

Математическая модель функционирования коммутатора в OBS сети с FDL и маршрутизацией с отклонением

Г. П. Башарин, Е. С. Шибаева

*Кафедра систем телекоммуникаций
Российский университет дружбы народов
ул. Миклуто-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

Одной из основных тенденций развития телекоммуникационных сетей является процесс «фотонизации» транспортных сетей, который должен привести к созданию полностью оптической транспортной сети (All-Optical Network, AON). Это концепция, воплощение которой позволит на долгое время снять вопрос о необходимости наращивания ресурсов, требуемых для удовлетворения возрастающих потребностей в передаче информации.

По технологии Optical Burst Switching (OBS) пакеты во входном узле собираются в пачки. Когда две и более пачки одновременно передаются на одну и ту же выходную длину волны, возникают коллизии. Для их разрешения используются волоконно-оптические линии задержки (Fiber Delay Lines, FDL), маршрутизация с отклонением и полная конверсия длин волн. С помощью FDL пачки задерживаются на определённое время, применяя маршрутизацию с отклонением пачки могут передаваться по изменённому, а не основному маршруту к получателю. Полная конверсия длин волн позволяет оптически преобразовать любую входящую длину волны в любую исходящую.

В статье рассматривается функционирование коммутатора в OBS сетях с FDL, полной конверсией длин волн и маршрутизацией с отклонением. Выводится система уравнений глобального баланса для равновесного распределения вероятностей и формулы для расчёта основных вероятностно-временных характеристик отдельного оптического волокна.

Ключевые слова: оптическая сеть с коммутацией пачек, маршрутизация с отклонением, волоконно-оптические линии задержки, оптический коммутатор, вероятность сброса.

1. Введение

Чтобы обеспечить оптическую коммутацию для Интернет-трафика следующего поколения, используется подход, называемые оптической коммутацией пачек (Optical Burst Switching, OBS). Он исследуется в работе [1] двух выдающихся индийских учёных Т. Venkatesh и С.S.R. Murthy, в книге [2, §7.5] Башарина Г.П., в статье [3] вьетнамских учёных D.T. Chuong, V.V. Minh Nhat, работающих в университете Hue, и V.D. Loi, работающего в Центре ИТ ЦК компартии Вьетнама.

Рассмотрим оптическую транспортную сеть с групповой коммутацией пакетов (OBS) и методом резервирования достаточного времени (Just Enough Time, JET) [4]. В этой сети (рис. 1) передаются пачки, состоящие из нескольких пакетов данных. Особенность метода резервирования JET заключается в том, что контрольный пакет (Burst Control Packet, BCP) [1, 4], содержащий сигнальную информацию, передаётся с некоторым опережением по сравнению с передачей пачки. Время между отправкой BCP и пачки называется задержкой обработки заголовка (offset time).

После обработки BCP на каждом коммутаторе устанавливается соединение и резервируется требуемая длина волны. Если какой-то коммутатор не может передать пачку, необходимо построить новый маршрут, который содержит дополнительные звенья. Данный тип коммутации называется маршрутизацией с отклонением. Для построения этого маршрута нужно на некоторое время задержать отправку пачки, для этого к коммутатору подсоединяются волоконно-оптические линии задержки (Fiber Delay Lines, FDL). В данной статье анализируется функционирование коммутатора, который является промежуточным узлом как изначального, так и нового маршрутов.

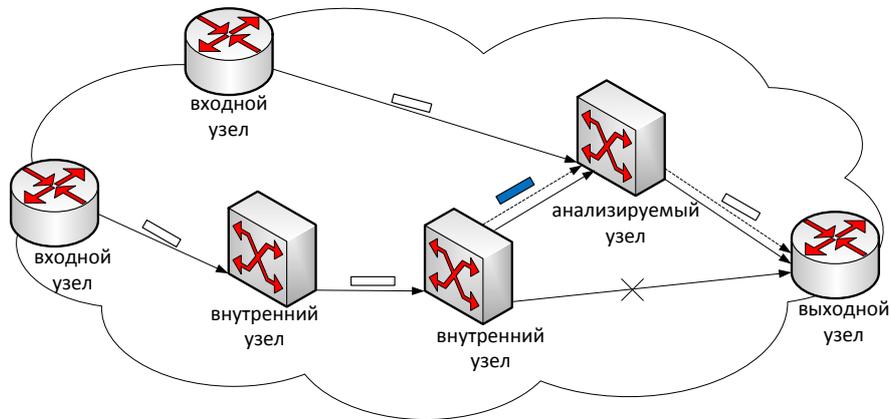


Рис. 1. OBS сеть

2. Архитектура оптического коммутатора

Рассмотрим архитектуру оптического коммутатора с одним входным и одним выходным волокнами, при этом в каждом волокне W длин волн (рис. 2).

