



УДК 004.724.4

МОДЕЛЬ УЗЛА КОММУТАЦИИ КОРПОРАТИВНОЙ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**THE COMPANY MULTISERVICE NETWORK NODE MODEL****И.А. Саитов, О.О. Басов, О.В. Романюк, Д.В. Шелковый****I.A. Saitov, O.O. Basov, O.V. Romanyuk, D.V. Shelkovyy**

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»,
Россия, 302034, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35

Federal state military educational institution of higher professional education "Academy of the Federal security service of the Russian Federation", 35 Priborostroitelnaya St, Orel, 302034, Russia

e-mail: akramovish@mail.ru, oobasov@mail.ru, romolew@inbox.ru, shelkovoydenis@mail.ru

Аннотация

С целью повышения степени использования арендуемого у операторов связи канального ресурса транспортного уровня корпоративной мультисервисной сети связи требуется совершенствование существующих и разработка новых механизмов управления трафиком. При этом сложность в практической реализации таких механизмов возникает из-за отсутствия подходящих математических моделей сетевых узлов, позволяющих учесть особенности функционирования и обработки шифрованного трафика в таких сетях. В данной статье представлена модель узла коммутации корпоративной мультисервисной сети связи, отличающаяся от существующих учетом зависимости качества обслуживания трафика от параметров входящих потоков и характеристик загруженности исходящих каналов связи. Представлены результаты исследования разработанной математической модели на адекватность и состоятельность получаемых оценок в среде имитационного моделирования AnyLogic Professional v.6.

Abstract

In order to increase the degree of using of the channel resource leased from telecom providers in corporate multiservice communication network, it is necessary to improve existing and develop new traffic management mechanisms. Moreover, the complexity in the practical implementation of such mechanisms arises from the lack of suitable network node mathematical models that allow to take into account the features of the functioning and processing of encrypted traffic in such networks. This article presents a model of the corporate multiservice communication network node, which differs from the existing ones considering the dependence of the quality of the traffic servicing on the parameters of the incoming streams and the characteristics of the congestion of the outgoing communication channels. The results of a studying the developed mathematical model on the adequacy and consistency of the obtained estimates in the simulation environment AnyLogic Professional v.6 are presented.

Ключевые слова: корпоративная мультисервисная сеть связи, узел коммутации, качество обслуживания, криптотуннель, эффективно предоставляемая пропускная способность.

Keywords: the company multiservice network, node, quality of service, cryptotunnel, effective bandwidth.

В настоящее время в целях повышения конкурентоспособности, эффективности и результативности функционирования крупных компаний и корпораций, а также минимизации угроз для бизнеса за счет сохранности передаваемой и хранимой информации создаются защищенные корпоративные мультисервисные сети связи (КМСС). Данные сети строятся в соответствии с основными положениями концепции сетей связи следующего поколения (NGN – Next Generation Networks) [Бакланов И.Г., 2008; Рекомендация МСЭ-Т Y. 2001].

Согласно данной концепции можно выделить 3 основных уровня КМСС: уровень доступа, транспортный уровень, уровень услуг и управления.



Уровень доступа обеспечивает подключение оконечных терминалов пользователей, агрегацию пользовательских потоков и передачу их с применением различных технологий до транспортной сети. Канальный и коммутационный ресурс данного уровня чаще всего принадлежит корпорации.

Транспортный уровень обеспечивает передачу агрегированных потоков сетей доступа между территориально распределенными сегментами (филиалами) КМСС с требуемым уровнем качества обслуживания (КО) [Recommendation Y.1540; Recommendation Y.1541].

Немаловажным остается факт, что каналный ресурс данного уровня, в силу предъявляемых к нему требований по протяженности и пропускной способности (ПС), зачастую арендуется у операторов связи в виде виртуальных каналов (VPN – Virtual Private Networks).

Узлы коммутации (УК) транспортного уровня КМСС представляют собой отказоустойчивые кластеры за счет физического и логического резервирования маршрутов передачи данных.

Уровень услуг и управления обеспечивает управление услугами во время установления сеансов связи и их разъединения.

Для защиты информации, циркулирующей в КМСС, применяются программные и аппаратные средства криптографической защиты информации (СКЗИ) – криптошлюзы (КШ). Функционирование данных устройств, как правило, осуществляется в туннельном режиме, что приводит к установлению шифрованных логических соединений – криптотуннелей (КТ) между взаимодействующими КШ [Приказ ФСТЭК РФ от 05.02.2010 N 58]. Типичная структура КМСС представлена на рисунке 1.

