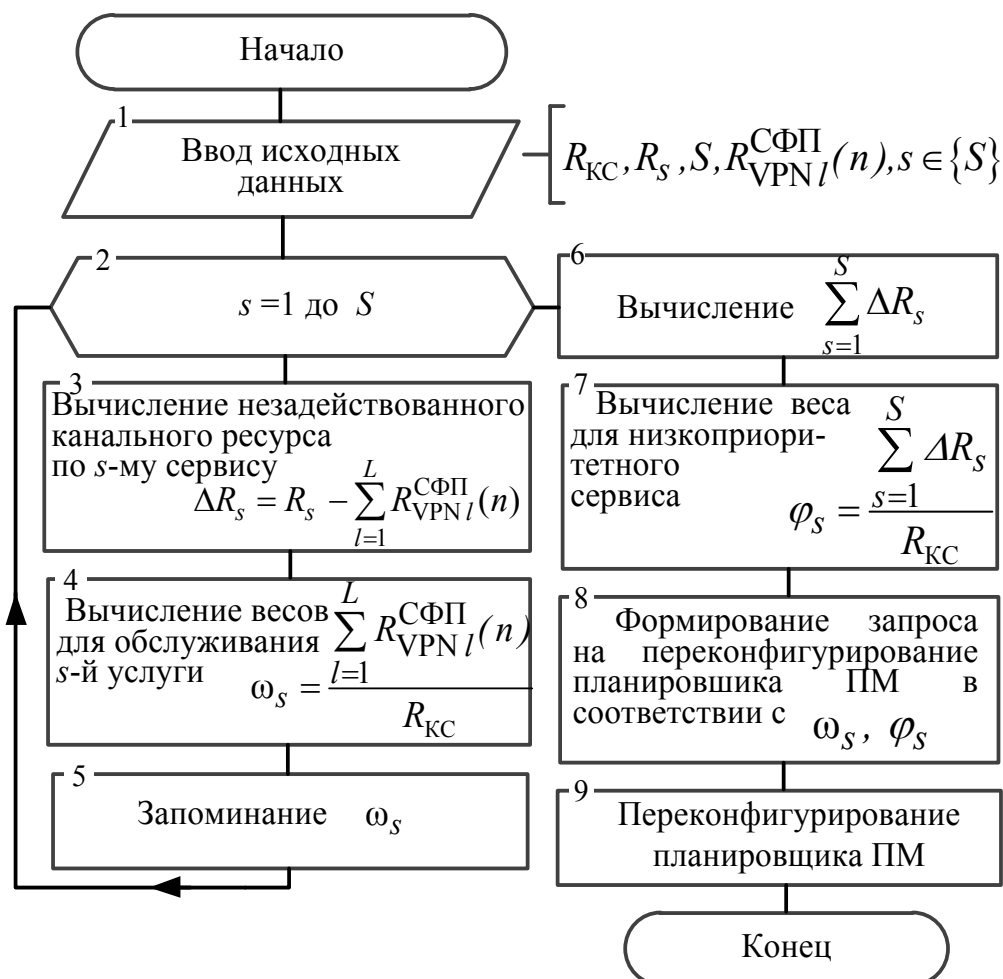


Рисунок 9 – Схема алгоритма управления планировщиком пограничного маршрутизатора

Использование разработанного комплекса алгоритмов позволяет реализовать динамическое управление арендуемым КР транспортной сети за счет классификации, сглаживания, управления планировщиком ПМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационного исследования состоят в следующем.

1. Экспериментальное исследование применимости существующих математических моделей, позволяющих выявить зависимость достижимого уровня качества обслуживания потоков данных реального времени от конфигурации системы управления нагрузкой, планировщика обслуживания пакетов при описании параметров агрегированных потоков на выходе VPN-шлюза, доказало их неадекватное функционирование.

2. Предметно-классификационный анализ условий функционирования защищенных корпоративных мультисервисных сетей связи показал, что для эффективного использования арендуемых ресурсов транспортной сети коммутации пакетов целесообразно учитывать влияние процедуры шифрования данных в VPN-шлюзах на параметры трафика, генерируемого терминальным оборудованием.

3. Разработанный алгоритм динамического резервирования канального ресурса агрегированного потока данных реального времени VPN-туннеля позволяет выявить зависимости между достижимым уровнем качества обслуживания потоков данных реального времени, зарезервированным канальным ресурсом и конфигурацией механизмов системы управления потоками, интегрированной в VPN-шлюз.

4. Разработанный алгоритм допуска потоков в сеть позволяет учесть приоритеты и длительность сеанса поступающих на обслуживание потоков данных сервисов реального времени и уменьшить вероятность потерь вызовов от высокоприоритетных пользователей. При функционировании сети в условиях перегрузки выигрыш (по значению вероятности потерь вызовов) от применения алгоритма может достигать до 30%.

5. Разработанный комплекс алгоритмов согласования трафика с VPN-туннелем совместно с алгоритмом допуска потоков в сеть дает возможность повысить степень использования канального ресурса: в условиях штатного функционирования сети доступа за счет перераспределения незадействованного канального ресурса между предоставляемыми инфокоммуникационными сервисами, а в условиях возникновения перегрузки за счет решения задачи выбора оптимального набора допущенных к обслуживанию потоков с учетом их приоритетов. При отсутствии перегрузки повышение степени использования резервируемого на этапе планирования сети канального ресурса федерального сегмента может достигать до 40 %.