Поступающие сигналы на разных длинах волн демультиплексируются, передаются по оптическому волокну и мультиплексируются на выходе [1]. Предполагается наличие полной конверсии длин волн [5]: поступивший в коммутатор сигнал по одной длине волны может покинуть его по любой свободной длине волны [2].

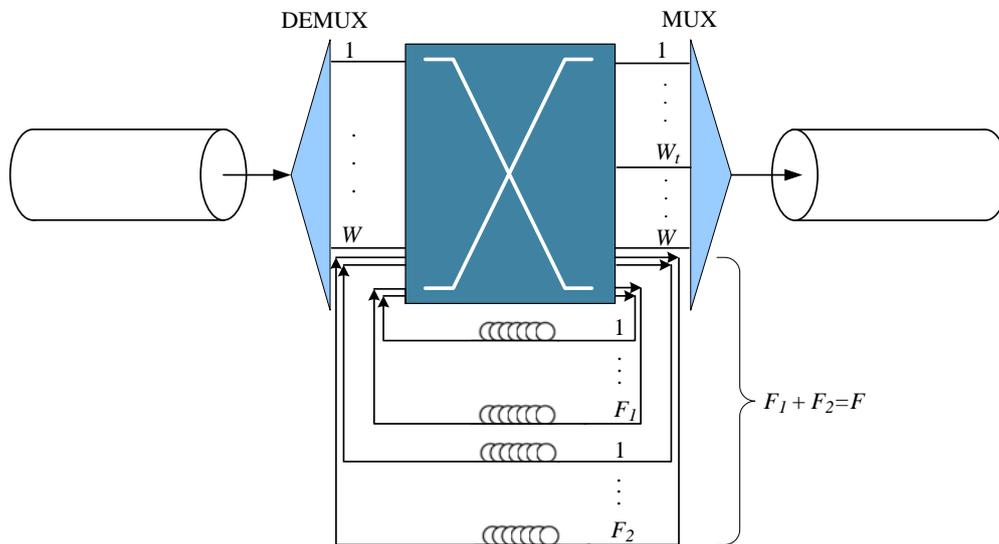


Рис. 2. Архитектура оптического коммутатора

К оптическому коммутатору подсоединены F волоконно-оптических линий задержки (FDL, Fiber Delay Lines), в каждой из которых W длин волн (на рис. 2, где FDL обозначается как $\text{---}\text{---}\text{---}$). F FDL разделены на две части: F_1 и F_2 FDL, $F_1 + F_2 = F$ (см. раздел 3).

3. Математическая модель

Выделим два класса пачек: класс 1 — высший приоритет (перенаправленная пачка), класс 2 — низший (неперенаправленная пачка). На выходное волокно поступает пуассоновский поток пачек с интенсивностью ε_k , $k = \overline{1, 2}$. W — количество источников пачек. Интенсивность обслуживания пачки в выходном волокне равняется μ .

Если поступает высокоприоритетная пачка и есть одна свободная длина волны в F_1 FDL (из $v_1 = F_1 W$ длин волн), то она занимает эту длину волны, причём время пребывания пачки в FDL имеет экспоненциальное распределение с параметром $\mu_1 = \frac{1}{h\sigma}$, где σ — задержка обработки заголовка, h — количество дополнительных звеньев маршрута. Иначе пачка теряется (рис. 3). После этого, если есть свободная длина волны из W длин волн в выходном волокне, пачка передаётся по этой длине волны. Если заняты все F_1 FDL, то пачка блокируется и теряется.

