



РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ СЕТЕВЫМИ РЕСУРСАМИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ СОВОКУПНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

БЕЗРУК В.М., БУХАНЬКО А.Н., БИДНЫЙ Ю.М.,
ДЕМИН А.Н.

Предлагается модель балансировки информационных ресурсов в мультисервисных сетях на основе децентрализованной системы управляющих агентов, преимущество которой заключается в учете выбираемых показателей качества, а также стандартной метрики протокола маршрутизации. Рассматривается адаптивный алгоритм балансировки трафика, позволяющий улучшить основные показатели качества обслуживания для частных случаев топологий сетей. Имитационное моделирование проводится с использованием специально разработанного программного комплекса. Внедрение предложенной модели и алгоритма в практические разработки способно уменьшить локальные перегрузки в отдельных узлах, адаптировать сеть к трафику, характерному для мультисервисных приложений.

Введение

Процесс развития перспективных мультисервисных телекоммуникационных систем (ТКС), являющихся базой для создания и использования сетей следующего поколения (Next Generation Network, NGN), существенно зависит от развития их средств управления. К основным таким средствам относят механизмы управления трафиком, который представляет собой информационный ресурс, а также средства распределения пропускной способности (ПС) каналов связи (КС), являющейся канальным ресурсом ТКС [1, 2].

Как показал проведенный анализ [2, 3], существующие средства управления сетевыми ресурсами, ориентированные на процессы многопутевой маршрутизации, неспособны обеспечить одновременный учет нескольких важнейших вероятностно-временных показателей ТКС, а особенно функциональной и структурной взаимосвязи ее участков, что приводит к несогласованности управляющих решений, а соответственно к нерациональному использованию сетевых ресурсов. Основной причиной рассмотренных недостатков является несовершенство моделей, мето-

дов и алгоритмов, положенных в основу соответствующих технологических средств управления сетевыми ресурсами.

Достаточно актуальной научной и практической тематикой на данный момент является использование децентрализованного подхода к реализации системы управления информационными и канальными ресурсами гетерогенных ТКС [4]. Децентрализованная система характеризуется отсутствием единого центра управления ТКС и представляет собой сеть распределенных агентов. Базовым элементом данной системы является управляющий агент (УА), отвечающий за определенный участок сети и обменивающийся служебной информацией с ближайшими агентами. Каждый УА является равноправным участником процесса управления, и конструктивно представляют собой интеллектуальные сетевые устройства (управляемый коммутатор, маршрутизатор, сервер доступа к услуге).

Составной частью УА являются программные процедуры управления принадлежащим ему участком ТКС. Некоторые из них рассмотрены в [5] и имеют существенный недостаток – недостаточный комплексный подход к решению задачи управления информационными потоками мультисервисной ТКС. Исходя из этого, сформулирована цель исследования – создание гибких, эффективных процедур управления динамически изменяющимся, многокритериальным, многоприоритетным трафиком участка ТКС и всей сети в целом на основе децентрализованной системы управляющих агентов.

1. Децентрализованная система управления пользовательскими информационными ресурсами в ТКС

Структурная модель ТКС (рис. 1) характеризуется множествами УА $G = \{g_1, \dots, g_n\}$ и КС $M = \{m_1, \dots, m_c\}$. Каждый УА инцидентен некоторому подмножеству КС $M' \subseteq M = \{m_1, \dots, m_c\}$, соединяющему его со смежными агентами (зонами), источниками либо получателями информации. Множество КС, в первую очередь, характеризуется значением их ПС $C = \{c_1, \dots, c_c\}$.

Главной целью рассматриваемой системы управления на основе УА является поддержка выбранных показателей качества обслуживания для обеспечения заданных параметров и характеристик передачи данных в условиях мультисервисного трафика ТКС.

