

УДК 681.7.068

Г. Л. ЛЫСЕНКО, АШРАФ И. М. АЛЬКЕЙСИ, АНДРЕЭС ДЖУЛИАН УТРЭРАС ТЭЛЬЮ

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

*Винницький національний технічний університет,  
21021, ул. Хмельницькое шоссе, 95, г.Винница, Украина,*

**Аннотація.** В роботі приведено аналітичний огляд сучасних технологій і мереж передачі інформації оснований на перспективних волоконно-оптичних технологіях та методах сучасної високопродуктивної комутації каналів і пакетів даних. Визначено проблеми і завдання для подальшого дослідження інформаційних мереж з метою вдосконалення їх продуктивності та комутації в них для задоволення сучасних проблем та вимог до інформаційних систем 21 ст.

**Ключові слова:** волоконно-оптичний канал; оптична мережа; оптичний канал; оптичний інтерфейс; інформаційна система (ІС); лазерний випромінювач; смуга пропускання, дисперсія, оптичні втрати.

**Аннотация.** В работе проведен аналитический обзор современных технологий и сетей передачи информации основанных на перспективных волоконно-оптических технологиях и методах современной высокопроизводительной коммутации каналов и пакетов данных. Определены проблемы и задачи для дальнейшего исследования информационных сетей с целью совершенствования их производительности и коммутации в них для удовлетворения современных проблем и требований к информационным системам 21 ст.

**Ключевые слова:** волоконно-оптический канал; оптическая сеть; оптический канал; оптический интерфейс; информационная система (ИС); лазерный излучатель; полоса пропускания, дисперсия, оптические потери.

**Abstract.** The analytical review of modern technology and information networks based on modern advanced fiber optic technology and methods of modern high-performance switching hannels and data packets was represented in this work. The problems and tasks for further research of information networks for the goal of improve productivity and them switching to meet today's challenges and requirements for information systems 21st also were considered.

**Keywords:** fiber optic channel; optical network; optical channel; optical interface; infomation system (IS); laser emitter; bandwidth, dispersion, optical loss.

### ВВЕДЕНИЕ

Современные вызовы и требования к информационным сетям формируют необходимость разработки новых подходов и устройств передачи данных в оптических сетях. Необходимость их реализации предусматривает анализ современного состояния технологий оптических иерархических сетей и технологий организации их каналов, которые быстро развиваются в наше время. Главное целевое назначение и основная идея создания информационных сетей согласно [1] — сделать информационные ресурсы одного компьютера доступными для других.

Современные высокопроизводительные компьютерные сети и системы имеют достаточно высокие параметры производительности вычислений (до 10-100TFlops) и скорости передачи информации (от 100-200Гбит/с до единиц Тбит/с) [2, 3], что обеспечивается путем применения параллельных методов передачи и обработки информации, а также прогрессивных подходов к осуществлению коммутации каналов и пакетов данных в режиме реального времени. Активного развития в последние годы получили кластерные и распределенные GRID-технологии [2] в сочетании с скоростными оптическими средствами связи на оптико-электронной элементной базе. Однако, проблема эффективной и высокоскоростной передачи информации все же существует, что требует необходимости удовлетворения современными оптическими информационными сетями и системами современных требований, которые постоянно растут с каждым годом. Основная задача повышения производительности современных оптических сетей сводится к уменьшению времени коммутации ( $t_{\text{comput}} \sim k \cdot t_{\text{transm}}$ ,  $k$  — коэффициент пропорциональности.) Между отдельными компонентами компьютерных систем, где время задержки информации при ее передаче в оптических сетях.

Преимущества использования волоконно-оптических сетей на базе оптического волокна в качестве среды передачи информации обусловлено самой пропускной способностью оптоволоконного среды (благодаря широкой полосе пропускания  $1,5\text{--}2 \times 10^{14}$  Гц), малому затуханию ( $< 0,01\text{--}0,02$  Дб/км), а также малому значению дисперсии (физическое уширение импульсов информации при их прохождении), что для современных каналов составляет менее  $0,5\text{--}2,5$  пс/нм•км. Это в совокупности позволяет получить полосу пропускания до  $2 \cdot 10^{12}\text{--}1,5 \cdot 10^{13}$  Гц (что сопоставимо с оптической частотой  $1\text{--}2,5 \cdot 10^{14}$ ), и соответствующую теоретически возможную скорость передачи данных до 300Тбит/канал в одномодовых оптических волокнах [4].

К основным преимуществам волоконно-оптических каналов и сетей, кроме высокой символической скорости передачи данных на их основе относится защищенность каналов передачи и обеспечения гальванической развязки. Но, тем не менее в ВОЛС имеют место потери информации из-за различного рода помех, что обуславливает актуальность исследований новых подходов к повышению информационной стабильности. В общем случае информационная сеть (ИС, компьютерная сеть) представляет собой совокупность аппаратно-программных средств и вычислительных станции и вспомогательного коммутирующего, передающего, ретранслирующего оборудования, которое связано между собой каналами передачи информации. Как известно [1], все ИС выполняют две основные важные информационные функции: 1) коллективный доступ и обработки информации с внутренних помощью вычислительных структур; 2) передачи информации между вычислительной структуры, узлами и другими компонентами сети.

Поэтому в технике суперкомпьютеров, информационных кластеров дата-центров и высокопроизводительных оптических сетей активно используются высокоскоростные методы коммутации и технологии интерфейсов систем передачи данных, в совокупности с эффективностью методов обработки значительно влияет на общую производительность информационных систем (ИС).

Путем и общепринятыми подходами к решению данной проблемы является использование параллельных методов в совокупности с волоконно-оптическими технологиями коммуникаций.

Направление исследований оптических сетей и интерфейсов достаточно быстро развивающимся и перспективным в области высокопроизводительных вычислительных систем и рассматривается в работах [1—4, 5, 7] отечественных и зарубежных ученых.

### БАЗОВАЯ СТРУКТУРА ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Базовой структурной моделью информационной компьютерной иерархической сети в области компьютерных сетей является 3-х уровневая модель иерархической сети (рис. 1).

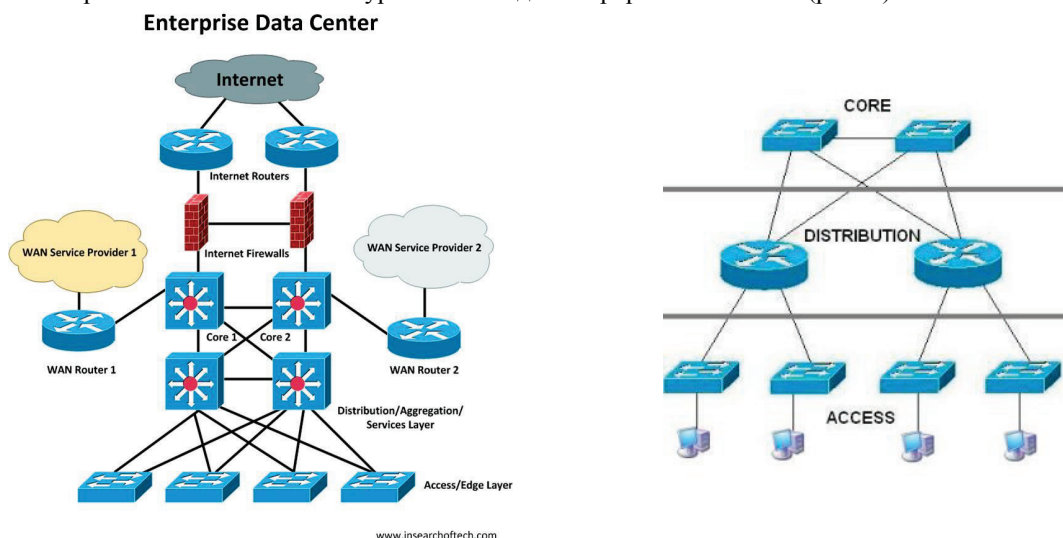


Рис. 1. 3-х уровневая структурная модель иерархической информационной сети: Core-Distribution-Access (CDA) [по классификации Cisco Systems Inc.] [5]

Данную модель (рис. 1) называют Enterprise Campus Architecture Network. Такая модель иерархической сети позволяет строить ИС с удобным способом масштабирования и диверсификации рисков отказа отдельных компонентов, что обеспечивает высокую стабильность и надежность работы наиболее критических звеньев — уровня ядра (Core Layer). Последний является ключевым, поскольку основные потоки агрегируются (обрабатываются) именно на нем на аппаратного уровне. По данной

моделі побудовані більшість відомих архітектур і топологій мережі, оскільки вона зручно описує і дозволяє масштабувати мережі та компоненти.