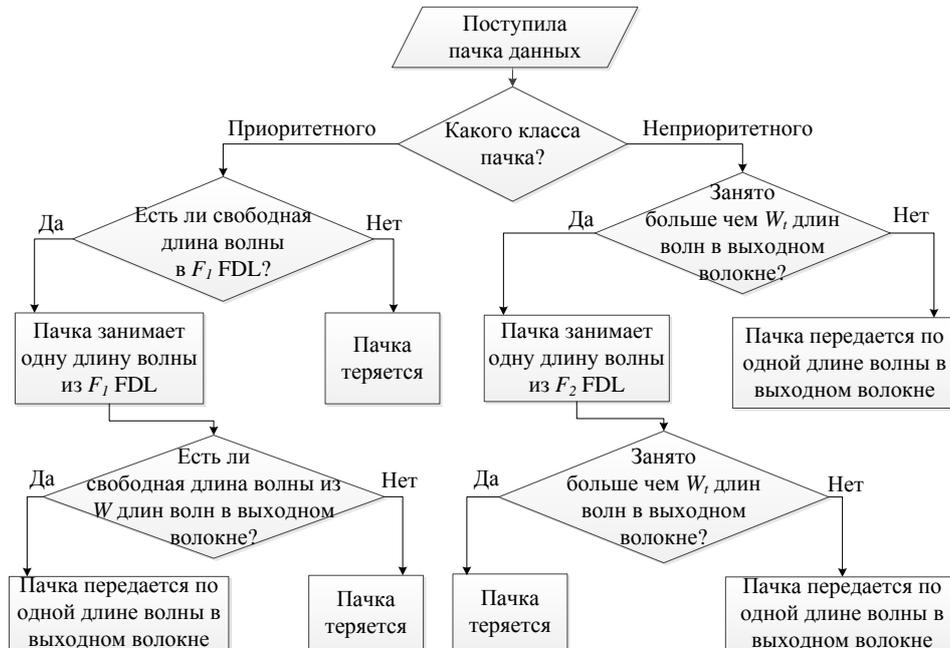


Рис. 3. Принцип функционирования оптического коммутатора

Когда поступает низкоприоритетная пачка и в выходном волокне занято больше, чем W_t длин волн, пачка занимает одну длину волны в F_2 FDL или одну из $v_2 = F_2 W$ длин волн. А время пребывания пачки в FDL имеет экспоненциальное распределение с параметром μ . Затем пачка занимает свободную длину волны выходного волокна, если количество занятых в нём длин волн не превышает пороговое значение W_t либо блокируется и теряется, не оказывая влияния на поступающий поток пачек.

Функционирование оптического коммутатора можно разделить на три части, при этом одна часть (узел 1 на рис. 4) функционирует независимо, а остальные две (узел 2 на рис. 4) взаимосвязаны. Здесь и далее пачки будем называть заявками.

Обозначим $\rho_1 := \frac{\varepsilon_1}{\mu_1}$, $\rho_2 := \frac{\varepsilon_2}{\mu}$.

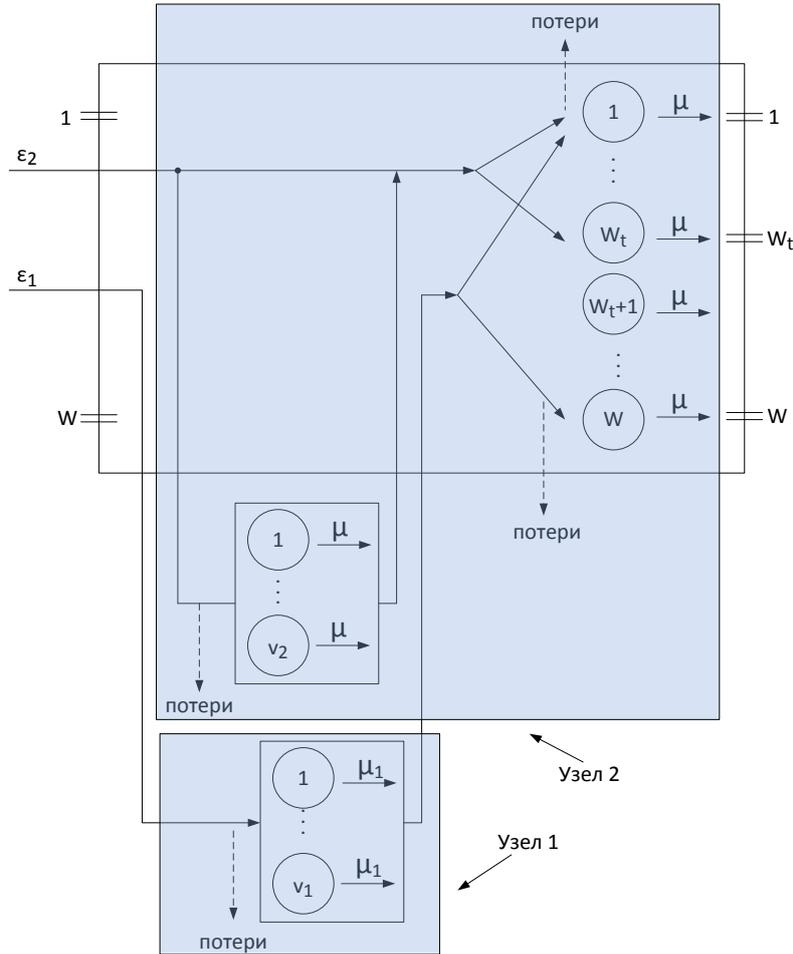


Рис. 4. Механизм работы оптического коммутатора

Функционирование оптического коммутатора в первом узле описывается первой моделью Эрланга $M|M|v$ [6]. Вероятность блокировки 1-заявки в первом узле представлена, соответственно, в виде

