

УДК 061.68

ПОТОКОВАЯ МОДЕЛЬ VPN С УЧЕТОМ ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТА В СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.С. ВРУБЛЕВСКИЙ, А.А. БЫСОВ

Военная академия Республики Беларусь, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 20 марта 2023

Аннотация. В статье представлена потоковая модель VPN, учитывающая задержку передачи пакета, при планировании VPN-туннелей в сети электросвязи специального назначения.

Ключевые слова: сеть электросвязи специального назначения, потоковая модель VPN, задержка передачи пакета, качество обслуживания пользователей.

Введение

Современная технологическая революция в области инфокоммуникаций, связанная с концепцией сетей следующего поколения (Next Generation Networks, NGN) и внедрения платформы IMS (IP Multimedia Subsystem), оказывает существенное влияние на развитие СЭСН, функционирующих в интересах органов: государственной власти, обороны страны и безопасности государства.

В СЭСН активно внедряются современные услуги: видеоконференцсвязь, IP-телефония, электронная почта, передача файлов, веб-сервисы и другие, следовательно, становится задачей обеспечения качества обслуживания пользователей – Quality of Service (QoS) [1].

Предоставление современных инфокоммуникационных услуг в СЭСН предполагает широкое использование IP-шифраторов и криптомаршрутизаторов совместно с технологией виртуальных частных сетей (Virtual Private Network, VPN).

Использование IP-технологий делает СЭСН во многом схожими с сетью электросвязи общего пользования (СЭОП), однако можно выделить отличительную особенность: в сети доступа в СЭСН есть высокоскоростные участки в десятки и сотни Мбит/с, а на транспортном уровне пропускная способность может существенно снижаться (до пропускной способности эквивалентной цифровому потоку Е1 – 2048 кбит/с), что создает эффект «бутылочного горлышка», тем самым ухудшая показатели качества обслуживания пользователей. Следовательно, необходимо применять дополнительные методы, учитывающие наличие низкоскоростных участков в СЭСН и позволяющие максимально и сбалансированно использовать весь ресурс сети, а не только ресурс отдельных каналов связи.

В теории построения инфокоммуникационных сетей данный класс методов получил название Traffic Engineering (ТЕ – инжиниринг трафика). На сегодняшний день не существует универсального и стандартизированного подхода применения данных методов не только в СЭСН, но и в СЭОП.

Методы ТЕ позволяют не только определить оптимальный маршрут для потока трафика, но и резервируют для него пропускную способность ресурсов сети, находящихся в этом маршруте [2].

На основе созданной аналитической модели VPN в СЭСН проведен сравнительный анализ используемых в СЭСН протоколов маршрутизации (RIP, OSPF) и перспективной для СЭСН технологии ТЕ.

Сравнительный анализ позволил показать, что использование традиционных протоколов маршрутизации (RIP, OSPF) позволяет использовать до 40 % ресурса СЭСН, что обусловлено выбором единственного маршрута. Следствием одномаршрутности протоколов RIP и OSPF

является непропорциональная нагрузка маршрутизаторов. На имитационной модели СЭСН [3] был проведен эксперимент (см. рис. 1), который показал, что наиболее загруженными являются маршрутизаторы 2, 4, 5, 8, 11, 12, 20, 21, 22, 23, что обусловлено топологическими особенностями СЭСН и скоростными параметрами используемых в СЭСН цифровых систем передачи. Применение в тех же условиях ТЕ позволяет добиться равномерного распределения нагрузки на сеть (см. рис. 1).

