

УДК 621.391.28

МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПАКЕТНЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ

Н. Н. Мошак, главный научный сотрудник НТЦ ПАО «Интелтех», д.т.н.; nnmoshak49@mail.ru

А. И. Яшин, заместитель генерального директора-директор НТЦ ПАО «Интелтех», д.т.н.; a_yashin@inbox.ru

Е. В. Давыдова, старший преподаватель кафедры Информационных управляющих систем СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича; k_davidova@bk.ru

С позиций системного подхода предложены основные принципы моделирования и анализа процессов функционирования инфотелекоммуникационных транспортных систем с учетом специфики организации мультимедийных соединений.

Ключевые слова: NGN, мультисервисная сеть связи, инфотелекоммуникационная транспортная система, критерий эффективности, качество обслуживания (QoS), моделирование.

Введение. Создание национальной инфокоммуникационной сети (ИКС) NGN — задача ближайшей перспективы [1–3]. Область взаимодействия ИКС в терминах модели взаимодействия открытых систем образует цифровая телекоммуникационная мультисервисная сеть связи (МСС) или транспортный слой (уровень) в архитектуре NGN. В ее состав входят абоненты МСС, широкополосные сети доступа и мультипротокольная инфотелекоммуникационная транспортная система (ИТС), образующая пакетное коммуникационное ядро сети (рис. 1). ИТС реализует услуги переноса (bearer service) разнородной информации между сетевыми

окончаниями сети и обеспечивает основные ее сетевые характеристики без какого-либо анализа или обработки содержания.

Основой МСС являются пакетные технологии передачи различных видов информации [1, 3]. В этой связи актуальной задачей становится разработка теории моделирования и анализа пакетной МСС.

Концептуальная модель ИТС. Функционально-структурная организация ИТС [4, 5] определяет ее структуру на уровне функциональных компонентов (подсистем) и порядок их взаимодействия при выполнении единой цели системы. Описание любой системы и условий ее функционирования характеризуется определенной совокупностью параметров. При анализе и синтезе системы формируются в основном три группы данных:

- 1) *входные параметры* I^k , определяющие ограничения задачи оптимизации;
- 2) *внутренние или проектные параметры* W^k , под которыми понимают независимые переменные параметры, полностью и однозначно определяющие решаемую задачу проектирования;