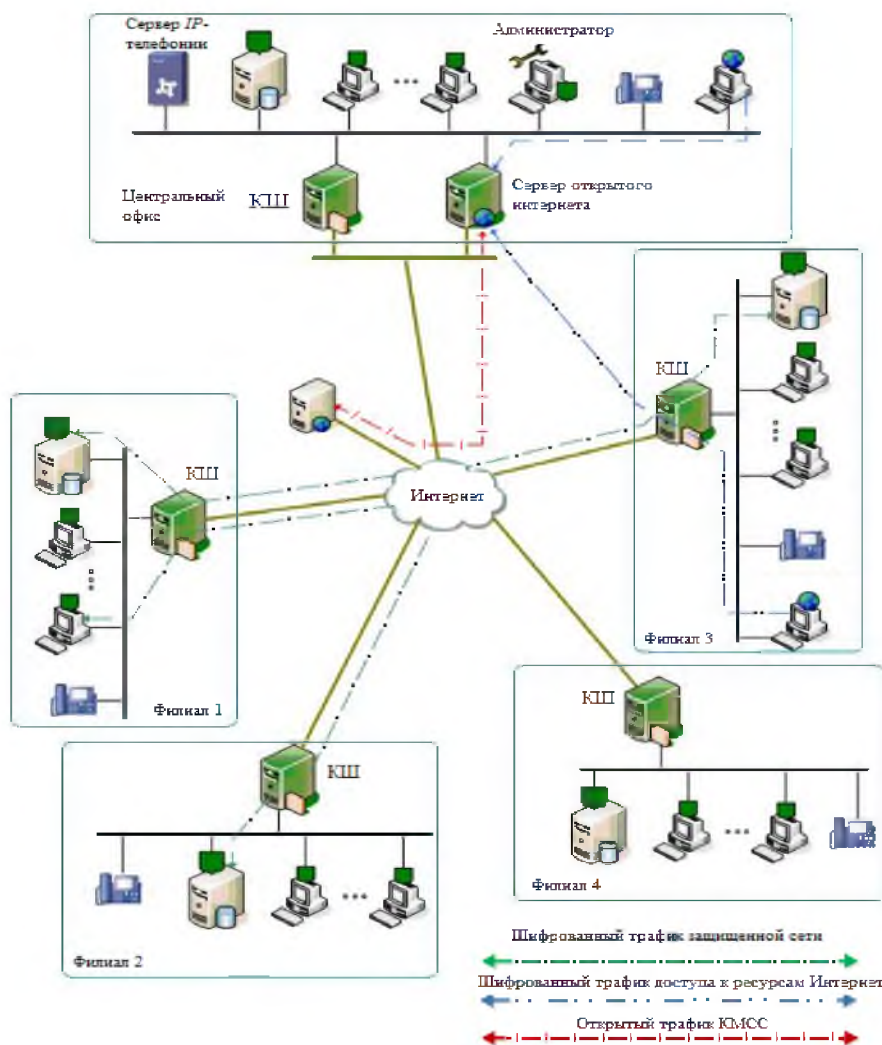


Рис. 1. Вариант обобщенной структуры КМСС
 Fig. 1. The version of the generalized structure of the CMSN



Анализ существующих решений построения КМСС показал, что зачастую наряду с предоставлением услуг реального времени (IP-телефония, видеоконференцсвязь, IP-TV и др.), требующих гарантированного уровня обслуживания, как правило, предоставляется услуга отложенной передачи данных – выход в Интернет.

Настройка механизмов КО на пограничных маршрутизаторах (Customer edge (CE) – маршрутизаторах со стороны узла клиента, которые непосредственно подключаются к маршрутизаторам оператора связи – Provider edge (PE)), подробно описанных в [Польщиков К.А., 2015], возлагается на администратора КМСС.

С целью недопущения перегрузок и поддержания работоспособного состояния предоставляемых услуг применяются соответствующие механизмы ограничения трафика (Token Bucket/Traffic Shaper) и приоритетного обслуживания пакетов (LLQ, PQ и др.), ориентируемые на пиковую нагрузку. Данные механизмы являются статическими, несогласованными между собой и не способными без вмешательства администратора адаптироваться под изменения текущей нагрузки и состояния загруженности арендуемых КС. Это приводит зачастую к недозагруженности дорогостоящего арендуемого ресурса КС КМСС и, как следствие, к экономической неэффективности его использования.

