

УДК 621.391

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ РАЗНОРОДНОГО ТРАФИКА В МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

СТРЕЛКОВСКАЯ И.В., СОЛОВСКАЯ И.Н.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

PERFORMANCE EVALUATION OF HETEROGENEOUS TRAFFIC SERVICE QUALITY IN THE MULTISERVICE NETWORK

STRELKOVSKAYA I.V., SOLOVSKAYA I.N.

Odessa national academy of telecommunications n. a. A.S. Popov

Аннотация. Предложено исследование характеристик разнородного трафика мультисервисной сети на основе тензорного метода с двумя классами обслуживания. Для этой сети получены оценки характеристик качества обслуживания, такие как значения пропускных способностей, задержек пакетов и длин пакетных очередей при сбалансированной загрузке сетевых ресурсов.

Abstract. Consideration of the characteristics of multiservice network heterogeneous traffic based on the tensor method with two classes of service is proposed. For this network the evaluations of quality service performance, such as bandwidth capacity, packet delay and packet queue lengths under the balanced loading of network resources are obtained.

Внедрение сетей следующего поколения *NGN* (*Next Generation Network*) предполагает решение проблемы обеспечения гарантированного качества обслуживания *QoS* (*Quality of Service*) как на этапе проектирования, так и дальнейшей эксплуатации мультисервисных сетей *NGN*. Это связано с использованием пакетных технологий для передачи различных видов трафика в единой сетевой инфраструктуре *NGN*, что предполагает необходимость обеспечения параметров качества обслуживания *QoS*. По своей природе пакетный трафик, обслуживаемый в сети *NGN*, является разнородным, так как формируется различными мультисервисными услугами и сетевыми приложениями, обеспечивая предоставление номенклатуры услуг передачи речи, данных и видеоизображений *TPS* (*Triple Play Service*). Поэтому при обслуживании в едином мультисервисном потоке пакетного трафика различных сетевых услуг для каждого из них необходимо обеспечивать определенный уровень качества обслуживания *QoS*. Это выполняется путем разделения трафика на классы обслуживания, к каждому из которых предъявляются определенные требования *QoS*. При этом разнородный трафик по классам услуг имеет индивидуальные характеристики, что соответствует, применяемым в сетевых протоколах, механизмам *QoS*. Параметризация трафика мультисервисной сети выполняется согласно рекомендации ИТУ-У.1541 с учетом шести классов обслуживания *QoS*, каждый из которых характеризуется следующими параметрами: пропускной способностью, длительностью задержки, вероятностью потерь пакетов и т.д. [1–3].

Целью данной статьи является исследование разнородного трафика мультисервисной сети, в которой обслуживание происходит по двум классам и нахождение характеристик качества *QoS* таких как пропускные способности, значения задержек пакетов и длин пакетной очереди для этой сети.

В работах авторов [4–6] была решена задача нахождения характеристик качества *QoS* разнородного трафика мультисервисной сети при условии, что его обслуживание выполняется по различным *k*-классам. Это позволяет получить значения характеристик качества для каждого из *k*-классов обслуживания трафика. В нашем случае $k = 2$.

Рассмотрим пример решения задачи оценки характеристик качества обслуживания *QoS* для сети *NGN* и получим значения пропускных способностей, задержек пакетов и длин пакетных очередей для каждого из двух классов обслуживания при условии сбалансированной загрузки сетевых ресурсов. Предположим, что рассматриваемая мультисервисная сеть *NGN*, исходная структура которой в виде графа показана на рис. 1, обслуживает сетевой пакетный трафик, который образован различными двумя классами – *A* и *B*. Причем, класс *A* образован услугами передачи речи и видеоизображений, которые наиболее критичны к задержкам, а класс *B* образован услугами передачи

данных, доступа к различным сетевым приложениям, которые менее критичны к задержкам. Поступающие на обслуживание в каждый из n сетевых узлов пакеты классов A и B буферизируются в две пакетные очереди и формируют два потока трафика с заданными задержками. Для рассмотрения мультисервисной сети, которая обслуживает разнородный трафик на сетевых узлах – маршрутизаторах $N_j, j = \overline{1,4}$, соединенных трактами $v_i, i = \overline{1,6}$ в качестве инвариантного функционального уравнения, связывающего основные показатели качества обслуживания, используем тензорное обобщение формулы Литтла [7]:

$$h_i = l^i \tau_i, i = \overline{1,6}, \quad (1)$$

где h_i – длина пакетной очереди в i -м тракте, l^i – интенсивность трафика в i -м тракте, τ_i – среднее время задержки пакетов в i -м тракте.