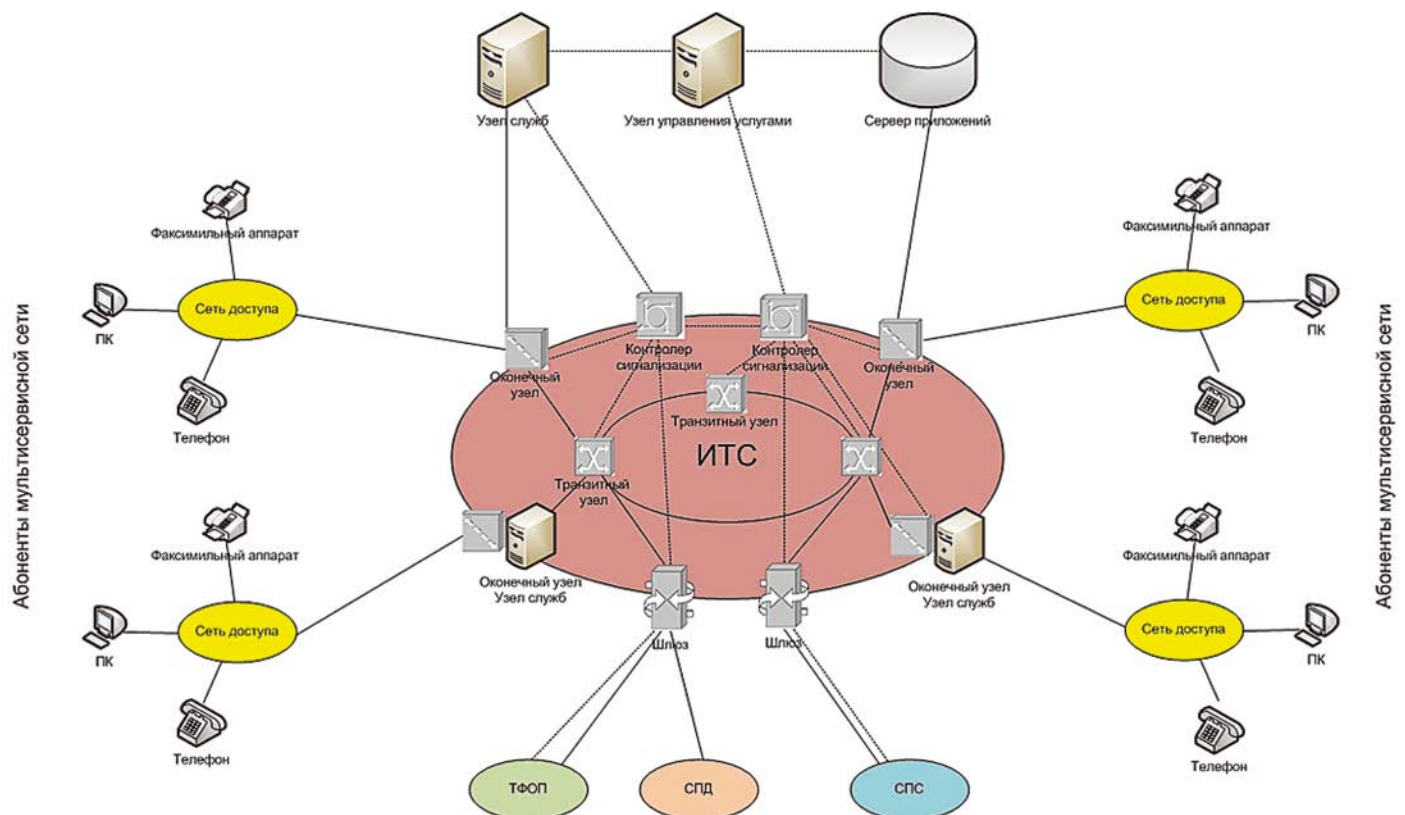


Рис. 1. Структура мультисервисной сети NGN

3) *выходные или целевые параметры (интегральные и дифференциальные)* O^k : экономические, вероятностно-временные характеристики (ВВХ) процесса доставки сообщений, использования сетевых ресурсов и др. Внешние и внутренние группы параметров образуют *параметрические базисы*.

Среди выходов могут быть выделены два вида *переменных*: критерии, максимизируемые или минимизируемые в процессе оптимизации, и лимиттеры, на которые накладываются ограничения. Внутренние переменные применительно к задаче оптимизации разбиваются на две группы: управляемые и неуправляемые. Первые — модельные параметры, непосредственно влияя на которые алгоритм осуществляет оптимизацию; вторые — различные производные от управляемых. Они могут быть как контролируемые, так и неконтролируемые. На переменные этого базиса также могут накладываться ограничения.

Входные параметры ИТС определяют ограничения задач оптимизации и задаются вектором I^k , который может быть представлен набором агрегатов

$$I^k = [Q^{k,q}, y_{ij}^{multy}].$$

Здесь $Q^{k,q}$ — количество оконечных систем (ES) k -го класса трафика. Нагрузочные характеристики:

λ_{ij}^k — суммарная интенсивность трафика k -го класса в линейно-цифровом тракте (ЛЦТ) между инцидентными узлами сети i и j , пакет/с (сообщений/с), в режиме установленного соединения; y_{ij}^{multy} — интенсивность мультимедийных вызовов, вызов/час; Y^{multy} и ρ_{ij}^k — соответственно суммарная нагрузка, поступающая в систему (Эрл), и коэффициенты межузловой загрузки ЛЦТ трафиком k -го класса; \bar{a}_{st}^{multy} — доля входящего потока в общем сетевом потоке Y^{multy} в тракте $st \in S^k$ от источника s в направлении получателя t (S^k — множество корреспондирующих пар в сети мощности $r^k = |S^k|$);

$$\bar{a}_{st}^{multy} = \sum_k \frac{Mark^k}{3600c} y_{st}^{multy} t^{multy} [(1 - b)^{multy}], \text{ Эрл;}$$

t^{multy} — средняя длительность мультимедийного соединения, с; b^{multy} — заданные потери мультимедийного вызова;

$Mark^k = \sum_{q=1}^{O^k} \left[\frac{v_q^k}{\Theta^{\min}} \right]$ — суммарная марка трафика, требуемого для обслуживания всех пользователей k -го класса в тракте $st \in S^k$; Θ^{\min} — базовая минимальная ширина полосы пропускания (бит/с); v_q^k — скорость работы оконечного устройства k -го класса q -го типа в составе мультимедийного терминала (бит/с).