Вышеизложенное свидетельствует об острой актуальности задач совершенствования программных средств обеспечения КО трафика в УК КМСС на основе научно-обоснованных подходов к формальному описанию процессов обслуживания сообщений различного вида в условиях применения КШ. Для этого с использованием имеющегося в предметной области задела [Евсеева О.Ю., 2007; Симонина О.А., 2005] требуется разработка как моделей УК КМСС, так и соответствующих механизмов управления трафиком, позволяющих существенно повысить степень использования ресурсов арендуемых КС.

Разработка модели узла коммутации корпоративной мультисервисной сети связи

С целью выполнения требований по доступности и непрерывности предоставляемых услуг КМСС, предлагается один из подходов к разработке модели УК КМСС, учитывающей зависимость КО трафика от параметров входящих потоков и характеристик загруженности исходящих КС. Данная модель (в перспективе при реализации в виде ПО) должна обеспечить решение следующих задач:

- распределение поступающих потоков между отдельными логическими очередями выходных КС УК;
- выделение части ПС интерфейса для каждой логической очереди в зависимости от поступающей нагрузки;
- превентивное ограничение интенсивности поступающих на интерфейс потоков данных.

Исследования показали, что модель предотвращения перегрузки с активным управлением очередями, предложенная в [Лемешко А.В., Семеняка М.В., 2014], при адаптации к специфике КМСС позволит решать поставленные выше задачи и может быть практически реализована на УК КМСС (рис. 2).

Из всего множества предоставляемых услуг в КМСС можно выделить подмножество услуг S_1 , трафик которых не чувствителен к задержкам, но чувствителен к потерям, подмножество S_2 – услуги, трафик которых чувствителен как к задержкам, так и к потерям.

Например, к подмножеству S_1 относятся услуги передачи данных (файловый обмен, выход в Интернет), в то время как к подмножеству S_2 – услуги IP-TV, IP-телефония, видеоконференцсвязь и др.

Одной из отличительных особенностей предлагаемой модели является возможность ограничения интенсивности трафика КМСС подмножества S_1 за счет применения алгоритмов ограничения трафика. С этой целью в предлагаемую модель вводится управляющая переменная первого типа – $\alpha_{nj_k}^{S_1} \in [0,1]$, которая характеризует долю допущенного n -го потока услуги подмножества S_1 ($n = \overline{1, N}$) для обслуживания в j -й очереди ($j = \overline{1, J}$) k -го исходящего КС ($k = \overline{1, K}$).

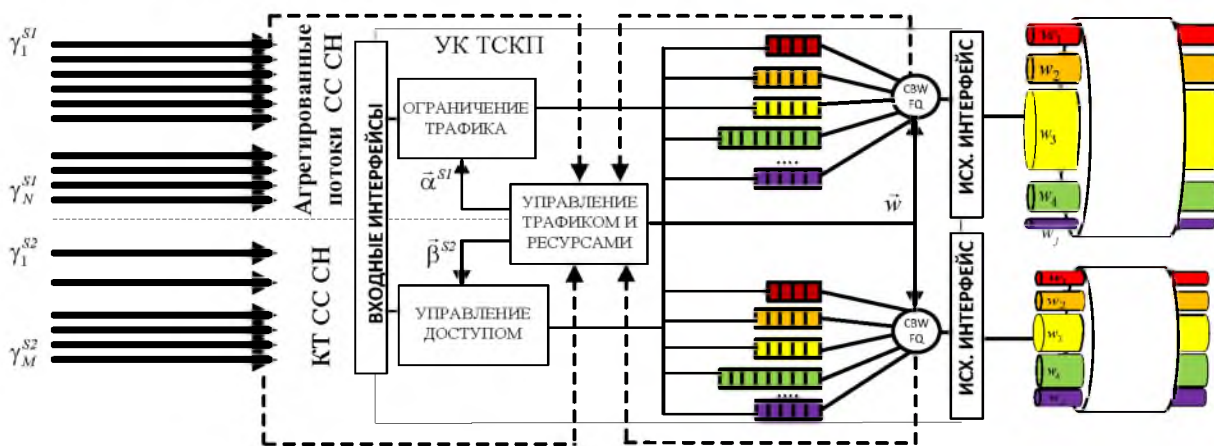


Рис. 2. Обобщенная схема обеспечения требуемого КО трафика КМСС
 Fig. 2. A generalized scheme for the required QoS traffic providing in CMSN

По своему физическому смыслу переменные $\alpha_{nj_k}^{S1}$ численно определяют скорость генерации жетонов алгоритма "дырявого ведра". Условие $\alpha_{nj_k}^{S1} = 0$ означает запрет на обработку потоков данных некоторой услуги в j -й очереди k -го исходящего КС.