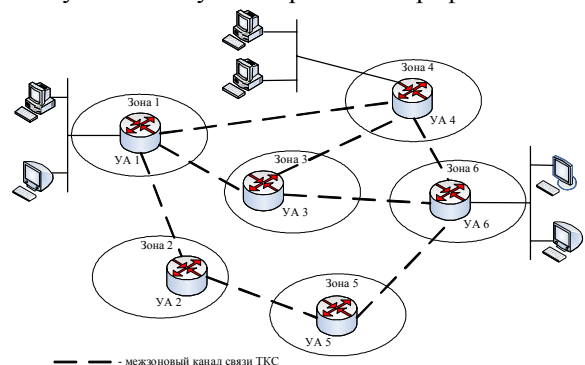


Рис. 1. ТКС с управлением на основе агентов

Общая относительная загруженность отдельного УА находится следующим образом:

$$Z_{УА} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_{вхi} + \sum_{i=1}^m \lambda_{выхi}}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^m \lambda_{вхi}$ – общая входная интенсивность информа-

ционных потоков КС, принадлежащих УА; $\sum_{i=1}^m \lambda_{выхi}$ –

общая исходящая интенсивность КС агента; $\sum_{i=1}^m N_i$ –

общая ПС КС агента.

Обобщая задачу управления информационными ресурсами, возложенную на УА, можно сказать, что ее исходными условиями является следующая совокупность данных:

– данные, касающиеся конкретного информационного пакета: узел-получатель; маршрут, назначенный пакету; приоритет пакета.

– состояние участка сети: состояние инцидентных агенту каналов, состояние смежных УА, состояние маршрутов, проходящих через определенный УА.

– набор данных, состоящий в накоплении информации УА (таблица маршрутизации, статистика отправки пакетов и т.д.).

2. Модель балансировки информационных ресурсов в ТКС на основе распределенной системы УА

Разработчики протоколов маршрутизации часто сталкиваются с проблемой определения оптимального пути доставки информации в сети со сложной топологией. При низких нагрузках высокоэффективными являются протоколы с алгоритмами однопутевой маршрутизации [1], которые обеспечивают наилучший по заданному критерию путь между двумя узлами. Но увеличение нагрузки ведет к неравномерному распределению трафика по ТКС, когда нагрузка на одни КС возрастает, а на другие – падает. Решением проблемы на уровне сетевых протоколов является внедрение таких алгоритмов управления (балансировки) трафиком, при которых рационально будет использоваться как можно большее число КС, большинство из которых внедрено в многопутевые протоколы маршрутизации с присущими им недостатками [3].

В рамках описанной модели функционирования ТКС задача балансировки информационных ресурсов локального агента может быть решена посредством поиска экстремумов для следующего целевого функционала:

$$\varepsilon(\vec{K}) = \min(q_1 \Phi + q_2 \sigma_1(\vec{K}) + q_3 \sigma_2(\vec{K})), \quad (2)$$

где $\sigma_1(\vec{K})$ – среднее квадратичное отклонение (СКО) загруженностей каналов УА;

$$\sigma_1(\vec{K}) = \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2}; \quad (3)$$

здесь $\bar{x} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l x_j$; $\sigma_2(\vec{K})$ – СКО загруженностей смежных УА;

$$\sigma_2(\vec{K}) = \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^l (Z_i - \bar{Z})^2}; \quad (4)$$

где $\bar{Z} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l Z_j$; Φ – метрика используемого стандар-

тного протокола маршрутизации; q_1, q_2, q_3 – весовые коэффициенты, характеризующие условную стоимость балансировки по метрике, загруженности каналов и агентов.

