

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Abstract: Criteria of efficiency of functioning of a network with formalization of processes of routing with reconfiguration are resulted. Requirements to system of the models reproducing processes of routing and reconfiguration are submitted. Models of the system analysis are submitted on the basis of the theory of mass service and an example, illustrating results of the system analysis

Key words: analytic models, modeling systems, routing.

Аноація: Приведені критерії ефективності функціонування мережі з формалізацією процесів маршрутизації з реконфігурацією. Дані вимоги до системи моделей, яка відтворює процеси маршрутизації та реконфігурації. Представлені моделі системного аналізу на базі теорії масового обслуговування та приклад, який ілюструє результати системного аналізу.

Ключові слова: аналітичні моделі, системи моделювання, маршрутизація.

Аннотация: Приведены критерии эффективности функционирования сети с формализацией процессов маршрутизации с реконфигурацией. Даны требования к системе моделей, воспроизводящих процессы маршрутизации и реконфигурации. Представлены модели системного анализа на базе теории массового обслуживания и пример, иллюстрирующий результаты системного анализа.

Ключевые слова: аналитические модели, системы моделирования, маршрутизация.

1. Введение

Процесс внедрения широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (Ш-ЦСИО, В-ISDN) в настоящее время завершился [1]. Однако новые и более жесткие требования к широкополосным транспортным платформам (ШТП) интеллектуальных сетей (ИС) [2, 3], связанные с массовым предоставлением информационных услуг (ИУ) для передачи мультимедийного трафика (ММТ), не удовлетворены: не решены задачи создания сети Internet нового поколения (NGI) с повышенным качеством (QoS), нет оценки интегрального управления глобальной сетью (рекомендации MCE-T X-700) [4, 5]. Существенным недостатком Ш-ЦСИО является и то, что достаточно большая пропускная способность оптических сетей не используется в полной степени [6]. Поэтому существующие технологии оптических сетей SDH и SONET заменяются новой технологией DWDM [5], которая не только обеспечивает эффективное использование пропускной способности, но и расширяет функциональные возможности в предоставлении ИУ.

Переход от классических SDH-систем к системам DWDM заключается в создании новых интеллектуальных узлов коммутации каналов (УКК) с гибкой системой маршрутизации потоков информации и реконфигурации сетевых ресурсов (пропускных способностей линий связи (ЛС)) [7]. Введение технологии DWDM с интеллектуальными механизмами адаптивной коррекции протоколов передачи должно обеспечивать маршрутизацию и реконфигурацию сетевых ресурсов с учетом известных начальных параметров сети: связности и виртуальности сети, которые непостоянны в процессе эксплуатации [8, 9].

Известные модели оценивания эффективности функционирования сетей [10–18] не позволяют решать задачи адаптивной маршрутизации с реконфигурацией. Они не обеспечивают также решения задач системного анализа взаимовлияния процессов маршрутизации и реконфигурации.

Целью работы является формирование таких моделей, которые обеспечивали бы на любой случайный момент времени (на любое состояние надежности функционирования сети) количественный анализ производительности сети. Это обеспечивало бы адаптивное управление сетью (своевременную коррекцию маршрутов и сетевых ресурсов в зависимости от состояния работоспособности сети).

2. Формализация процессов маршрутизации с реконфигурацией в рамках технологии ATM/DWDM

Задачи адаптивной маршрутизации ММТ с реконфигурацией оптоволоконных трактов (ОВТ) DWDM реализуются на канальном уровне (уровне ATM) ШТП ИС [19]. Архитектура уровня ATM приведена на рис.1.

При коммутации виртуальных каналов (ВК) реализуется симплексная (однаправленная) передача ячеек с общим идентификатором (точка-точка). Подуровень виртуального пути (ВП) поддерживает однаправленную передачу ячеек нескольких ВК, имеющих общий идентификатор ВП.

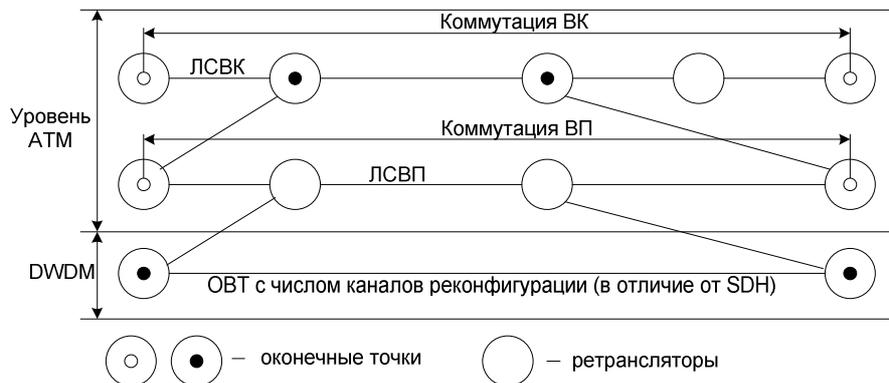
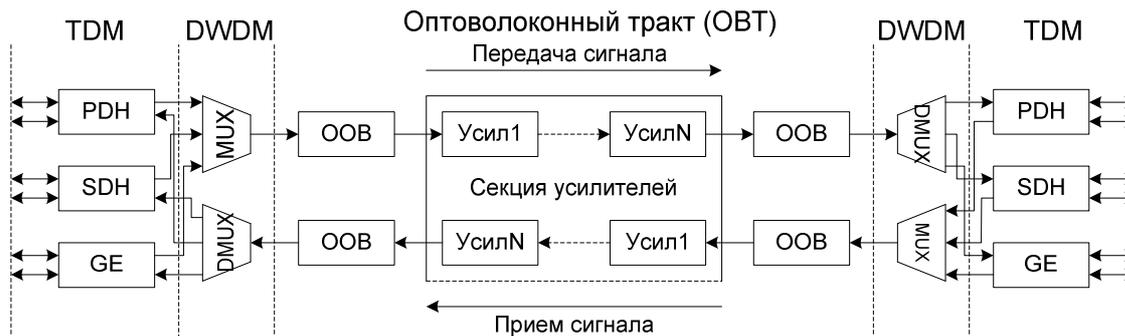