В отличие от услуг подмножества $S1$, под потоками данных услуг подмножества $S2$ понимаются криптотуннели, трафик в которых представляет собой мультиплексированный поток пользовательских соединений защищаемого сегмента КМСС. Ограничение интенсивности агрегированного потока данных, поступающего в транспортную сеть, может привести к разрыву установленных сеансов связи в одном или нескольких криптотуннелях за счет превышения допустимой задержки обработки пакетов в сети, количества потерянных пакетов.

В таком случае, несмотря на то, что часть ресурсов пропускной способности арендуемого КС все же выделяется для предоставления услуг подмножества $S2$, данные ресурсы расходуются неэффективно с точки зрения обеспечения требуемого КО. В связи с этим в предлагаемую модель вводится переменная второго типа – $\beta_{mj_k}^{S2} \in [0,1]$, каждая из которых характеризует допуск или запрет на обслуживание m -го криптотуннеля ($m = \overline{1, M}$) в j -ой очереди ($j = \overline{1, J}$) k -го исходящего КС ($k = \overline{1, K}$).

Трафик, передаваемый в криптотуннеле, должен быть допущен к обслуживанию лишь при наличии доступных канальных ресурсов для его обслуживания с требуемым качеством.

Особенности функционирования КШ не позволяют расщеплять трафик, передаваемый в криптотуннеле, в связи с этим в каждой n -й и m -й строках матриц $\alpha_{nj_k}^{S1}$ и $\beta_{mj_k}^{S2}$ не допустимо наличие двух и более ненулевых элементов.

Предоставляемые услуги в КМСС характеризуются $\gamma_{n(m)}$ – интенсивностью поступления пакетов (скоростью передачи блоков данных) n -го (m -го) потока. С целью достижения максимального эффекта от применения предлагаемой модели УК КМСС под интенсивностью трафика необходимо рассматривать эффективную скорость передачи блоков данных [Степанов С.Н., 2010].

В рамках предлагаемой модели обеспечение требуемого КО трафика, обслуживаемого в каждой j -й очереди ($j = \overline{1, J}$) k -го исходящего КС ($k = \overline{1, K}$), достигается за счет выполнения условия, что суммарная интенсивность поступления трафика от сегмента КМСС не превышает интенсивности его обработки:

$$\sum_{n=1}^N \alpha_{nj_k}^{S1} \gamma_n^{S1} + \sum_{m=1}^M \beta_{mj_k}^{S2} \gamma_m^{S2} < \omega_k^j \cdot C_k, \tag{1}$$

где $\omega_k^j \in [0,1]$ представляет собой управляющую переменную третьего типа, характеризующую долю пропускной способности интерфейса, выделяемую для обслуживания трафика, поступающего в j -ю очередь планировщика ($j = \overline{1, J}$) k -го исходящего КС ($k = \overline{1, K}$), C_k – пропускная способность k -го исходящего КС ($k = \overline{1, K}$) КМСС.



Согласно физическому смыслу на переменную ω_k^j накладывается следующее ограничение:

$$\sum_{j=1}^J \omega_k^j \leq 1, \quad (2)$$

Искомые переменные всех трех типов удобно представить в виде соответствующих управляющих векторов:

$$\bar{\alpha}_{n_k}^{S1} = \begin{bmatrix} \alpha_{11_1}^{S1} \\ \alpha_{12_1}^{S1} \\ \alpha_{N1_1}^{S1} \\ \alpha_{21_2}^{S1} \\ \alpha_{22_2}^{S1} \\ \dots \\ \alpha_{Nk}^{S1} \end{bmatrix}, \bar{\beta}_{m_k}^{S2} = \begin{bmatrix} \beta_{11_1}^{S2} \\ \beta_{12_1}^{S2} \\ \beta_{1j_1}^{S2} \\ \beta_{21_2}^{S2} \\ \beta_{22_2}^{S2} \\ \dots \\ \beta_{Mk}^{S2} \end{bmatrix}, \bar{\omega}_k^j = \begin{bmatrix} \omega_1^1 \\ \omega_2^1 \\ \dots \\ \omega_1^j \\ \omega_2^1 \\ \omega_2^2 \\ \dots \\ \omega_k^j \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Тогда обобщенный вектор управляющих переменных можно представить в следующем виде:

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} \bar{\alpha}_{n_k}^{S1} \\ \bar{\beta}_{m_k}^{S2} \\ \bar{\omega}_k^j \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Размер вектора \bar{Y} определяется структурой векторов (3), т. е. зависит от количества потоков, поступающих на обслуживание в УК КМСС, количества очередей и имеющихся исходящих КС.