Різноманітністю технологій 3-х рівневої моделі є двурівнева модель, яка складається з двох рівнів: Розподілення/ядро (Distribution/Core) і доступу (Access) — рис. 2. При цьому рівні розподілення (Distribution) і ядра (Core) об'єднуються і включають в себе такі функції агрегації, маршрутизації/комутації, а рівень доступу (Access) забезпечує підключення і зв'язок кінцевих інформаційних вузлів (Data node) [6]. Таке представлення є більш простим і забезпечує більшу гнучкість мережі з можливістю розподілення відмов і гнучкої маршрутизації і комутації пакетів і каналів в загальній і найбільш пріоритетній області ядра мережі і розподілення.

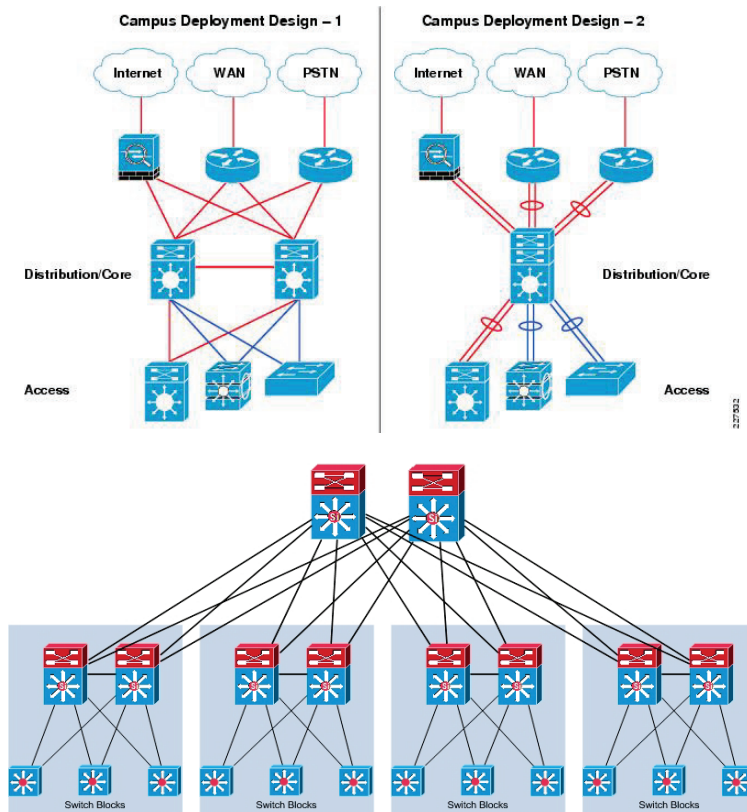


Рис. 2. 2-х рівневе представлення моделі ієрархічної мережі [Core/Distribution-Access — Campus Network по класифікації Cisco Systems Inc.] [5, 6]

При цьому рівень доступу як перший ярус або край мережі Campus Network — являється місцем, до якого підключаються кінцеві пристрої (ПК, LAN-принтери, фотоапарат, точки доступу — Access Points (AP) і інші персональні пристрої користувачів) підключаються до проводної/беспровідної (Ethernet (Optical interface) / WiFi (WiMax)) частини мережі (рис. 3) Campus Network, що дозволяє розширити мережу з більш ніж на один рівень без підключення додаткових каналів.

За рахунок підключення до IP-телефонів і безпроводних точок доступу (AP) на рис. 3, які є прикладом двох ключових пристроїв ІС, розширюється зв'язок з ще одним шаром фактичної комутації мережі Campus Network — шаром Core. Різноманітність таких пристроїв, які можуть підключатися до різних типів інформаційних сервісів і динамічно змінювати механізми конфігурації, які необхідні для взаємодії одного шару багатифункціональної частини такої мережі з іншим з забезпеченням доступу.

В таблиці 1 наведено приклади типів послуг і можливостей, які повинні бути визначені і підтримуватися в шарі доступу (Access Layer) 3-х і 2-х шарових ієрархічних мереж.

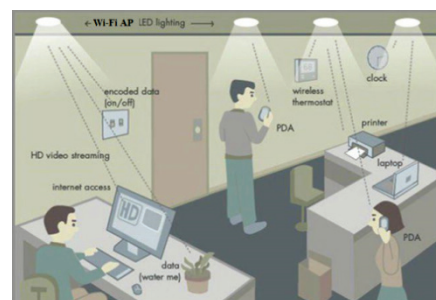


Рис. 3. Приклад використання рівня доступу (Access Level) до ресурсів Campus Network

Такое представление 2-х и 3-х уровневой модели иерархических сетей позволяет осуществлять интеллектуальное управление конфигурацией сети и информационных сервисов. У них, включая конечные устройства, одновременно обеспечивая высокую надежность критических узлов и компонент сети и рассматривать ИС как сплошную органическую «структуру» с отдельными элементами ее системы, в качестве которых выступают конечные и внутренние сетевые устройства.

Таблица 1.

**Примеры типов услуг и возможностей**

Требования сервиса и название	Возможности сервиса (Service Features)
Открытие и конфигурации услуги	802.1AF, CDP, LLDP, LLDP-MED
Сервисы защиты	IBNS (802.1X), (CISF): port security, DHCP snooping, DAI, IPSG
Сетевая идентификация и доступ	802.1X, MAB, Web-Auth
Признание применения сервисов	QoS marking, policing, queuing, deep packet inspection NBAR, etc.
Сервисы интеллектуального управления сетью (Intelligent Network Control Services)	PVST+, Rapid PVST+, EIGRP, OSPF, DTP, PAgP/LACP, UDLD, FlexLink, Portfast, UplinkFast, BackboneFast, LoopGuard, BPDUGuard, Port Security, RootGuard
Сервисы физических интерфейсов	Power over Ethernet(POE), HomePlug, HomePNA

Поэтому модель Enterprise Campus Architecture Network является удобной и одной из основных при рассмотрении информационных сетей. И позволяет строить масштабируемые высокопроизводительные оптические иерархические сети на основе конкретно определенных сетевых технологий и архитектур (ATM, SDH, SONET, MPLS и другие перспективные). Следует кратко рассмотреть основные цели технологии и архитектуры, включая современные сетевые интерфейсы.

Волоконно-оптические каналы и технологии (FTTH, FTTB: Fiber To The Home, Fiber To The Building) [1, 4—6] на их основе, которые в последние годы активно используются специалистами и организациями в системах и сетях передачи информации в магистральных каналах являются одними из перспективных направлений, которое используется специалистами для решения задач повышения производительности ИС и технологий коммуникации. Благодаря высокой скорости передачи данных (широкая полоса пропускания, обусловлена высокой частотой несущего оптического колебания  $\sim 1,2\text{—}2,1 \times 10^{14}$  Гц), малому значению затухания сигнала (0,08—0,15 Дб/км) и низкому уровню погрешности BER (до  $10^{-12}$  —  $10^{-13}$ ), волоконно-оптические среды имеют высокие показатели скорости (до 10—200 Гбит/с в одном канале [4]) и дальности передачи информации (до 80—150 км без регенерации). К преимуществам иерархических оптических сетей на базе волоконно-оптических систем можно отнести масштабируемость, высокую полосу пропускания, защищенность каналов передачи и обеспечения гальванической развязки.

Современная цифровая волоконно-оптическая станция иерархической сети — это сложный технический комплекс, который входит в состав иерархической сети, включая набор приемников-передатчиков, мультиплексоры и демультиплексоры ввода/вывода, оптические устройства коммутации и ввода/вывода, система автоматического резервирования каналов, система дистанционного управления и сигнализации, контрольно-измерительная аппаратура, устройства служебной связи, система электроэнергетического питания. Для увеличения пропускной способности на станцию ВОЛС устанавливают несколько комплектов такой аппаратуры. Различают две наиболее распространенные архитектуры ВОЛС сетей: AON (All Optical Network — полностью оптические сети, которые предусматривают передачу оптических сигналов без преобразования их в электрическую форму), PON (Passive Optical Network [1] — пассивные оптические сети). Разница заключается в том, что в архитектуре AON предусмотрено использование активных промежуточных узлов (активных оптических ретрансляторов, регенераторов и др., которые требуют энергетических затрат), а в архитектуре PON используются только пассивные промежуточные узлы (разветвители, объединители, аттенюаторы), которые не требуют внешних затрат энергии. Следует отметить, что есть много известных стандартов для использования в ВОЛС. При применении архитектур AON, PON с протоколами Ethernet, FDDI, FiberChannel или ATM они приобретают определенного характера и рассматриваются отдельно, например, Ethernet PON — EPON [1, 7].