Рис. 1. Архитектура канального уровня ШТП

Поскольку требования к пропускной способности ВК (а для ШТП к ВП) определяются сетевым уровнем (уровнем адаптации, где формируется ММТ), постольку необходимо в первую очередь рассматривать взаимодействие процессов маршрутизации (канальный уровень) с реконфигурацией линий связи (ЛС) (физический уровень DWDM).

Введение технологии мультиплексирования по длине волны высокой плотности (МДВВП, DWDM) позволяет использовать практически весь оптический диапазон полосы пропускания одномодовых оптических волокон (ООВ). Если при использовании ЛС SDH пропускная способность волокна обеспечивает скорость передачи 2,5 Гбит/с, 10 Гбит/с или 40 Гбит/с, то применение ЛС DWDM позволяет повысить пропускную способность ООВ до сотен и тысяч Гбит/с [5, 6].

Важнейшей задачей ЛС DWDM является создание ШТП ИС для предоставления пользователям мультимедийного сервиса (ММС): ATM, IP, GE, Fibre Channel (скорость передачи 4,25 Гбит/с). Образуя десятки разноскоростных оптических каналов (ОК), СП DWDM обеспечивает передачу ММТ для ММС (рис. 2) [5, 7]. Предполагается, что с развитием сети Интернет-II большую часть трафика будут составлять дейтаграммы IP (IP-пакеты).



MUX/DMUX- мультиплексор/демультиплексор

Рис. 2. Функциональная структура системы передачи MMT на физическом уровне - технологии PDH/SDH/DWDM и GE/DWDM

При анализе путей совершенствования УКК нужно выделить две проблемы: повышение скорости коммутации MMT и адаптивное управление как маршрутизацией MMT, так и реконфигурацией (ресурсами ЛС).

1. Повышение скорости достигается за счет параллельной обработки, использующей архитектуру разделенного мультибуфера. Эти буферы являются доступными для параллельных кроссточечных коммутаторов (КК). Время цикла обращения ко всей буферной памяти уменьшается при ее параллельном использовании. Это свойство архитектуры разделенного буфера является сегодня единственным средством для реализации потока высокоскоростных операций. Более того, введение контроля и управления КК с незначительным расширением мультибуферной памяти может быть использовано и для квитиования в каждом разделенном буфере памяти. Система коммутации включает блоки буферной памяти (ББП), КК и селекторы (СЕЛ) (рис. 3). Количество буферов в этом случае зависит от числа n портов ввода/вывода (в общем случае: $n \cdot n$). Прибывающие пакеты заносятся и накапливаются в ББП параллельно через входы с помощью КК. За один период выполняется операция чтения трех ячеек, благодаря чему достигается высокая пропускная способность. Так как операции записи (занесения) и чтения выполняются параллельно, то мультиплексирование и демультиплексирование не требуются.

2. Проблема адаптивного управления разделением памяти в мультибуфере должна решаться с учетом требований по качеству передачи (задержке), обусловленной как пропускной способностью канала, так и временем ожидания. Сначала формируются маршруты ВК, а затем они объединяются на отдельных участках сети в ВП (рис. 3а). Входы КК управляются исходя из требований равномерного заполнения и использования буферов. Для реализации операции равномерного распределения КК подсчитывает и запоминает количество поступающих пакетов, выделяя им буферную память в соответствии с текущим темпом поступления (при условии, что имеется свободная память). Таким образом, реализуется селективное распределение памяти по направлениям как главная функция автомаршрутизации.

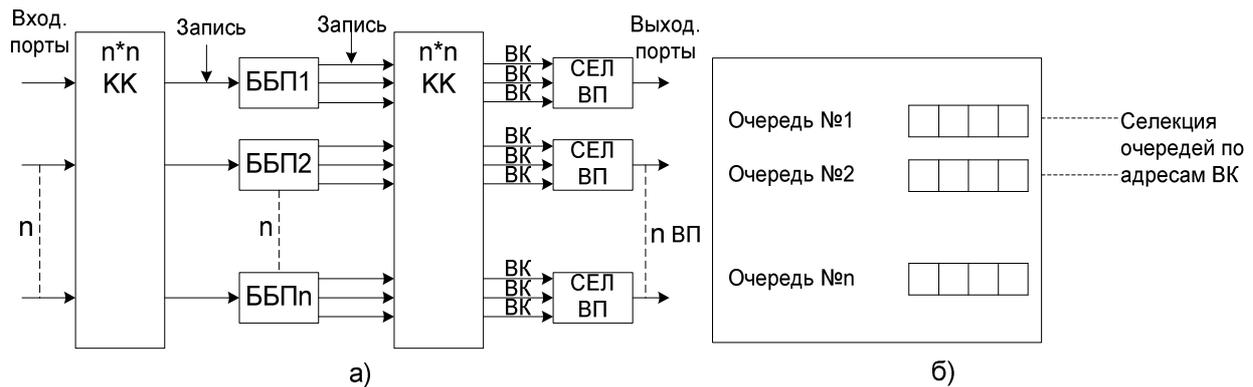


Рис. 3. Функциональная схема УКК с разделенным мультибуфером (а) и селектором очередей (б)

В решении задач второй проблемы следует выделить селекцию (маршрутизацию) выходных очередей. Каждая выходная очередь обслуживается в режиме: первым пришел – первым обслужен (FIFO). Так, например, для маршрута пакетов, поступающих в выходной порт N1, адрес и номер буфера этого пакета уже содержатся в выходной очереди N1. Каждая очередь содержит уникальные признаки поступающих пакетов и считывается в режиме FIFO. Выходы КК теперь уже зависят от пакетов, находящихся в буферной памяти, с указанием выходного порта назначения для заданного ВК.