Внутренние параметры ИТС могут быть представлены вектором

$$W^k = [G, H_h^k, S_h^k, A^k, V_{ij}, p_{ij}^{\text{om}}, L_h^k],$$

где подвектор G отображает тип топологической структуры; подвектор протоколов $H_h^k = [H_{ph}^k, H_L^k, H_N^k, H_T^k]$ характеризует типы уровней протоколов ИТС (например, $h_p = 1,4$ — для пакетных ИТС на технологии IP-QoS, $h_{pp} = 1,5$ — для ИТС на технологии ATM [5]); подвектор $A^k = [A^k, S_h^k(M_h)]$ отображает тип административной системы управления, в том числе системы управления безопасностью. Здесь A^k — характеризует систему сетевого управления; $S_h^k(M_h)$ — базовые S -услуги безопасности, реализуемые M -механизмами защиты на h -уровне логиче-

ской структуры сети ($S_p = 1,5, M_p = 1,14$ [6]); p_{ij}^{om} — вероятность ошибки в ЛЦТ $ij \in J$; V_{ij} — скорость передачи в ЛЦТ, бит/с; L_h^k — длина протокольного h -уровневого примитива логической структуры сети, бит.

Выходные или целевые параметры ИТС задаются вектором $O^k = [C^k, P^k, K^k]$. Подвектор $P^k = [\theta^{B,q}, d^{B,q}, R_{skew}, T^c]$ отображает ВВХ ИТС: T^c — заданное среднее время пребывания S -пакета данных в сети; R_{skew} — коэффициент межпоточного смещения изохронных потоков k -го класса q -го типа; $d^{B,q}$ — вероятность превышения заданного времени $\theta^{B,q}$ в тракте передачи $st \in S^k$ пакетами B -го класса q -го типа (например, речь, видео); подвектор C^k отображает стоимостные характеристики и $K^k = [I^k, W^k]$ — функциональные. При необходимости задаются также требования к этим характеристикам.

Абстрактную модель изучаемой системы в самом общем виде можно представить в виде зависимости

$$O^k = f(I^k, W^k), \tag{1}$$

где O^k — некоторый выходной (целевой) количественный показатель эффективности системы или критерий эффективности (в нашем обозначении K^k); W^k — управляемые внутренние переменные системы; I^k — неуправляемые внешние воздействия. Указанная функциональная зависимость является в общем виде концептуальной, или системной моделью ИТС, или критерием ее эффективности (рис. 2).



Рис. 2. Концептуальная модель ИТС

Задача ИТС — обеспечение требуемого качества услуги переноса мультимедийного трафика в сеансе связи с предоставлением минимума сетевых ресурсов. Таким образом, ИТС определяет две основные функции системы. Первая связана непосредственно с самой системой и является характеристикой качества функционирования системы (Network Performance, NP), т.е. характеризует ее эффективность. Как отмечалось выше, основным характеристическим показателем качества функционирования (характеристической мерой) ИТС является степень использования пропускной способности системы мультимедийным трафиком в режиме установленного соединения. Вторая функция связана с пользователем и служит характеристикой QoS в сеансе связи или характеристикой качества процесса переноса мультимедийного трафика.

Подобная формализация (1) необходима для декомпозиции общей задачи анализа процессов функционирования ИТС на частные задачи и перехода от внешнего описания системы к описанию ее внутреннего строения. При этом возможны следующие задачи [6, 7]:

дано I^k, W^k . Найти O^k ; (2)

дано I^k , ограничения на O^k . Найти W^k ; (3)

дано I^k , ограничения на O_1^k . Найти W_0^k , доставляющее опт $O_2^k, O^k = [O_1^k, O_2^k]$. (4)

Если фиксировать компоненты вектора W^k и варьировать их параметры, то получим соответственно проектные процедуры:

- *параметрического анализа* (2). Заданы структура сети и пропускные способности пучков каналов. Требуется минимизировать ВВХ сети, варьируя потоками;
- *параметрического синтеза* (3). Заданы структура сети, матрица нагрузок, максимальная общая стоимость сети. Необходимо минимизировать ВВХ сети, варьируя пропускной способностью отдельных пучков каналов;
- *параметрической оптимизации* (4). Здесь вектор O_k^2 — количественный критерий эффективности системы, компоненты O_1^k — ограничения оптимизационных задач на ВВХ ИТС.