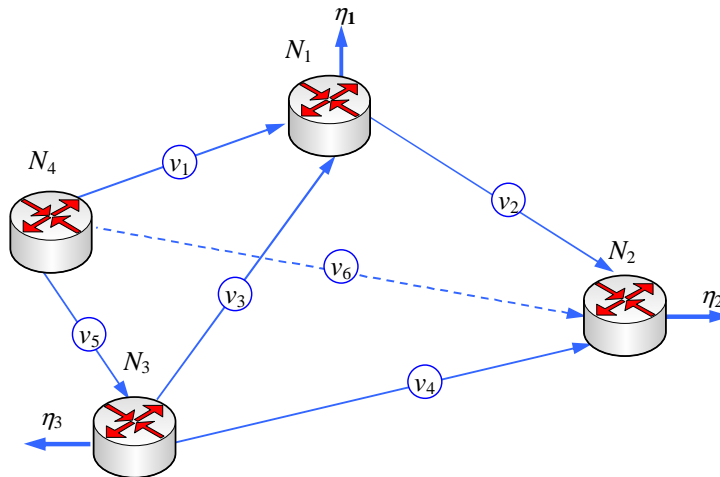


Рисунок 1 – Структурная схема мультисервисной сети

Согласно [4–6], выберем системы координат, зададим количество ветвей и количество узловых пар. Структура, рассматриваемой мультисервисной сети, описывается одномерной сетью, которая, в свою очередь, определяет дискретное шестимерное пространство-структуру.

При решении поставленной задачи являются известными:

- структура сети, заданная в виде графа, который показан на рис. 1;
- интенсивности трафика в ветвях сети, заданные в виде матрицы 12-го порядка, вида:

$$L_v = \begin{pmatrix} L_v^{11} & | & 0 \\ \hline 0 & | & L_v^{22} \end{pmatrix}, \text{ где } L_v^{11} = \begin{pmatrix} l_v^{11,1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l_v^{22,1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & l_v^{66,1} \end{pmatrix}, L_v^{22} = \begin{pmatrix} l_v^{11,2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & l_v^{22,2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & l_v^{66,2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

с элементами $l_v^{i,j}, i = \overline{1,6}, j = \overline{1,2}$ – интенсивностями, заданными по двум классам обслуживания трафика в базисе ветвей сети, которые определены в табл. 1.

– длины исходной пакетной очереди (тыс. пакетов) между заданной парой узлов $N_4 \rightarrow N_2$, представленный в виде вектора H_v^+ , который имеет вид:

$$H_v^+ = \begin{pmatrix} H_v^{+11} \\ \hline H_v^{+22} \end{pmatrix}, \text{ где } H_v^{+11} = \begin{pmatrix} h_{v11}^{+11} & 0 \\ h_{v21}^{+11} & 0 \\ \vdots & \vdots \\ h_{v61}^{+11} & 0 \end{pmatrix}, H_v^{+22} = \begin{pmatrix} h_{v11}^{+22} & 0 \\ h_{v21}^{+22} & 0 \\ \vdots & \vdots \\ h_{v61}^{+22} & 0 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где $h_{v_{pj}}^{+ii}, i, j = \overline{1,2}, p = \overline{1,6}$ – заданные компоненты матрицы H_v^{+ii} значений исходных длин пакетных очередей в базисе ветвей сети.

$$H_v^+ = \left(\begin{array}{cccccc|cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{array} \right)^t. \quad (4)$$

Таблица 1 – Значения интенсивностей трафика в трактах сети для класса обслуживания *A* и *B*

Номер тракта сети	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
Интенсивность трафика класса обслуживания <i>A</i> , пак/с	300	450	800	500	600	450
Интенсивность трафика класса обслуживания <i>B</i> , пак/с	100	500	900	350	400	500

Необходимо найти минимальное время T_v доставки пакетов из очереди и порядок загруженности очередей H_v всех трактов сети для двух классов обслуживания соответственно. Для этого нужно рассчитать: загруженность H_η узлов сети при передаче исходной пакетной очереди H_v^+ , значения задержки T_η пакетов на каждом сетевом узле, а также пропускную способность L_η узлов сети.