Балансировка сетевых ресурсов в представленной ТКС для каждого УА децентрализованной архитектуры заключается в нахождении вектора распределения потока (ВРП) с соответствующими ограничениями:

$$\vec{K} = (k_1, k_2, \dots, k_l), \sum_{i=1}^l k_i = 1, \quad (5)$$

$$0 \leq k_i \leq 1, i = \overline{1..l}, \lambda_i^{вх} \cdot k_i \leq c_i, i = \overline{1..l}.$$

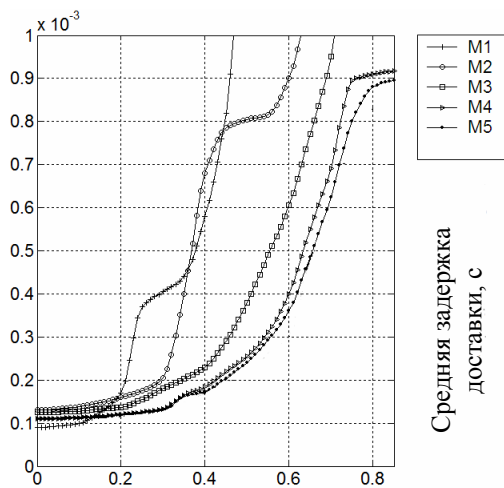
На основе приведенной модели базируется метод и алгоритм управления сетевыми ресурсами, который систематизирует совокупность шагов и действий, необходимых для достижения поставленной цели – сбалансированной загрузки каналов и минимизации использования канальных ресурсов в ТКС.

Для исследования предложенной модели была использована имитационная модель, которая включает до 18 УА, причем 6 из них являются составляющими ядра ТКС, а остальные – приграничными УА. Исследования проводились для различной связности узлов (от 2 до 6).

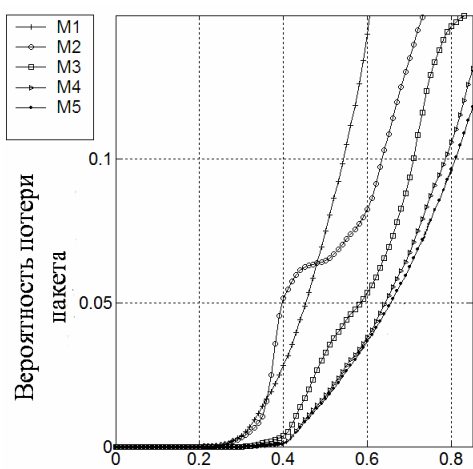
В ходе исследований сравнительному анализу подверглись следующие модели управления сетевыми ресурсами, маршрутизации и распределения сетевых ресурсов, построенных с использованием аналитических и имитационных средств моделирования [1-3]:

M1 – модель однопутевой маршрутизации RIP; M2 – модель многопутевой маршрутизации по путям равной стоимости; M3 – модель многопутевой маршрутизации по путям различной стоимости протокола IGRP; M4 – потоковая модель Галлагера; M5 – предложенная в данной работе аналитическая модель управления сетевыми ресурсами на основе распределенной агентной системы.

Ниже представлены зависимости времени задержки (рис. 2, а) и вероятности потерь пакетов (рис. 2, б) от величины нормированной абонентской нагрузки.



а



б

Рис. 2. Зависимость выбранных показателей качества от нагрузки

Использование предложенной модели управления (M5) в сравнении с другими рассмотренными решениями (M1 – M4) в зависимости от выбранных характеристик потока и связности УА позволяет:

- снизить среднюю задержку передачи пакетов по оптимальному пути ТКС относительно лучшей известной модели M4 в среднем на 3 – 12% (при нормированной абонентской нагрузке более 0,5);
- уменьшить суммарную вероятность блокировки пакетов вдоль оптимального пути ТКС в среднем на 6 – 11% (при нормированной абонентской нагрузке более 0,5).

3. Адаптивный алгоритм балансировки информационных ресурсов в ТКС

Применение балансировки пользовательского трафика при достаточно низких нагрузках для большинства исследованных сетевых топологий не приводит к существенному улучшению основных показателей QoS (задержка и вероятность блокировки пакетов). Этот факт обусловлен тем, что однопутевые алгоритмы маршрутизации (AM) выбирают оптимальный по заданному критерию путь, который таковым является,

пока суммарная нагрузка в нем не превысит некоторого значения.