### **Список публикаций по теме диссертации**

#### **Публикации в рецензируемых научных изданиях, включенных Высшей аттестационной комиссией России в список изданий, рекомендованных для опубликования основных научных результатов:**

1. Миронов, О.Ю. Проблемы внедрения NGN-технологий в корпоративные инфокоммуникационные системы / О.Ю. Миронов, И. А. Саитов, И. А. Орлов // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 4 (72). – С. 111-116.

2. Миронов, О.Ю. Управление доступом потоков данных в мультисервисных сетях связи, развернутых в интересах мониторинга Единой системы газоснабжения России с учетом эффекта группирования потоков / О.Ю. Миронов // Телекоммуникации. – 2016. – № 5. – С. 42-48.

3. Миронов, О.Ю. Моделирование потоков данных реального времени в защищенных корпоративных мультисервисных сетях связи на основе детерминированного сетевого исчисления / О.Ю. Миронов Д.В. Шелковый, О.О.

Басов // Научные ведомости Белгородского государственного университета – Экономика. Информатика. – 2018. – Т. 45. – № 3. – С. 584-594.

4. Миронов, О.Ю. Математическая модель узла группирования потоков данных реального времени, учитывающая изменение длин генерируемых пакетов, пиковой и средней скорости передачи данных, задержки обработки пакетов в процессе шифрования / О.Ю. Миронов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2018. – Т. 12. – № 8. – С. 77-87.

#### **В других изданиях:**

5. Миронов, О.Ю. Способ сглаживания приоритетного трафика данных и устройство для его осуществления: Пат. 2601604 Российская Федерация Н04L 12/819; Н04L 12/861, / Р.Б. Трегубов, С.Ю. Андреев, С.В. Козлов, О.Ю. Миронов, Д.В. Шелковый; заявитель и патентообладатель ФГКВОУ ВО Академия ФСО России. – № 2015137508; заявл. 02.09.2015; опубл. 10.11.2016, бюл. № 31.

6. Миронов, О.Ю. Расчет ресурсов для группового потока данных: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017614736 Российская Федерация / О.Ю. Миронов, С.В. Козлов, Г.Г. Кучук, С.Ю. Андреев; № 2017612481; заявл. 21.03.2017; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.04.2017 г.

7. Миронов, О.Ю. Модуль перераспределения ресурсов: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017615487 Российская Федерация / О.Ю. Миронов, С.В. Козлов, А.К. Матвеев, О.Ю. Зрилов; № 2017612501; заявл. 21.03.2017; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17.05.2017 г.

8. Миронов, О.Ю. Модуль управления допуском потоков данных: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017615514 Российская Федерация / О.Ю. Миронов, Е.В. Лебеденко, В.В. Голдин, О.Ю. Зрилов; № 2017612492; заявл. 21.03.2017; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17.05.2017 г.

9. Миронов, О.Ю. Программный модуль управления планировщиком пограничного MPLS маршрутизатора VPN: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2018617168 Российская Федерация / О.Ю. Миронов, Д.А. Егорченков; Д.В. Шелковый, А.В. Богатырева; № 2018614940; заявл. 03.05.2018; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.06.2018 г.

10. Миронов, О.Ю. Обеспечение качества обслуживания блоков данных в инфокоммуникационных сетях технологического управления / О.Ю. Миронов // «ИНФОКОМ - 2013»: Международная молодежная научно-практическая конференция (22-25 апреля 2013 г.). – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ. – 2013. – С. 144–147.

11. Миронов, О.Ю. Управление доступом потоков данных в мультисервисных сетях связи промышленного назначения / О.Ю. Миронов // «Научная сессия ТУСУР – 2015»: XX всероссийская научно-

техническая конференция (13-15 мая 2015 г.). – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – 2015. – С. 127-129.

12. Миронов, О.Ю. Обеспечение гарантированного обслуживания потоков данных в мультисервисных сетях связи промышленного назначения / О.Ю. Миронов // «ИНФОКОМ - 2015»: VIII Международная молодежная научно - практическая конференция (22-25 апреля 2015 г.). – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ. – 2015. – С. 202–205.

13. Миронов, О.Ю. Математическое представление доступа потоков данных в сети передачи данных системы управления единой системы газоснабжения РФ / О.Ю. Миронов, Ю.И. Игнатов, В.Г. Кучук // XXI международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации». – Воронеж: ВГТУ. – 2015. – С. 327-333.

14. Миронов, О.Ю. Обеспечение приоритетного обслуживания потоков данных в режиме перераспределения сетевых ресурсов распределенной информационной системы / О.Ю. Миронов, В.А. Дунаев, К.Ю. Петрухин. // XXII международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации». – Воронеж: ВГТУ. – 2017. – С. 268-273.

15. Миронов, О.Ю. Управление доступом потоков данных к сетевым ресурсам распределенных информационных систем / О.Ю. Миронов, Ю.Н. Игнатов, Е.А. Кудрявцев // XXII международная открытая научная конференция «Современные проблемы информатизации». – Воронеж: ВГТУ. – 2017. – С. 37-41.

16. Миронов, О.Ю. Управление доступом потоков данных реального времени в защищенных корпоративных мультисервисных сетях связи / О.Ю. Миронов // «Технологии информационного общества»: XII Международная отраслевая научно-техническая конференция (14-15 марта 2018 г.). – Москва: МТУСИ. – 2018. – С. 70-73.

**Миронов Олег Юрьевич**

#### АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 13.11.2019 г. Формат 29,7×42/4. Усл. печ. л. 1,15. Тираж 70 экз. Заказ № .

Размножено в типографии Академии ФСО России. 302015, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35.