Расчет управляющего вектора \bar{Y} (4) целесообразно осуществить в ходе решения оптимизационной задачи, связанной с максимизацией обслуживания с требуемым КО предложенной нагрузки и использования ресурсов ПС каналов связи:

$$\max_{\bar{\alpha}_{n_k}^{S1}, \bar{\beta}_{m_k}^{S2}, \bar{\omega}_k^j} F. \quad (5)$$

В [Лемешко А.В., Семеняка М.В., 2014] предложена линейная целевая функция вида:

$$F = \sum_{k=1}^{K_n} \left(\sum_{n=1}^N h_n^{\alpha S1} \alpha_{n_k}^{S1} \gamma_n^{S1} + \sum_{m=1}^M h_{m,j}^{\beta S2} \beta_{m_k}^{S2} \gamma_m^{S2} \right), \quad (6)$$

где $h_n^{\alpha S1}$ – условная стоимость (метрика) ограничения поступающей нагрузки услуги связи КМСС подмножества $S1$, $h_{m,j}^{\beta S2}$ – условная стоимость (метрика) обслуживания m -го потока трафика услуги связи КМСС в j -й очереди, h_j^{ω} – условная стоимость (метрика) предоставления доли ПС КС для обслуживания трафика в j -й очереди. Метрики $h_n^{\alpha S1}$, $h_{m,j}^{\beta S2}$ и h_j^{ω} должны напрямую зависеть от приоритета предоставляемых услуг связи КМСС.

Линейная целевая функция обладает хорошей наглядностью и относительно невысокой сложностью вычисления, что существенно упрощает реализацию данной модели. Также наиболее значимым достоинством ЦФ данного вида является возможность в условиях перегрузки, связанной с отказом одного из КС, предоставлять требуемое КО услугам КМСС с более высоким приоритетом за счет ресурсов выделяемых для менее приоритетных; в отсутствие перегрузок и наличии незадействованных ресурсов, резервируемых для высокоприоритетных услуг, предоставить их в интересах менее приоритетных.

Исследования показали, что значительным ограничением применения данной модели на практике является отсутствие математического аппарата, позволяющего оперативно оценивать требуемые ресурсы ПС КС при изменении интенсивностей поступающих потоков. От правильной оценки данных ресурсов непосредственно зависит не только КО потоков данных предоставляемых услуг, но и степень использования канальных ресурсов КМСС.



С учетом вышеизложенного особую актуальность приобретает задача разработки моделей оценивания требуемых ресурсов ПС КС для обслуживания поступающих на УК потоков данных услуг связи КМСС с требуемым уровнем КО.

Формальное решение задачи оценивания эффективно предоставляемой пропускной способности для обслуживания трафика групп криптотуннелей

Исходными данными для оценивания требуемых ресурсов ПС КС КМСС выступают количество терминального оборудования, предоставляющего услуги связи в КМСС, возможные информационные направления и вероятности их выбора, параметры кодеков, требования приложений к КО трафика при их передаче по сети оператора связи, а также интенсивности установления соединений. Данные параметры определяются по результатам предварительной статистической обработки предоставляемых услуг связи. В настоящее время, на основании вышеуказанных исходных данных оценка требуемых ресурсов ПС КС КМСС производится по методикам, ориентированным на возможную пиковую нагрузку, что приводит к завышенным результатам и низкой степени использования ПС КС.

С учетом вышеизложенного актуальность приобретает разработка математической модели (ММ), позволяющей оценить требуемые ресурсы ПС для обслуживания трафика наблюдаемой группы активных криптотуннелей. Далее под активным понимается такой КТ, время отсутствия нагрузки в котором не превышает заданного. Возможные состояния криптотуннеля представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Диаграмма возможных состояний криптотуннеля
Fig. 3. The diagram of a cryptotunnel possible states

В [S. Floyd, 1996] предложена ММ оценивания эффективно предоставляемой пропускной способности (ЭПСП) для обслуживания агрегированного потока данных, состоящего из n отдельных потоков с заданным качеством:

$$C\{r, p_i, \xi\} = r + \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^n (p_i)^2}{2}}, \tag{7}$$

где p_i – максимальная скорость передачи i-го потока данных, ξ – управляющий параметр, характеризующий вероятность потерь пакетов, r – значение средней скорости передачи агрегированного потока данных.

Согласно данной ММ параметр пиковой скорости передачи считается известным, а средняя скорость передачи данных измеряется на некотором промежутке времени. При этом в качестве ограничения данной модели скорость передачи потоков данных предоставляемых услуг должна представлять собой одномерный стационарный случайный процесс (СП).