Для заданной структуры сети (рис. 1) сформируем базисную матрицу разрезов B_η размерности 6×12 , которая, согласно [4–6], вида:

$$B_\eta = \left(\begin{array}{cccccc|cccccc} B_\eta^{11} & & & & & 0 \\ & B_\eta^{22} & & & & \\ 0 & & & & & B_\eta^{22} \end{array} \right), \text{ где } B_\eta^{11} = \begin{pmatrix} b_{\eta 11}^{11} & b_{\eta 12}^{11} & b_{\eta 13}^{11} & b_{\eta 14}^{11} & b_{\eta 15}^{11} & b_{\eta 16}^{11} \\ b_{\eta 21}^{11} & b_{\eta 22}^{11} & b_{\eta 23}^{11} & b_{\eta 24}^{11} & b_{\eta 25}^{11} & b_{\eta 26}^{11} \\ b_{\eta 31}^{11} & b_{\eta 32}^{11} & b_{\eta 33}^{11} & b_{\eta 34}^{11} & b_{\eta 35}^{11} & b_{\eta 36}^{11} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Для нашего случая:

$$B_\eta = \left(\begin{array}{cccccc|cccccc} 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 \end{array} \right). \quad (6)$$

Найдем интенсивности трафика в узлах сети, заданные дважды контравариантным тензором L_η в системе координат (СК) узловых пар сети, используя формулу [4–6]:

$$L_\eta = B_\eta L_v B_\eta^t, \quad (7)$$

где B_η^t – транспонированная матрица базисных разрезов сети, L_v – матрица интенсивностей трафика в ветвях сети порядка 12.

Матрица интенсивности трафика в узлах сети, согласно [4–6], имеет вид (8), причем, каждая из матриц L_η^{ii} , $i = \overline{1,2}$ является квадратной порядка 3 и имеет вид:

$$L_\eta = \left(\begin{array}{ccc|ccc} L_\eta^{11} & & 0 \\ & L_\eta^{22} & \\ 0 & & L_\eta^{22} \end{array} \right), \text{ где } L_\eta^{11} = \begin{pmatrix} l_{\eta 11}^{11} & l_{\eta 12}^{11} & l_{\eta 13}^{11} \\ l_{\eta 21}^{11} & l_{\eta 22}^{11} & l_{\eta 23}^{11} \\ l_{\eta 31}^{11} & l_{\eta 32}^{11} & l_{\eta 33}^{11} \end{pmatrix}, L_\eta^{22} = \begin{pmatrix} l_{\eta 11}^{22} & l_{\eta 12}^{22} & l_{\eta 13}^{22} \\ l_{\eta 21}^{22} & l_{\eta 22}^{22} & l_{\eta 23}^{22} \\ l_{\eta 31}^{22} & l_{\eta 32}^{22} & l_{\eta 33}^{22} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Тогда, подставляя в (7) выражения (2) и (6), получим матрицу L_η , на главной диагонали которой определены значения интенсивностей в узлах сети по двум классам обслуживания:

$$L_{\eta} = \left(\begin{array}{ccc|ccc} 1550 & -450 & -800 & 0 & 0 & 0 \\ -450 & 1400 & -500 & 0 & 0 & 0 \\ -800 & -500 & 1900 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1500 & -500 & -900 \\ 0 & 0 & 0 & -500 & 1350 & -350 \\ 0 & 0 & 0 & -900 & -350 & 1650 \end{array} \right). \quad (9)$$

Определим ковариантный тензор длины пакетной очереди H_{η} в буферных устройствах в системе координат узловых пар сети, используя формулу [4–6]:

$$H_{\eta} = B_{\eta} H_{\nu}^{+}, \quad (10)$$

где H_{ν}^{+} – заданная длина исходной пакетной очереди в ветвях сети порядка 12×2 .

