

УДК 621.391

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАФИКОМ С УЧЁТОМ ЗАДАВАЕМЫХ ПРИОРИТЕТОВ ДЛЯ МНОГОПРОДУКТОВОГО И МНОГОПОЛЮСНОГО СЛУЧАЕВ



[А.В. ЛЕМЕШКО](#)

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники



[Ю.Н. ДОБРЫШКИН,](#)

[О.А. ДРОБОТ](#)

Харьковский университет
Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба

Представлено результати дослідження потокової моделі управління трафіком, за допомогою якої забезпечується погоджене розв'язання задач маршрутизації та превентивного обмеження трафіку, що надходить до мережі. Проаналізовано вплив пріоритетів трафіків, виду цільової функції, що використовується в потоковій моделі, на характер ймовірних відмов у обслуговуванні.

In the given article the results of research of flow-based traffic control model are represented due to which an agreed solution of routing problems and preventive limiting traffic entering the networks. Provided the impact of traffic prioritization, the type of objective function used in the threading model, the nature of the alleged denial of service is analyzed.

Представлены результаты исследования потоковой модели управления трафиком, с помощью которой обеспечивается согласованное решение задач маршрутизации и превентивного ограничения трафика, поступающего в сеть. Проанализировано влияние приоритетов трафиков, вида целевой функции, используемой в потоковой модели, на характер возможных отказов в обслуживании.

Введение

В настоящее время в современных телекоммуникационных сетях (ТКС) численные значения отдельных показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS), таких как производительность, средняя задержка, джиттер, уровень потерь пакетов и др., во многом определяются эффективностью решения задач управления трафиком [1, 2]. Традиционно к числу подобного рода задач относят маршрутизацию, профилирование трафика, управление очередями и резервирование сетевых ресурсов [3]. При этом в условиях гетерогенности и мультипротокольности современных ТКС, а особенно в условиях перегрузки и ограниченности сетевых ресурсов, на первое место выходит проблема повышения уровня согласованности решений задач маршрутизации и ограничения интенсивности трафика, поступающего в сеть. Кроме того, учитывая мультисервисный характер современных ТКС, отказы в обслуживании, с одной стороны, должны касаться в первую очередь низкоприоритетного трафика, а с другой стороны, более интенсивно должен ограничиваться именно тот трафик, который и вызывает перегрузку сети.

В современных ТКС задачи управления трафиком на границе сети решаются с помощью механизмов – TS (Traffic Shaping) и TP (Traffic policing) [2, 3], а функции управления трафиком «внутри» сети возложены на протоколы маршрутизации, к

основным из которых относятся OSPF (Open Shortest Path First), IS-IS (Intermediate System – to – Intermediate System) и PNNI (Private Network – to – Network Interface). Как показал проведенный анализ, низкая согласованность в работе отдельных средств (механизмов, протоколов) управления трафиком, как правило, определяется неадекватностью заложенных в них математических моделей. Для механизмов TS и TP – это модели «корзины маркеров», «дырявого ведра», а для большинства протоколов маршрутизации – это модели поиска кратчайшего пути на графе. Таким образом, актуальной научной и практической задачей является разработка и исследование математических моделей управления трафиком, которые могли бы быть положены в основу перспективных технологических решений в мультисервисных ТКС.

В работах [4-6] предложена потоковая модель управления разноприоритетным трафиком, в рамках которой реализуется многопутевая стратегия маршрутизации с превентивным ограничением интенсивности трафика на приграничных узлах ТКС. Основной особенностью данной модели является то, что в ее рамках в зависимости от вида целевой функции реализуется обслуживание трафика на основе как абсолютных, так и относительных приоритетов. В этой связи, целью данной работы является исследование ранее предложенной модели [4-6] для анализа влияния параметров модели на процессы управления трафиком с точки зрения его маршрутизации и ограничения интенсивности на границе сети для многопродуктового многополюсного случая.