Учитывая данные ограничения, применение данной ММ к потокам данных, передаваемых в криптотуннелях, в явном виде невозможно, что приводит к необходимости ее адаптации под условия функционирования КМСС.

С целью анализа байтовой интенсивности трафика в криптотуннеле на стационарность была создана имитационная модель (ИМ) в среде программирования AnyLogic 6 (рис. 4).

Функционирование данной ИМ производилось при следующих допущениях: интенсивность поступления соединений, количество терминального оборудования и средняя длительность устанавливаемых соединений в КМСС остаются постоянными величинами.

Анализ функционирования ИМ позволяет сделать вывод о том, что временной ряд изменения скорости трафика в криптотуннеле на коротком временном интервале, равном средней длительности устанавливаемых соединений, представляет собой нестационарный СП. Однако на интервалах времени более 30 мин, при условии активности криптотуннеля, СП можно рассматривать как стационарный с неизменными параметрами математического ожидания (средней скорости передачи) и дисперсии на некотором доверительном интервале, определяемом задаваемой надежностью получаемых оценок [Сухов А.М., 2006].

В данных условиях, оперативную оценку ЭППС можно получать с помощью выше предложенной ММ, при выборе ограничений по минимально достаточному количеству криптотуннелей в группе и максимально допустимой вероятности потери пакетов.

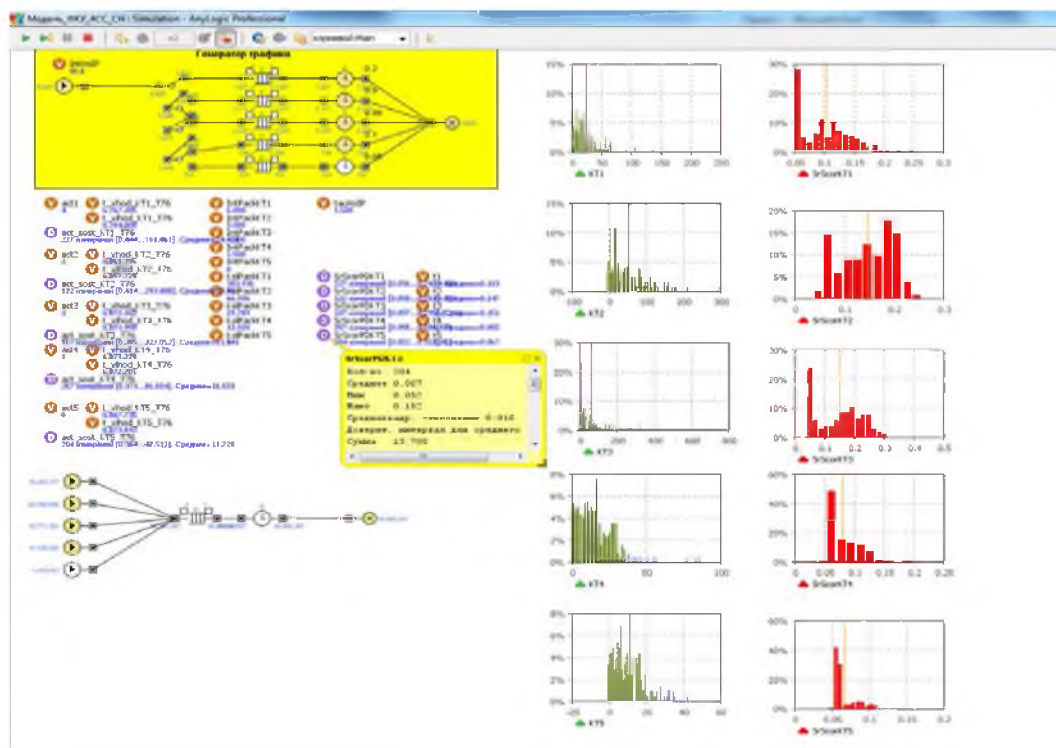


Рис. 4. Имитационная модель статистического оценивания вероятностно-временных характеристик трафика, передаваемого в криптотуннелях КМСС

Fig. 4. The simulation model of statistical estimation the probabilistic and temporal cryptotunnel traffic characteristics in CMSN

В целях проверки ММ на адекватность и непротиворечивость получаемых результатов, в среде программирования AnyLogic Professional v.6 была разработана ИМ (рис. 5), позволяющая воспроизвести функционирование УК КМСС.