Следует отметить, что есть много известных стандартов для использования в ВОЛС. При применении архитектуры AON, PON с протоколами Ethernet, FDDI, FiberChannel они приобретают определенного характера и рассматриваются отдельно, например, Ethernet PON — EPON [7]. Стандарты и технологии коммутации каналов в волоконно-оптических сетях базируются на классификации каналов с пропускными способностями и уровнями сетевой топологии (согласно модели OSI [72]) в рамках системы передачи данных SDH (Synchronous Digital Hierarchy, SONET) или ATM (Asynchronous Transfer Mode).

ATM (от англ. Asynchronous transfer mode — асинхронный способ передачи данных) — сетевая высокопроизводительная технология коммутации и мультиплексирования, основанная на передаче данных в виде пакетов (англ. Cell) фиксированного размера (53 байта), из которых 5 байтов используется заголовков.

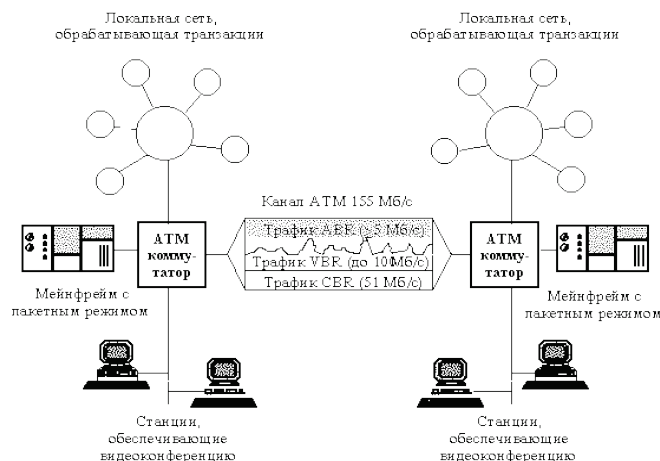


Рис. 4. Совместное использование полосы пропускания классами сервисов ATM

Сеть ATM (рис. 4) базируется на основе соединенных друг с другом ATM-коммутаторов. Технология реализуется как в локальных, региональных, так и в глобальных сетях. Реализована также совместная передача различных видов информации, включая аудио, видео, голос и data-трафик. Особенности ATM следующие:

- пакеты данных в ATM, меньше по сравнению с элементами данных, которые используются в других технологиях. Небольшой постоянный размер пакета, используемый в ATM, позволяет передавать данные с различными классами требований к задержкам в сети, причем по каналам как с высокой, так и с низкой пропускной способностью;
- работать с постоянными и переменными потоками данных;
- реализовать конвергенцию-интегрирование в одном канале любых видов информации: данные, голос, потоковое аудио и видеовещания, телеметрия и т. п.;
- поддерживать соединение типа точка-точка, точка-многоточка и много точка-многоточка.

Технология ATM предусматривает между сетевое взаимодействие на трех уровнях.

Для передачи данных от отправителя к получателю в сети ATM создаются виртуальные каналы, VC (англ. Virtual Circuit), на базе которых строятся сети VPN, которые бывают трех видов:

- постоянный виртуальный канал, PVC (Permanent Virtual Circuit), который создается между двумя точками и существует в течение длительного времени, даже в отсутствие данных для передачи;
- коммутируемый виртуальный канал, SVC (Switched Virtual Circuit), который создается между двумя точками непосредственно перед передачей данных и разрывается после окончания сеанса связи;
- постоянный виртуальный канал, автоматически настраивается, SPVC (Soft Permanent Virtual Circuit). Каналы SPVC по сути представляют собой каналы PVC, которые инициализируются по требованию в коммутаторах ATM. С точки зрения каждого участника передачи данных, SPVC выглядит как обычный PVC. Для коммутаторов ATM в инфраструктуре провайдера, каналы SPVC имеют значительные отличия от PVC. Канал PVC создается путем статического определения конфигурации в рамках всей инфраструктуры провайдера и всегда находится в состоянии готовности. Но в канале SPVC соединение является статическим только от конечной точки (устройство DTE) к первому коммутатора ATM (устройство DCE). А на участке от устройства DCE отправителя к устройству DCE получателя в пределах инфраструктуры провайдера соединение может формироваться, разрываться и снова устанавливаться по требованию. Установлено соединение продолжает оставаться статичным до тех пор, пока нарушения работы одного из звеньев канала не вызовет прекращение функционирования этого виртуального канала в пределах инфраструктуры провайдера сети.

Для ATM определено пять классов трафика (табл. 2), отличающиеся следующими качественными характеристиками:

- наличием или отсутствием пульсации трафика, то есть трафики CBR или VBR;
- требованием к синхронизации данных между передающей и принимающей сторонами;
- типом протокола, передает свои данные через сеть ATM, — с установлением соединения или без установления соединения (только для случая передачи компьютерных данных).

Таблица 2.

Основные характеристики классов трафика ATM

Класс QoS	1	2	3	4	5
Класс обслуживания	A	B	C	D	x
Тип трафика	CBR	VBR	VBR	ABR	UBR
Тип уровня	AAL1	AAL2	AAL3/4	AAL3/4	
Синхронизация	Требуется		Не требуется		
Скорость передачи	Постоянная	Переменная			
Режим соединения	С установлением			Без установления	
Пример использования	(E1, T1)	Видео	аудио	Передача данных	

CBR не предусматривает контроля ошибок, управления трафиком или какой-либо другой обработки. Класс CBR пригоден для работы с мультимедиа реального времени. ATM в процессе доставки не вносит никакого разброса пакетов по времени. Случаи потери ячеек игнорируются. Класс ABR предназначен для работы в условиях мгновенных вариаций трафика. Система гарантирует некоторую пропускную способность, но в течение короткого времени может выдержать и большую нагрузку. Этот класс предполагает наличие обратной связи между приемником и отправителем, которая позволяет снизить загрузку канала, если это необходимо.

На разных участках ATM действуют разные сигнальные протоколы: конечная система и ATM обмениваются сигналами ATM UNI через интерфейсы UNI; сигналы ATM NNI действуют в интерфейсе NNI. Сигнальные запросы ATM UNI передаются по соединению, установленному по умолчанию: ИВП = 0, ИВК = 5 В обмене сигналами по сети ATM применяется «однопроходный» метод установления связи, действует во всех распространенных сетях связи (например, в телефонных сетях). Это означает, что запрос на установление связи, представленный определенной конечной системой-источником, распространяется по сети и устанавливает на пути необходимые соединения, пока не достигнет своего пункта назначения: конечной системы-приемника. Маршрутизация запроса на соединение и любого последующего потока данных осуществляется под управлением протоколов маршрутизации ATM. Исходя из адреса назначения, сетевого трафика и параметров QoS (качество обслуживания), конечная система-приемник может по своему выбору принимать или отклонять запрос на соединение. Маршрутизация вызова производится исключительно на основе параметров, установленных в исходном сообщении-запросе, ограничивающий согласования параметров соединения между источником и приемником, которое также может повлиять на маршрутизацию соединения.

Класс UBR хорошо подходит для посылки IP-пакетов (нет гарантии доставки).

По скоростям передачи данных в сетях технологию коммутации ATM разделяют на ATM-16, ATM-64, ATM-128, что соответствует скоростям передачи данных 16, 32, 64 и 128 Мбит / с в ранних версиях и в 10Гбит/с в более поздних версиях (рис. 5).

В общих чертах, конечная система-источник, который стремится установить соединение формирует через свой UNI передает в сеть сообщение «Установление», которое содержит адрес конечной станции-приемника, желаемые параметры сетевого трафика и QoS, разнообразные дополнительные информационные элементы, определяющие прив «связи с необходимыми высокоуровневым протоколам и т. д. Это сообщение передается на первый коммутатор (коммутатор ввода), к которому присоединена конечная система-источник.