Выбор состава оптимизируемых параметров и разработка математических методов расчета показателей качества и критерия эффективности защищенной ИТС основаны на ряде предположений о функционально-структурной организации подсистем. Для оценки эффективности и расчета ВВХ системы необходимо: построить критерий эффективности ИТС; создать на базе критерия эффективности ее аналитическую модель, выявляющую функциональные зависимости критерия эффективности и критерия обслуживания от параметров системы; разработать алгоритмы и программы численного расчета характеристик системы на основе полученных аналитических зависимостей [6, 7].

Принцип функционально-структурной целостности ИТС. Этот принцип предписывает моделировать процессы функционирования ИТС с учетом их совокупности, взаимосвязи друг с другом и сетевым окружением, а также задачи системы, т.е. строить модели функционирования с позиций системного подхода [4–7]. Наиболее естественной основой такого подхода является концепция моделей сетевых архитектур [4, 5]. Архитектура МСС описывает ее внутреннее строение, алгоритмы работы, структуру и состав процедур доступа, обмена и управления, а также построение и взаимосвязь ее логической, программной и физической структур.

Логическая структура МСС описывает ее полный функциональный профиль и базируется на рассредоточении процессов передачи и обработки разнородной информации по функциональным (логическим) h -уровням каждой из систем и имеет многослойный вид [8, 9]. Логическая структура сети должна удовлетворять принципам системной декомпозиции, в частности, обеспечивать относительную независимость уровней друг от друга. Это позволяет модифицировать функции любого уровня, определить тип структурных отношений, характеризующих упорядоченностью и организованностью взаимодействий между отдельными уровнями по вертикали, а также разложить ИТС по парам «источник-получатель».

Каждая система в МСС рассматривается в виде логически взаимосвязанной совокупности подсистем, полученных в результате пересечения системы с некоторым h -уровнем, образуемым подсистемами одного ранга. Каждая подсистема состоит из одного или нескольких h -уровневых объектов. Суть уровневой организации — предоставление более высокому смежному логическому уровню сервисных услуг более низкого логического уровня.

Услуга — это функциональные возможности h -уровня, которые предоставляются в распоряжение $(h+1)$ -объектам в h -точках доступа услуг (h -ТДУ) и играют роль логических

интерфейсов (правил взаимодействия между смежными уровнями) между h - и $(h+1)$ -объектами. Отличительной особенностью архитектуры пакетных МСС является наличие в логической структуре, по крайней мере, трех базовых дополнительных функций: *управления резервированием сетевых ресурсов, контроля допустимости установления сессии и совмещения* [5, 6].

Программная структура МСС реализует функциональный профиль сети, представленный объектами логических уровней, базируется на декомпозиционной иерархии ее программного обеспечения и описывает взаимодействие связанных между собой отдельных программ, отображающих работу и взаимосвязь логических уровней. Одноранговые объекты h -уровня взаимодействуют между собой с помощью одного или нескольких протоколов через логические соединения, создаваемые на $(h-1)$ -уровне. Спецификация протоколов h -уровня определяет процедуры выполнения служб, форматы управляющих и информационных полей протокольных блоков уровня, процедуры обмена протокольными блоками между объектами h -уровня в разных открытых системах, а также механизм выбора указанных процедур из списка возможных.

Протокольным блоком данных уровня (Protocol Data Unit — PDU) называются фрагменты информации, пересылаемые между одноранговыми объектами уровня двух систем. Каждый логический h -уровень формирует протокольный блок данных из сервисного блока данных (Service Data Unit — SDU), переданного вниз с $(h+1)$ -уровня с добавлением управляющей информации конкретного протокола взаимодействия одноранговых объектов своего h -уровня (Protocol Control Information — PCI). Часть информации, составляющая PCI, передается с $(h+1)$ -уровня на h -уровень в виде параметров запроса службы. Взаимодействуют между собой h -объекты h -уровня через логические каналы.

Физическая структура МСС базируется на конкретных технических устройствах и позволяет оптимально реализовывать в них отдельные логические функции или их совокупность.