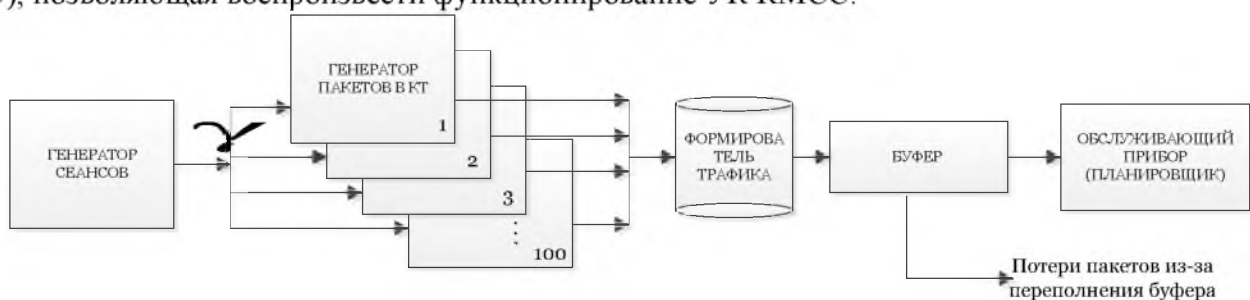


Рис. 5 Обобщенная схема имитационной модели УК КМСС
Fig. 5. The generalized scheme of CMSN node simulation model



Исходные данные при исследовании услуги видеотелефонии представлены в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

| Услуга КМСС | Кол-во терминалов, ед | Кол-во криптотуннелей, ед | Интенсивность установления сеансов, сеансов/с | Мин. длительность сеанса, мин | Макс. длительность сеанса, мин | Мин. длина пакета, Байт | Макс. длина пакета, Байт | Кодек |
|----------------|-----------------------|---------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
| Видеотелефония | 30 | 100 | 0,000277 | 5 | 30 | 1600 | 1600 | G.726 |
| | | | | | | 46 | 1280 | H.263 |

Результаты функционирования ИМ отражены на рисунке 6.

На графике крестиками отображены значения измеренной в течение 30 мин средней скорости передачи группы криптотуннелей на протяжении 600 минут модельного времени. По данным выборкам были получены интервальные оценки средней скорости передачи данных в группе КТ с задаваемой надежностью 0,99, методика вычисления которых подробно описана в [Савченко В.В., 2015]. Верхние границы полученных статистических оценок применялись в качестве средней скорости передачи трафика группы криптотуннелей.

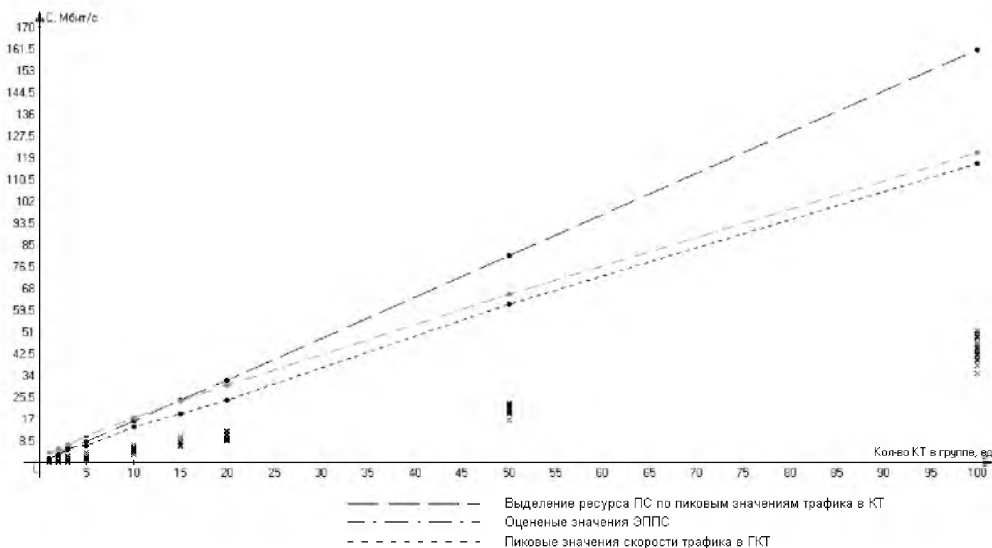


Рис. 6. Оценивание ЭППС с помощью параметров трафика, полученных на имитационной модели функционирования УК КМСС

Fig. 6. The effective bandwidth estimation using the traffic parameters obtained on the CMSN node simulation model

При количестве криптотуннелей менее 15, значение ЭППС оказывается выше, чем при выделении ресурса по пиковым скоростям, однако при количестве криптотуннелей в группе менее 5 позволяет в отличие от оценки по пиковым значениям обеспечить требуемое КО.