Тогда, согласно [4–6], тензор H_{η} имеет вид:

$$H_{\eta} = \begin{pmatrix} H_{\eta}^{11} \\ H_{\eta}^{22} \end{pmatrix}, \text{ где } H_{\eta}^{11} = \begin{pmatrix} h_{\eta 11}^{11} & h_{\eta 12}^{11} \\ h_{\eta 21}^{11} & h_{\eta 22}^{11} \\ h_{\eta 31}^{11} & h_{\eta 32}^{11} \end{pmatrix}, H_{\eta}^{22} = \begin{pmatrix} h_{\eta 11}^{22} & h_{\eta 12}^{22} \\ h_{\eta 21}^{22} & h_{\eta 22}^{22} \\ h_{\eta 31}^{22} & h_{\eta 32}^{22} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $h_{\eta p j}^{ii}$, $i, j = \overline{1,2}$, $p = \overline{1,3}$ – заданные компоненты матрицы H_{η}^{ii} значений длин пакетных очередей в базисе узловых пар сети.

Тогда, подставляя в (10) выражения (6) и (4), получим матрицу H_{η} размерности 6×2 , элементами которой являются длины пакетной очереди в узлах сети каждого из двух классов обслуживания:

$$H_{\eta} = \begin{pmatrix} 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 & 0 \end{pmatrix}^t. \quad (12)$$

Согласно [4–6], определим значения времени задержки T_{η} передачи пакетов в системе координат узловых пар сети, используя выражение:

$$H_{\eta} = L_{\eta} T_{\eta}. \quad (13)$$

Из выражения (13) следует:

$$T_{\eta} = (L_{\eta})^{-1} H_{\eta}, \quad (14)$$

где $(L_{\eta})^{-1}$ – матрица, обратная к L_{η} , а H_{η} – матрица, вида (11), элементы которой являются длинами пакетной очереди в узлах сети.

Матрица T_{η} размерности 6×2 , согласно [4–6], имеет вид:

$$T_{\eta} = \begin{pmatrix} T_{\eta}^{11} \\ T_{\eta}^{22} \end{pmatrix}, \text{ где } T_{\eta}^{11} = \begin{pmatrix} \tau_{\eta 11}^{11} & \tau_{\eta 12}^{11} \\ \tau_{\eta 21}^{11} & \tau_{\eta 22}^{11} \\ \tau_{\eta 31}^{11} & \tau_{\eta 32}^{11} \end{pmatrix}, T_{\eta}^{22} = \begin{pmatrix} \tau_{\eta 11}^{22} & \tau_{\eta 12}^{22} \\ \tau_{\eta 21}^{22} & \tau_{\eta 22}^{22} \\ \tau_{\eta 31}^{22} & \tau_{\eta 32}^{22} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где $\tau_{\eta p j}^{ii}$, $i, j = \overline{1,2}$, $p = \overline{1,3}$ – компоненты матрицы T_{η}^{ii} , $i = \overline{1,2}$ являются значениями задержек пакетов в базисе узловых пар сети.

Найдя обратную матрицу $(L_{\eta})^{-1}$ и подставив выражение (15) в (14), получим:

$$T_{\eta} \approx \begin{pmatrix} 0,059 & 0,110 & 0,054 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,085 & 0,125 & 0,073 \end{pmatrix}^t. \quad (16)$$

Определим значения задержек T_v передачи пакетов в базисе ветвей сети согласно [4–6]:

$$T_v = B_\eta^t T_\eta, \quad (17)$$

где T_η – матрица времени задержки передачи пакетов в узлах сети, которая определена выражением (15).