Принцип уровневой иерархии ИТС. В качестве основополагающего методологического средства оценки системы принята ее экономическая и/или функциональная «эффективность». Оценка эффективности сложных систем, к которым относятся ИТС, является сложной и не до конца решенной проблемой. Наиболее важное требование к критерию эффективности — его способность измерять эффективность рассматриваемой системы. Задача ИТС однозначно предопределяет вид ее комплексного функционального критерия эффективности (целевой функции) K^k в виде общей числовой характеристики использования пропускной способности сети трафиком k -го класса.

Функционирование ИТС в виду их сложности можно описать комплексом моделей, отражающих работу иерархически разделенных сетевых функций, сгруппированных в логически завершенные функциональные группы задач (логические уровни или логические подсистемы) ее архитектуры. При построении моделей функционирования ИТС для учета вертикальной взаимообусловленности и соподчиненности уровневой организации логических структур предлагается использовать принцип иерархии, который определяет тип структурных отношений в сложных многоуровневых системах, характеризующих упорядоченностью, организованностью взаимодействий между отдельными уровнями по вертикали. Принцип иерархии позволяет разложить систему по парам «отправитель-получатель»

и учесть в рамках единой модели всю протокольную вертикаль логических соединений, поддерживающих мультимедийную сессию.

В рамках этого подхода эффективность функционирования ИТС в режиме установленного соединения предлагается оценивать с помощью набора уровневых функционалов оценки эффективности использования пропускной способности системы трафиком k -го класса между инцидентными узлами сети i и j . Критерий эффективности K_{ij}^k использования пропускной способности V_{ij} межузлового ЛЦТ трафиком k -го класса, согласно логической структуре ИТС, можно записать выражением

$$K_{ij}^k = \prod_h K_{h,ij}^k. \quad (5)$$

При этом указанные функционалы зависят не только от необходимой для работы служебной информации соответствующих объемов, но и от протоколов функционирования отдельных уровней архитектуры ИТС, поддерживающих соответствующие службы. Ясно, что при построении необходимо также учитывать, что использование ЛЦТ S -пакетами данных зависит от их загрузки речевыми B -пакетами, обслуживаемыми в системе с абсолютным или относительным приоритетом [5, 6, 10, 11]. Для всех транспортных соединений

$$K_{st}^k = \sum_{m=1}^{M_{st}^k} p_{st,m}^k K_T^k \sqrt{\prod_{ij \in L_{st,m}^k} K_{ij}^k}, \quad (6)$$

поскольку транспортное виртуальное соединение может быть организовано между парой $st \in S^k$ по нескольким виртуальным маршрутам из M_{st}^k с вероятностью их выбора $p_{st,m}^k$ [5]. Здесь K_T^k — критерий, учитывающий эффективность использования пропускной способности m -го виртуального канала трафиком k -го класса на транспортном уровне. Для всей сети

$$K^k = r^k \sqrt{\sum_{st \in S^k} \frac{\hat{a}_{st}^{multy}}{Y^{multy}} (K_{st}^k)^{r^k}}, \quad r^k = |S^k|. \quad (7)$$

Функционал подобного типа обладает свойством $\lim_{q \rightarrow \infty} K^k = \max_{st \in S^k} K_{st}^k$, что не дает явного преимущества транспортным соединениям с большими весовыми коэффициентами. Выражение K^k в общем виде представляет собой системную модель ИТС.

Модели логических мультимедийных соединений с помощью принципа иерархии могут быть представлены в виде функциональных зависимостей требуемой пропускной способности системы для переноса мультимедийного трафика от соответствующих критериев эффективности ИТС [5, 6, 10, 11]. Так, например, модели уровневых логических соединений k -го класса можно представить выражением:

$$v_{h,ij}^{k_{\min}} = V_{ij} K_{h,ij}^k. \quad (8)$$

Принцип единственности как основа задачи анализа ИТС. Проектирование любой сети связи, в первую очередь, включает задачу анализа, т.е. определение по входным характеристикам сети (типу, величине и интенсивности входной нагрузки) и ее параметрам (топологии, пропускной способности, показателей надежности, системе маршрутизации) выходных характеристик (допустимых нагрузок по различным направлениям связи, ВВХ и т.п.). Цель анализа — исследование устойчивости интегральных показателей к внешним и внутренним параметрам сети, которые задаются соответственно векторами I^k и W^k , выявление

«узких» мест и выработка предложений по их устранению. При этом анализ сети осуществляется при поисках оптимальной топологии сети, синтезе пропускной способности ЛЦТ, поиске оптимального плана распределения потоков и др. Разработчик вначале рассматривает макроструктуру сети, оценивает ее параметры и рассчитывает характеристики элементов. После этого следует уточнение решений.