Вывод: В данной статье предложена модель узла коммутации КМСС, учитывающая зависимость качества обслуживания трафика от параметров входящих потоков и характеристик загруженности исходящих КС. Для применения данной модели на практике предложены дополнительные формальные средства оценивания параметров потоков трафика и требуемых для их обслуживания ресурсов. С помощью ИМ доказана адекватность получаемых оценок ЭППС для трафика группы криптотуннелей.

Заключение

Направлением дальнейших исследований видится разработка алгоритма управления, позволяющего с учетом задаваемых приоритетов услуг КМСС и условных стоимостей на ограничения трафика и ресурсов достичь максимальной производительности сети при обслуживании трафика с требуемым качеством.

Список литературы References

1. Recommendation Y.1541. Networks Performance Objectives for IP Based Services ITU-T. 2000.
2. Recommendation Y.1540. IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters ITU-T. 1999.
3. Приказ ФСТЭК РФ от 05.02.2010 N 58 "Об утверждении Положения о методах и способах защиты информации в информационных системах персональных данных" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.02.2010 N 16456.
Prikaz FSTJeK RF ot 05.02.2010 N 58 "Ob utverzhdenii Polozhenija o metodah i sposobah zashhity informacii v informacionnyh sistemah personal'nyh dannyh" (Zaregistrovano v Minjuste RF 19.02.2010 N 16456.
4. Бакланов И.Г., 2008. NGN: принципы построения и организации. Москва, Эко-Трендз, 400.
Baklanov I.G., 2008. NGN:principy postroenija i organizacii. Moscow: Jeko-Trendz, 400.
5. Рекомендация МСЭ-Т Y. 2001. Сети последующих поколений – Структура и функциональные модели архитектуры. Международный союз электросвязи – Сектор телекоммуникаций. 2004.
Rekomendacija MSJe-T Y. 2001. Seti posledujushhh pokolenij – Struktura i funkcional'nye modeli arhitektury. Mezhdunarodnyj sojuz jelektrosvjazi – Sektor telekommunikacij. 2004.
6. Польшиков К.А., 2015. Анализ применимости методов обеспечения QoS для повышения производительности мобильной радиосети специального назначения. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 1(198): 148–157.
Pol'shnikov K.A., 2015. Analysis of the QoS methods applicable to improve performance of mobile radio network for special purpose. Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija. Politologiya. Ekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]. 1(198): 148–157.
7. Евсеева О.Ю., 2007. Мультиструктурная модель и метод управления в самоорганизующейся телекоммуникационной сети. Радиотехника: Всеукр. межведомств. науч.-техн. сб. 151: 98–105.
Evseeva O.Ju., 2007. Mul'tistrukturnaja model' i metod upravlenija v samoorganizujushhejsja telekommu-nikacionnoj seti. Radiotehnika: Vseukr. mezhvedomstv. nauch.-tehn. sb. 151: 98–105.
8. Симонина О.А., 2005. Модели расчета показателей QoS в сетях следующего поколения, диссертация на соискание степени кандидата технических наук, ГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург
Simonina O.A., 2005. Modeli rascheta pokazatelej QoS v setjah sledujushhego pokolenija, dissertacija na soiskanie stepeni kandidata tehniceskix nauk, GUT im. prof. M.A. Bonch-Bruevicha, Sankt-Peterburg
9. Лемешко А.В., Семеняка М.В., 2014. Модель и метод предотвращения перегрузки с активным управлением очередью на узлах телекоммуникационной сети. Проблемы телекоммуникаций. 91-104.
Lemeshko A.V., Semenjak M.V., 2014. The model and method of preventing overload with active queue management on the nodes of the telecommunications network. Problems of telecommunications. 91-104.
10. Степанов С.Н., 2010. Основы телетрафика мультисервисных сетей. Москва, Эко-Трендз, 392.
Stepanov S.N. , 2010. Basics of teletraffic of multiservice networks. Moscow, Jeko-Trendz, 392.
11. S. Floyd, 1996. Comments on measurement – based admission controlled – load services. Lawrence Berkeley Laboratory Technical Report.
12. Савченко В.В., 2015. Определение объема контрольной выборки в условиях априорной неопределенности по принципу гарантированного результата. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 1(198): 74–78.
Savchenko V.V., 2015. The determination of sample size in conditions of a priori uncertainty on the principle of guaranteed result. Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija. Politologiya. Ekonomika. Informatika. [Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]. 1(198): 74–78.
13. Сухов А.М., 2006. Моделирование нагрузки на участке высокоскоростной сети. Телекоммуникации. 2: 23–29.
Suhov A.M., 2006. Modeling the load on the high-speed network segment. Telekommunikacii. 2: 23-29.