I. Потоковая модель управления разноприоритетным трафиком

В рамках модели [4-6] структура ТКС описывается с помощью графа $G=(M,E)$, где M – множество узлов, а E – множество трактов передачи в сети. Для каждой дуги $(i,j) \in E$ характерна ее пропускная способность φ_{ij} , а каждому трафику из множества K сопоставляется ряд параметров: r^k , s_k и d_k – интенсивность k -го трафика, узел-источник и узел-получатель соответственно. Управляющей переменной служит величина x_{ij}^k , которая характеризует интенсивность k -го трафика, протекающего в тракте $(i,j) \in E$. Кроме того вводится также величина α^k , которая моделирует интенсивность k -го трафика, получившего отказ в обслуживании сетью. Тогда вектор искомых параметров удобно представить в форме:

$$X = \begin{bmatrix} x_{ij}^k \\ - \\ \alpha^k \end{bmatrix}, (i,j) \in E, k \in K. \quad (1)$$

С целью недопущения потерь пакетов на сетевых узлах и в сети в целом в ходе расчета вектора X необходимо обеспечить выполнение условия сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = 0 & \text{при } k \in K, i \neq s_k, d_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = r^k - \alpha^k & \text{при } k \in K, i = s_k; \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^k = \alpha^k - r^k & \text{при } k \in K, i = d_k, \end{cases} \quad (2)$$

а также условий предотвращения перегрузки трактов передачи (ТП) ТКС:

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq \varphi_{ij}; (i, j) \in E. \quad (3)$$

В соответствии с физикой решаемой задачи (1)-(3) на координаты α^k вектора X накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq \alpha^k \leq r^k \quad (4) \quad \text{или} \quad \alpha^k \in \{0, r^k\}, \quad (5)$$

если на основе договора об уровне сервиса (SLA) допускается (4) или не допускается (5) частичное ограничение скорости доступа в сеть.

В ходе расчета вектора (1) в качестве критерия оптимальности предлагается использовать минимум линейной или линейно-квадратичной целевой функции (ЦФ) соответственно:

$$\min_X C^t X = \min_X \sum_{(i,j) \in E} (\sum_{k \in K} c_{ij}^k x_{ij}^k + \sum_{k \in K} c^k \alpha^k) \quad (6) \quad \text{или} \quad \min_X \left[\frac{1}{2} X^t H X + C^t X \right], \quad (7)$$

которые характеризуют относительные затраты на управление трафиком на этапе доступа к сети и внутри ТКС, а координаты диагональной матрицы H и вектора C можно представить следующим образом:

$$C = \begin{bmatrix} c_{ij}^k \\ \dots \\ c^k \end{bmatrix}, (i, j) \in E, k \in K, \quad (8)$$

$$H = \begin{bmatrix} \mu c_{12}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \mu c_{13}^1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu c_{ij}^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu c^k \end{bmatrix}, \quad (9)$$

координаты которых, в свою очередь, определяют величину удельного штрафа за загруженность трактов передачи ТКС (c_{ij}^k) и за ограничение в обслуживании трафиков пользователей (c^k); μ – коэффициент, определяющий во сколько раз координаты диагональной матрицы H больше (меньше) координат вектора C .

II. Анализ влияния вида целевой функции модели и отношения приоритетов трафика на характер отказов в обслуживании

Как показал проведенный в работах [4, 5] анализ, в рамках предложенной потоковой модели управления трафиком обеспечивается согласованное решение задач многопутевой маршрутизации и превентивного ограничения интенсивности трафика, поступающего в сеть. Причем характер возможных отказов в обслуживании при использовании предложенной модели зависит, *во-первых*, от структуры сети и пропускных способностей (ПС) трактов передачи, *во-вторых*, от отношения стоимостей за загруженность трактов передачи сети (c_{ij}^k) к стоимости за ограничение в обслуживании трафиков пользователей (c^k), *в-третьих*, от вида самой целевой функции.

К примеру, моделируя обслуживание каждого трафика в отдельности при различных параметрах модели (1)-(9) для структуры ТКС (рис. 1), в разрывах ТП которой указаны величины их ПС (Мбит/с), получены зависимости нормированной доли отказов $\alpha_*^k = \alpha^k / r^k$ от интенсивности поступающего в сеть трафика при использовании линейной (рис. 2 а) и линейно-квадратичной (рис. 2 б) целевой функции.