В процессе реализации функции адаптивной маршрутизации необходимо учитывать функцию управления ресурсами КС – введение дополнительных каналов в ЛС того или иного ВК. Эта функция должна быть реализована с учетом двух факторов увеличения нагрузки или при отказе одного из функционирующих каналов в ЛС, или того и другого.

3. Требования, предъявляемые к системе моделей, воспроизводящей процессы маршрутизации и реконфигурации

Вначале следует изложить сущность основных сетевых параметров [2]. На рис. 4 представлены топология (рис. 4а) и основные параметры сетевой структуры ШТП ИС.

1. Матрица тяготения (передача ММТ между абонентами (рис. 4б)).
2. Матрица связности УК (наличие ЛС между УКК (рис. 4в)).
3. Маршрутно-адресная таблица, определяющая основной и запасные маршруты передачи ММТ (рис. 4г).

Выделив два определяющих стохастических процесса: поступление нагрузки (ММТ) в различное время на разные УКК и выход из строя тех или иных линий связи (ЛС) между УКК – можно дать определение для оценивания эффективности функционирования сети $P_{эф}(t, \Delta t)$ [9, 10]:

$$P_{эф}(t, \Delta t) = P_{нф}(t, \Delta t) * P_{сн}(t, \tau < T_{дон}), \quad (1)$$

где $P_{нф}(t, \Delta t)$ – надежность функционирования сети, обеспечивающая заданную ее связность и виртуальность; $P_{сн}(t, \tau < T_{дон})$ – своевременность передачи с заданным уровнем качества.

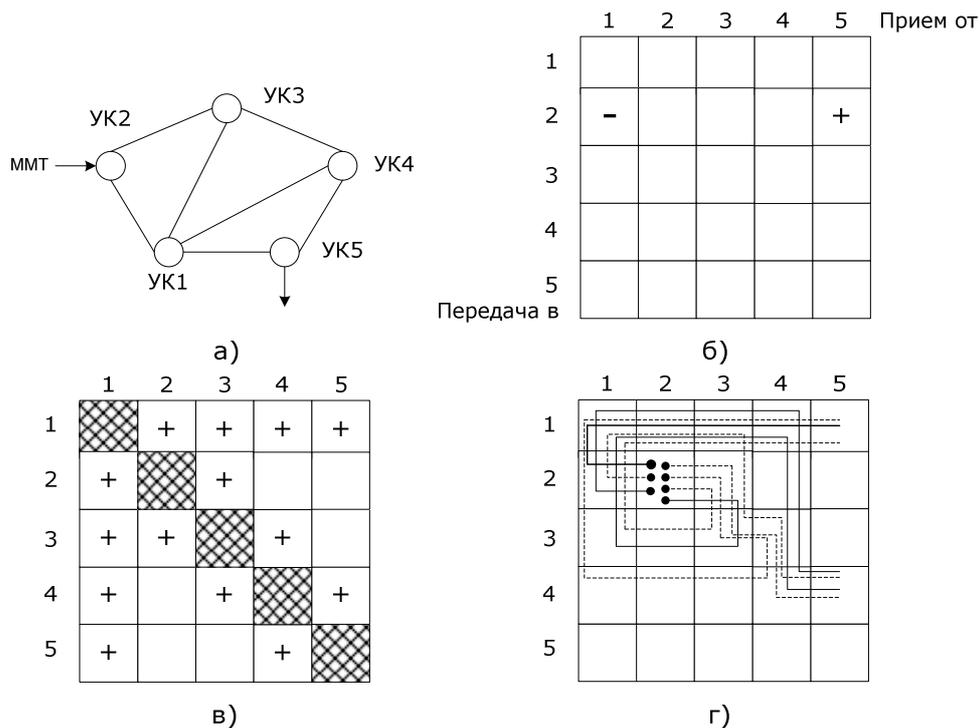


Рис. 4. Параметры сетевой структуры: топология (а), матрицы тяготения (б), связности (в), маршрутно-адресная таблица (г) (основной маршрут — и запасной —)

В работах [10-12, 20, 21] предложены модели для количественного анализа эффективности функционирования сети, УКК которых связаны ЛС. Однако эти модели не учитывают сетевые параметры и представляют только нижние и верхние оценки для простых топологий. Для произвольных топологий ШТП ИС и приведенных сетевых параметров оценок нет.

Для оценки своевременности необходимы модели, которые, исходя из требований поддержания заданной пропускной способности сети (с учетом связности и виртуальности), должны представляться в виде поля виртуальных каналов (ПВК) с переменной канальной емкостью каждой ЛС [9, 18]. При таком подходе можно дать интегральную оценку эффективности функционирования сети в целом. При этом степень связности l_{ij} каждого УКК с сетью (надежность сети) будет определять ее связность, а степень виртуальности сети (мощность ПВК) – производительность сети. Например, если все УКК сети имеют не менее двух связей с сетью ($l_{ij} \geq 2$), а абоненты не менее двух маршрутов передачи, то считается, что такая сеть находится в режиме нормального функционирования. Тогда для своевременности передачи необходим оптимальный маршрут с достаточной пропускной способностью.