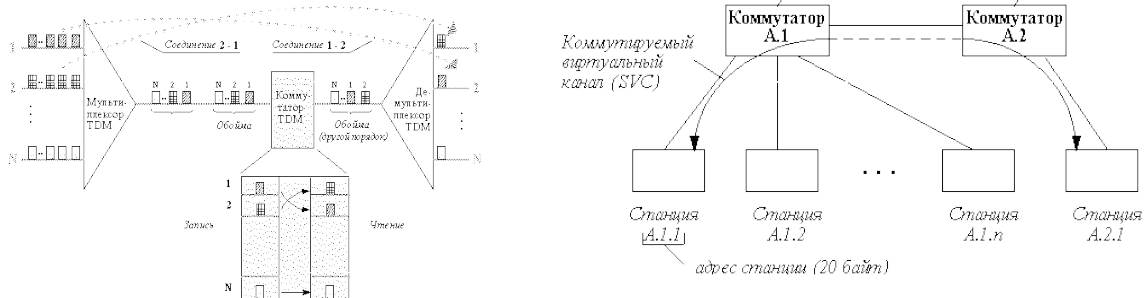


Рис. 5. Принципы построения и коммутации каналов по ATM-технологии [8]



SDH и SONET. Стандарт ATM не включает спецификацию физического уровня, а пользуется спецификациями стандарта физического уровня на передачу данных по оптическим линиям связи SONET (Synchronous Optical Network) и SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Эти стандарты являются улучшенными вариантами технологии STM и определяют физический уровень передачи в высокоскоростных оптических линиях связи. Стандарт SONET устанавливает скорости передачи данных с дискретностью 51.84 Мб/с до 2.488 Гб/с и может быть расширен до 13 Гб/с, а SDH — с дискретностью 155.52 Мб/с. Базовая скорость 51.84 Мб/с была выбрана так, чтобы включить в себя скорости линий T-3 и E-3.

Синхронная цифровая иерархия (от англ. SDH — Synchronous Digital Hierarchy, SONET) [9] — это система передачи данных, основанная на синхронизации по времени передающего и принимающего устройства. Стандарты SDH определяют характеристики цифровых сигналов, включая структуру фреймов (циклов), метод мульти-плексування, иерархию цифровых скоростей и кодовые шаблоны интерфейсов и т.п.

Стандарт SDH (Synchronous Digital Hierarchy) разработан в Европе, (предназначен для замены иерархии асинхронных линий E-1 / E-3) используется в настоящее время многими сетями и представляет собой модификацию американского стандарта передачи данных по оптическим каналам связи SONET (Synchronous Optical Network). Несмотря на свое название SONET не ограничивается исключительно оптическими каналами. Сеть SDH показана на рис. 6.

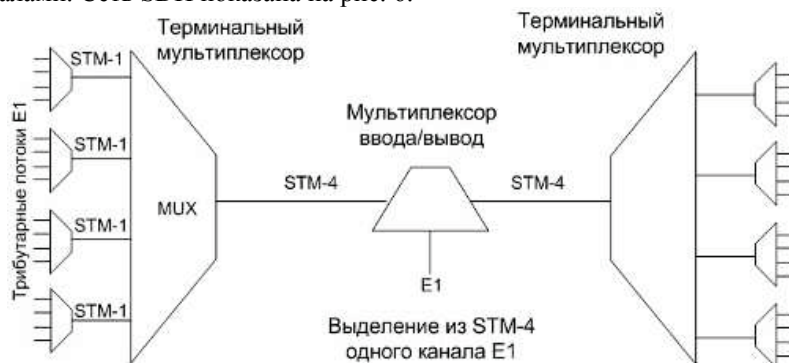


Рис. 6. Пример сети SDH с промежуточным извлечением потока E1 из потока STM-4

Спецификация SDH [9] определяет требования для оптического одно- и многомодового оптоволокна, а также для 75-омного коаксиального кабеля CATV 75. Пропускная способность SONET начинается с 51,84 Мбит/с STS-1 (Synchronous Transport Signal-1). Более высокие скорости передачи информации в SONET кратны этому значению. Стандартизированные такие скорости передачи, которые кратны скорости 64 Кбит/с (табл. 3).

Таблица 3.

**Спецификация по пропускным способностям стандарта (Synchronous Transport Signal)**

STS-1	51,840 Мбит/с	STS-18	933,120 Мбит/с
STS-3	155,520 Мбит/с	STS-24	1244,160 Мбит/с
STS-9	466,560 Мбит/с	STS-36	1866,240 Мбит/с
STS-12	622,080 Мбит/с	STS-48	2488,320 Мбит/с

Соответствие и сравнение каналов SONET и SDH приведены табл. 4 [W. Simpson RFC-1619 «PPP over SONET / SDH»] (оба могут использоваться для организации связи в сетях по схеме PPP).

PDH, SDH и их сравнение. SONET (стандарт ANSI, предназначен для замены NADH - north american digital hierarchy) использует улучшенную PDH — (Plesiochronous Digital Hierarchy—plesios-близкий (греч.)) схему мультиплексирования каналов. В плезиохронный (почти синхронной) иерархии используется мультиплексирование с чередованием бит, а не байт. Мультиплексор формирует из N входных потоков один выходной (сети, где разные часы сфазированы с различными стандартами, но все они привязаны к одной базовой частоте называются плезиохронный). Так как скорости различных каналов могут не совпадать и нет структур, которые могли бы определить позиции битов для каждого из каналов, используется побитовая синхронизация. Здесь мультиплексор сам выравнивает скорости входных потоков путем введения (или исключения) соответствующего числа бит. Информация о введенных и удаленных битах передается по служебной каналам. Кроме синхронизации на уровне

мультиплектора происходит и формирование кадров и мультикадров. Так для канала T2 (6312кбит / с) длина кадра равна 789 бит при частоте кадров 8 кГц.

Таблица 4.

## Сравнение каналов SONET и SDH

Sonet	SDH
STS-3с	STM-1 (155,52 Мбит/с)
STS-12с	STM-4 (622,08 Мбит/с)
STS-48с	STM-16 (2488,32 Мбит/с)
-	STM-64 (9953,28 Мбит/с)
-	STM256 (39813,12 Мбит/с)
-	STM1024 (159252,48 Мбит/с)

Мультикадр содержит 12 кадров. Кроме европейской и американской иерархии каналов существует также японский. Каждая из этих иерархий имеет несколько уровней. Сравнение этих иерархий представлено в таблице 5.

Таблица 5.

## Сравнение европейской и американской иерархии каналов

Уровень иерархии	Скорости передачи для иерархий		
	Американская 1544 Кбит/с	Европейская 2048 Кбит/с	Японская 1544 Кбит/с
0	64 (DS0)	64	64
1	1544 (DS1)	2048 (E1)	1544 (DS1)
2	6312 (DS2)	8448 (E2)	6312 (DS2)
3	44736 (DS3)	34368 (E3)	32064 (DSJ3)
4	274176	139264 (E4)	97728 (DSJ4)

Однако добавление выравнивающих бит в PDH делает затруднительным идентификацию и вывод потоков 64 Кбит/с или 2 Мбит/с, замешанных в потоке 140 Мбит/с, без полного демультиплексирования и удаления выравнивающих бит. Если для цифровой телефонии технология PDH является достаточно эффективной, то для передачи данных она оказалась недостаточно гибкой. Именно это определило преимущества систем SONET/SDH. Эти виды иерархических систем позволяют оперировать потоками без необходимости сборки/разборки пакетов данных. Структура кадров позволяет выполнять не только маршрутизацию, но и осуществлять управление сетями любой топологии. Здесь использовано чисто синхронный принцип передачи и побайтово, а не побитовое дежурства при мультиплексировании. Первичной скоростью SONET выбрана 50,688 Мбит/с (OC1). Число уровней иерархии значительно расширено (48). Кратность уровней иерархии равен номеру уровня.