Поэтому актуальным является вопрос синтеза AM и рассмотренной выше модели балансировки информационных ресурсов для нивелирования недостатков одного преимуществами другого. Основная идея объединения заключается в том, что при низкой и средней нагрузке управление информационными пакетами осуществляется согласно однопутевому AM, а при высокой – происходит балансировка, при которой пакеты распределяются по КС меньшей загруженности, согласно применяемой стратегии многопутевой маршрутизации.

В данном алгоритме каждый агент формирует набор векторов распределения потока (ВРП) – функцию от предполагаемого агента-получателя (узла). Соответственно, информационные пакеты, предназначенные одному и тому же узлу, направляются в инцидентные узлу-обработчику КС согласно рассчитанным значениям ВРП. Алгоритм, позволяющий рассчитать ВРП для каждой пары (узел-обработчик (А), конечный узел (Б)), в основе содержит метод Дейкстры, который дополняется итерационным процессом и вычитанием оптимальных путей с общей матрицы ТКС. Алгоритм вычисления ВРП для некоторой пары (А, Б) можно представить в следующем виде:

- 1) расчет оптимального маршрута по алгоритму Дейкстры;
- 2) элемент ВРП, соответствующий следующему узлу, в который должны быть переданы информационные пакеты, увеличивается на метрику оптимального маршрута (при максимизации метрики пути) или на величину, обратную метрике оптимального маршрута (при минимизации метрики);
- 3) определение ПС оптимального маршрута (участка пути с минимальной ПС). Если первая итерация, то запомнить ПС;
- 4) вычитание из элементов оптимального пути величины ПС (умноженной на некоторый коэффициент, выбираемый из экспертных соображений);
- 5) если ПС пути меньше ПС, вычисленной на первой итерации, в 100 раз, то переходим к следующему пункту, в противном случае – к пункту 1;
- 6) нормировка ВРП. Завершение алгоритма.

Процесс балансировки предназначен для изменения маршрутного решения, в случае, если первоначально выбранный путь передачи нерационален по заданным показателям состояния ТКС (чаще всего, перегрузка). Предлагается введение единого на сеть коэффициента балансировки (КБ) для следующих целей: если нагрузка в КС, выбранном AM, больше КБ, то используется рассмотренный выше алгоритм балансировки. Если нет, то решение об отправке информационного пакета принимает однопутевый AM.

Использование балансировки требует постоянного отслеживания состояния КС. Для определения мгновенной нагрузки в КС каждый узел должен вести учет занятости канала за некоторый небольшой промежуток времени. Загруженность КС будет равна отношению времени занятости КС к продолжительности отслеживаемого интервала.

Оценка адаптивного алгоритма балансировки информационных ресурсов проводилась на основе специально разработанного программного комплекса SimulNetwork, созданного на основе языка программирования C++ (рис. 3). Данный комплекс используется для построения имитационных моделей ТКС с децентрализованной агентной системой в соответствии с исследуемыми алгоритмами управления сетевыми ресурсами.

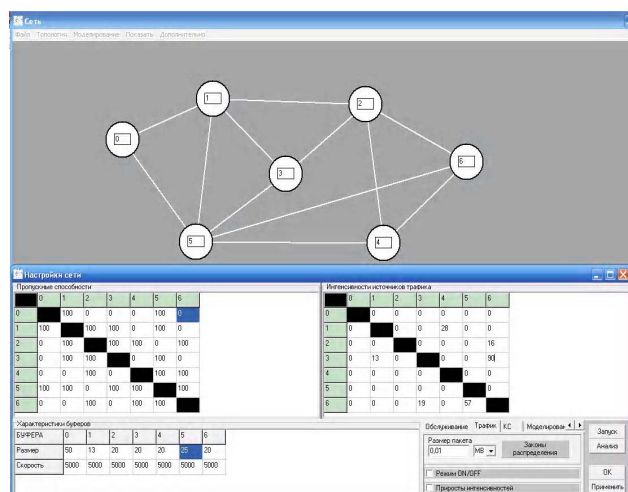


Рис. 3. Интерфейс приложения SimulNetwork

Возможности разработанного приложения включают в себя:

1. Создание ТКС с заданным количеством узлов с УА и связностью.