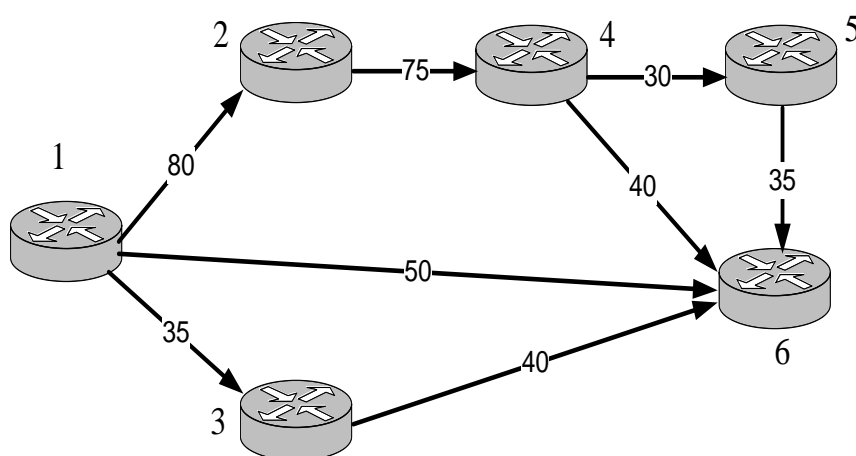
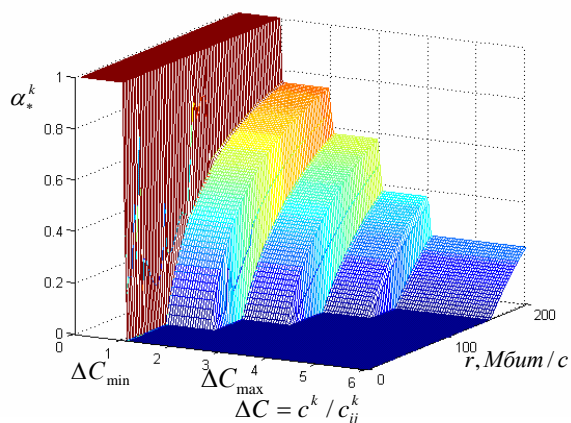
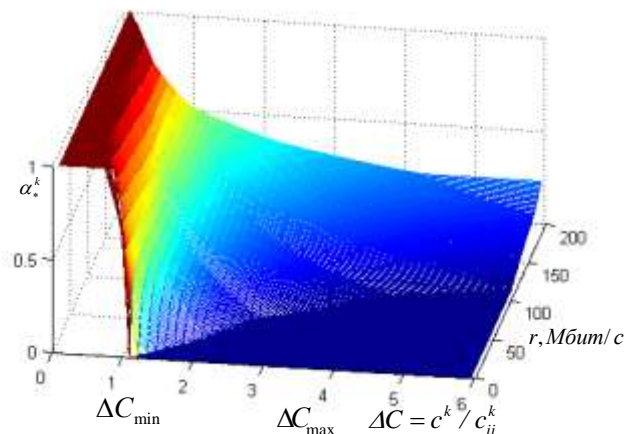


Рис. 1. Пример структуры ТКС

По результатам расчетов можно сделать вывод, что в рамках предложенной модели, в случае использования в качестве критерия оптимальности минимума как линейной, так и линейно-квадратичной целевой функции, наблюдается несколько характерных областей отношений $\Delta C = c^k / c_{ij}^k$ (рис. 2). Так, выбирая отношение весовых коэффициентов в первой области ($0 \leq \Delta C \leq \Delta C_{\min}$), в рамках предложенной модели весь поступающий в сеть трафик получал отказ, т.к. стоимость обслуживания значительно превосходила штраф за отказы. Если же это отношение выбирали в третьей области ($\Delta C_{\max} \leq \Delta C$), наблюдалась обратная картина – штрафы за отказы существенно преобладали над стоимостью обслуживания трафика. Это приводило к возникновению отказов лишь в случае перегрузки сети, что на практике не является приемлемым.