Если сравнивать SDH и SONET между собой, то на нижних уровнях SDH и SONET в некоторых деталях отличается. Внедрение стандарта SONET устранило множество недостатков каналов T-1 (SDH-1 имеет ограничение на размер максимальной полезной нагрузки и относительную простоту стыковки скоростных каналов связи). SONET хорошо согласуется с ATM и FDDI, создает фундаментальный базис для широкополосных сетей ISDN (B-ISDN). Следует учитывать, что SONET сохраняет совместимость с уже существующими каналами, забирая только некоторые присущие им недостатки. Одним из базовых каналов сегодня T-1 (1544 Кбит/с для США). Он содержит в себе 24 субканалов DS-0 (Digital Signal at zero level, 64 Кбит/с, США). Мультиплексирования 24 каналов DS-0 по времени формирует канал

$$DS-124 \text{ канала} * 64 \text{ Кбит / с} + 8 \text{ Кбит / с} = 1 \text{ 544 Кбит / с},$$

последнее слагаемое связано с заголовками информационных блоков. Этой величине соответствует скорость в Европе 2048 Кбит/с (канал E-1 = 30 \* DS0). Два канала T-1 образуют канал T-1с, четыре канала T-1 формируют канал T-2 и семь T-2 (28 T-1) образуют T-3. Для оптических систем связи в



качестве базового принят канал OC-1, равный по пропускной способности T-3. А кадр STS-1 выбран в качестве основного в системе SONET. Кадр STS-1 имеет 9 строк и 90 столбцов (810 байт). Кадры передаются с частотой 8 кГц, что дает для канала STS-1  $51840 \text{ Кбит} / \text{с} = 8000\text{Гц} * 810\text{байт} * 8\text{бит}$ . Эта цифра характеризует физическую скорость обмена, включает в себя передачу служебной информации (заголовков), эффективная информационная пропускная способность равна 50112 Кбит/с. Быстродействие каналов более высокого уровня SONET получается умножением пропускной способности STS-1 (51,84 Мбит/с) на целое число. Так пропускная способность OC-3 будет равен 155,52 Мбит/с, а OC-24 - 1244,16 Мбит/с и т.д. Целью создателей SONET было прямая стыковка оптических каналов различных сервис-провайдеров (вспомним, что непосредственное соединение каналов T-1 и E-1 не возможно). SDH допускает сцепления нескольких контейнеров (в том числе и разных размеров), если в один контейнер данные не помещаются. Допускается объединение нескольких контейнеров равного размера в один большой. Хотя относительный размер заголовка виртуального контейнера небольшой (~ 3,33 %), его объем достаточен для передачи достаточно больших объемов служебной информации (до 5,184 Мбит/с).

В SONET предусмотрено четыре варианта соединений точка-точка, линейная цепочка (add-drop), простое кольцо и сцепленное кольцо (interlocking ring). Линейные варианты используются для ответвлений от основного кольца сети. Наиболее распространенная топология — самовосстанавливающийся кольцо (см. Также FDDI). Такое кольцо состоит из ряда узлов, связанных между собой двусторонними линиями связи, образуют кольцо и обеспечивают передачу сообщений по и против часовой стрелки. Способность сетей SONET к самовосстановлению определяется не только топологией, но и средствами управления и контроля состояния. При повреждении трафик перенаправляется в обход, локально это приводит к росту информационного потока, по этой причине для самовосстановления сеть должна иметь резерв пропускной способности (как минимум двойной).

Проектируя подобную сеть, нужно избегать схем, при которых основной и резервный маршрут проходят через одну и ту же точку, так как они могут быть, если не повезет, повреждены одновременно. Резервные пути могут использоваться для высоко приоритетных обменов, которые могут быть заблокированы при самовосстановлению.

Сети SONET (и SDH) имеют 4 архитектурных уровня:

— фотонный (photonic) — нижний уровень иерархии. Этот уровень определяет стандарты на форму и преобразования оптических сигналов, на электронно-оптические связи.

— секционный (section) — предназначен для управления передачей STS-кадров (SONET) между терминалами и повторителями. В его функции входит контроль ошибок.

— линейный (line) — служит для синхронизации и мультиплексирования, осуществляет связь между отдельными узлами сети и терминальным оборудованием, например линейными мультиплексорами, выполняет некоторые функции управления сетью.

— маршрутный (path) — описывает реальные сетевые услуги (T-1 или T-3), предоставляемых пользователю на участке от друга терминального оборудования к другому.

Существующие PDH сети мультиплексирует каналы, используя каскадную схему, показанную на рис. 7.

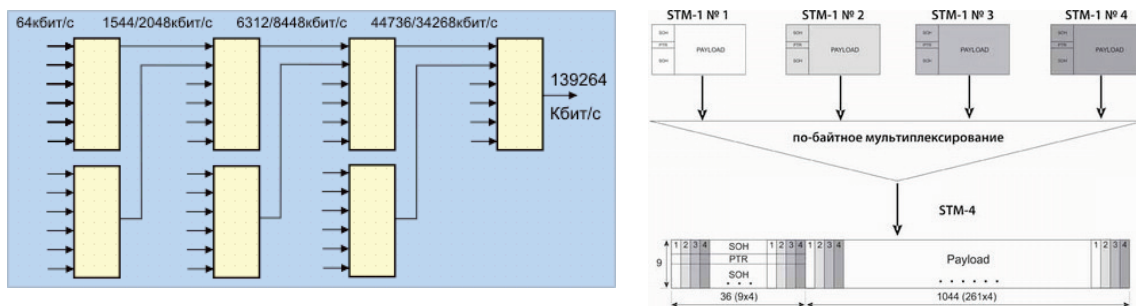


Рис. 7. Схема SDH/PDH-мультиплексирования

При передаче по сети SDH информация укладывается в специальные структуры, так называемые виртуальными контейнерами (VC). Эти контейнеры состоят из двух частей:

— Собственный контейнер (с), где лежит передана информация;

— Заголовок (path overhead - POH), который содержит вспомогательную информацию о канале, управляющую информацию, связанную с маршрутом передачи.

SDH-ієрархії розповсюджується до 2500 Мбит / с і може бути розширена до 13-14 Гбит/с (ограничение оптического кабеля). SDH оказыває суттєвну покращену схему мультиплексування каналів для швидкодіючих інтерфейсів з полосой 150Мбит / с — 1,25 Гбит/с:

- забезпечується єдиний стандарт для мультиплексування і міжсетевих з'єднань;
- пряма доступ до низькоскоростних каналів без необхідності повного демультимплексування;
- проста схема управління мережею;
- можливість використання нових протоколів, по мірі їх появи (наприклад, ATM)

MPLS: мережі IP/MPLS. MPLS (англ. Multiprotocol label switching — багатопротокольна комутація по меткам) [10] — механізм в високопродуктивній телекомунікаційній мережі, здійснює передачу даних від одного вузла мережі до іншого з допомогою меток.

Така мережа будується на базі маршрутизаторів (роутерів) з комутацією по меткам — Label Switched Path (Lsp) [10].

Label Switch Router (LSR)[10] — маршрутизатор, який підтримує MPLS — будь-який маршрутизатор, який вставляє метки в пакети, видаляє метки або перехоплює пакети з метками.

Label Distribution Protocol (LDP) — протокол, який використовується LSR-маршрутизаторами для обміну інформацією (описан в RFC 3036).

Типи LSR:

- EDGE LSR (E-LSR) — LSR який знаходиться на межі мережі MPLS і оброблює пакети з метками і без меток. Використовується також термін Label Edge Router (LER);
- INGRESS E-LSR — для конкретного пакета це маршрутизатор, який отримав пакет без метки, перш ніж вставити метку в пакет;
- EGRESS E-LSR — для конкретного пакета це маршрутизатор, який отримав пакет з меткою і потім видалив всі метки mpls і передав далі пакет без меток.

Нехай мережа оператора використовує технологію MPLS/VPN. Маршрутизатори мережі Оператора утворюють MPLS домен. До оператора підключено декілька клієнтів. Кожному клієнту організовано його особистий VPN. Список вузлів клієнтів представлено в табл. N1, схема їх підключення на рис. N1. MPLS-домен утворено двома LSR-ами і двома E-LSR-ами. До домену підключено 2 маршрутизатора, що використовують традиційну IP-маршрутизацію. Приклад такої мережі показано на рис. 8.

