

# АДАПТИВНАЯ РЕКОНФИГУРАЦИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОПТОВОЛОКОННЫХ ТРАКТОВ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

*В.И. Биляк*

Институт программных систем НАН Украины,  
03187, Киев, проспект Академика Глушкова, 40.  
Тел.: (097) 956 6050, e-mail: bil\_vitaliy@mail.ru

Рассмотрена модель анализа эффективности реконфигурации линий связи оптоволоконных трактов в мультисервисных сетях связи с децентрализованным управлением. Приведен пример применения модели при распределении потоков мультимедийного трафика в сети дистанционного обучения.

The efficiency analysis model of fibre-optical communication channels reconfiguration in multiservice networks with the decentralized management is considered. The model application example at multimedia traffic streams distribution in remote training network is resulted.

## Введение

Во всех европейских проектах создания интеллектуальных сетей (ИС) поддержания и развития информационного пространства для научно-исследовательской деятельности с обязательным дистанционным образованием первостепенной проблемой является формирование мультимедийного сервиса дистанционного обучения (ММС ДО) [1–3]. Располагая ММС ДО можно создавать распределенные электронные классы (РЭК), где студенты (слушатели) и преподаватель коллегально обсуждают решаемые задачи, базируясь на усвоение знаний и навыков с использованием всего ансамбля моторной памяти (речи и видео) [4].

На сегодняшний день уже создана концептуальная модель ИС, в которой ее интеллектуальная надстройка должна поддерживать ММС [3]. Однако, задачи передачи мультимедийного трафика (ММТ) под требования ММС ДО пока еще не решены. Синхронизация ММТ для ДО требует соответственной адаптивной коррекции производительности линий связи широкополосной транспортной платформы ИС. В этом случае для приоритетных компонент помеченного ММТ выделяются необходимые (как правило, дополнительные) сетевые ресурсы [5, 6].

В настоящее время линии связи и протоколы видеоконференцсвязи еще не позволяют создавать РЭК с комбинированными широкополосными и точка-точка режимами передачи ММТ в реальном времени. Вместе с тем, оптоволоконные линии связи как базовые составляющие сети (технологии CWDM и DWDM) и беспроводные широкополосные (технологии WiMAX и HIPERLAN) вполне могут обеспечивать для синхронизации ММТ необходимую своевременность передачи с заданным качеством QoS [7-9].

Для создания эффективных РЭК необходимо решение следующих задач:

- создание мультисервисной сети передачи помеченного ММТ (технологии MPLS, GMPLS) [7];
- создание средств поддержания заданных режимов видеоконференцсвязи с синхронизацией компонент ММТ (речь, видео, текст) [6];
- создание базовых интеллектуальных узлов коммутации (БИУК) осуществляющих децентрализованное управление как передачей ММТ, так и сетевыми ресурсами [10].

Таким образом, создание БИУК, на которые возлагается решение помимо прямых задач управления коммутацией еще и решение задач адаптивного управления режимами синхронизации ММТ с коррекцией сетевых ресурсов под заданные приоритеты режимов синхронизации является наиболее важным этапом построения РЭК с необходимым ММС ДО.

Предлагаемая работа посвящена данной проблеме, она является дальнейшим развитием работ [6, 10], где сформированы приоритеты передачи компонент синхронизируемого ММТ.

## 1. Анализ процессов формирования мультисервисной сети видеоконференцсвязи

Вначале следует рассмотреть фрагмент реализации ММС ДО на простом примере адаптивной реконфигурации емкостей линий связи сети (числа каналов и их пропускных способностей). Мультисервисная сеть РЭК, исходя из требований поддержания заданных режимов ДО взаимодействия пользователей: преподавателя и студентов (слушателей), должна обеспечивать синхронизируемую передачу ММТ. Синхронизация ММТ поддерживается при этом или коррекцией времен ожидания компонент ММТ (если это возможно) или коррекцией числа каналов и их пропускной способности (или и тем и другим одновременно).

Для рассматриваемого простого примера (лекция с текущим опросом слушателей, оценивающим степень усвоения получаемых знаний) исходными предпосылками для формирования ММС ДО являются.

1. Распределение пользователей ММС в сети и расписание режимов их взаимодействия (расписание урока с временными интервалами получаемых знаний). Фактически это данные матрицы тяготения пользователей на каждый интервал времени [4].

