

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Юрий Гриньков

**Аннотация:** В работе предложен возможный подход к созданию имитационной модели сети с оптической коммутацией блоков информации, служащей для оптимизации функционирования оптических фрагментов телекоммуникационной сети. В предложенной модели критерием оптимизации является условный экстремум, заключающийся в минимизации вероятности потерь блоков информации на сетевых узлах при максимизации общей пропускной способности фрагмента сети.

**Ключевые слова:** коммутация оптических сигналов, коммутация блоков информации, имитационная модель

**Ключевые слова классификации ACM:** I.6 SIMULATION AND MODELING - I.6.5 Model Development, C.2 COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS - C.2.1 Network Architecture and Design

---

### Введение

Непрерывный процесс внедрения новых инфокоммуникационных услуг (ИКУ) и мультимедийных приложений привел к тому, что на протяжении длительного периода времени наблюдается тенденция постоянного увеличения требований к пропускной способности телекоммуникационной сети (ТС).

Значительное повышение пропускной способности ТС возможно путем использования полностью оптических технологий обработки информационного сигнала. В настоящий момент эволюционное развитие волоконно-оптических систем передачи позволяет достигать больших скоростей передачи (несколько терабит в секунду). Однако необходимость преобразования оптического сигнала в электрическую форму в коммутационном оборудовании является серьезным препятствием на пути перехода к терабитным сетям [1]. В связи с этим все большую популярность приобретает концепция полностью оптических сетей – All- Optical Networks (AON), в которых при коммутации, мультиплексировании и ретрансляции главную роль играют оптические компоненты.

Следовательно, ключевой проблемой, решение которой позволит достичь стремительного увеличения пропускной способности сети, является внедрение технологий коммутации оптических сигналов, которые не требуют предварительного оптоэлектрического преобразования информационного сигнала, а значит – минимизируют не только задержку информационного сигнала на узле коммутации (УК), но и значительно уменьшают стоимость эксплуатации УК за счет снижения затрат на электропитание, которое необходимо для функционирования оптоэлектрических преобразователей [2,3].

---

Существующие системы пространственной коммутации оптических сигналов (СПКОС), которые построены на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС), реализуют технологии позиционного мультиплексирования и способны коммутировать лишь групповые тракты потоков транспортной сети. Однако, учитывая то обстоятельство, что сетью следующего поколения (NGN) является сеть, построенная на базе технологий коммутации пакетов, кадров и ячеек, на сегодняшний день особенно актуальным заданием является построение систем коммутации оптических сигналов (СКОС), которые реализуют технологии меточного мультиплексирования.

---

### **Постановка задачи**

Характерной особенностью систем коммутации, выполняющих коммутацию пакетов, кадров или ячеек, является наличие буферной памяти для временного хранения блоков информации. Однако, на сегодняшний день, по причине сложности технической реализации стоимость оптических оперативных запоминающих устройств (ООЗУ) является достаточно высокой, что порождает необходимость исследования экономической целесообразности использования ООЗУ на узлах коммутации в оптической сети [4].

Вместе с тем применение концепции коммутации блоков информации (ККБИ), которая основывается на установлении выделенного канала через всю сеть на время, достаточное для передачи блока информации (несколько миллисекунд), позволяет не только избежать оптоэлектрического преобразования на УК, но и избавиться от необходимости наличия оптического буфера. Несомненно, несмотря на внешнюю привлекательность этого подхода, существует необходимость проведения детальных исследований, которые, во-первых, позволят оценить эффективность применения концепции коммутации блоков информации при построении оптических сетей, а, во-вторых, произвести сравнительный анализ ККБИ с альтернативными методами коммутации, реализующими технологии меточного мультиплексирования с использованием запоминающих устройств на УК.

Настоящая работа посвящена разработке имитационной модели оптической сети, которая в дальнейшем позволит провести исследования, направленные на решение задачи оценки целесообразности применения ККБИ при построении оптических сетей.

---

### **Архитектура сети с оптической коммутацией блоков информации**

В архитектуре сети с оптической коммутацией блоков информации (рис.1) в качестве линий связи предполагается использовать каналы, построенные на базе технологии плотного волнового мультиплексирования (*HDWDM*).