а) при линейной ЦФ



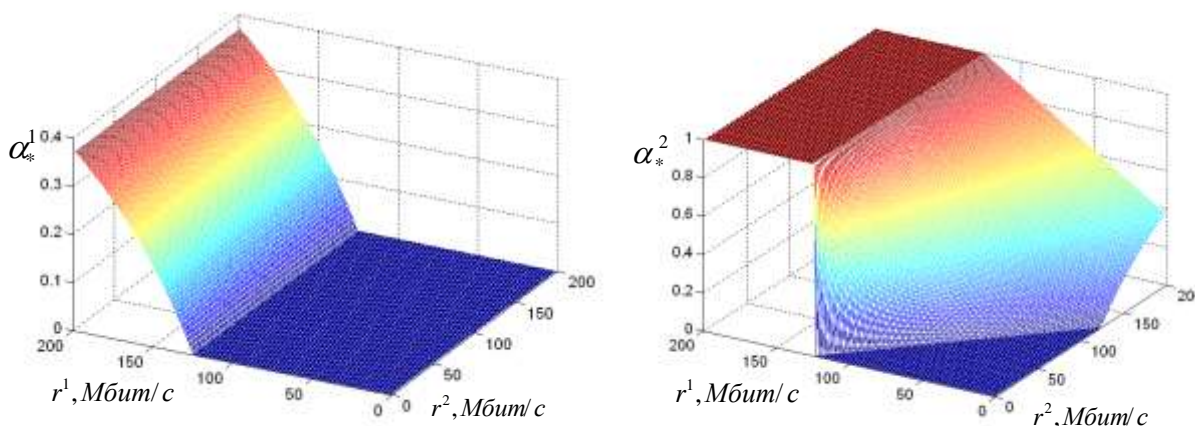
б) при линейно-квадратичной ЦФ

Рис. 2. Зависимость доли отказов в обслуживании (α_*^k) от интенсивности поступающего в сеть трафика (r) и отношения $\Delta C = c^k / c_{ij}^k$

В случае, если это отношение выбирали в области $\Delta C_{\min} < \Delta C < \Delta C_{\max}$, то наблюдалось превентивное ограничение интенсивности трафика. Причём в случае использования в качестве критерия оптимальности минимума линейной целевой функции (6) эта область, в свою очередь, допускала разбиение на ряд подобластей (рис. 2 а). В ходе исследований установлено, что количество таких подобластей всегда было на единицу меньше, чем число маршрутов различной длины между заданной парой узлов. При использовании же в качестве критерия оптимальности минимума линейно-квадратичной целевой функции (7), в отличие от модели с линейной целевой функцией, в пределах этой области отказы в доступе осуществлялись не скачкообразно по подобластям, а плавно, начиная с пути наибольшей длины (рис. 2 б). Таким образом, в зависимости от загруженности сети выбором весовых коэффициентов (8) можно варьировать степень (уровнем) превентивного ограничения интенсивности поступающего в сеть трафика.