Исходя из вышеизложенного, можно определить требования к системе аналитических моделей.

1. В рамках технологии ATM/DWDM (рис. 2) каждый УКК должен поддерживать режим адаптивной маршрутизации с реконfigurацией (при необходимости) емкости ЛС (точнее ВК) с учетом динамики загруженности каждого УКК.

2. При проектировании или модификации сети необходим более полный количественный анализ производительности сети с учетом возникновения возможных перегрузок (блокировок УКК) из-за отказов ЛС.

4. Построение моделей системного анализа на базе теории массового обслуживания

Аналитическим моделям, построенным на базе теории массового обслуживания, посвящен целый ряд работ [12, 20-24], используя которые УКК, формирующие ПВК (рис. 1 и рис. 3), можно представить моделями параллельных систем массового обслуживания (СМО), образующих сеть массового обслуживания (СеМО).

Вначале рассматривается модель анализа загруженности УКК сети. В простейшем случае УКК можно представить в виде одной СМО и, поскольку УКК однотипны, то их можно перенумеровать числами $1, 2, \dots, R$, где R – число УКК в сети поля ВК [9, 18, 24].

Предположим, что пакет ячеек из УКК_{*i*} ($i = 1, 2, \dots, R$) с вероятностью p_{ij} поступает на обслуживание в УКК_{*j*} ($j = 1, 2, \dots, R$) и с вероятностью p_{iR+1} покидает сеть, можно записать

$$p_{ij} \geq 0, \quad \sum_{j=1}^{R+1} p_{ij} = 1, \quad (2)$$

где p_{ij} входят в матрицу ветвления маршрутов (МВМ) $P = \|p_{ij}\|_{i,j}^R = 1$ с расширенной матрицей маршрутизации (ММ) $\bar{P}^n = \|p_{ij}(n)\|_{i,j}^{R+1} = 1$.

$$\bar{P} = \left\| \begin{array}{ccc} & & P_{1R+1} \\ & P & \vdots \\ & & P_{RR+1} \\ 0 & \dots & 0 & 1 \end{array} \right\|. \quad (3)$$

Предположим, что \bar{P} и \bar{P}^n – стохастические матрицы, а P – подстохастическая матрица, переход в состояние $R+1$ можно интерпретировать как выход из СеМО [24]. Если все R узлов СеМО одного типа, то в символике Кендалла СеМО представляется как $[M|M|m|r]^R$, где $m = (m_1, \dots, m_R)$ – число каналов в ЛС, а r – число мест в памяти УКК. Поступивший пакет начинает обслуживаться (время распределено по показательному закону). Если все каналы заняты, то пакет становится в очередь i -го УКК и ожидает начала обслуживания. После обслуживания в i -м узле пакет с вероятностью p_{ij} поступает в j -й узел и с вероятностью p_{iR+1} покидает сеть. В работе для формального описания СеМО, представляемой в виде ПВК, будем рассматривать разомкнутую сеть, так как все пакеты могут поступать в сеть и покидать её [18, 24].

В этом случае матрице \bar{P} соответствует цепь Маркова ξ_n , $n \geq 1$ с дискретным временем и множеством состояний $E = \{1, \dots, R, R+1\}$ (к множеству узлов сети добавлено состояние «выход»).

Впервые открытую сеть типа $[M|M|m]^R$ при $r = \infty$ исследовал Дж. Джексон [24]. Для открытой СеМО типа $[M|M|m]^R$, $m = (m_1, m_2, \dots, m_R)$ решением системы уравнений баланса $\theta = \lambda + \theta \cdot P$ при условии, что для всех $i = 1, 2, \dots, R$ $\rho_i = \theta_i / (\mu_i * m_i) < 1$ будет

$$\pi(K_1, K_2, \dots, K_R) = \pi_{1K_1} \cdot \pi_{1K_2} \dots \pi_{RK_R}, \quad (4)$$

$$\text{где } \pi_{i\kappa} = \begin{cases} \pi_{i0} (\theta_i / \mu_i)^\kappa / \kappa!, & \kappa \leq m_i \\ \pi_{i0} (\theta_i / \mu_i)^\kappa / m_i! m_i^{\kappa - m_i}, & \kappa > m_i \end{cases};$$

$$\pi_{i0} = \left\{ \sum_{\kappa=0}^{m_i} (\theta_i / \mu_i)^\kappa / \kappa! + \sum_{s=m_i+1}^{\infty} (\theta_i / \mu_i)^s / m_i! m_i^{s-m_i} \right\}^{-1}.$$

Необходимым для существования стационарного режима в СеМО типа $[M|M|m]^R$ является условие

$$\rho_i = \theta_i / (\mu_i * m_i) < 1, \quad i = 1, 2, \dots, R,$$

где, в свою очередь, $\theta_i = \lambda_i + \xi_i$, λ_i, ξ_i – параметры входящего и внутреннего (так называемого потока «подкачки») потоков, поступающих в i -й узел; μ_i – параметр интенсивности обслуживания.