Поскольку терабитные объемы информации невозможно обработать в электронном виде, на узлах коммутации предлагается использовать системы пространственной коммутации оптических сигналов высокой емкости, осуществляющие коммутацию оптического сигнала без его преобразования в электрическую форму.[5]

В архитектуре сети с оптической коммутацией блоков информации выделяют три класса узлов: граничный входящий узел (ГВУ), граничный исходящий узел (ГИУ) и основной сетевой узел (ОСУ). При этом принципиальной особенностью рассматриваемой архитектуры сети является отсутствие оптических буферов на основных сетевых узлах.

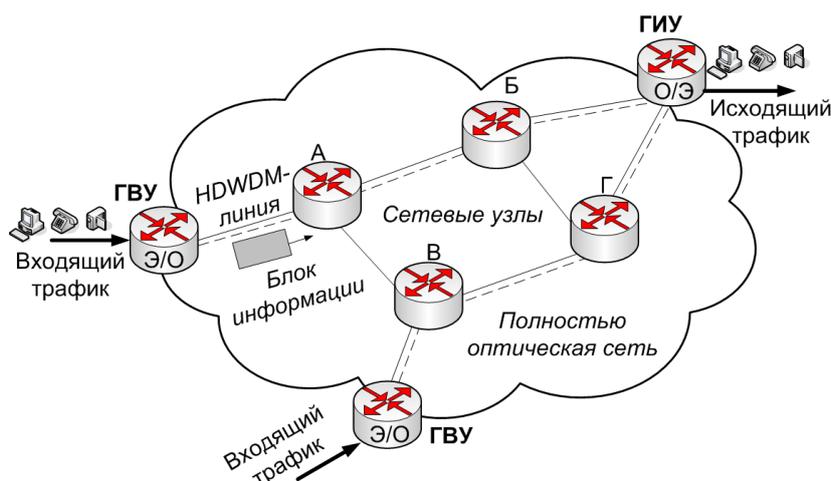


Рисунок 1 – Архитектура сети с оптической коммутацией блоков информации

Граничный входящий узел отвечает за сборку блоков информации, маршрутизацию, пересылку сообщений сигнализации, назначение длины волны для передачи и планирование очередей на границе оптической сети. Основной сетевой узел выполняет функции обработки сообщений сигнализации, планирования и реализации коммутации оптических сигналов. Наконец, граничный исходящий узел (ГИУ) реализует сегментацию блоков информации и их продвижение на более высокий уровень сетевой модели взаимодействия открытых систем.

Каждый блок информации (БИ) пользователя предваряется собственным управляющим сообщением. Управляющее сообщение передается по сети непосредственно перед передачей БИ с целью резервирования пути или оптических длин волн, подвергаясь оптоэлектронному преобразованию в каждом узле сети. В то же время сам блок информации передается через временное смещение  $T$  в оптическом виде без преобразований информационного сигнала [6,7].

Выражение 1 описывает общую задержку передачи блока информации по оптической сети:

$$T = t_{cb} + n\delta + t_k + t_b + \sum_{ij \in R}^n t_p^{ij} \quad (1)$$

где  $t_{cb}$  – время передачи блока информации,  
 $n$  – количество сетевых узлов, принимающих участие в установлении соединения,  
 $\delta$  – время, затраченное на обработку управляющего сообщения,  
 $t_k$  – время переключения оптического коммутационного элемента,  
 $t_b$  – время передачи блока информации,  
 $t_p^{ij}$  – время распространения оптического сигнала между сетевыми узлами.

### Имитационная модель сети с оптической коммутацией блоков информации

При имитационном моделировании логико-математическая модель исследуемого объекта (ИО) представляет собой алгоритм функционирования исследуемого объекта, реализованный в виде

программного комплекса на электронно-вычислительной машине [8]. Следовательно, начальным этапом разработки любой имитационной модели является создание аналитической модели, описывающей состояния и поведение исследуемого объекта с помощью математического аппарата.

С этой целью введем обозначения, необходимые для математического описания исследуемого объекта (в данном случае – оптической сети). Пусть  $v=1,2,\dots,V$  – узлы сети;  $e=1,2,\dots,E$  – однонаправленные каналы связи (дуги орграфа);  $d=1,2,\dots,D$  – нагрузки между источниками и получателями блоков информации.