III. Анализ отказов в обслуживании для многопродуктового двухполюсного случая

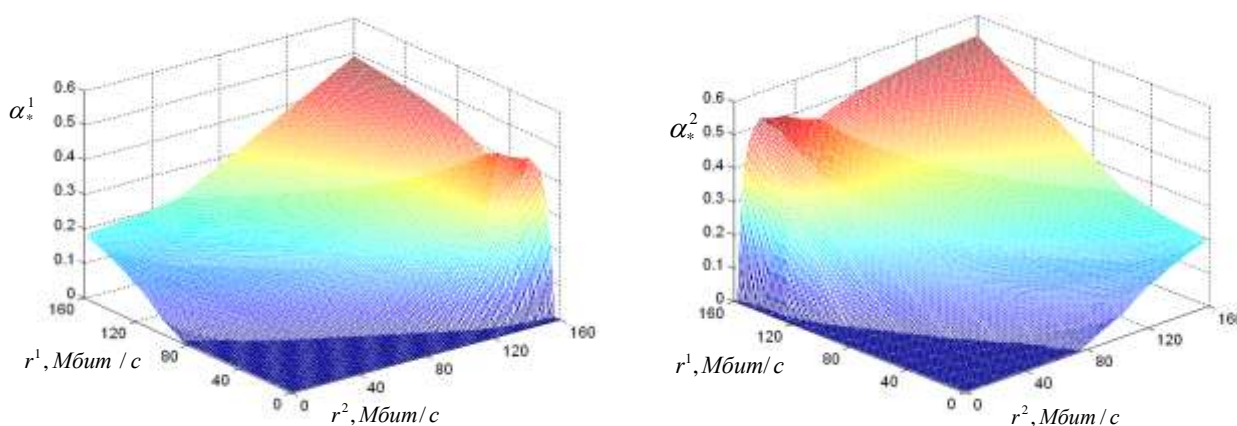
В данной работе также проведен анализ процесса управления трафиком в сети со структурой, представленной на рис. 1, при совместном обслуживании двух трафиков, передаваемых между одной и той же парой узлов (двухполюсный случай) с различными приоритетами, задаваемыми путём изменения значений отношений ΔC . В ходе исследования установлено, что характер возможных отказов в обслуживании при использовании предложенной модели (1)-(9) также зависит от вида целевой функции. Так, ниже представлены зависимости доли отказов высокоприоритетного (α_*^1) и низкоприоритетного (α_*^2) трафиков от их интенсивностей при использовании в модели (1)-(9) соответственно линейной (рис. 3) и линейно-квадратичной (рис. 4) целевой функции.



а) отказы высокоприоритетного трафика б) отказы низкоприоритетного трафика

Рис. 3. Зависимость доли отказов высокоприоритетного (α_*^1) и низкоприоритетного (α_*^2) трафиков от их интенсивностей (r^1, r^2) для модели с линейной ЦФ

Результаты анализа показали, что в рамках предложенной модели (1)-(9), в случае использования в качестве критерия оптимальности минимума линейной целевой функции, реализуется обслуживание трафиков на основе так называемых абсолютных приоритетов. Так, *во-первых*, в случае возможной перегрузки сети превентивное ограничение будет испытывать в первую очередь низкоприоритетный трафик вплоть до полного отказа в доступе (рис. 3 б). *Во-вторых*, трафик с более высоким приоритетом не будет ущемляться до тех пор, пока можно отказать низкоприоритетному (рис. 3 а). *В-третьих*, отказы осуществляются за счёт последовательного отключения путей, начиная с наибольшей "длины". Подобная модель ограничения интенсивности трафика во многом схожа с моделью приоритетного обслуживания очередей (Priority Queuing, PQ) на сетевых узлах.



а) высокоприоритетный трафик

б) низкоприоритетный трафик

Рис. 4. Зависимость доли отказов высокоприоритетного (α_*^1) и низкоприоритетного (α_*^2) трафиков от их интенсивностей (r^1, r^2) для модели с линейно-квадратичной ЦФ

При использовании в данной модели линейно-квадратичной целевой функции организуется более справедливое управление на основе относительных приоритетов, т.е. в случае возможной перегрузки отказы в обслуживании касаются всех трафиков, при этом в меньшей степени высокоприоритетного (рис. 4 а), в большей – низкоприоритетного (рис. 4 б), что напоминает работу алгоритма взвешенного равномерного обслуживания (WFQ). При этом в рамках модели заложена возможность настройки как степени превентивности ограничения поступающего в сеть трафика путём изменения отношения весовых коэффициентов, так и степени процентного соотношения величины возможных отказов в обслуживании высокоприоритетного трафика относительно низкоприоритетного путём изменения значение множителя μ диагональной матрицы H (9).