2. Распределение выделенных сетевых ресурсов: поле виртуальных каналов (маршрутов) между пользователями матрицы связности сети с указанием полос пропускания по каждому каналу (по каждой линии связи, которая поддерживает заданные надежность, безошибочность и своевременность передачи (качество QoS) [11, 12].

Для приводимого примера вначале в соответствии с расписанием предоставляемых ММС ДО формирования требования к режимам функционирования линий связи сети, которые обеспечивают видеоконференцсвязь для взаимодействующих в РЭК пользователей. В самом простом случае необходимо обеспечить видеоконференцсвязь для двух режимов ДО.

1. Широковещательный (преподаватель и распределенная аудитория). Для этого режима необходимы симплексные линии связи, пропускная способность которых должна обеспечивать синхронную передачу ММТ (аудио и видео информация синхронизируется за счет коррекции времен ожидания при посылке ММТ).

2. Широковещательный для всех и “точка-точка” для диалога преподавателя со слушателем (контроль усвоения получаемых знаний). Здесь необходимы полудуплексные линии связи, передача по которым требует более жесткой синхронизации за счет коррекции пропускной способности линий связи (количества и производительности каналов). Синхронизация ММТ обеспечивается в этом случае уже двумя методами.

В настоящее время для того, чтобы реализовать эффективную синхронизацию по всей сети можно воспользоваться протоколами передачи помеченного ММТ [7].

Типовая сеть с многопротокольной коммутацией по меткам базируется на два вида узлов быстрой коммутации: транзитные узлы реализующие маршрутизацию ММТ, выполняя коммутацию по меткам (LSR) и граничные узлы (LER) как маршрутизаторы определяющие каким из компонент ММТ необходимо обеспечить приоритетное выделение сетевых ресурсов в соответствии с классом эквивалентности трафика при передаче – FEC [5, 6]. Последовательность:  $LER_n + LSR_i + LSR_2 + \dots LER_k$ , у которой компонента ММТ принадлежит одному классу FEC, образует виртуальный коммутируемый по меткам тракт (LSP). Если сеть имеет достаточно высокую степень связности узлов коммутации, то в соответствии с заданной матрицей тяготения пользователей будет обеспечена заданная степень виртуальности ММТ в сети: N (N-1) FEC даст N (N-1) LSP [7].

Метка, помещаемая в контейнер ячеек (технология ATM/DWDM [9]), представляет FEC, к которому относится контейнер. В значениях метки, помещаемой в служебные поля, помимо сетевого адреса указывается и требуемое качество QoS, и необходимый для синхронизации приоритет доставки компонент ММТ. Распределение меток осуществляется в рамках протоколов: LDP (протокол распределения данных о принятии меток FEC) и модифицированного протокола RSVP (протокол резервирования ресурсов) [7, 11, 12].

В настоящее время для мультисервисных сетей целый ряд компаний пытаются создать модифицированные узлы быстрой коммутации в виде концентраторов-коммутаторов: AN2000 (OT Starcom), Media Access System (Lucent), Ace Map Access Gateway (Samsung) и Протей-МАК (НТЦ Протей) [2, 4]. Однако, несмотря на расширение возможностей этих узлов за счет модификации протокола RSVP (введение сообщения группового адреса Path) необходимое качество передачи ММТ (речь, видео) не обеспечивается.

Исходя из чрезмерной сложности построения мультисервисных сетей в рамках технологии MPLS, последняя заменяется на так называемую технологию обобщенной MPLS (GMLS), которая отличается тем, что поддерживает дополнительные типы режимов коммутации [5, 7]. При этом в оптоволоконную коммутацию вводятся наряду с функциями мониторинга безошибочности еще и функции синхронизации ММТ на входе и выходе сети [6, 7]. В узлы коммутации LSR вводятся для этого новые интерфейсы: переключатели LSC (Lambda Switch Capable), которые переадресуют компоненты ММТ на основе только данных о длине волны предоставляемых каналов; оптические переключатели FSC (Fiber Switch Capable), которые переадресуют компоненты ММТ на основе положения их в реальном пространстве (поле виртуальных каналов) сети [7]. Для этого в технологии CMPLS поддерживаются специальные (т.н. обобщенные) метки: механизмы мониторинга безошибочности и резервирования в рамках протокола RSVP, управление каналами передачи ММТ и управления сетью в целом, кодирование принятой полосы пропускания, коммутации по длине волны, обеспечение передачи в двунаправленном (дуплексном) режиме [5].