Под нагрузкой в этой модели будем понимать интенсивность потока, выраженную количеством блоков информации, переданных за единицу времени. Тогда  $a_{ev}=1$ , если канал  $e$  исходит из узла  $v$ , и  $a_{ev}=0$ , если нет. Соответственно  $b_{ev}=1$ , если канал  $e$  входит в узел  $v$ , и  $b_{ev}=0$ , если не входит. Обозначим узел-источник нагрузки  $s_d$ , узел-получатель нагрузки  $t_d$ , а величину нагрузки  $d$  –  $y_d$ . Следовательно,  $x_{ed}$  – поток, реализующий нагрузку  $d$  в канале  $e$ ;  $y_e$  – нагрузка в канале  $e$ .

Входные параметры разрабатываемой модели можно разделить на два класса: заданные и прогнозируемые. К заданным параметрам относятся топология, количество узлов сети, размер блока информации, протокол маршрутизации, пропускная способность управляющего канала, пропускная способность информационных каналов, тип протокола установления соединения, время переключения СКОС и время обработки управляющего сообщения на узле коммутации. Прогнозируемыми входными параметрами в предлагаемой модели выступают величины нагрузки между узлами-источниками и узлами-адресатами [9].

Предположим, что сумма долей входящего и исходящего трафика ограничивается единицей (2,3).

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} \leq 1, \text{ где } v = 1,2,\dots,V \quad (2)$$

$$\sum_e b_{ev} x_{ed} \leq 1, \text{ где } v = 1,2,\dots,V \quad (3)$$

Также допустим, что вероятность потерь блоков информации в каждой дуге ничтожно мала, поэтому соблюдается условие сохранения потока (4).

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = 1, \text{ если } v = s_d \quad (4)$$

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = 0, \text{ если } v \neq s_d, t_d$$

$$\sum_e a_{ev} x_{ed} - \sum_e b_{ev} x_{ed} = -1, \text{ если } v = t_d$$

При этом критерий оптимизации сформулируем как условный экстремум, заключающийся в минимизации вероятности потерь блоков информации при максимизации пропускной способности моделируемой сети (5).

$$\min F = \sum_{e \in E} (y_e \times P_e(y_e)) \quad (5)$$

В качестве выходной характеристики в предлагаемой модели выступает количество потерь блоков информации. На рисунке 2 представлена обобщенная иллюстрация модели сети с оптической коммутацией блоков информации [10].

Наконец, завершающим этапом разработки имитационной модели является программная реализация алгоритма, описывающего поведение исследуемого объекта. Для упрощения решения этой задачи выполнена декомпозиция ИО на следующие составляющие: модель линии HDWDM, модель СКОС и алгоритм коммутации, модель протокола установления соединения, модель очереди управляющих сообщений и модель источника блоков информации. Для каждой из этих составляющих на языках программирования C++ и Tool Command Language (TCL) на базе сетевого симулятора NS-2 реализованы программные модули, имитирующие поведение сети с оптической коммутацией блоков информации [11,12].