$$\pi^I = \frac{\rho_1^{v_1}}{v_1! \sum_{i=0}^{v_1} \frac{\rho_1^i}{i!}}. \tag{1}$$

Функционирование оптического коммутатора во втором узле описывается двумерным марковским процессом $(X(t), Y(t), t \geq 0)$ с пространством состояний $S = \{(i, j) : 0 \leq i \leq W, 0 \leq j \leq W_t + v_2, 0 \leq i + j \leq W + v_2\}$. Заявка $X(t)$ — количество 1-заявок во втором узле в момент времени $t \geq 0$, $Y(t)$ — количество 2-заявок во втором узле в момент времени $t \geq 0$, $|S| = (W + 1)(v_2 + 1) + W_t(W - W_t + 1) + \frac{1}{2}W_t(W_t - 1)$.

Диаграмма интенсивностей переходов представлена на рис. 5, на котором $\varepsilon'_1 := \varepsilon_1(1 - \pi^I)$, $\rho'_1 := \frac{\varepsilon'_1}{\mu}$.

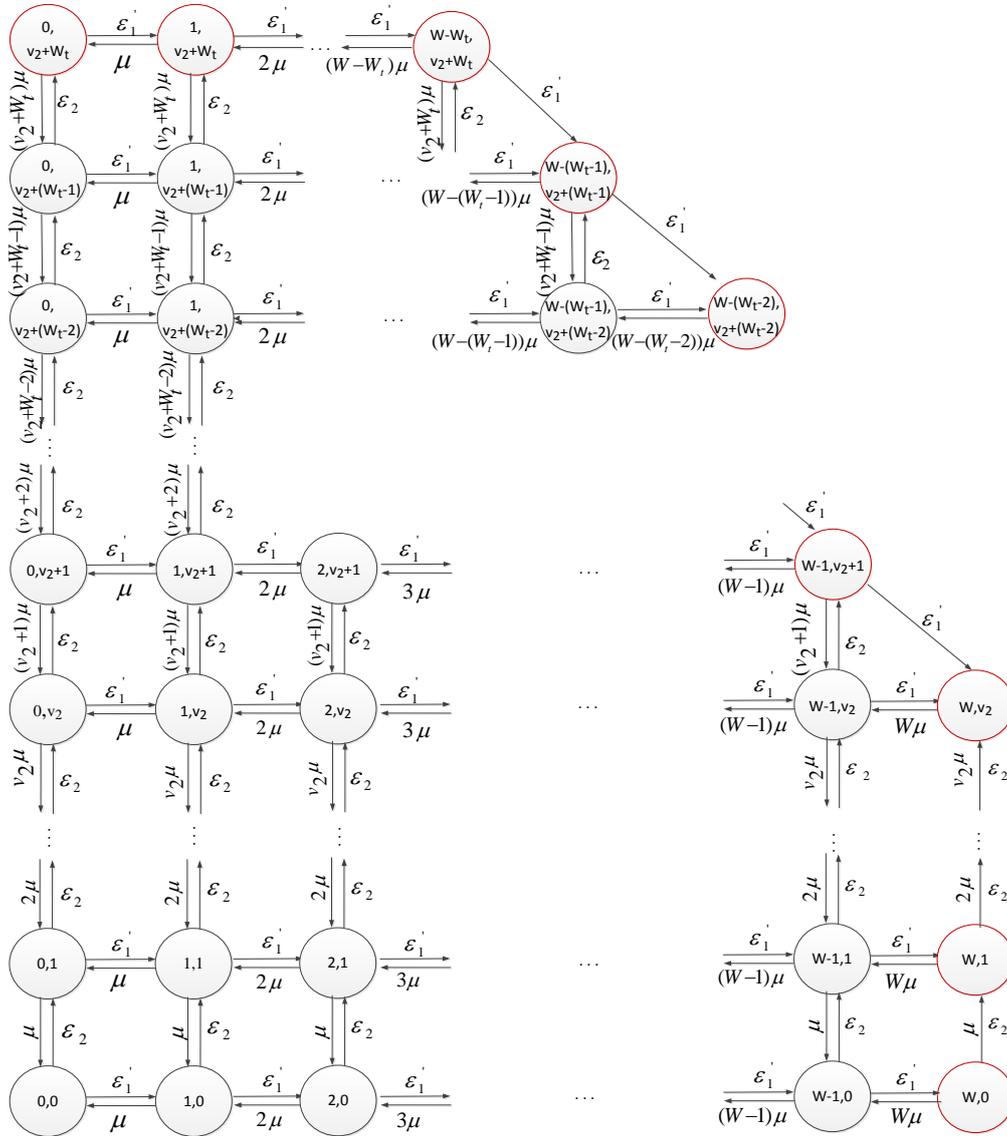


Рис. 5. Диаграмма интенсивностей переходов

Пусть $p_{i,j}$, $0 \leq i \leq W$, $0 \leq j \leq W_t + v_2$, $0 \leq i + j \leq W + v_2$ — стационарная вероятность того, что во втором узле находятся i заявок 1 типа и j заявок 2 типа.

Тогда стационарные вероятности $p_{i,j}$, $0 \leq i \leq W$, $0 \leq j \leq W_t + v_2$, $0 \leq i + j \leq W + v_2$, удовлетворяют следующей системе уравнений равновесия (СУР):

$$0 = -(\varepsilon'_1 + \varepsilon_2)p_{0,0} + \mu p_{0,1} + \mu p_{1,0}, \quad (2)$$

$$0 = -(\varepsilon'_1 + (v_2 + W_t)\mu)p_{0,v_2+W_t} + \mu p_{1,v_2+W_t} + \varepsilon_2 p_{0,v_2+W_t-1}, \quad (3)$$

$$0 = -(\varepsilon_2 + W\mu)p_{W,0} + \varepsilon'_1 p_{W-1,0}, \quad (4)$$