Таким образом, обобщенные метки расширяют функциональность меток MPLS, вводя метки, которые идентифицируют временные домены, диапазоны длин волн, режимы синхронизации с заданными приоритетами для компонент ММТ. Все это обеспечивает повышение степени интеллекта узлов (LSR) продвигая его к базовым интеллектуальным узлам коммутации (БИУК) [10].

## **2. Анализ процессов реконфигурации полосы пропускания линий связи оптоволоконных трактов**

При передаче компонент ММТ в рамках технологии DWDM (плотное уплотнение по длине волны) межканальные интервалы (МКИ) малы, что обеспечивает высокую пропускную способность оптоволоконного тракта (ОВТ), но требует относительно высоких затрат на обеспечение надежности функционирования [11, 12].

Технология CWDM (грубое уплотнение по длине волны) с большими МКИ надежнее и требует меньших затратах [8]. Исходя из требований ММС ДО, лучше всего создавать БИУК, которые могут поддерживать как DWDM, так и CWDM и, главное, иметь вариант комбинированной технологии CWDM/DWDM, когда некоторая часть каналов CWDM формируется по технологии DWDM [8]. В таблице приведены параметры БИУК создаваемых в рамках этих технологий [8, 10].

Таблица. Технические параметры

Технологии	МКИ	Общее число каналов в ОВТ	Длина ОВТ между ретрасляторами
DWDM	0,8 нм	32 и 64	100 км
CWDM Стандарт ITU G6942	20 нм	8 и 16	160 км

В рамках технологии CWDM в создаваемые БИУК можно ввести функцию автоматического резервирования [8, 10]. На принимающем БИУК с помощью оптического коммутатора (ОК) выбирается один из каналов и, если соединение не реализуется, то автоматически подключается запасной (резервный). Эту же функцию в настоящее время расширяют: по данным мониторинга фиксирующего сбой в канале осуществляется резервирование [12, 13]. Введение дополнительного оптического коммутатора, обеспечивает дублирование ( $N_{осн} = M_{рез}$  при времени переключения  $\tau_n = 50$  мс, которое намного меньше допустимого  $\tau_n \ll T_{доп}$ ) [13]. Таким образом, надежность функционирования линий связи, состоящих из двух каналов ( $N = 1$  и  $M = 1$ ) существенно повышается. В целом сеть с кольцевой топологией или даже с топологией с ответвлениями (LAD, liner-add-drop) имеет практически два тракта передачи ММТ (основной и резервный). Технология CWDM почти полностью обеспечивает большую часть функции передачи ММТ. Однако все еще не решены задачи совершенствования сети за счет введения БИУК, которые должны обеспечивать интеграцию сети как с Gigabit Ethernet и ATM, так и с WATM/BRAN [9]. В БИУК оптические интерфейсы должны быть реализованы по модульному принципу, обеспечивая переход от многомодовой передачи (диапазон 850 нм) к одномодовой (1350 нм) [8]. Кроме того, проектируемый БИУК должен решать задачи перехода от CWDM (16 каналов) к режимам CWDM/DWDM за счет комбинированной (мягкой) миграции от CWDM к DWDM (например из 8 каналов CWDM можно получить 7 каналов CWDM и 8 каналов DWDM).

Таким образом, для каждого направления передачи компонент ММТ БИУК должен иметь по две линии связи (дуплексный режим передачи), каждая из которых двухканальная (1+1). Располагая диапазоном частот исходящих ОВТ, с одной стороны, и требованиями к скорости приоритетной передачи для заданных режимов синхронизации ММТ, с другой, БИУК должен по данным мониторинга (данным анализа эффективности синхронизации) реконфигурировать полосу частот ОВТ для каждого канала каждой линии связи по каждому из нескольких направлений (маршрутов) передачи ММТ.

### 3. Формализация процесса синхронной передачи компонент мультимедийного трафика

Для каждого приоритета в заданном направлении передачи назначается в линии связи (ЛС) определенное число каналов  $K_i$  с определенной пропускной способностью  $\mu_i$  каждого. На рис. 1 показана схема распределения потоков контейнеров ячеек (технология ATM/CWDM) в базовом интеллектуальном узле коммутации [14, 15].