Можно модифицировать модель Джексона тем, что в каждом УКК память будет ограничена (ограничена «очередь» пакетов количеством мест ожидания обслуживания, т.е. $r < \infty$, а не $r = \infty$). При тех же параметрах входящего потока λ_i и обслуживания μ_i (при условии, что $\rho_i = \theta_i / (\mu_i * m_i) \leq 1$) получим

$$P_j = \begin{cases} P_0^{(i)} \cdot ((\lambda_i + \xi_i) / \mu_i)^j / j!, & j \leq m_i \\ P_0^{(i)} \cdot ((\lambda_i + \xi_i) / \mu_i)^j / m_i! m_i^{j-m_i}, & j > m_i \end{cases}, \quad (5)$$

где $P_0^{(i)}$ – параметр, определяемый вероятностью незанятости узла:

$$P_0^{(i)} = \left[\sum_{j=0}^{m_i} ((\lambda_i + \xi_i) / \mu_i)^j / j! + \sum_{j=m_i+1}^{m_i+r_i} ((\lambda_i + \xi_i) / \mu_i)^j / m_i! m_i^{j-m_i} \right]^{-1}. \quad (6)$$

В данных выражениях все параметры известны, кроме параметра «подкачки» ξ_i , его можно вычислить итерационным методом, принимая начальное условие $\xi_i = 0$ и подставляя его в формулы для вычисления $P_0^{(i)}$ и P_j . При проведении циклов вычислений ξ_i определяются по формуле

$$\xi_i = \left[\sum_{k=1}^R \mu_k \cdot W_{ki} \cdot \left(\sum_{j=1}^{m_i} j \cdot P_j + m_i \cdot \sum_{j=m_i+1}^{m_i+r_i} P_j \right) \right], \quad (7)$$

где W_{ki} – вероятность того, что пакет из k -ого узла пойдет на i -й узел ($i \neq k$).

Значения $P_0^{(i)}$ и P_j после последнего вычисления «подкачки» удовлетворяют условию существования стационарного режима с учетом взаимного влияния нагрузки узлов друг на друга (получаем сетевой баланс загрузки).

Во второй модификации модели Джексона полностью снимаются ограничения: $r = \infty$ и $\rho < 1$. Для этого вводится фиктивный УКК, и пакеты, которые теряются, попадают в память фиктивного узла (ФУ). Система уравнений баланса в этом случае принимает вид [24]

$$V_i + \sum_{j=1}^{n_{\text{ex}}} P_{ji} \lambda_j = \lambda_i = P_{i1} \lambda_i + P_{i2} \lambda_i + P_{\text{omki}} \lambda_i, \quad (8)$$

где P_{ji} – вероятность того, что потоки пакетов из j -го УКК попадают в i -й УКК с вероятностями ветвления P_{i1} , P_{i2} , P_{omki} потока по исходящим маршрутам и одним фиктивным в ФУ, V_i – число внешних входящих потоков, а n_{BX} – число сетевых входящих потоков.

Вероятности потерь P_{omki} и ветвлений P_{i1} , P_{i2} определяются соответственно [24]

$$P_{\text{omki}} = \frac{\rho_i^{r_i+r_{i1}+r_{i2}}}{\rho_i^{r_i} \rho_i!} \left[\sum_{k=0}^{r_{i1}+r_{i2}} \frac{\rho_i^k}{k!} + \frac{\rho_i^{r_{i1}+r_{i2}}}{(r_{i1}+r_{i2})!} \cdot \sum_{s=1}^{r_{i1}+r_{i2}} \left(\frac{\rho_i}{r_{i1}+r_{i2}} \right)^s \right]^{-1}; \quad (9)$$

$$P_{i1} = 1 - \frac{\rho_{i1}^{r_i}}{r_{i1}!} \left[\sum_{k=0}^{r_{i1}+r_{i2}} \frac{\rho_i^k}{k!} \right]^{-1} \quad \text{и} \quad P_{i2} = 1 - P_{i1} - P_{\text{omki}}, \quad (10)$$

где $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_{ij}}$ при условии, что $\mu_{i1} = \mu_{i2}$; $\rho_{i1} = \frac{\lambda_{i1}}{\mu_{i1}}$ и $\rho_{i2} = \frac{\lambda_{i2}}{\mu_{i2}}$; $\mu_{i1} = \mu_i m_{i1}$ и $\mu_{i2} = \mu_i m_{i2}$, а

$\mu_{ij} = \mu_i (m_{i1} + m_{i2})$; r_i, r_{i1}, r_{i2} – емкость общей входной памяти в УКК и по буферам каждой ЛС;

m_{ij} – число каналов в ЛС.

На рис. 5 приведена диаграмма загрузки УКК в течение 10 сек. стационарного режима передачи в сети с топологией и матрицей тяготения, приведенных на рис. 4.

5. Построение модели анализа реконфигурации сети

Теперь рассматривается модель своевременности передачи для разных случаев реконфигурации [24]. Из графиков рис. 6, иллюстрирующих влияние коррекции адаптивной маршрутизации и реконфигурации на своевременность передачи $P_i(t)$, следует, что одноканальные ЛС без

обходных путей удовлетворяют требованиям по своевременности доставки $P_i(t)$ только лишь в диапазоне $V_i^{\min} \div V_i$. Дальнейшее увеличение V_i требует коррекции маршрутов (КС2 вместо КС1) или увеличения канальных емкостей ЛС (с $m_{ij} = 1$ до $m_{ij} = 2$), или того и другого.