По своей сути задача анализа носит поисковый характер и решается на каждом шаге итерационного процесса направленным комбинированием входных параметров сети с одновременным анализом выходных характеристик. При этом используется, как правило, одномерный критерий оптимизации и целый ряд допущений [6, 12, 13]. Для МСС задача анализа, сохраняя свою важность, приобретает некоторые особенности, связанные с противоречивыми требованиями к передаче мультимедийного трафика в общей физической среде и организацией мультимедийного соединения [5, 6].

Принцип единственности услуги предписывает анализировать эффективность функционирования ИТС в терминах комплексных функциональных критериев эффективности систем с учетом их условной зависимости и ограничений на QoS мультимедийного соединения в рамках предоставления единой транспортной услуги.

Задача анализа ИТС в терминах целевых функций формулируется следующим образом: необходимо оценить может ли мультимедийный трафик различной природы (например, речь, данные) заданной структуры и объема Y^{multy} , пропущенный на фазе установления соединения, быть обслужен системой при условии соблюдения ограничений на QoS-нормы переноса в рамках единой транспортной услуги. Другими словами, при заданных $G, M_{st}^k, p_{st,m}^k, V_{ij}$ необходимо определить возможность передачи потока Y^{multy} с характеристиками обслуживания при ограничениях $b^{multy}, \theta^B, d^B, T^C$. Если такой перенос возможен, необходимо определить предельные его значения, а в случае невозможности — максимально допустимые значения, при которых еще возможно заданное QoS. Содержание задачи анализа можно конкретизировать как выбор оптимальных параметров системы в смысле заданного критерия эффективности.

Таким образом, задачу анализа ИТС в терминах целевых функций можно записать в виде последовательности двух задач оптимизации.

1. Определить

$$K^B = \arg \max r^B \sqrt{\sum_{st \in S^B} \frac{\hat{a}_{st}^B}{Y^{multy}} (K_{st}^B)^{r^B}}, \quad r^B = |S^B| \quad (9)$$

при условиях $\Pr\{t \geq T_{st}^B\} \leq d^B$ для любого $st \in S^B : \hat{a}_{st}^B \neq 0$, $b_{st}^{multy} \leq b^{multy}$, где b_{st}^{multy} — вероятность блокировки мультимедийного вызова в направлении $st \in S^B$.

2. Вычислить

$$K^C = \arg \max r^C \sqrt{\sum_{st \in S^C} \frac{\hat{a}_{st}^C}{Y^{multy}} (K_{st}^C)^{r^C}}, \quad r^C = |S^C| \quad (10)$$

при условиях $T_{st}^C \leq T^C$ для любого $st \in S^C : \hat{a}_{st}^C \neq 0$, или $\Pr\{t \geq T_{st}^C\} \leq d^C$ для любого $st \in S^C : \hat{a}_{st}^C \neq 0$, $b_{st}^{multy} \leq b^{multy}$. Все параметры первой задачи найдены и фиксированы.

Как было отмечено выше, критерий эффективности K_{ij}^k зависит от параметров критерия эффективности K_{ij}^B , т.е. носит выраженный условный характер. Поэтому оптимизацию предложенных функционалов можно проводить поэтапно, оптимизируя сначала использование ЛЦТ речевым трафиком, а затем вычисляя максимум функционала

использования ЛЦТ трафиком данных при условии, что параметры K_{ij}^B оптимальны и фиксированы.

Сформулированная задача анализа решается максимизацией коэффициентов использования и учитывает большое число параметров сети: топологию, наборы статических альтернативных маршрутов, скорости абонентских установок, величины служебных частей протокольных блоков, уровни ошибок в каналах, их скорости, входную нагрузку и т.п. Результатом решения являются допустимые загрузки каналов сети и оптимальные длины пакетов речи и данных [5, 6].

Выводы. 1. Предложенная в общем виде концептуальная или системная модель пакетной ИТС NGN позволяет осуществить декомпозицию общей задачи анализа процессов функционирования системы на частные задачи и перейти от внешнего ее описания к описанию внутреннего строения.