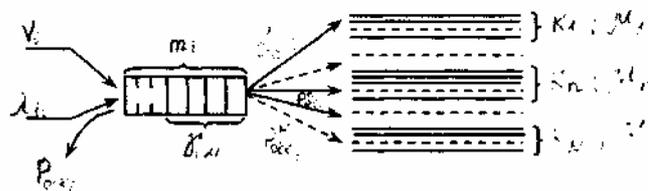


Рис. 1. Схема функциональной структуры

Пусть  $i$ -й БИУК замыкается на  $N_i$  исходящих из него линий связи, каждая  $n$ -я из которых состоит из конечного числа  $K_n$  однотипных каналов с интенсивностью передачи  $\mu_n$ .

Перенумеруем все линии связи в порядке, определяющем приоритет назначения направления передачи синхронизируемого ММТ.

Контейнер всегда занимает свободные два канала ( $N = 1, M = 1$ ), входящие в линию связи с минимальным номером приоритета. Если все каналы во всех  $N_i$  линиях связи заняты, то вновь поступающие контейнеры становятся в очередь (время ожидания  $\tau_{ок}$ ) на обслуживание при условии, что общее число

находящихся в очереди, не более чем  $m_i (r_{ож} \leq m_i$ . Каждый контейнер прибывший в момент, когда в очереди уже находится  $m_i$  контейнеров, теряется ( $m_i$  – объем накопителя в размерности контейнеров).

Требуется определить, какая часть потока компоненты  $\lambda_i$  пройдет через каждую линию связи  $P_{обс_i}^n$  и какова при этом будет вероятность потери контейнеров  $P_{отк_i}$ .

Очевидно

$$P_{обс_i}^1 + P_{обс_i}^2 + \dots + P_{обс_i}^n + \dots + P_{обс_i}^N + P_{отк_i} = 1, \text{ а } P_{обс_i}^n = P_{обс_i}^{он} + \alpha_n P_{ож_i} \quad (1)$$

где  $P_{обс_i}^{он}, \alpha_n P_{ож_i}$  – доли контейнеров, переданных из  $i$ -го БИУК без ожидания, и контейнеров, попавших в очередь, а затем на обслуживание на  $n$ -ю линию связи, соответственно.

При формализации процесса распределения исходящих из БИУК контейнеров можно применить следующие две формальные модели описания динамики процессов в виде графов (рис. 2) [15]:

- модель модифицированной схемы «гибели и размножения» (рис. 2, а);
- модель графа укрупненных смежных состояний (рис. 2, б).

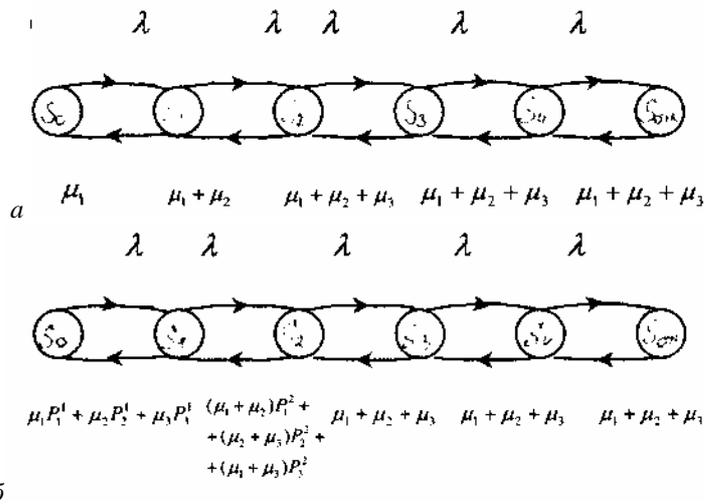


Рис. 2. Формальные модели процессов коммутации представляемые в виде схем графов

Граф первой модели (рис. 2, а) имеет компактную форму, но допускает погрешность в оценке (даже для случая назначения приоритетов, соответствующих условию  $\mu_1 > \mu_2 > \dots > \mu_n > \mu_{N_i}$  часть пакетов попадает на освободившееся каналы с более низким приоритетом). Граф второй модели (рис. 2, б) – наиболее рационален, так как сохраняет во многих случаях воспроизведения процессов удовлетворительную точность оценки при сравнительно компактной форме описания.