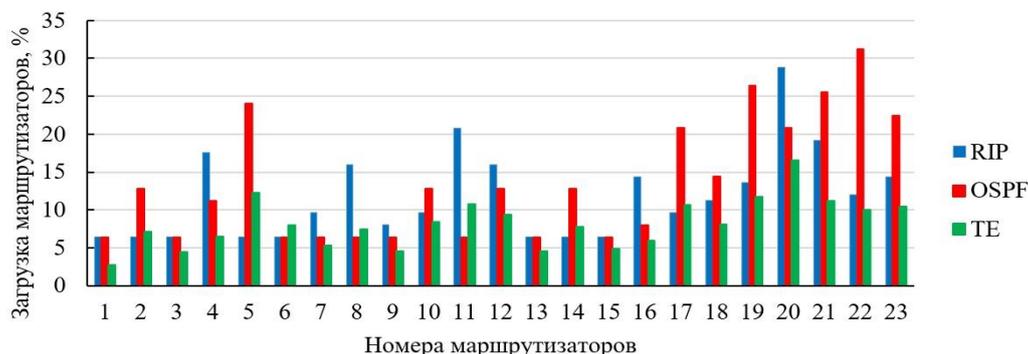


Рис. 1. Загрузка маршрутизаторов СЭСН

Таким образом, разработка научно обоснованных методов инжиниринга трафика для СЭСН при планировании VPN-туннелей, и их реализация совместно с современными концепциями QoS является сложной и актуальной научной задачей.

Потоковая модель VPN без учета задержки передачи пакета

Для реализации механизмов ТЕ в СЭСН, как и в СЭОП основным параметром является пропускная способность каналов связи между коммутационными устройствами – ресурс сети.

Определение ресурса сети для планирования VPN-туннелей в транспортной сети СЭОП осуществляется посредством применения потоковой модели VPN [4], где в качестве ресурса рассматривается пропускная способность,

$$\Delta = Q_{\text{опт}} - \Lambda = [q_{ij_{\text{опт}}} - \lambda_{ij}], \forall i, j, \quad (1)$$

где $q_{ij_{\text{опт}}}$ – минимальная пропускная способность оптимального маршрута $p_{\text{опт}}^{(ij)}$ между маршрутизаторами i и j ; λ_{ij} – интенсивность трафика между маршрутизаторами i и j .

Согласно выражению (1), ресурс сети по пропускной способности равен разности матрицы минимальных пропускных способностей для каждого оптимального пути $Q_{\text{опт}}$ и матрицы интенсивности трафика между маршрутизаторами Λ .

Потоковая модель VPN с учетом задержки передачи пакета

Однако, с учетом требований по задержки передачи пакета, выражение (1) принимает вид:

$$\Delta^{(w_k)} = \begin{cases} \Delta = Q_{\text{опт}} - \Lambda |_{w^{(ij)} < w_k, \forall k = \overline{1,7}}, \\ w^{(ij)} = w_{\text{во}}^{(ij)} + w_{\text{р}}^{(ij)} + w_{\text{опр}}^{(ij)} + w_{\text{о}}^{(ij)} + w_{\text{с}}^{(ij)}, \end{cases}$$

где w_k – пороговое значение задержки передачи пакета для определенного класса трафика $k = \overline{1,7}$, определенного в соответствии с [5]; $w^{(ij)}$ – суммарная задержка передачи пакета между маршрутизаторами i и j ; $w_{\text{во}}^{(ij)}$ – задержка внеузловой обработки, которая задается в зависимости от кодека работы оконечного устройства; $w_{\text{р}}^{(ij)}$ – задержка распространения пакета;

$w_{\text{обр}}^{(ij)}$ – задержка обработки пакета маршрутизатором; $w_{\text{о}}^{(ij)}$ – задержка ожидания пакета в буфере маршрутизатора; $w_{\text{с}}^{(ij)}$ – задержка сериализации пакета.

Согласно предложенной модели запас по пропускной способности равен разности матриц $Q_{\text{опт}}$ и Λ , если задержка передачи пакета $w^{(ij)}$ не достигнет порогового значения w_k , это позволяет не учитывать «несуществующий» ресурс сети по пропускной способности, ввиду невыполнения требований качества обслуживания. В свою очередь, используемая в настоящее время потоковая модель (1) показывает, что ресурс сети по пропускной способности есть (на рис. 2 представлен закрашенной областью) и может быть использован для планируемых VPN-туннелей.