2. Численное задание следующих сетевых характеристик:

- ПС каждого КС;
- надежность каждого КС;
- размер буфера при каждом узле;
- скорость буферной обработки данных;
- количество параллельно обслуживаемых информационных пакетов в узле.

3. Задание характеристик источников информационных пакетов:

- средние интенсивности передаваемого трафика между двумя любыми узлами (в абсолютных и относительных единицах);
- закон распределения длины пакетов;
- средняя длина пакета;
- характер трафика (импульсный, равномерный).

4. Выбор условий, касающихся передачи трафика в сети:

- выбор метрики алгоритмов однопутевой и многопутевой маршрутизации;
- использование многопутевой маршрутизации с заданием необходимого ВРП согласно (5);
- использование балансировки информационной нагрузки с выбором коэффициента включения и с определением ограничений КС;
- выбор дисциплины обслуживания очередей (FIFO, LIFO, RED);
- использование упрощенной модели алгоритма отбрасывания пакетов в очередях узлов.

Для проведения моделирования в приложение включены следующие возможности:

1. В реальном масштабе времени работы программы:

- мониторинг состояния каждого КС;
- определение средней задержки и вероятности блокировки в каждом узле отдельно и по ТКС в целом;
- оценка времени работы реальной ТКС с теми же характеристиками;
- аналитический расчет коэффициентов готовности каждого маршрута.

2. На момент окончания моделирования:

- построение графиков зависимостей средней задержки и вероятности блокировки по ТКС в целом от поступающей от источников информации нагрузки;
- сравнение полученных результатов для нескольких сетевых настроек;
- аппроксимация графических результатов.

Для оценки предложенного в данной работе адаптивного алгоритма балансировки информационных ресурсов были использованы ячеистые топологии ТКС с децентрализованной системой управления на основе УА различной связности и размера (рис. 4).

При исследовании топологии 1 (рис. 4, а) было выбрано несколько узлов-источников трафика, соответственно, столько же узлов получателей. При моделировании топологии 2 (рис. 4, б) трафик определенного значения передавался между всеми узлами ТКС.

Результаты сравнения методов управления трафиком для двух указанных топологий приведены зависимостями вероятности блокировки – P_{blok} (рис. 5, 7) и задержки – T (рис. 6, 8) информационных пакетов в сети от интенсивности источников трафика (1 – однопутевая маршрутизация (OSPF); 2 – многопутевая маршрутизация (IGRP); 3 – предложенный алгоритм адаптивной балансировки).