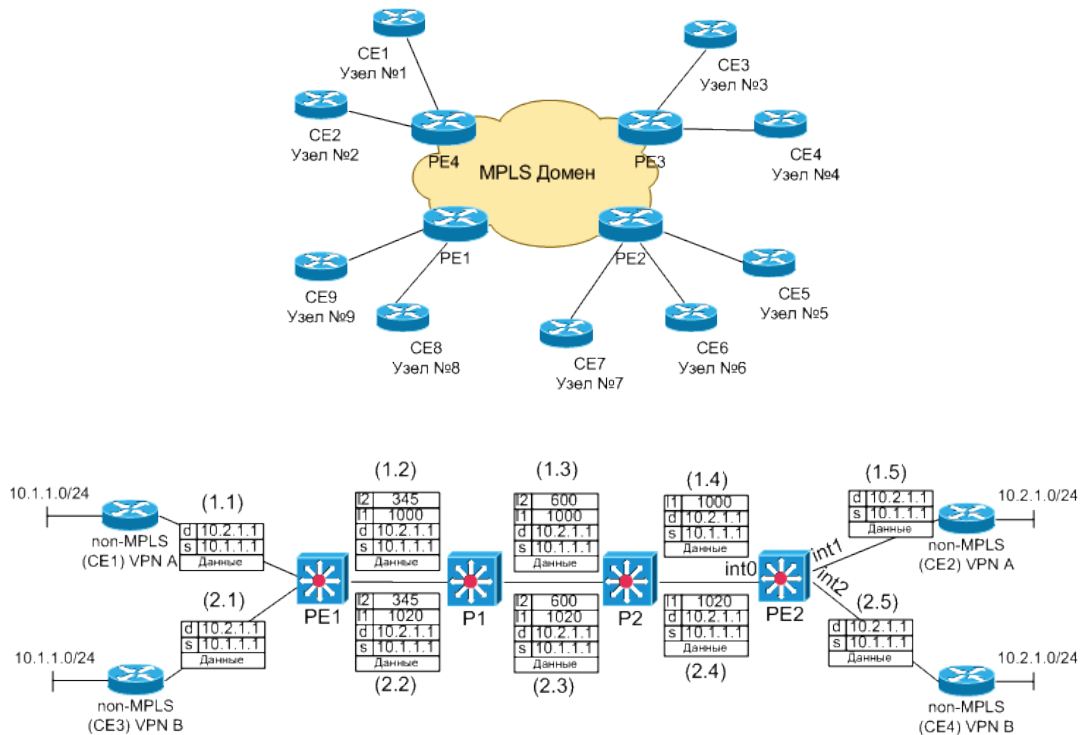


Рис. 8. Схема мережі на базі MPLS-домену і проходження пакета VPN через MPLS-домен [10]

Каждый клиент в рамках своей VPN может свободно обмениваться IP трафиком. В рамках MPLS / VPN допускается организация взаимодействия нескольких различных узлов в соответствии со следующими схемами:

— закрытая группа (Closed User Group — CUG). Данная схема предусматривает взаимодействия узлов только друг с другом. Например, в CUG может входить узлы 1, 3, 4, 5, 6 (табл.6). Это означает, что данные узлы будут свободно обмениваться IP трафиком. В рамках CUG не допускается пересечение адресного пространства узлов;

— центр-периферии (hub-and-spoke). Схема предусматривает объединение нескольких узлов, один или несколько из которых объявляется центральным, а остальные периферийными. Центральные узлы могут обмениваться IP трафиком друг с другом. Периферийные узлы могут обмениваться трафиком с центральными. периферийные узлы не могут обмениваться трафиком друг с другом.

Таблица 6.

Таблица подключений и логической топологии сети

Клиент	VPNs	Узлы
КлиентN1	A	1, 6
КлиентN2	B	3, 4, 5
КлиентN3	C	2, 8
КлиентN4	D	7, 9

В традиционных сетях IP, в общем случае, маршрутизация пакетов осуществляется на основе IP адреса назначения (destination IP address). Каждый маршрутизатор в сети владеет информацией о том, через какой интерфейс и которому соседу необходимо перенаправить пришел IP-пакет.

Мультипротокольная коммутация по меткам предлагает несколько иной подход. Каждому IP-пакету назначается какая-то метка. Маршрутизатор принимает решение о передаче пакета следующего устройству на основании значения этой метки. Метка добавляется в составе MPLS заголовка, который добавляется между заголовком кадра (второй уровень OSI) и заголовком пакета (третий уровень модели OSI). Пример на рис. 9.

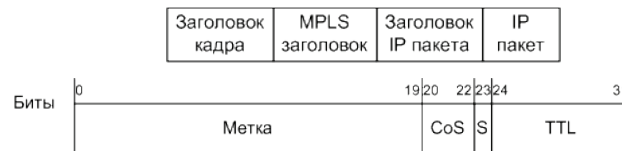


Рис. 9. Место MPLS заголовка в кадре (вверху) та MPLS-метки (внизу)

Описание полей MPLS-заголовка:

Метка — собственная метка по которой осуществляется коммутация;

CoS — поле, описывает класс обслуживания пакета (аналог IP precedence);

TTL — time-to-live - аналог IP TTL;

S — Одному пакета может быть назначен несколько меток («стек» меток). S — поле-флаг, который обозначает то, что метка является последней в «стек». Пример показан на рис. 10.

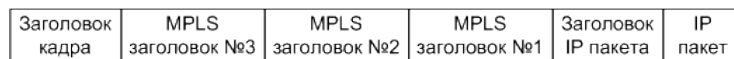


Рис 10. Пример назначения стека меток

В последней метки в стеке значение поля "S1 (на рисунке это метка MPLS N1). У остальных меток (метка MPLS N2 и N3) значение поля "S" равно 0. Стек меток используется для реализации дополнительных возможностей сети на базе MPLS, например MPLS / VPN или MPLS / TrafficEngineering.

В рамках архитектуры MPLS различают следующие типы сетевых устройств:

— **LSR** — Label-Switch Router — маршрутизатор, который поддерживает коммутацию по меткам и традиционную IP-маршрутизацию;

— **Edge LSR** — маршрутизатор, подключенный к устройствам, которые не осуществляют коммутацию по меткам (устройства могут использовать другую политику маршрутизации или вообще не поддерживают MPLS)

— **MPLS domain** — MPLS-домен — группа соединенных устройств осуществляют коммутацию по меткам, находящихся под единым административным подчинением и функционируют в соответствии с единой политикой маршрутизации. MPLS домен образуется LSR-ами, а на границе домена размещаются устройства E-LSR.

Процесс коммутации по меткам (label switching) показан на рис. 11 предусматривает образованный MPLS-домен двумя LSR-маршрутизаторами и двумя E-LSR-маршрутизаторами. К домену подключены два маршрутизатора используют традиционную IP-маршрутизацию.

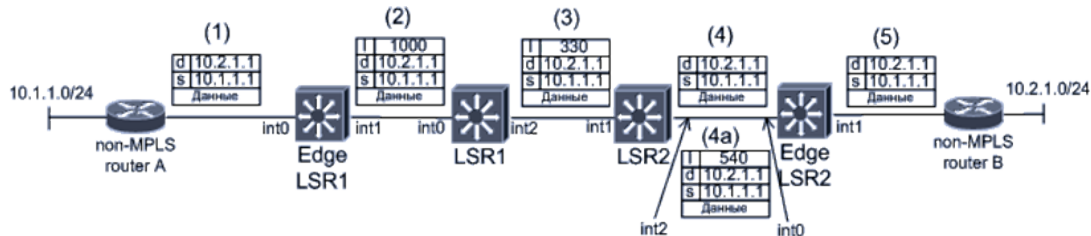


Рис. 11. Пример прохождения пакета через MPLS-домен

Рассматривая пути следования IP-пакета от маршрутизатора к маршрутизатору через MPLS домен, можно заметить, что исходной адресу источника IP-пакетов является 10.1.1.1 (на рисунке обозначен "S"). Адреса назначения IP-пакетов 10.2.1.1 (на рисунке обозначены "D"). Заголовки кадров не приведены. Процесс работы сети на основе MPLS-домена разделится поэтапно:

*Этап №1* — маршрутизатор А пересылает обычный IP-пакет у сторону E-LSR.

*Этап №2* — E-LSR получит IP-пакет и на основе таблиц IP-маршрутизации определит, что данному пакету должна быть назначена метка 1000 (на рисунке обозначены "l") и пакет должен быть переслано в сторону LSR1. Данный процесс называется "назначение метки" (label imposing).

*Этап №3* — LSR1 получает IP-пакет с меткой 1000 и на основе таблицы MPLS-коммутации определяет, что метка пакета должна быть изменена на 330 и пакет должен быть переслано в сторону LSR2. Данный процесс называется переписывание метки (label swapping).

*Этап №4* — LSR2 получает IP-пакет с меткой 330 и на основе таблицы MPLS-коммутации определяет, что пакет должен быть переслано в сторону LSR2 без меток (значение pop). Возможен аналогичный вариант, когда LSR2 пересылает пакет в сторону E-LSR с меткой (в нашем случае 540). Если пакет следует по этапу N4 то такое поведение называется Penultimate Hop Popping. Поведение LSR согласно этапу 4а является классическим для MPLS.

*Этап №5* — E-LSR получает IP-пакеты (как с меткой, так и без) и на основании таблиц IP-маршрутизации или MPLS-коммутации определяет, что данный пакет должен быть переслано, как обычный IP-пакет (без метки) в сторону маршрутизатора В. Если пакет был получен без метки (Penultimate Hop Popping), то E-LSR должен выполнять только анализ таблицы IP-маршрутизации. Если пакет получен с меткой, то маршрутизатор должен сначала проанализировать таблицу MPLS-коммутации, на основании ее определить, что для данного пакета необходимо выполнить анализ таблицы IP-маршрутизации. И только после анализа таблицы IP-маршрутизации определяется тот сосед, которому должен быть переслано пакет. Именно для исключения промежуточного анализа таблицы MPLS-коммутации на E-LSR-е применяется Penultimate Hop Popping.