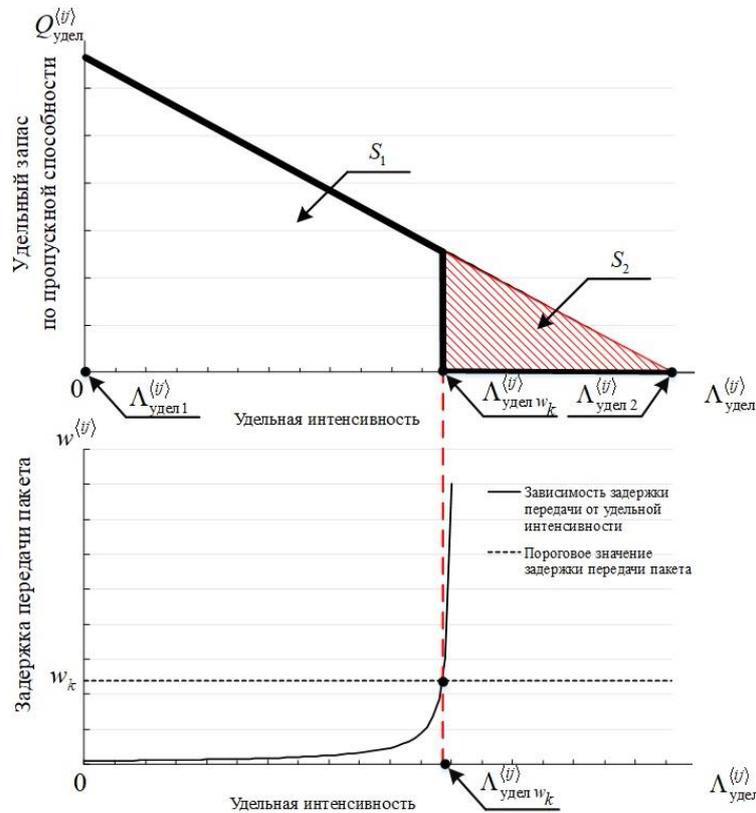


Рис. 2. Зависимости удельного запаса по пропускной способности и задержки передачи пакета от удельной интенсивности

На рис. 2 представлены следующие зависимости, расположенные соосно: зависимость удельного запаса по пропускной способности $Q_{\text{удел}}^{(ij)}$ от удельной интенсивности трафика $\Lambda_{\text{удел}}^{(ij)}$; зависимость задержки передачи пакета $w^{(ij)}$ от удельной интенсивности трафика $\Lambda_{\text{удел}}^{(ij)}$.

В СЭСН каждому организуемому VPN-туннелю предъявляются требования по пропускной способности и по задержки передачи пакета. Следовательно, использование модели (1) при планировании VPN-туннелей без учета задержки передачи пакета приводит к появлению ошибки определения запаса по пропускной способности для планируемых VPN-туннелей $k_{\text{ош}}$ (далее – ошибки).

Исходя из зависимости удельного запаса по пропускной способности от удельной интенсивности трафика, представленной на рис. 2, ошибка равна отношению

$$k_{\text{ош}} = \frac{S_w}{S_{\text{без } w}} \cdot 100 \% = \frac{S_2}{S_1 + S_2} \cdot 100 \% ,$$

где $S_1 = \int_{\Lambda_{удел\ w_k}^{(ij)}}^{\Lambda_{удел1}^{(ij)}} Q_{удел}^{(ij)}(\Lambda_{удел}^{(ij)}) d\Lambda_{удел}^{(ij)}$ – площадь всей фигуры под кривой $Q_{удел}^{(ij)}(\Lambda_{удел}^{(ij)})$ до достижения допустимого порогового значения задержки передачи на отрезке $(\Lambda_{удел1}^{(ij)}, \Lambda_{удел\ w_k}^{(ij)})$; $S_2 = \int_{\Lambda_{удел\ w_k}^{(ij)}}^{\Lambda_{удел2}^{(ij)}} Q_{удел}^{(ij)}(\Lambda_{удел}^{(ij)}) d\Lambda_{удел}^{(ij)}$ – площадь фигуры под кривой $Q_{удел}^{(ij)}(\Lambda_{удел}^{(ij)})$ после достижения допустимого порогового значения задержки передачи на отрезке $(\Lambda_{удел\ w_k}^{(ij)}, \Lambda_{удел2}^{(ij)})$.