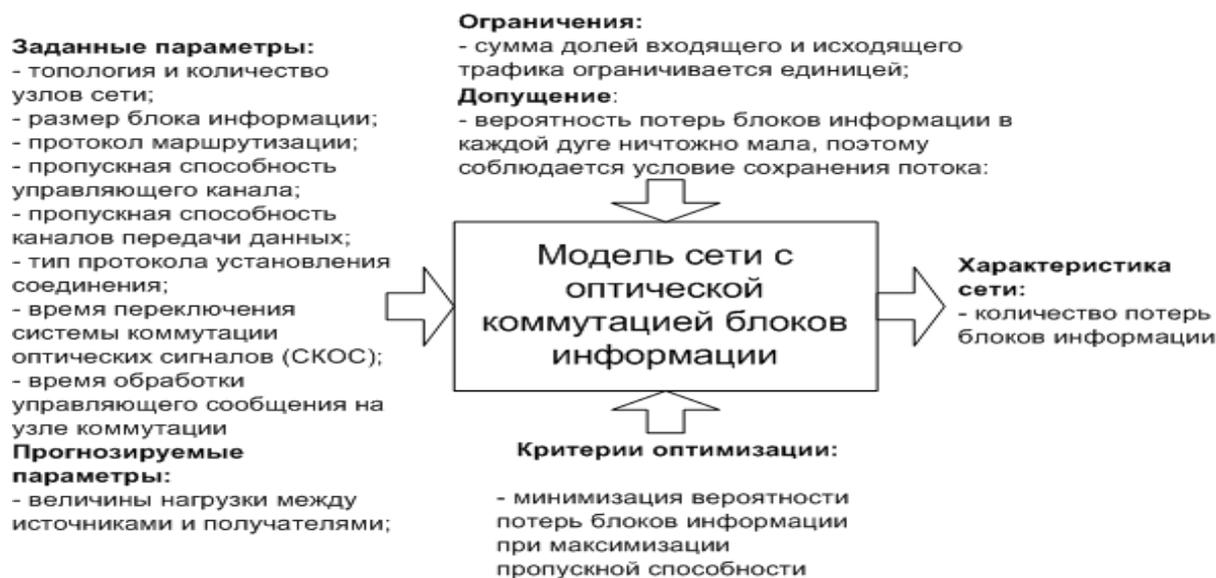


Рисунок 2 – Модель сети с коммутацией блоков информации

## Заключение

Предложенный в работе подход к созданию имитационной модели сети с оптической коммутацией блоков информации позволит оптимизировать функционирование исследуемой сети за счет оценки влияния различных входных параметров (таких как топология, количество сетевых узлов, размер блока информации, алгоритм установления соединения и т.д.) на вероятность потерь блоков информации в сети. Более того, разработанная модель пригодна для исследования эффективности использования существующих протоколов маршрутизации в сетях, использующих коммутацию блоков информации, что в настоящий момент является достаточно актуальной и нетривиальной задачей и станет следующим этапом проведения исследований оптических сетей.

## Благодарности

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта *ITHEA XXI* Института информационных теорий и их приложений *FOI ITHEA* и Ассоциации *ADUIS* Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем).

*The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA ([www.ithea.org](http://www.ithea.org)) and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine ([www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua)).*

---

---

## Библиография

---

1. Гайворонская Г.С. Сети и системы телекоммуникаций (т.1) / Г.С. Гайворонская, М.В. Захарченко, А.И. Ещенко и др. // К.: Техника. – 2000. – 304 с.
2. Гайворонская Г.С. Особенности применения оптических коммутаторов в современных информационных сетях / Г.С. Гайворонская, А.В. Рябцов // *Applicable Information Models*. – Sofia: ITHEA, 2011. – № 22. – P. 169-181
3. Гайворонская Г.С. Проблема обеспечения полностью оптической коммутации в конвергентных сетях / Г.С. Гайворонская // *Збірник тез V МНТК «Проблеми телекомунікацій»*. – Київ. – НТУУ «КПІ». – 2011. – С.39
4. Y. Grynkov, "Some aspects of choice of switching scheme for construction of optical signals' switching system" -KDS'2011. – ITHEA. – pp. 34-41, Sep. 2011.
5. Гайворонская Г.С. Применение скалярных критериев выбора для определения оптимальной коммутационной схемы системы коммутации оптических сигналов / Г.С. Гайворонская, Ю.М. Гриньков // *Холодильна техніка і технологія*. – Одеса: ОДАХ. – 2011. – С.66-70
6. Jason P. Jue Optical Burst Switched Networks / Jue P. Jason, Vinod M. Vokkarane // Boston. – 2005. – 147 p.
7. Verma S. Optical burst switching: a viable solution for terabit IP backbone / S. Verma, H. Chaskar, R. Ravikanth // *IEEE Network*. - 14(6). – November. – 2000. – P.48–53
8. Гайворонская Г.С. Разработка имитационной модели для оптимизации планирования телекоммуникационной сети / Г.С. Гайворонская // *Тр. УНИИРТ*. – 2006. – №4. – С. 23-27.
9. Гриньков Ю.М. Особенности применения концепции коммутации блоков информации при построении полностью оптических сетей / Ю.М. Гриньков // *Збірник тез COMINFO'11*. – Київ: ДУИКТ, 2011. – С. 184-185
10. Y. Grynkov A Possible Approach to Increasing of the Telecommunication Network's Capacity. – *Proceedings of the XI International Conference TCSET'2012*. – Lviv. – P.262
11. Материалы Интернет-сайта NS-2. – Режим доступа: <http://www.isi.edu/nsnam/ns> (дата обращения 23.03.2012)
12. Кучерявый Е.А. NS-2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/fvti/erygina/library/lib4.htm> (дата обращения 27.03.2012)

---

## Информация об авторе

---



**Юрий Гриньков** – Одесская государственная академия холода; аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий – ул. Дворянская., 1/3, Одесса – 82, 65082, Украина; e-mail: [yugrinkov@gmail.com](mailto:yugrinkov@gmail.com)

Основные области исследований: полностью оптические сети, коммутация оптических сигналов