**Label Switch Path.** В примере, приведенном выше, IP-пакет прошел "маршрут коммутации по меткам" — Label Switch Path (LSP). LSP — это последовательность устройств в MPLS домене, через которые прошел пакет с меткой при фиксированном размере стека меток. Принципиально важно в определении LSP, является то, что на всем пути размер стека не меняется. То есть, если где-то на пути следования пакета к одной метке добавляется другая (в стеке выходит две метки), то LSR-и коммутирующие по второй (внешней метке) с LSP исключаются. Подробно такие случаи будут рассмотрены далее. Для нашего примера LSP это последовательность: E-LSR, LSR1, LSR2, E-LSR. При использовании PHP, строго говоря, второй E-LSR не должен быть включен в LSP, поскольку при пересылке ему стек меток был пуст. Но для PHP допускается исключение.

**Архитектура E-LSR/LSR.** LSR [10] выполняет два процесса: маршрутизации и коммутации по меткам. Процесс маршрутизации функционирует на базе внутреннего протокола маршрутизации (например, OSPF). Процесс маршрутизации получает маршрутную информацию от соседей и формирует таблицу маршрутизации. Таблица маршрутизации используется для маршрутизации обычных IP-пакетов. Процесс коммутации функционирует на базе протокола обмена метками между соседями (Label Distribution Protocol). Протокол обмена метками согласует конкретные значения меток для создания целостных маршрутов коммутации по меткам (LSP). Подробно функционирования данного протокола

рассмотрены в отдельной статье. Процесс коммутации по меткам при составлении таблиц коммутации использует так же таблицу IP-маршрутизации. Взаимосвязь процессов коммутации по меткам и IP-маршрутизации приведена на рис. 12.

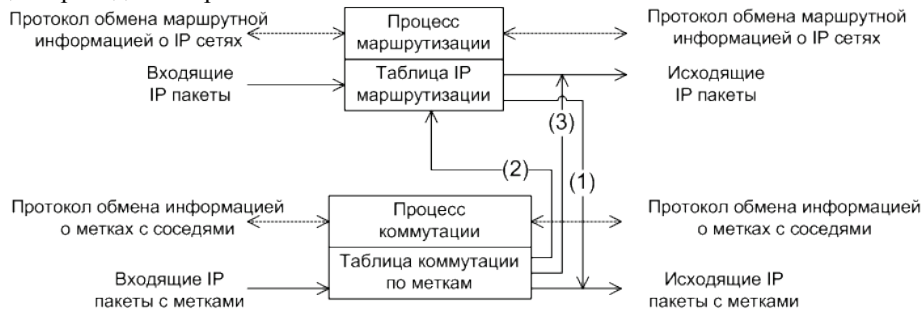


Рис. 12. Взаимосвязь процессов MPLS-коммутации и IP-маршрутизации на LSR / PE-LSR в сетях MPLS

Различия сетей MPLS от Frame Relay и ATM. Как можно понять из описания архитектуры MPLS, такие сети отдаленно напоминают Frame Relay или ATM. Действительно, MPLS в некотором смысле, базируется на этих идеях. Архитектура MPLS допускает использование в качестве LSR коммутаторов Frame Relay или ATM, при условии поддержки последним протокола назначения меток (LDP). Но коммутаторы ATM и Frame Relay имеют ключевое отличие от классических LSR. Суть его в следующем: LSR-коммутаторы могут две разные входные метки отображать в одну выходную при процедуре замены метки (Label Swapping). В таблице 8 приведены примеры таблицы коммутации классического LSR (табл. 7) и Frame Relay коммутатора.

Таблица 7.

Таблица MPLS-комутации классического LSR

Входной интерфейс	Входная метка	Выходной интерфейс	Выходная метка
Serial1	1000	Serial3	4000
Serial2	2000	Serial3	4000

Таблица MPLS-коммутации для Frame Relay коммутатора

Входной интерфейс	Входная метка (DLCI)	Выходной интерфейс	Выходная метка (DLCI)
Serial1	1000	Serial3	3000
Serial2	2000	Serial3	4000

Как видно на примере классический LSP объединяет два LSP в один, а Frame Relay коммутатор оставляет оба LSP следовать параллельно. Данный подход Frame Relay / ATM коммутаторов несколько сужает возможность их применения в рамках архитектуры MPLS, хотя и не запрещает это делать. Классические LSR (производящие коммутацию по меткам) называют merge capable LSR, а LSR на базе Frame Relay или ATM коммутации называют non-merge capable LSR. Еще в литературе встречаются понятия: frame-based LSR — это об обычных LSR и cell-based LSR — это о non-merge capable LSR (т.е. ATM / FrameRelay).

Дальнейшее изложение будет сфокусировано на merge capable LSR, поскольку всяко за ними будущее. Все реверансы в сторону non-merge capable LSR, на мой взгляд, делаются для достижения совместимости с существующими сетями ATM и Frame Relay.

Развитие информационных технологий создания виртуальных каналов передачи и сетей (VPN) на базе существующих физических коммуникаций позволяет получить более надежные и более производительные оптические сети с высшим пропускной способностью информационных потоков в них.

Количество информационных каналов оптических сетей в основном вытекает из количества магистральных элементов системы, количества пользователей и периферийных устройств ввода-вывода на уровне Access Level (1), таблица 2.

Для равномерно-распределенной иерархии оптической ИС справедливо:



$$N_{sumCanalivVuzla} = \sum_{i=1}^n n_{iNod} \times N_{iChanal} ;$$

$$N_{merezhi} = \sum_{j=1}^m N_{sumCanalivVuzla} , \tag{1}$$

где  $N_{sumCanalivVuzla}$  — количество каналов в узле;  $N_{merezhi}$  — общее количество каналов в сети;  $N_{iChanal}$  — количество единичных каналов (связей) с конечными устройствами сети (все каналы и AP, не только оптические);  $n_{iNod}$  — количество конечных устройств оптической сети, подключенных ко всем AP (Access Points) — точек доступа.

Причем общее количество количество каналов оптической сети, может быть определена по сумме всех AP и количества каналов в каждой точке  $n_{iChanal}$  доступа:

$$N_{merezhi} = N_{Mag Chanal} + \sum_{j=1}^m n_{iChanal} \times N_{AP} , \tag{2}$$

где  $N_{AP}$  — количество всех точек доступа AP, а также оконечных устройств на уровне доступа (Access Level) иерархической оптической сети;  $N_{Mag Chanal}$  — количество магистральных каналов сети.

Так по зависимостям (1) и (2) может быть определенное количество потенциально возможных элементов и каналов ИМ, из которых строятся иерархические сети регионального, муниципального и глобального уровней, включая сети Internet и отдельные их закрыты составляющие — Intranet.

Відмінність у організації вищезазначених ІС полягає у цільовому призначенні і можливості масштабування мережі.

Рассматривая последние разработки иерархических сетей, компьютерные сети их можно классифицировать по уровню иерархии. ИС глобального уровня состоит из суммы отдельных сегментов ИС зонного уровня, причем каждая ИС зонного уровня, как правило, состоит из совокупности локальных ИС, каждая из которых расположена по своей внутренней иерархией [8].

На основе анализа известных нийбальш известных оптических сетей на рынке Украины и Европы полученные основные их параметры (табл. 8).

Таблица 8.