Для предлагаемой модели проведено исследование влияния на ошибку следующих факторов:

- изменение пропускной способности каналов связи между маршрутизаторами (рис. 3);
- изменение допустимой задержки передачи пакета для определенного класса трафика (рис. 4);
- изменение средней длины передаваемых IP-пакетов (рис. 5).

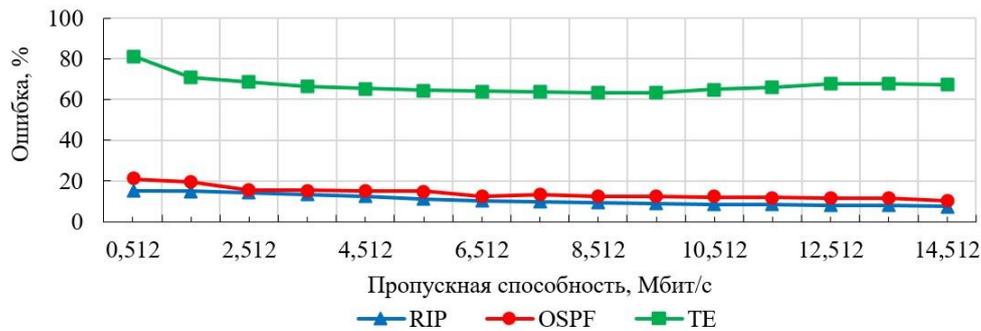


Рис. 3. Зависимость ошибки от пропускной способности каналов связи между маршрутизаторами