#### 4. Сравнительный анализ точности формальных моделей

Для количественного анализа эффективности синхронизации ММТ предлагается аналитическая модель оценки вероятностей распределения ММТ в соответствии с приоритетами синхронизации его компонент (аудио и видео данных [14]).

Прежде чем формировать аналитическую модель необходимо для заданных режимов передачи ММТ провести сравнительную оценку точности выбираемой формальной модели. Например, пусть БИУК имеет три исходящие двухканальные линии связи с приоритетами, назначаемыми в соответствии с условием  $\mu_1 > \mu_2 > \mu_3$  и одним местом в накопителе,  $m = 1$  (рис. 2) [6, 15].

Состояния процесса пронумеруем по числу контейнеров, находящихся в БИУК [15]:

$$S_{000}, S_0 \text{ – нет ни одного сообщения в БИУК;}$$

$$S_{001}, S_{010}, S_{100}, S_1 \text{ – одно сообщение в БИУК;}$$

$$S_{111.1}, S_4 - r_{\max} \text{ сообщений в БИУК,}$$

$$r_{\max} = \sum_{n=1}^N K_n + m = 4.$$

Решая систему уравнений Колмогорова – Чепмена для оценки вероятности застать процесс в любой момент времени в одном из этих состояний, нетрудно получить и результирующие вероятности:  $P_0$  – БИУК свободен,  $P_{обс}^0, P_{ож}$  – обслуживание без ожидания и с ожиданием соответственно,  $P_{отк}$  – потеря пакетов.

Как уже указывалось, во второй модели по сравнению с первой учитывается возможность занятия освобожденного канала с меньшим приоритетом. Эти вероятности (рис. 2, б) имеют вид [15, 16]:

$$\begin{aligned} P_1^1 &= \frac{\mu_2 + \mu_3 + \lambda}{2\mu_1 + 2\mu_2 + 2\mu_3 + \lambda}, \\ P_2^1 &= \frac{\mu_1 + \mu_3}{2\mu_1 + 2\mu_2 + 2\mu_3 + \lambda}, \\ P_3^1 &= \frac{\mu_1 + \mu_2}{2\mu_1 + 2\mu_2 + 2\mu_3 + \lambda} \end{aligned} \quad (3)$$

для состояния  $S_1$  и

$$\begin{aligned} P_1^2 &= \frac{\mu_3 + 2\lambda}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + 3\lambda}, \\ P_2^2 &= \frac{\mu_1}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + 3\lambda}, \\ P_3^2 &= \frac{\mu_2 + \lambda}{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + 3\lambda} \end{aligned} \quad (4)$$

для состояния  $S_2$ .

На рис. 3 показаны графики зависимостей  $P_0, P_{обс}^0, P_{ож}, P_{отк}$  от поступающей в БИУК нагрузки. Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что при больших нагрузках передаваемого ММТ можно применять первую наиболее компактную модель анализа.

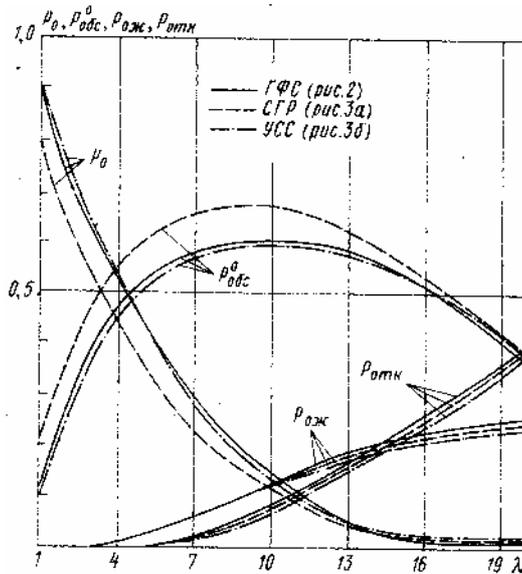


Рис. 3. Графики зависимости вероятностей  $P_0, P_{обс}^0, P_{ож}, P_{отк}$  от поступающего в БИУК ММТ для первой и второй моделей при фиксированной пропускной способности одноплатных каналов

## 5. Аналитическая модель анализа реконфигурации полосы частот оптоволоконных трактов мультисервисной сети

Выпишем для первой модели вероятности, характеризующие процесс распределения контейнеров в БИУК в общем виде.