2. Рассмотренные концептуальные основы моделирования и анализа процессов функционирования пакетных ИТС позволяют адекватно формализовать и исследовать процессы переноса мультимедийных информационных потоков при предоставлении инфокоммуникационной услуги связи при проектировании пакетной мультисервисной сети NGN, в том числе:

- принцип функционально-структурной целостности, заключающийся в построении моделей процессов функционирования и критериев эффективности систем на основе их архитектур с учетом того, что отдельные функции, существующие только во взаимосвязи друг с другом, должны рассматриваться как одно целое, а система функционирует с учетом сетевого окружения;

- принцип иерархии, определяющий построение моделей процессов функционирования ИТС и критериев их эффективности с учетом вертикальной взаимообусловленности и соподчиненности уровневой организации логических структур, а также позволяющий адекватно формализовывать процессы предоставления инфокоммуникационных услуг связи;

- принцип единственности, предписывающий анализировать функционирование систем на основе оптимизации разработанных комплексных критериев эффективности ис-

пользования пропускной способности трафиком различных классов с учетом их условной зависимости, «квантильного» подхода для оценки качества инфокоммуникационной услуги связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России. Документ Министерства РФ по связи и информатизации.— 2001.
2. **Росляков А. В., Ваняшин С. В., Самсонов М. Ю. и др.** Сети следующего поколения NGN/Под ред. А. В. Рослякова.— М.: Эко-Трендз, 2008.— 424с.
3. **Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е.** Сети связи пост-NGN.— СПб.: БХВ-Петербург, 2014.— 160 с.
4. **Мошак Н. Н.** Теория проектирования транспортной системы инфокоммуникационной сети: Учебное пособие для ВУЗов.— СПб.: Энергомашиностроение, 2006.— 159 с.
5. **Мошак Н. Н.** Защищенные инфотелекоммуникации. Анализ и синтез.— СПб.: ГУАП, 2014.— 193 с.
6. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Построение сетей интегрального обслуживания.— Л.: Машиностроение, 1990.— 332 с.
7. **Игнатьев В. О.** Методы проектирования современных цифровых систем коммутации: Учебное пособие.— СПб.: ЛЭИС, 1991.— 69 с.
8. **Зайцев С. С., Кравцунов М. И., Ротанов С. В.** Сервис открытых информационно-вычислительных сетей: Справочник.— М.: Радио и связь, 1990.— 240 с.
9. ISO/IS 8509. Information Processing Systems. Open System Interconnection. Basic Reference Model.
10. **Мошак Н. Н.** Метод расчета характеристик транспортной системы инфокоммуникационной сети на технологии IP-QoS // Электросвязь.— 2006.— № 3.— С. 44–47.
11. **Давыдова Е. В.** Построение и формализация уровневых и комплексных критериев эффективности мультисервисной сети связи / Сборник научных статей III-й Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании».— СПб.: СПбГУТ.— 2014.— С.450–454.
12. **Лохмотко В. В., Пирогов К. И.** Анализ и оптимизация цифровых сетей для интегрального обслуживания.— М.: Наука и техника, 1991.— 192 с.
13. **Клейнрок Л.** Вычислительные системы с очередями.— М.: Мир, 1979.— 600 с.

Получено 11.02.15



ОАО «СУПЕРТЕЛ»

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Одно из ведущих отечественных предприятий по разработке и производству сетевого телекоммуникационного оборудования (технологий PDH, NG SDH, IP, WDM) для мультисервисных транспортных сетей и сетей широкополосного доступа с единой системой управления «Супертел-NMS» собственной разработки, обеспечивающей информационную безопасность.

197101, Санкт-Петербург, Петроградская наб., 38А

Тел.: (812) 230-22-16, 232-73-21.

Факс: (812) 497-36-82, 230-22-16.

E-mail: vat@supertel.spb.su, www.supertel.ru

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ СПЕКТР



Оборудование предназначено для объединения/разделения четырех или восьми независимых оптических каналов со скоростями, соответствующими уровням сигналов STM-1, STM-4, STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, в один групповой CWDM- и DWDM-сигнал для увеличения эффективности и пропускной способности волоконно-оптических трактов транспортных сетей связи различного назначения.

В состав оборудования **СПЕКТР** входит набор различных функциональных блоков: CWDM- и DWDM-мультиплексоры и оптические усилители. В зависимости от установленных блоков оборудование может работать как оптический усилитель, и/или как оборудование спектрального уплотнения, и/или как оптический мультиплексор ввода-вывода и т.д.