Тогда, подставляя в (17) транспонированную матрицу вида (6) и выражение (15), получим матрицу T_v , элементами которой являются задержки передачи пакетов в ветвях сети:

$$T_v = \begin{pmatrix} T_v^{11} \\ T_v^{22} \end{pmatrix}, \text{ где } T_v^{11} = \begin{pmatrix} \tau_{v11}^{11} & \tau_{v12}^{11} \\ \tau_{v21}^{11} & \tau_{v22}^{11} \\ \vdots & \vdots \\ \tau_{v61}^{11} & \tau_{v62}^{11} \end{pmatrix}, T_v^{22} = \begin{pmatrix} \tau_{v11}^{22} & \tau_{v12}^{22} \\ \tau_{v21}^{22} & \tau_{v22}^{22} \\ \vdots & \vdots \\ \tau_{v61}^{22} & \tau_{v62}^{22} \end{pmatrix}, \quad (18)$$

где τ_{vpj}^{ii} , $i, j = \overline{1,2}$, $p = \overline{1,6}$ – компоненты матрицы T_v^{ii} , являющиеся значениями задержек пакетов в базисе ветвей сети.

Согласно [4–6], определим длину пакетной очереди H_v в ветвях сети из формулы:

$$H_v = L_v T_v, \quad (19)$$

Тогда, подставляя в (19) выражения (2) и (18), получим матрицу H_v размерности 12×2 , элементами которой являются длины пакетных очередей в ветвях сети:

$$H_v = \begin{pmatrix} H_v^{11} \\ H_v^{22} \end{pmatrix}, \text{ где } H_v^{11} = \begin{pmatrix} h_{v11}^{11} & h_{v12}^{11} \\ h_{v21}^{11} & h_{v22}^{11} \\ \vdots & \vdots \\ h_{v61}^{11} & h_{v62}^{11} \end{pmatrix}, H_v^{22} = \begin{pmatrix} h_{v11}^{22} & h_{v12}^{22} \\ h_{v21}^{22} & h_{v22}^{22} \\ \vdots & \vdots \\ h_{v61}^{22} & h_{v62}^{22} \end{pmatrix}, \quad (20)$$

где h_{vpj}^{ii} , $i, j = \overline{1,2}$, $p = \overline{1,6}$ – компоненты матрицы H_v^{ii} , являющейся значениями длин пакетных очередей в базисе ветвей сети.

Получим матрицу T_v , элементами которой являются задержки передачи пакетов в ветвях сети по двум классам обслуживания и матрицу H_v , элементами которой являются длины пакетных очередей в ветвях сети по этим классам обслуживания:

$$T_v \approx \begin{pmatrix} 0,059 & 0 \\ 0,051 & 0 \\ 0,005 & 0 \\ 0,056 & 0 \\ 0,054 & 0 \\ 0,110 & 0 \\ 0 & 0,085 \\ 0 & 0,040 \\ 0 & 0,012 \\ 0 & 0,052 \\ 0 & 0,073 \\ 0 & 0,125 \end{pmatrix}, H_v \approx \begin{pmatrix} 17,7 & 0 \\ 22,9 & 0 \\ 4,0 & 0 \\ 28,0 & 0 \\ 32,4 & 0 \\ 49,5 & 0 \\ 0 & 8,5 \\ 0 & 20,0 \\ 0 & 10,8 \\ 0 & 18,2 \\ 0 & 29,2 \\ 0 & 62,5 \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Элементы матрицы T_v задержек в ветвях сети определяют минимальное время доставки пакетов из очереди условной длинны 100 тыс. пакетов для класса A и 100 тыс. пакетов для класса B и составляет 0,110 с и 0,125 с для класса A и B соответственно. Элементы матрицы H_v определяют

длину пакетной очереди для класса обслуживания A и B . На рис. 2 представлены результаты решения задачи и указаны средние задержки пакетов (вверху) и загрузка очереди (внизу) для двух классов обслуживания.