Вероятности обслуживания без ожидания

$$P_{K_1+...K_N} = \frac{\lambda^{K_1+...+K_N}}{K_1! \mu_1^{K_1} \prod_{l=2}^N \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=1}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right)} P_0 \quad (5)$$

Вероятности обслуживания с ожиданием

$$P_{K_1+...K_N+1} = \frac{\lambda^{K_1+...+K_N}}{K_1! \mu_1^{K_1} \left[ \prod_{l=2}^N \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=1}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right) \right]} P_0$$

$$P_{K_1+...K_N+m-1} = \frac{\lambda^{K_1+...+K_N}}{K_1! \mu_1^{K_1} \left[ \prod_{l=2}^N \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=1}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right) \right]} \left( \sum_{j=1}^N K_j \mu_j \right) P_0' \quad (6)$$

где  $P_0$  определяется с учетом

$$P_0 + P_1 + \dots + P_{K_1+...+K_N+m-1} + P_{r_{\max}} = 1$$

по формуле

$$P_0 = \left[ \sum_{K=0}^{K_1} \frac{\lambda^K}{K! \mu_1^{K_1}} + \frac{\lambda^{K_1}}{K_1! \mu_1^{K_1}} \sum_{l=1}^{K_{r_{\max}}} \frac{\lambda^l}{\prod_{K=1}^l (K_1 \mu_1 + K \mu_{r_{\max}})} + \dots \right. \\ \left. + \frac{\lambda^{K_1+...+K_{N-1}}}{K_1! \mu_1^{K_1} \prod_{l=2}^{N-1} \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=1}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right)} \sum_{l=1}^{K_N} \frac{\lambda^l}{\prod_{K=1}^l \left( \sum_{i=1}^{N-1} K_i \mu_i + K \mu_N \right)} + \dots \right. \\ \left. + \frac{\lambda^{K_1+...+K_N}}{K_1! \mu_1^{K_1} \prod_{l=2}^N \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=1}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right)} \sum_{l=1}^m \frac{\lambda^l}{\left( \sum_{i=1}^{N-1} K_i \mu_i \right)} \right] \quad (7)$$

Вероятность потерь в обслуживании совпадает с вероятностью занятости всех каналов во всех линиях и всех мест ожидания в очереди:

$$P_{\text{отк}} = P_{K_1+...+K_N+m} = \frac{\lambda^{K_1+...+K_N+m}}{K_1! \mu_1^{K_1} \left( \sum_{j=1}^N K_j \mu_j \right) \prod_{l=2}^N \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=1}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right)} \quad (8)$$

Кроме того, суммарную вероятность обслуживания с ожиданием и без ожидания можно вычислить по формулам

$$P_{\text{ож}} = \sum_{l=1}^{m-1} P_{K_1+...+K_N+l} \quad P_{\text{офс}} = 1 - P_{\text{отк}} - P_{\text{ож}} \quad (9)$$

Считая последовательно в соответствии с заданными приоритетами, что из БИУК исходит одна, две, ...,  $N$  ЛС, и используя аналогичным образом схему гибели и размножения, можно найти вероятности потерь на первой линии, на двух первых, ..., на  $N$  ЛС.

Вероятность потерь на первой ЛС с  $K_1$  канала (2 канала симплекс, 4 – дуплекс)

$$P_{\text{отк}}^1 = \frac{\rho_1^{K_1}}{K_1!} \left( \sum_{K=0}^{K_1} \frac{\rho_1^K}{K!} \right)^{-1}, \quad (10)$$

где  $\rho_1 = \frac{\lambda}{\mu}$ .