IV. Анализ отказов в обслуживании для многопродуктового многополюсного случая

Учет приоритетов при управлении трафиком является необходимым, но далеко не достаточным условием борьбы с перегрузкой ТКС. Важно организовать процесс управления трафиком таким образом, чтобы обеспечивалась идентификация источника перегрузки, т.е. первоочередное ограничение должен испытывать трафик, непосредственно инициирующий перегрузку сети. В этой связи проведено моделирование многопродуктовой многополюсной сети, т.е. сети, в которой циркулировало одновременно несколько разноприоритетных трафиков, пакеты которых передавались уже между различными парами узлов ТКС. Причем для трехпродуктового случая пакеты первого трафика (r^1) передавались от узла 1 к узлу 6, пакеты второго трафика (r^2) – от узла 5 к узлу 2, а пакеты третьего трафика (r^3) – от узла 4 к узлу 3 (рис. 5)

Таблица. Исходные данные и результаты моделирования

№ п/п	r^1 , Мбит/с	r^2 , Мбит/с	r^3 , Мбит/с	$\Delta C_1 = 3,5; \Delta C_2 = 3,3; \Delta C_3 = 3,0$		
				α^1 , Мбит/с	α^2 , Мбит/с	α^3 , Мбит/с
1.	155	30	40	70	0	35
2.	50	80	40	0	50	0
3.	60	30	80	0	0	50

С целью превентивного ограничения интенсивности трафика, основываясь на выводах, полученных в работе [5], высокоприоритетному (первому) трафику отношение ΔC устанавливалось 3,5; трафику со средним приоритетом (второму) – 3,3; низкоприоритетному трафику (третьему) – 3,0. Это позволило при равных условных стоимостях использования этими трафиками канального ресурса (c_{ij}^k) задать стоимость отказов для трафика с более высоким приоритетом выше, чем стоимость отказов трафиков с меньшими приоритетами.

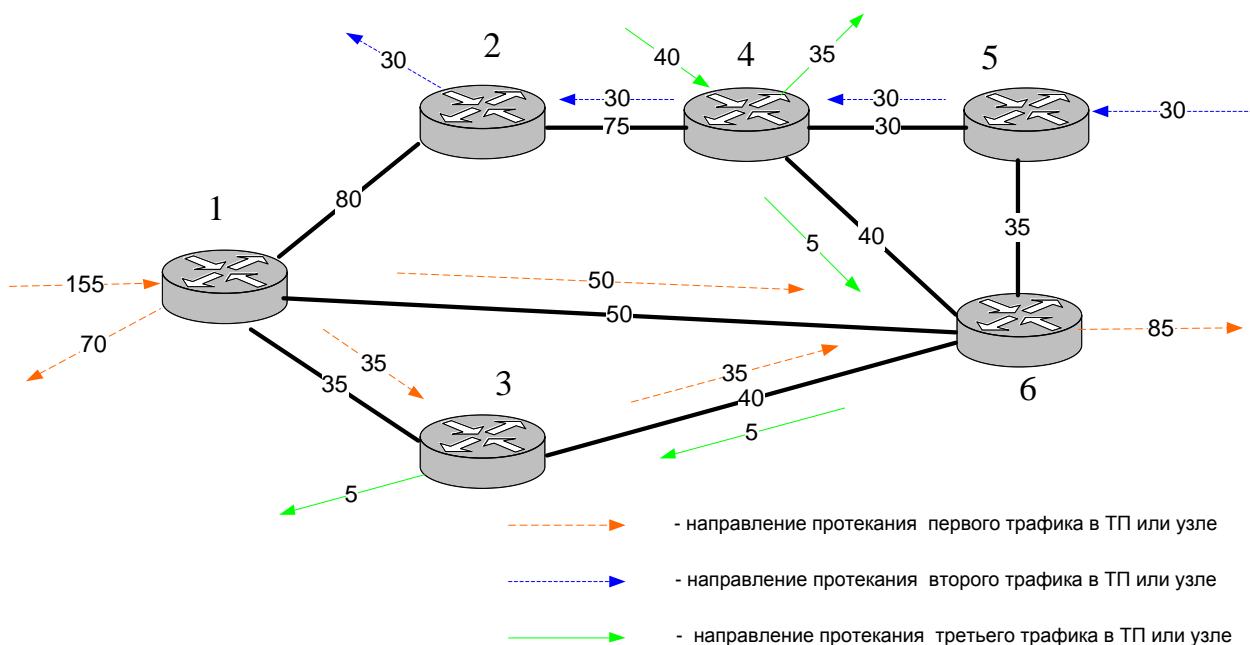


Рис. 5. Результаты управления трафиком с превентивным ограничением его интенсивности для трехпродуктового многополюсного случая