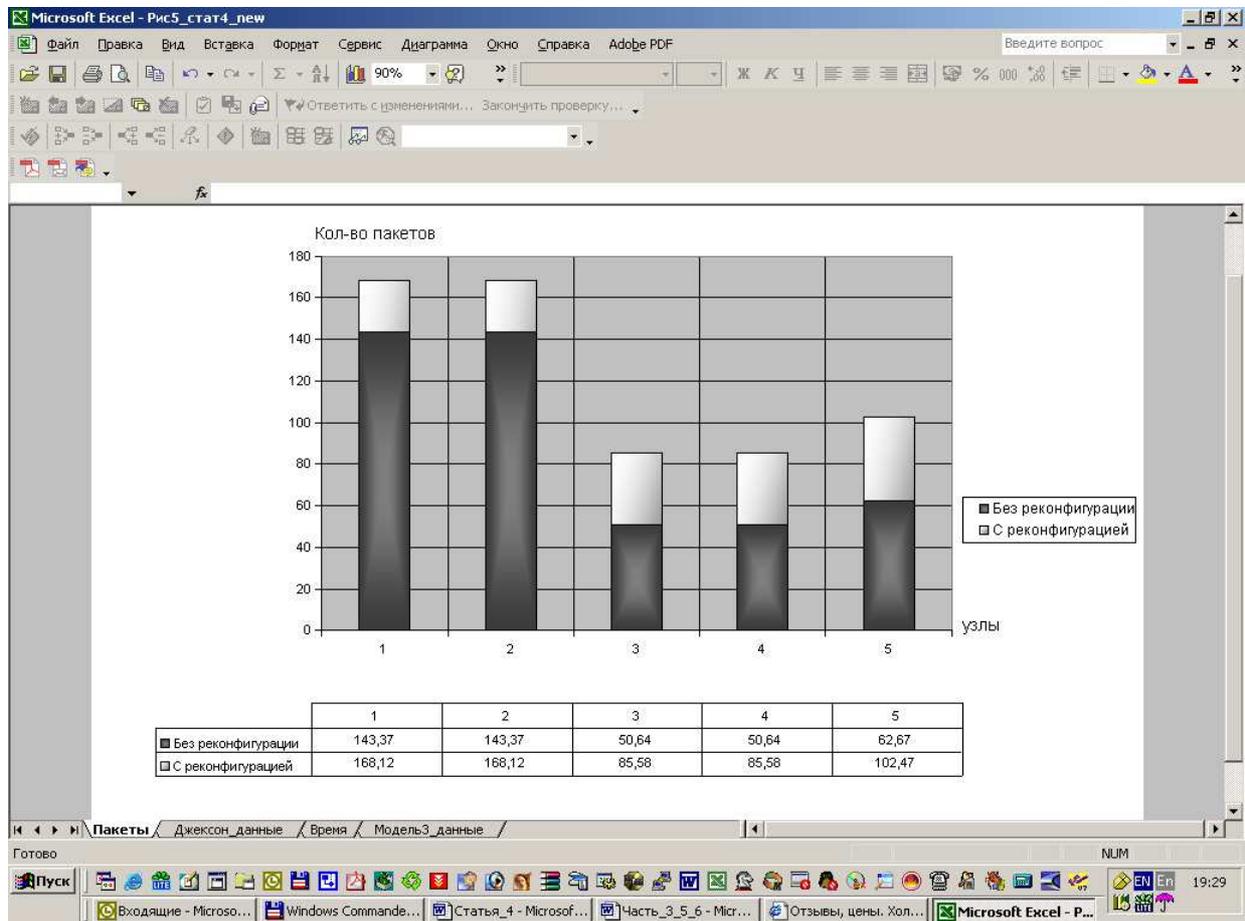


Рис. 5. Загрузка узлов коммутации при различных параметрах реконфигурации ВК сети

Управление процессом реконфигурации в сети осуществляется с помощью вычислительного алгоритма реконфигурации (ВАР), который, по данным мониторинга состояния $P_i(t)$, анализирует выполнение условий

$$P_i(t) = P_i(KC, E_{ij}) \geq P_i(T_{TP}), \quad i = \overline{1, N-1},$$

где $P_i(t)$, $P_i(T_{TP})$ – значения текущей и требуемой своевременности передачи пакетов из i -го УКК в j -й УКК, оцениваемые как вероятности того, что случайное время доставки пакетов τ_{di} будет меньше или равно требуемому T_{TPi} ($\tau_{di} \leq T_{TPi}$).

Кроме того, с помощью ВАР рассчитываются новые значения для маршрутизации и реконфигурации в случае, если $\tau_{di} > T_{TPi}$.

Исходя из приемлемой для инженерных расчетов точности, можно предположить, что случайные величины имеют экспоненциальное распределение, а время обработки пакетов в

каждом УКК по маршруту намного меньше времени доставки τ_{0ij} . Можно также пренебречь погрешностями, обусловленными трансформацией потоков при их ветвлении в УКК. С учетом этого в основу алгоритма положены следующие формулы.

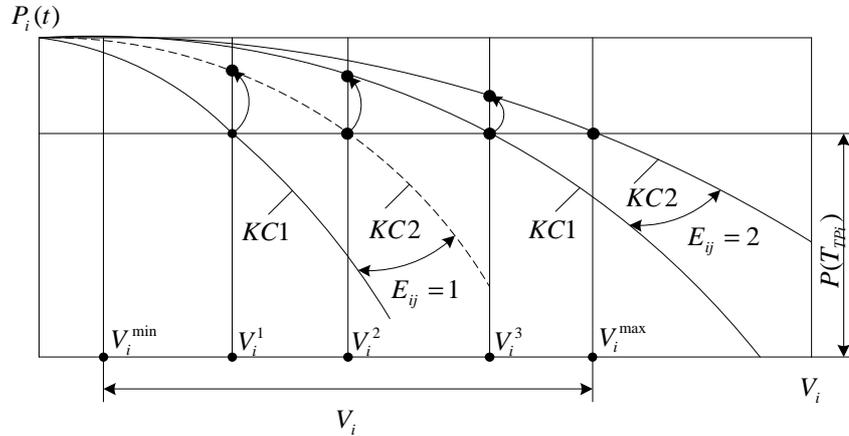


Рис. 6. Графики зависимости своевременности передачи от количества маршрутов передачи и каналов в ЛС

1. Модифицируя систему Джексона, получаем систему уравнений, описывающую распределение потоков пакетов в УКК сети в стационарном режиме

$$V_i + \sum_{j=1}^{n_{ex}} P_{ji} \lambda_j = \lambda_i = P_{i1} \lambda_i + P_{i2} \lambda_i + P_{omki} \lambda_i,$$

где P_{ji} – вероятность того, что часть потока из j -го УКК λ_j попадает в i -й УКК, а P_{i1} , P_{i2} – вероятности ветвления потока по исходящим из него маршрутам с учетом P_{omki} -потерь; $n_{вх}$ – число входящих потоков.