$$0 = -W\mu p_{W,v_2} + \varepsilon_2 p_{W,v_2-1} + \varepsilon'_1 p_{W-1,v_2} + \varepsilon'_1 p_{W-1,v_2+1}, \quad (5)$$

$$0 = -(\varepsilon'_1 + (W + v_2)\mu)p_{W-W_t,v_2+W_t} + \varepsilon_2 p_{W-W_t,v_2+W_t-1} + \varepsilon'_1 p_{W-W_t-1,v_2+W_t}, \quad (6)$$

$$0 = -(\varepsilon'_1 + \varepsilon_2 + m\mu)p_{m,0} + \varepsilon'_1 p_{m-1,0} + \mu p_{m,1} + (m+1)\mu p_{m+1,0}, \quad 1 \leq m \leq W-1, \quad (7)$$

$$0 = -(\varepsilon'_1 + \varepsilon_2 + n\mu)p_{0,n} + \varepsilon_2 p_{0,n-1} + \mu p_{1,n} + (n+1)\mu p_{0,n+1}, \quad 1 \leq n \leq v_2 + W_t - 1, \quad (8)$$

$$0 = -(\varepsilon_2 + W\mu)p_{W,n} + \varepsilon_2 p_{W,n-1} + \varepsilon'_1 p_{W-1,n}, \quad 1 \leq n \leq v_2 - 1, \quad (9)$$

$$0 = -(\varepsilon'_1 + n\mu + m\mu)p_{m,n} + \varepsilon_2 p_{m,n-1} + \varepsilon'_1 p_{m-1,n} + \varepsilon'_1 p_{m-1,n+1}, \\ W - W_t + 1 \leq m \leq W - 1, \quad v_2 + 1 \leq n \leq v_2 + W_t - 1, \quad (10)$$

$$0 = -(\varepsilon'_1 + (v_2 + W_t + 1)\mu)p_{m,v_2+W_t} + \varepsilon_2 p_{m,v_2+W_t-1} + \varepsilon'_1 p_{m-1,v_2+W_t} + \\ + (m+1)\mu p_{m+1,v_2+W_t}, \quad 1 \leq m \leq W - W_t - 1, \quad (11)$$

$$0 = -(\varepsilon_2 + \varepsilon'_1 + (m+n)\mu)p_{m,n} + \varepsilon_2 p_{m,n-1} + \varepsilon'_1 p_{m-1,n} + \\ + (m+1)\mu p_{m+1,n} + (n+1)\mu p_{m,n+1}, \quad 1 \leq m \leq W-1, \quad 1 \leq n \leq v_2 + W_t - 1, \\ 2 \leq m+n \leq W + v_2 - 1. \quad (12)$$