Результаты моделирования (см табл.) показали, что при рассмотрении многопродуктового многополюсного случая модель управления трафиком (1)-(9) реализует свойство по идентификации источника перегрузки сети. Т.е. первоочередно ограничивался трафик, обуславливающий возникновение перегрузки трактов передачи и сети в целом. Например, при интенсивности высокоприоритетного (первого) трафика, равной 155 Мбит/с, интенсивность отказов составляла 70 Мбит/с (рис. 5), при этом использовались два пути из четырех доступных:

узел 1 → узел 6 и узел 1 → узел 3 → узел 6.

При интенсивности второго трафика (средний приоритет), равной 30 Мбит/с, отказы в обслуживании отсутствовали. При интенсивности третьего (наименее приоритетного) трафика, равной 40 Мбит/с, интенсивность отказов составляла 35 Мбит/с. Подобная ситуация свидетельствовала о том, что именно первый и третий трафики обуславливали возникновение перегрузки сети. При этом, даже если вместо первого (высокоприоритетного) трафика ограничить второй трафик, проблема перегрузки менее актуальной не станет.

Выводы

Таким образом, в ходе исследования потоковой модели управления трафиком установлено, что ее использование позволяет обеспечить согласованное решение задач многопутевой маршрутизации и превентивного ограничения поступающего в сеть трафика. Важной особенностью модели является также то, что ограничение интенсивности на границе сети касается именно трафика, вносящего перегрузку в сеть. Если же таких трафиков, передаваемых между одной и той же парой узлов (полю-

сами) сети, несколько, то между ними отказы в обслуживании регламентировались соотношением приоритетов трафиков.

Кроме того, характер отказов во многом зависел от вида используемой в модели целевой функции, подлежащей минимизации; а в зависимости от загруженности сети выбором весовых коэффициентов (8) можно варьировать уровнем превентивного ограничения поступающего в сеть трафика. При использовании линейной целевой функции (6) ограничение трафика осуществлялось путем отказа в использовании путей (пропорционально их длине). В случае возможной перегрузки сети превентивное ограничение будет испытывать в первую очередь низкоприоритетный трафик – вплоть до полного отказа в доступе. В случае линейно-квадратичной ЦФ организуется более справедливое управление на основе относительных приоритетов, т.е. в случае возможной перегрузки отказы в обслуживании касаются всех трафиков, при этом в меньшей степени высокоприоритетного; отказы в доступе осуществлялись не скачкообразно, а плавно, начиная с пути наибольшей длины.

Список литературы:

1. Денисова Т.Б., Лихтциндер Б.Я., Назаров А.Н. и др. Мультисервисные АТМ сети. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 320 с.
2. Вегенша Ш. Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 386 с.
3. Остерлох Х. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка. – СПб.: ВNHV. – СПб. – 2002. – 512 с.
4. Лемешко А.В. Васюта К.С., Добрышкин Ю.Н. Адаптивное ограничение интенсивности трафика на приграничных узлах мультисервисной сети связи // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 151. – С. 5–10.
5. Лемешко А.В. Добрышкин Ю.Н. Щербинин С.А. Исследование модели управления трафиком с анализом областей превентивного ограничения его интенсивности на границе сети // Моделювання та інформаційні технології. – 2008. – Вип. 49. – С. 64–72.
6. Добрышкин Ю.Н. Модель управления трафиком с его превентивным ограничением на основе абсолютных и относительных приоритетов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2009. – Вып. 156. – С. 13–19.