2. Вероятности потерь P_{omki} и ветвлений P_{i1} , P_{i2} определяются соответственно

$$P_{omki} = \frac{\rho_i^{r_i+r_{i1}+r_{i2}}}{\rho_i^{r_i} \rho_i!} \left[\sum_{k=0}^{r_{i1}+r_{i2}} \frac{\rho_i^k}{k!} + \frac{\rho_i^{r_{i1}+r_{i2}}}{(r_{i1} + r_{i2})!} \cdot \sum_{s=1}^{r_{i1}+r_{i2}} \left(\frac{\rho_i}{r_{i1} + r_{i2}} \right)^s \right]^{-1};$$

$$P_{i1} = 1 - \frac{\rho_{i1}^{r_i}}{r_{i1}!} \left[\sum_{k=0}^{r_{i1}+r_{i2}} \frac{\rho_i^k}{k!} \right]^{-1} \quad \text{и} \quad P_{i2} = 1 - P_{i1} - P_{omki},$$

где $\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_{ij}}$ при условии, что $\mu_{i1} = \mu_{i2}$; $\rho_{i1} = \frac{\lambda_{i1}}{\mu_{i1}}$ и $\rho_{i2} = \frac{\lambda_{i2}}{\mu_{i2}}$; $\mu_{i1} = \mu_i m_{i1}$ и $\mu_{i2} = \mu_i m_{i2}$,

а $\mu_{ij} = \mu_i (m_{i1} + m_{i2})$; r_i, r_{i1}, r_{i2} - емкость общей входной памяти в УК и по буферам каждого направления.

3. Среднее время доставки τ_{0i} из i -го УК в ПУС

$$\tau_{\partial i} = \sum_{l=1}^L (\sum_{ij \in l} \tau_{\partial ij}^l) P_l,$$

где ij – звено передачи по l -му маршруту ($l = \overline{1, L}$); P_l – вероятность передачи по l -му маршруту; $\tau_{\partial ij}$ – среднее время доставки ij -звеном; ($\tau_{\partial ij} = T_{ожі} + T_{періj}$; $T_{ожі}, T_{періj}$ – среднее время ожидания и передачи).

4. Требуемая своевременность передачи пакетов из i -го УКК в j -й УКК

$$P_i(T_{TP}) = 1 - e^{-\frac{T_{TPi}}{\tau_{\partial i}}}, \text{ где } T_{TPi} \text{ – допустимое время передачи пакетов из } i\text{-го УКК.}$$

5. Коэффициент эффективности доставки пакетов из i -го УК в j -й УКК

$$K_{\partial i} = \frac{T_{\partial i}^0}{T_{\partial i}}, \text{ где } T_{\partial i}^0 \text{ – среднее время доставки пакетов из } i\text{-го УКК при условии, что}$$

пакеты ни в одном из транзитных узлов маршрута доставки не ожидали в накопителях.

6. Коэффициент использования ЛС в ij –м звене передачи

$$K_{nij} = \frac{T_{періj}}{T_{ij}}, \text{ где } T_{періj} = \frac{1}{\mu_{ij}} \text{ и } T_{ij} = \frac{1}{\lambda_{ij}}.$$