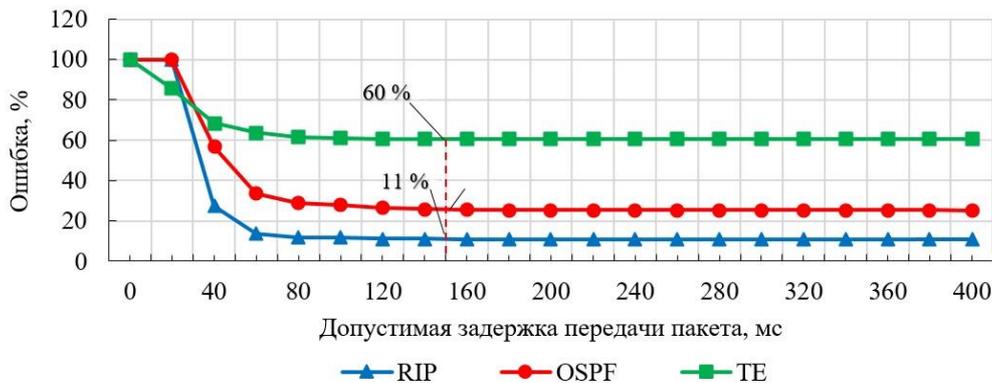


Рис. 4. Зависимость ошибки от допустимой задержки передачи пакета

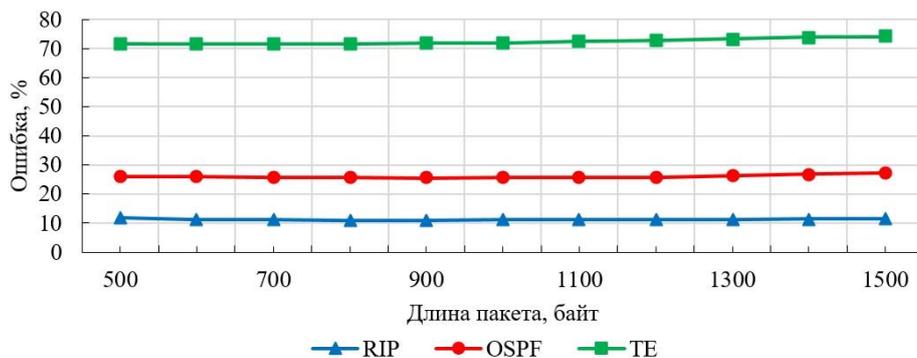


Рис. 5. Зависимость ошибки от средней длины IP-пакета

Анализ зависимостей, представленных на рис. 3, показывает, что при значительном увеличении пропускных способностей каналов связи между маршрутизаторами значение ошибки может быть равно нулю, что приведет к равенству величины запаса по пропускной

способности без учета задержки передачи пакета Δ и запаса по пропускной способности с учетом задержки передачи пакета $\Delta^{(w_k)}$ – потоковая модель с учетом задержки вырождается в классическую потоковую модель VPN.

Диапазон изменения допустимой задержки передачи пакета от 0 – до 400 мс соответствует требованиям к QoS, представленным в [5] для интерактивного трафика. Из анализа зависимостей следует, что изменение допустимой значений задержки передачи пакета в рассматриваемом диапазоне не вносит значительных изменений в ошибку, что можно объяснить экспоненциальной зависимостью задержки передачи пакета от удельной интенсивности трафика (см. рис. 4) вследствие лавинообразного возрастания задержки ожидания пакетов в буфере маршрутизаторов при перегрузках в СЭСН. Для номинального значения допустимой задержки передачи пакета (150 мс), соответствующего нулевому классу трафика, ошибка при однопутевом маршрутировании (RIP, OSPF) составляет от 11 до 25 %, а при многопутевом – 60 %. Таким образом, для основного протокола маршрутизации (OSPF), используемого в СЭСН, существующая потоковая модель VPN вносит до 25 % ошибки при планировании VPN-туннелей, а для перспективной технологии TE ошибка составляет 60 %, что приводит к нерациональной оценке ресурса сети на этапе ее планирования.

Зависимости, представленные на рис.5, получены, при изменении длины IP-пакета от 500 до 1500 байт, что соответствует минимальной и максимальной длине пакета. Анализ зависимостей показывает, что увеличение длины пакета несущественно влияет на ошибку (изменение ошибки составляет от 2 до 4 %).

Заключение

Применение методов TE в СЭСН при планировании VPN-туннелей позволит обеспечить сбалансированную загрузку сети (до 100 % ресурса сети) в сравнении с традиционными одномаршрутными протоколами RIP и OSPF (обеспечивают использование до 40 % ресурса сети).

При необходимости передачи в планируемом VPN-туннеле интерактивного трафика возникает задача определения запаса по пропускной способности с учетом требований обеспечения качества обслуживания пользователей СЭСН. При этом, использование потоковой модели VPN приводит к существенной ошибке определения запаса по пропускной способности (при номинальном пороговом значении задержки 150 мс для одномаршрутных протоколов ошибка составляет от 11 до 25%, а для многомаршрутных – 60 %).

HOSE MODEL OF VPN WITH DELAY IN A COMMUNICATION NETWORKS OF SPECIAL PURPOSE

S.S. VRUBLEVSKY, A.A. BYSOV

Abstract. The article presents a hose model of VPN that takes into delay when planning VPN tunnels in communication networks of special purpose.

Keywords: communication networks of special purpose, hose model of VPN, delay, quality of service.

Список литературы

1. Абазина Е.С., Бусыгин А.В., Одоевский С.М. // Труды воен.-косм. акад. им. А. Ф. Можайского. 2020. № 672. С. 41–47.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб. Питер, 2015.
3. Машкин Е.В., Бысов А.А., Врублевский С.С. // Весн. сувязі. 2022. № 5 (175). С. 68–72.
4. Росляков А.В. Разработка моделей и методов анализа виртуальных частных сетей с учетом особенностей их практической реализации : автореф. дис. д-ра техн. наук. Самара, 2008.
5. Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколе IP. Женева, 2006.