Вероятность потерь на двух первых ЛС

$$P_{\text{отк}}^2 = \frac{\lambda^{K_1+K_2}}{K_1! \mu_1^{K_1} \prod_{K=1}^{K_2} (K_1 \mu_1 + K \mu_2) \left[ \sum_{K=0}^{K_1} \frac{\lambda^K}{K_1! \mu_1^K} + \frac{\lambda^{K_1}}{K_1! \mu_1^{K_1}} \sum_{l=1}^{K_1} \frac{\lambda^l}{\prod_{K=1}^l (K_1 \mu_1 + K \mu_2)} \right]} \quad (11)$$

Вероятность потерь на  $N$  ЛС

$$P_{отк}^N = \frac{\lambda^{K_1+\dots+K_N}}{K_1! \mu_1^{K_1} \prod_{l=2}^N \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=l}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right) \left[ \sum_{K=0}^{K_1} \frac{\lambda^K}{K! \mu_1^K} + \dots + \frac{\lambda^{K_1+\dots+K_{N-1}}}{K_1 \mu_1^{K_1} \prod_{l=2}^{N-1} \prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=l}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_l \right)} + \dots + \sum_{l=1}^{K_N} \frac{\lambda^l}{\prod_{K=l}^{K_l} \left( \sum_{i=l}^{l-1} K_i \mu_i + K \mu_N \right)} \right]} \quad (12)$$

Зная вероятности  $P_{отк}^1, P_{отк}^2, \dots, P_{отк}^N$  можно вычислить долю потока, обслуженного без ожидания, которая прошла через каждую линию связи

$$\begin{aligned} P_{обс}^1 &= 1 - P_{отк}^1, \\ P_{обс}^2 &= 1 - P_{отк}^2 - P_{обс}^1, \\ &\dots \\ P_{обс}^N &= 1 - P_{отк}^N - \sum_{l=1}^{N-1} P_{обс}^l. \end{aligned} \quad (13)$$

Поток ММТ необходимо распределить по  $N$  линиям пропорционально вероятностям  $P_{обс}^n$ , поэтому в соответствии с (2) и (3) производится нормирование  $P_{обс}^n$ . В результате получаются приведенные вероятности  $P_{обс}^n$ .

Доли  $\alpha_n$  потока контейнеров, обслуженных с ожиданием, которые пройдут через каждую линию связи, определяются с учетом только пропускной способности каждой линии связи:

$$\alpha_n = \frac{K_n \mu_n}{\sum_{n=1}^N K_n \mu_n} \quad (14)$$

Окончательно получим формулы для оценки вероятностей, с которыми поток ММТ распределяется по всем исходящим из БИУК линиям связи:

$$\begin{aligned} P_{обс}^1 &= \tilde{P}_{обс}^1 P_{обс} + \alpha_1 P_{ож}, \\ P_{обс}^2 &= \tilde{P}_{обс}^2 P_{обс} + \alpha_2 P_{ож}, \\ &\dots \\ P_{обс}^N &= \tilde{P}_{обс}^N P_{обс} + \alpha_N P_{ож} \end{aligned} \quad (15)$$

### 6. Анализ эффективности реконфигурации полосы частот оптоволоконных трактов

Из графиков рис. 4 следует, что ошибочное назначение приоритетов приводит к увеличению потерь в узле.

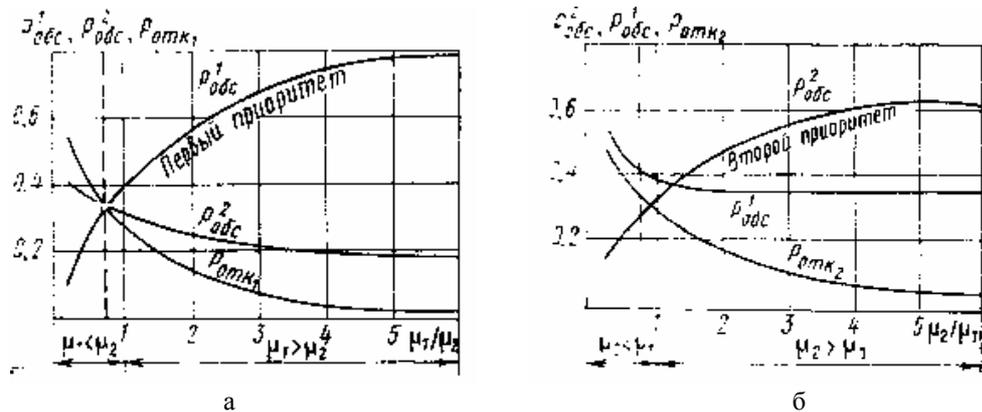


Рис. 4. Зависимость потерь в узле от приоритетов

Выражая относительные потери в узле формулой

$$\Delta P_{отк} = \frac{P_{отк1} \left( \frac{\mu_1}{\mu_2} \right) - P_{отк2} \left( \frac{\mu_2}{\mu_1} \right)}{P_{отк1} \left( \frac{\mu_1}{\mu_2} \right)}, \quad (16)$$

можно оценить, насколько увеличиваются потери за счет ошибочного назначения приоритета с ростом отношения  $\frac{\mu_1}{\mu_2}$  (рис. 5).