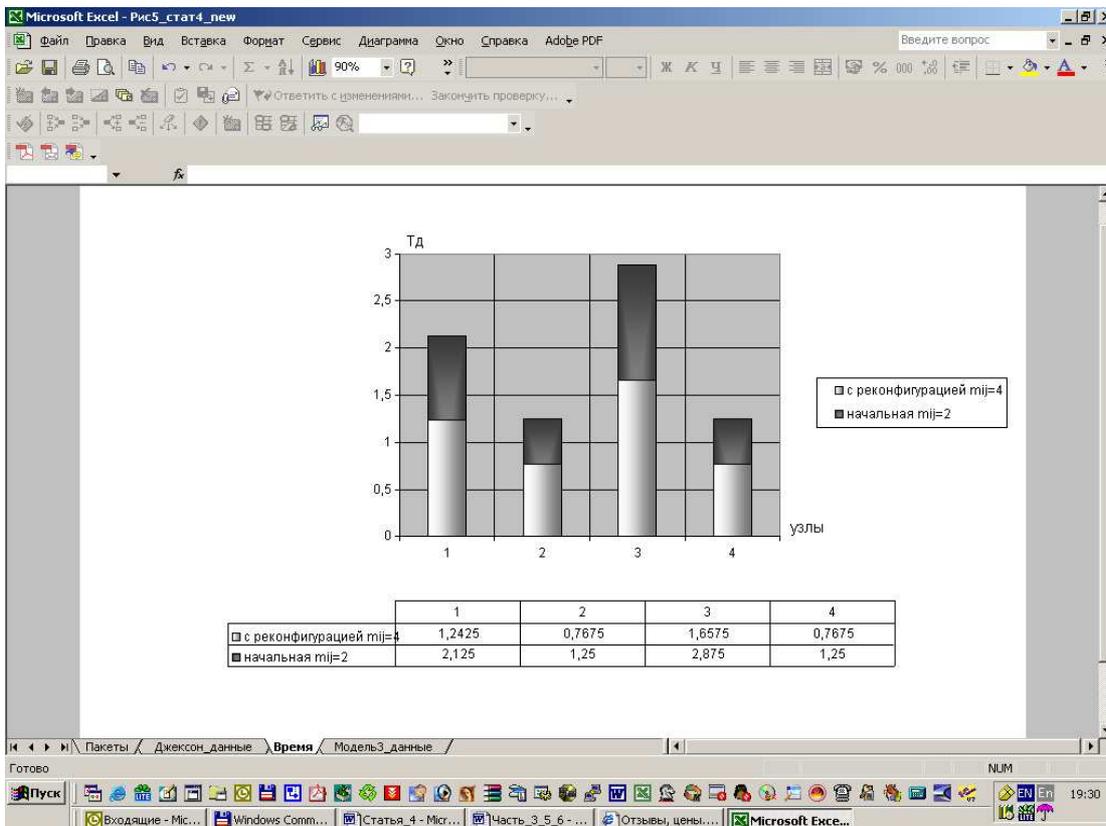


Рис. 7. Диаграмма времен доставки пакетов из УКК в заданный УКК №5

На рис. 7 приведена диаграмма времен доставки пакетов из УКК в заданный УКК №5 для двух случаев реконфигурации сети: $m_{ij} = 2$ и $m_{ij} = 4$.

7. Выводы

В работе предложены две аналитические модели анализа эффективности функционирования CeMO, воспроизводящие процессы ее функционирования при различной степени загрузки и с учетом взаимодействия УКК при реализации процессов маршрутизации и реконфигурации.

Существующие аналитические модели (на базе теоремы Джексона) можно использовать только на начальных этапах формирования топологии ШТП ИС для случая стационарных режимов с ограничением $r = \infty$ в полнодоступной сети (топология – каждый с каждым), т.е. эта модель для системного анализа эффективности функционирования реальных сетей ($r \neq \infty$) не подходит. В предлагаемых моделях эти ограничения сняты. Они позволяют анализировать эффективность управления сетью (маршрутизацией и реконфигурацией), отражая и динамику нагрузки на сеть, и состояние надежности самой сети [9]. Таким образом, предлагаемые аналитические модели позволяют оценивать динамику процессов функционирования, а, значит, и оценивать эффективность управления сетью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Research Networking. The GEANT Network // www.cordis.lu, 2003.
2. Гольдштейн Б.С. Интеллектуальные сети. – М.: Радио и связь, 2000. – 585 с.
3. Ластовченко М.М., Медных В.В., Рашник Т.Н. Системный анализ эффективности интегрального управления интеллектуальными сетями с асинхронным методом передачи информации // УСИМ. – 2000. – № 5, 6. – С. 113–121.
4. Ластовченко М.М., Биляк В.И., Русецкий В.Е. Системный анализ сетевых технологий создания региональных интеллектуальных сетей как базиса широкополосной первичной сети связи // Математические машины и системы. – 2004. – №3. – С.144–155.
5. Ластовченко М.М., Ярошенко В.Н., Биляк В.И. Математические аспекты проектирования интеллектуальных коммутационных систем передачи мультимедийных трафиков // Математические машины и системы. – 2003. – № 3, 4. – С. 66–75.
6. Дорошенко А.Ю., Ластовченко М.М., Павлюк В.С., Биляк В.И. Про концепцію створення високоефективних транспортних платформ інтелектуальних мереж. – К.: КМА "Наукові записки", 2002. – Т. 19–20. – С. 49–54.
7. Ластовченко М.М., Русецкий В.Е. Введение критериев интегрального оценивания в системный анализ надежности функционирования широкополосной первичной сети связи // УСИМ. – 2005. – № 2. – С. 48–57.
8. Васильев Б.В. Прогнозирование надежности и эффективности радиоэлектронных систем. – М.: Советское радио, 1970. – 335 с.
9. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
10. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 482 с.
11. Нетес В.А. Надежность сетей связи: тенденции последнего десятилетия // Электросвязь. – 1998. – №1. – С. 25 – 27.
12. Daneshmand M., Savoline C. Measuring onstage in telecommunications switched networks // IEEE Communications Mag. – 1993. – N 6. – P. 34–38.
13. Nojo S., Watanade H. Incorporating reliability specifications in the design of telecommunication networks // IEEE Communications Mag. – 1993. – N 6. – P. 40–43.
14. Гадасин В.А., Ушаков И.А. Надежность сложных информационно-управляющих систем. – М.: Советское радио, 1975. – 191 с.
15. Ластовченко М.М., Биляк В.И., Павлюк В.С., Рашник Т.Н. Анализ надежности интеллектуальных корпоративных сетей, функционирующих в поле виртуальных каналов // УСИМ. – 2001. – № 5. – С. 64–72.
16. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-трендз, 1997. – 236 с.
17. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1975. – 512 с.
18. Ченцов В.М. Системы распределения информации. Синтез структуры и управления. – М.: Связь, 1980. – 148 с.
19. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 192 с.
20. Анисимов В.В., Лебедев Е.А. Стохастические сети обслуживания. Марковские модели. – К.: Либідь, 1992. – 208 с.
21. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. – К.: Наукова думка, 1976. – 182 с.
22. Ежов И.И. Цепи Маркова с дискретным вмешательством случая, образующим полумарковский процесс // Украинский математический журнал. – 1966. – Т.16, № 1. – С. 58–69.
23. Ежов И.И., Ластовченко М.М. О влиянии длительности восстановления на характеристики функционирования сложной системы. – К.: Надежность и эксплуатация радиоэлектронной техники // В1 КВИРТУ. – 1964. – С. 159–168.
24. Ластовченко М.М. Введение реконфигурируемых средств передачи данных в АСУ интегрируемыми системами связи // Техника средств связи. – 1984. – № 1. – С. 59–68.