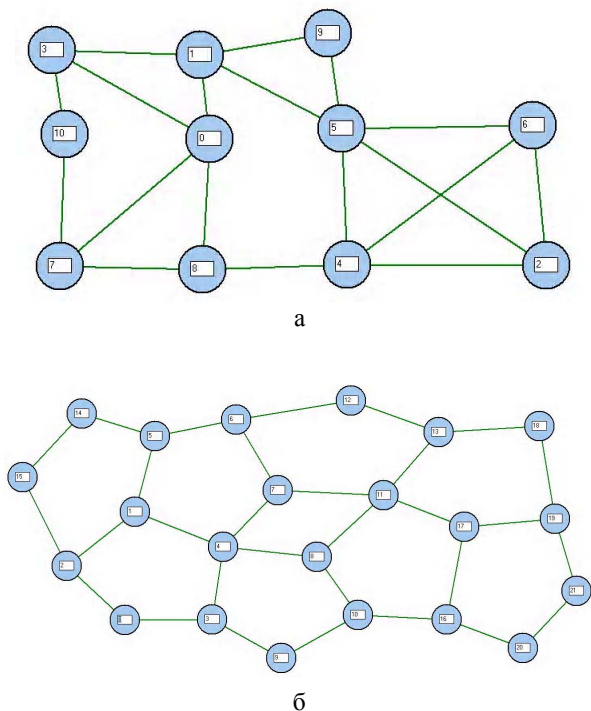


Рис. 4. Исследуемые топологии ТКС с системой УА

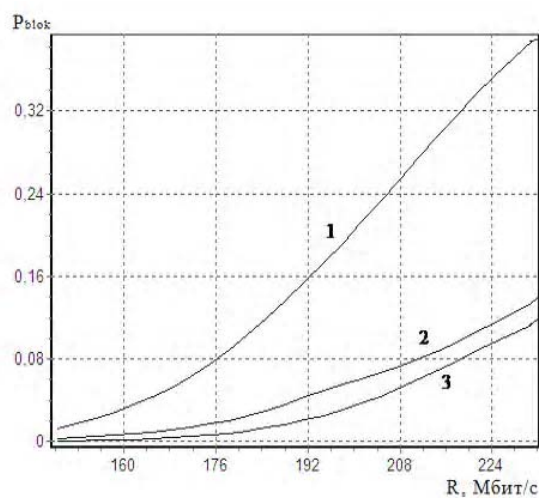


Рис. 5. Зависимость P_{blok} (топология 1)

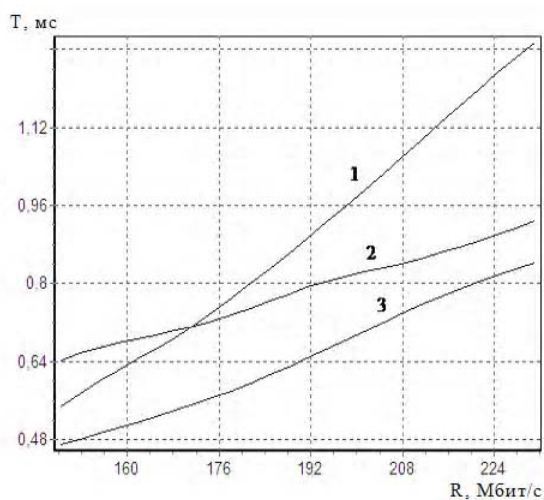


Рис. 6. Зависимость T (топология 1)

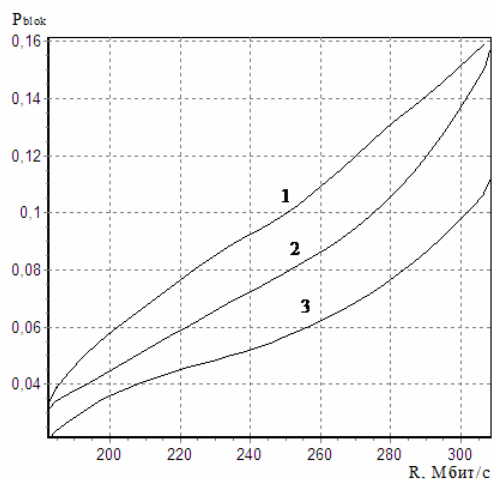


Рис. 7. Зависимость P_{blok} (топология 2)

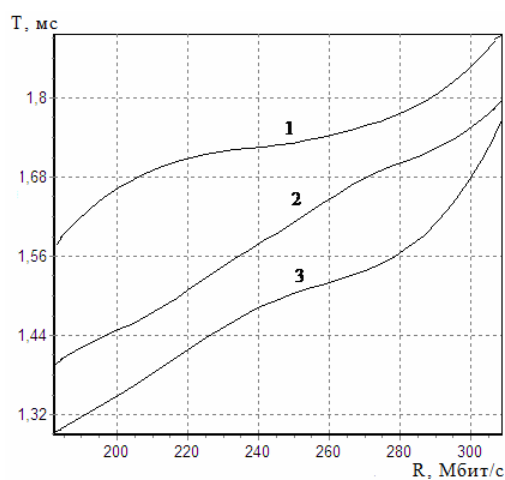


Рис. 8. Зависимость T (топология 2)

Исходя из результатов имитационного моделирования, можно сделать вывод, что, в зависимости от используемой топологии ТКС с соответствующей децентрализованной системой управления на основе УА, предложенный алгоритм адаптивной балансировки информационных ресурсов позволяет:

- уменьшить вероятность блокировки относительно широко используемого многопутевого AM IGRP в среднем на 12 – 25%;
- уменьшить среднее время задержки в ТКС в среднем на 10 – 25%.