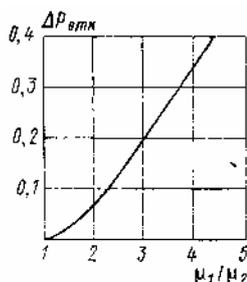


Рис. 5. Относительные потери в узле

Таким образом, результаты подтверждают возможность применения созданной модели анализа эффективности реконфигурации (выделения полос пропускания ( $\mu_1 = k_1\mu$  и  $\mu_2 = k_2\mu$ )) при распределении потоков ММТ в оптоволоконных трактах в мультисервисных сетях связи с децентрализованным управлением. Располагая данными мониторинга  $P_{обс}^1$ ,  $P_{обс}^2$ ,  $P_{отк1}$ ,  $P_{отк2}$  и главное, допустимым порогом  $\Delta P_{отк} \leq \Delta P_{дон}$  аппаратно-программная среда БИУК должна автоматически реконфигурировать значения  $\mu_1 = k_1\mu$  и  $\mu_2 = k_2\mu$ .

1. *Research networking in Europe* // European Commission. – 2001. – 42 p.
2. *Ahamed S.V., Lawrence V.B. Intelligent Broadband Multimedia Network* // Klumer. Klumer academic publishers. – 1997. – 211 p.
3. *Гольдштейн Б.С., Ерхиль И.М., Рерне Р.Д.* Интеллектуальные сети. – М.: Радио и связь, 2000. – 502 с.
4. *Норенков И.П., Зимин А.М.* Информационные технологии в образовании – М.: МГТУ, 2004. – 352 с.
5. *Bergor L.* Generalized Multi-Protocol Label Switching (CMPLS) Signaling – RSVP-TE Extensions RFC 3473. – 2003. – 89 p.
6. *Ластовченко М.М., Биляк В.И., Марущак В.И.* Адаптивная синхронизация мультимедийного трафика в ситуационном центре управления // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 6. – С. 31–40.
7. *Семенов Ю.А.* Обобщенная мультипротокольная коммутация по меткам (CMPLS) // СП FORUM.RU <http://citforum.ru>
8. *Бауер Х.* Миграция от CWDM к DWDM // Lan. – № 3. – 2003. – С. 28–33.
9. *Schiller J.* Mobile Communications // Addison-Wesley. – 2000. – 395 p.
10. *Ластовченко М.М., Биляк В.И.* Концепция создания многофункциональных базовых узлов коммутации для широкополосных сетей связи // УСиМ, 2006. – № 6. – С. 55–66.
11. *Ластовченко М.М., Биляк В.И., Павлюк В.С., Рашик Т.С.* Анализ надежности интеллектуальных корпоративных сетей функционирующих в поле виртуальных каналов связи // УСиМ. – 2001. – № 5. – С. 64–72.
12. *Ластовченко М.М., Биляк В.И., Русецкий В.Е.* Системный анализ надежности функционирования широкополосной транспортной платформы интеллектуальных сетей. – 2005. – № 4. – С. 45–56.
13. *Ластовченко М.М., Бернацкая Ю.Н., Витвицкий А.Н.* Методология анализа формируемых режимов передачи мультимедийного трафика в широкополосных сетях связи // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 5. – С. 89–97.
14. *Ластовченко М.М., Ярошенко В.Н., Биляк В.И.* Математические аспекты проектирования интеллектуальных коммутационных систем передачи ММТ // Математические машины и системы. – 2001 – № 6. – С. 56–69.
15. *Ластовченко М.М., Губенко А.Е., Коваль И.Н., Брусенцов А.Б.* Распределение потоков сообщений в сетях связи с децентрализованным управлением и разнородными каналами передачи. // Техника средств связи. – М.: В 5. – 1989. – С. 14–21.
16. *Вентцель Е.С.* Исследование операций ИМ. – Сов.радио, 1975. – 512 с.