Условие нормировки:

$$\sum_{j=0}^{v_2+W_t} \sum_{i=0}^W p_{i,j} = 1, \quad 0 \leq i+j \leq W+v_2, \quad (13)$$

$$p_{i,j} = \frac{(\rho'_1)^i \rho_2^j}{i! j!} p_{0,0},$$

где

$$p_{0,0} = \left[\sum_{j=0}^{v_2} \sum_{i=0}^W \frac{\rho_2^j (\rho'_1)^i}{j! i!} + \sum_{j=v_2+1}^{W_t+v_2} \sum_{i=0}^{W-(j-v_2)} \frac{\rho_2^j (\rho'_1)^i}{j! i!} \right]^{-1}. \quad (14)$$

Вероятности блокировки заявок 1 и 2 типа во втором узле можно представить в виде [3]

$$\pi_1^{\text{II}} = \sum_{i=W-W_t}^W p_{i,W+v_2-i}, \quad \pi_2^{\text{II}} = \sum_{i=W-W_t}^W p_{i,W+v_2-i} + \sum_{i=0}^{W-W_t-1} p_{i,W_t+v_2}. \quad (15)$$

Вероятность блокировки заявок во второй системе равна $\pi^{\text{II}} = \pi_1^{\text{II}} + \pi_2^{\text{II}}$, а вероятности блокировки 1- и 2-заявок имеют вид

$$\pi_1 = \frac{\rho_1(\pi^{\text{I}} + (1 - \pi^{\text{I}})\pi_1^{\text{II}})}{\rho_1 + \rho_2}, \quad \pi_2 = \frac{\rho_2\pi_2^{\text{II}}}{\rho_1 + \rho_2}. \quad (16)$$

Литература

1. Venkatesh T., Siva Ram Murthy C. An Analytical Approach to Optical Burst Switched Networks. — Springer, 2010.
2. Башарин Г. П. Лекции по математической теории телеграфика. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: РУДН, 2009. [Basharin G. P. Lecture on Mathematical Teletraffic Theory. — Moscow, 2009. — (in russian).]

3. *Chuong D. T., Loi V. D., Minh Nhat V. V.* A performance Analysis of Deflection Routing and FDLs with Wavelength-Based QoS in OBS networks // International Conference on Cyber-Enabled Distribution Computing and Knowledge Discovery. — 2011. — Pp. 72–78.
4. *Гринфилд Д.* Оптические сети, пер. с англ. — Киев: ДияСофтЮП, 2002. [Greenfield D. Optical Network. — Kiev, 2002. — (in russian).]
5. *Mukherjee B.* Optical WDM networks. — Springer, 2006.
6. *Ефимушкин В. А., Савандюков И. М.* Распределение ресурсов в оптических транспортных сетях. — Москва: ЦНИИС, 2010. [Efimushkin V. A., Savandukov I. M. Resource Allocation in Optical Transport Network. — Moscow, 2010. — (in russian).]

UDC 621.39

A Mathematical Model of Switch Working in OBS Network with FDL and Deflection Routing

G. P. Basharin, E. S. Shibaeva

*Telecommunication Systems Department
Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russia*

One of the main development trends of telecommunication networks is the process of transport networks fotonization that should lead to creation of the whole Optical Transport Network (All-Optical Network, AON). This conception let not to increase reserves that are required for meeting growing demand for data transfer.

According to OBS technology packets in ingress node are gathered in bursts. Collisions appears in case of two or more bursts at a time transfer to the same output wavelength. Fiber delay lines (FDL), deflection routing and wavelength conversion are used for their correction. Through the use of FDL bursts are hold for some period of time and using deflection routing they can transfer en reroute but not the main route to the receiver. The whole version of wavelengths let to modify any incoming wavelengths to the outgoing one.

In this article the switch in OBS network with FDL, the whole wavelength conversion and deflection routing are regarded. Also the system of equations in the global balance for the steady-state blocking probabilities and formulas for calculation of main productivity characteristics of separate optical fiber are derived.

Key words and phrases: Passive Optical Network (PON), Optical Network Unit (ONU), Optical Line Terminal (OLT), upstream, Wavelength Division Multiplexing (WDM), Time Division Multiple Access (TDMA), blocking probability.