Таким образом, исходя из результатов исследования, с точки зрения векторной оптимизации [6] данный алгоритм является наиболее эффективным, исходя из выбранных двух показателей качества: задержки и вероятности блокировки.

Выводы

По результатам исследования можно сделать следующие заключения:

1. Разработана математическая модель динамического управления сетевыми ресурсами. Предложенная модель имеет ряд преимуществ: учет динамики про-

цессов в мультисервисных гетерогенных ТКС; обеспечение адаптивной балансировки информационных ресурсов, как одиночного УА, так и всей сети в целом; совместимость с существующими АМ.

2. Разработанный адаптивный алгоритм управления сетевыми ресурсами превосходит однопутевые АМ на любых сложных топологиях ТКС по основным показателям QoS, позволяя повысить максимальные ПС в сети на 10-22%.

Результаты сравнения с многопутевыми АМ зависят от исследуемой топологии, однако в частных случаях разработанный метод при высоких сетевых нагрузках дает меньшие средние задержки и вероятности блокировки, тем самым увеличивая ПС в сети на 3-10%.

3. Внедрение предложенной модели и алгоритма в практические разработки способно уменьшить локальные перегрузки в отдельных узлах, адаптировать сеть к изменяющемуся, многокритериальному, многоприоритетному трафику, характерному для мультисервисных ТКС.

Литература: 1. *Вегишна Ш.* Качество обслуживания в сетях IP / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс». 2003. 386 с. 2. *Лемешко А.В.* Динамическая модель балансировки буферных и канальных ресурсов транспортной сети телекоммуникационной системы [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, Д.В. Симоненко // Проблемы телекоммуникаций. 2010. № 2 (2). С. 42 – 49. http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_lemeshko_dynamic.pdf. 3. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. Поповського В.В. Харків: ТОВ «Компанія

СМІТ». 2006. 564 с. 4. *Степанов А.Н.* Архитектура вычислительных систем и компьютерных сетей. СПб: Питер. 2007. 512с. 5. *Буханько А.Н., Безрук В.М., Дуравкин Е.В.* Алгоритмы управления каналами связи интеллектуального агента участка сети // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2009. № 645. С. 68 – 72. 6. *Безрук В.М.* Векторная оптимизация и статистическое моделирование в автоматизированном проектировании систем связи. Харьков: ХНУРЭ, 2002.

Поступила в редколлегию 12.03.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Саваневич В.Е.

Безрук Валерий Михайлович, д-р техн. наук, зав. каф. сетей связи ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация сетей, планирование проводных и мобильных информационных сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 702-14-29.

Буханько Александр Николаевич, канд. техн. наук, ст. пр. кафедры сетей связи ХНУРЭ. Научные интересы: нечеткая логика в телекоммуникациях, алгоритмы балансировки трафика. Адрес: Украина, Харьков, 61000, ул. Гв. Широнинцев, 123, кв. 55, тел. (057) 778-47-09.

Бидный Юрий Михайлович, канд. техн. наук, доцент каф. сетей связи ХНУРЭ. Научные интересы: разработка моделей протоколов управления информационных сетей. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Харьковская набережная, 9, кв. 8, тел. (057) 706-11-81.

Демин Артем Николаевич, магистрант кафедры сетей связи ХНУРЭ. Научные интересы: имитационное моделирование составляющих сетей и их алгоритмов управления. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Героев Труда, 28, кв. 165, тел. 0631868206.