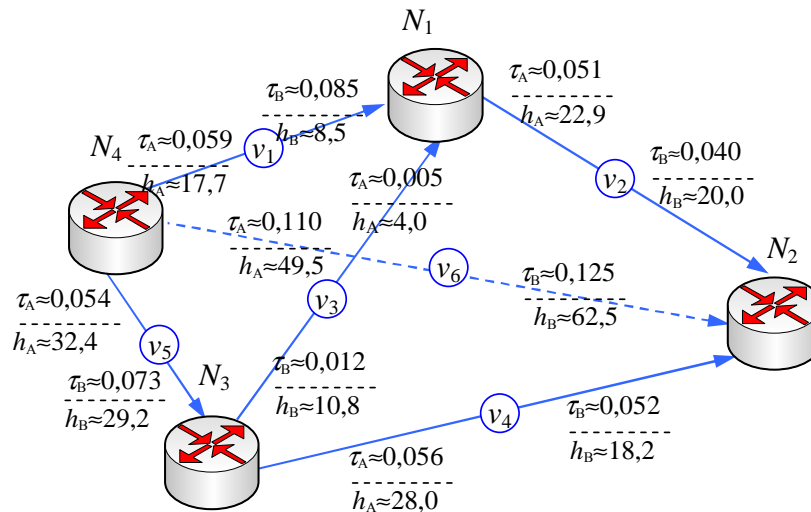


Рисунок 2 – Результаты расчета мультисервисной сети

Нетрудно проверить, что эта задержка является одинаковой для всех возможных путей доставки фрагментов пакета исходной длины. Для класса обслуживания A : $N_4 \rightarrow N_2 : \tau = 0,110$ с; $N_4 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 : \tau \approx 0,110$; $N_4 \rightarrow N_3 \rightarrow N_1 \rightarrow N_2 : \tau = 0,110$ с. Для класса обслуживания B : $N_4 \rightarrow N_2 : \tau \approx 0,125$; $N_4 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2 : \tau \approx 0,125$; $N_4 \rightarrow N_3 \rightarrow N_1 \rightarrow N_2 : \tau \approx 0,125$ с.

ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование характеристик разнородного трафика мультисервисной сети на основе тензорного метода с двумя классами обслуживания.
2. Рассмотрен конкретный пример сетевой архитектуры мультисервисной сети, которая состоит из четырех маршрутизаторов, которые соединены шестью трактами и выполняют обслуживание разнородного трафика по двум классам. Получены характеристики качества QoS разнородного трафика, такие как значения временных задержек пакетов и длин пакетных очередей в сетевых узлах в зависимости от заданной пропускной способности в трактах мультисервисной сети.
3. Использование тензорного метода с k -классами обслуживания трафика позволяет решать задачи определения характеристик QoS , учитывая при этом: разнородность сетевого трафика, образованного различными услугами (каждая услуга характеризуется необходимой скоростью передачи, требованиями к задержкам и потерям пакетов и т.д.); особенности в обслуживании каждого отдельного типа трафика в едином мультисервисном потоке (разделение потоков трафика на классы обслуживания) при совместном использовании доступных сетевых ресурсов. Это позволяет на этапе проектирования аппаратно-программных средств выбирать соответствующее оборудование.
4. Использование тензорного метода с k -классами трафика позволяет решать значительный спектр задач с учетом различных топологий мультисервисной сети, различных технологий и сетевых протоколов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Воробієнко П.П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі / Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. – К.: СММІТ-КНИГА, 2010. – 640 с.
- 2 Росляков А.В. Сети следующего поколения NGN / Росляков А.В., Ваняшин С.В., Самсонов М.Ю.; под редакцией А.В. Рослякова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 424 с.
- 3 ITU-T Rec. Y.1541 “Network performance objectives for IP-based services” (Рекомендация МСЭ-Т Y.1541 “Сетевые характеристики качества обслуживания в IP сети”). – 2011. – 66 р.

4 Стрелковская И.В. Тензорная модель сети с k -классами обслуживания трафика/ И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // VI Міжнародний науково-технічний симпозиум “Нові технології в телекомунікаціях”, 21–25 січня, 2013 р. – ДУІКТ-Карпати, Вишків, 2013. – С. 48–51.

5 Strelkovskaya I. V. Tensor model of multiservice network with different classes of traffic service / I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya // XII International Conference “The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM’2013)”, 19–23 February, 2013, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE, 2013. – P. 355–358.

6 Стрелковская И.В. Тензорная модель мультисервисной сети с различными классами обслуживания трафика / И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская // Радиоэлектроника: Изв. высш. учеб. заведений. – К., 2013. – Т. 56, № 6. – С. 40-47. Электронный вариант статьи: <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347013060058>.

7 Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок; пер. с англ. под ред. И.И. Грушко. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.