Основные параметры известных иерархических ИС

Название иерархической информационной сети	Количество серверов, которые обеспечиваются системой, Серв	Количество информационных коммуникаций между структурными блоками и н	Кол. потенциал. Возможн. подключений пользователей $N_{корист.}$	Тип топологии, средн. скорост. В магистр. канал. Бит/с, дальність	Тип информац. каналов
1. Разработки кафедры ЛОТ (теоретические проекты) ИС: информационно-энергетические сети и системы [11, 12]	9-21	$N_{i/e} \approx N_{серв} \cdot (N_{кор.} + N_{присл.} + N_{перез} + (N_{комут} + 1))$	не огран.	Смешанная (Шина + дерево), в 80Гбит / с (До 70-80 км)	Бинарный проводник, волоконно-оптические информационно-энергетические каналы
2. Инновационные оптические сети Alcatel-Lucent Tech Inc [13].	10 Включая Cloud Processing - облачные вычисления, SAN VoD (video on demand)	$N_{i/e} \approx N_{серв} \cdot N_{кор.} + N_{ини} + N_{рег.мер} + N_{перз} + (Log_2 N_{комут} + 1)$	до $2^{10}$ (ориент.)	Смешанная + кольцо, 120-200Гбит/с До 400 Гбит/с в перспективе до 100-120( в отделн. случ. до 1000)км	Оптические каналы DWDM, SWDM

Продовження таблиці 8

Название иерархической информационной сети	Количество серверов, которые обеспечиваются системой, Серв	Количество информационных коммуникаций между структурными блоками и н	Кол. потенциал. Возможн. подключений пользователей $N_{корист.}$	Тип топологии, средн. скорост. В магистр. канал. Бит/с, дальність	Тип информац. каналов
3. ИС компании DataGroup	5-7 (включая IPTV, VoIP и друг)	$N_f \approx N_{серв} \cdot N_{кор}^+ + \text{Log}_2 N_{комут}$	до $2^9$ (ориент.)	Кольцо+ звезда До 70-100 Гбит/с (до 70км)	Оптические каналы DWDM, CWDM
4. ИС от компании – национального оператора ПАТ «Укртелеком»	7-8	$N_f \approx N_{серв} \cdot N_{кор}^+ + \text{Log}_2 N_{комут}$	до $2^8 - 2^9$ (ориент.)	Кольцо+ звезда + точка-точка до 30-40 Гбит/с (до 40км)	Оптические каналы DWDM, CWDM
5. Оптическая магистральная сеть ПАТ «Воля-Кабель»	Интерактивное телевидение «Smart HD» ТВ + Интернет, включая Cloud Processing - облачные вычисления	$N_f \approx N_{серв} \cdot N_{кор}^+ + \text{Log}_2 N_{комут}$	до $2^8 - 2^9$ (ориент.)	Кольцо + звезда + точка-точка 20 Гбит/с (10Ge-10Ge+) (до 30км)	Оптические каналы WDM, DWDM
6. Оптические магистральные сети мобильных операторов ПАТ «Київстар»; ТОВ «Астеліт» (Lifecall); ТОВ «Мобільні телесистеми» (Vodafone).	До 5 (включая VoIP)	$N_f \approx N_{комут} \cdot \text{Log}_2 N_{моб. зв}$	до $2^5$ (ориент.)	точка-точка 10Ge-10Гбит/сG (до 10-20км)	Оптические каналы WDM, CWDM

\*  $N_{кор}$  — количество пользователей;  $N_{ини прист}$  — количество устройств;  $N_{рег.мер}$  — количество региональных сетей, входящих в состав системы;  $N_{резерв}$  — количество зарезервированных подключений;  $N_{комут}$  — количество коммутаторов в системе;  $N_{моб. зв}$  — количество абонентов радиосвязи.

Количество информационных связей сети определяется количеством магистральных элементов системы, пользователей и периферийных устройств ввода-вывода и количество конечных коммутаторов. Основное количество связей для каждой из оптических ИС, которые анализировались можно приблизительно определить через равенства приведены в табл. 8. Все оптические сети имеют определенное число функций (табл. 9).

Таблиця 9.

## Количество функций, которые используются известными ИС

1. Функции информационных оптических сетей, архитектура ИС	2. Название информационной сети				
	Разработки кафедры ЛОТ (теоретические проекты) ИЭ и ИЭИ: информационно-энергетические сети и системы ATM/SDH/SONET/MP LS	Инновационные оптические сети Alcatel-Lucent Tech Inc. SDH/ /MPLS	ИС от компании DataGroup ATM/SDH	ИС от компании – национал. операторов ПАТ«Укртеле-ком» та ПАТ «ВоляКабель» ATM/SDH	ИС от компаний мобильных операторов «Київстар»; «lifecell» «Vodafone». ATM/SDH
Работа с информационными ресурсами + Cloud Processing - облачные вычисления ресурсами	+/-	+	+	+	
Обработка и хранение Видеоинформации (IPTV, Smart HD)	+	+	+	+	-
обеспечение доступа к WEB-ресурсов	+	+	+	+	+
Передача голосовой информации (IP-телефон, VoIP)	+	+	+	+	+
Дата-центр и SAN (Storage area network)	-	+	+	+	
управление дистанционным обучением	+				
Документооборот	+	+	+		
Тестирование	+				
Хранение информации	+	+	-	-	-
Обработка информации ввода / вывода видеопотоков VoD (video on demand )	+	+	+	+	-
Обработка и хранение биомедицинской информации	+	+/-	-	-	-
Управление трансп. поток. и освещением	+	-	-	-	-
Магистральная связь с внешними сетями	+	+	+	+	+
Связь с сетями мобильной связи	+	-	-	-	+
Мониторинг и координация	+	+	-	+	+
Работа со спец. данным	+	+	-	-	-

Все известные разработки оптических ИС имеют общую структурную часть на уровне ядра — Core и коммутаторов 2-го и 3-го уровней (L2/L3). Основными блоками, в нее входят, являются серверы, станции агрегации (коммутаторы L2/L3) в составе центра управления и промежуточные волоконно-

оптические коммутаторы и маршрутизаторы уровня распределения / доступа, от которых информационные потоки передаются в / от абонентов и оконечных устройств.

В таблице 10 приведены основные параметры специализированных оптических сетей с обеспечением интеллектуального управления энергетической составляющей и питанием устройств согласно концепции SmartGrid [15—8], полученные научным коллективом кафедры лазерной и оптоэлектронной техники Винницкого национального технического университета.

Таблица 10.

Параметры основных аналогов ИС–информационно-энергетических сетей ИЕС [7]

Название информационно-энергетической системы	Типы возможных топологий сети	Тип каналов, которые применяются и максимальная скорость передачи информации в $N$ –канальной сети	Возможность повышения стабильности за счет розподил.автономного энергетического питания	Недостатки и потенциальные проблемы	Тип, назначения ИС, узлы
1. ГИЭС тотального тестирования и оптимального управления научно – образовательными и библиотечными ресурсами	смешанная, шинovidная, древovidная	бинарный проводник, ВОЛС до 120Гбит/с в магистрале, до 10Гбит/с в конечных сегм.	отсутствует	низкая информационная стабильность за счет отсутствующего энерг. автономности в конечных сегментах	иерархическая, общ. назн. $(N_v, N_d > 10)$
2. ГИЭС управления инфраструктурой региона	смешанная, шинovidная, древovidная	бинарный проводник, ВОЛС до 120Гбит/с в магистрале	отсутствует	- / -	- / -
3. ГИЭС биомедицинского назначения	смешанная, звездоподобная	бинарный проводник, каналы радио доступа до 1Мбит/с	частичная (с исп. питания конечных устройств)	- / -, низкая скорость передачи по радиоканалу	- / -
4. ГИЭС информационно-энергетической инфраструктуры региона (города)	деревovidная, смешанная	бинарный проводник до 120Гбит/с в магистрале	отсутствует	- / -	- / -
5. Сети на базе PLC-каналов стандарта HomePlug [15, 16]	деревovidная, звездоподобная, шинovidная	электроэнергетические каналы промышленных сетей 0.22 /10кВ 50Гц, до 10Мбит/с	отсутствует	- / -, низкая скорость передачи радиоканалом у кон. сегменты	иерархическая, общ. назнач. $(N_v, N_d > 100)$
6. Сети на базе компл. технологий SmartGrid	смешанная, звездообразная, граткоподобная	электроэнерг. каналы 0.22 /10кВ 50Гц, ВОЛЗ до 120- 200Гбит/с в магистралах ВОЛС	имеется (за счет распределенных источников)	Необходимость повышения КПД распределенных источников и оптимизации структуры сети	Распределенная, общ./спец. назн. $(N_v, > 200)$
Аппаратные сети информационных систем мониторинга розпредел. сети телекоммуникаций и ГТС	смешанная, шинovidная	Информационные электрические каналы, ВОЛС до 10-100Гбит/с в каналах ВОЛС	отсутствует	низкая скорость передачи, необходимость повышения энергетической автономности конечных узлов	иерархическая, спец. назн. $(N_v, > 10^3, N_d > 100)$

\*  $N_v$  — количество узлов;  $N_d$  — количество устройств и коммутаторов сети.

Среди известных оптических сетей существует несколько известных разработок. Среди них можно отметить построены волоконно-оптические сети в рамках проектов известных компаний Cisco

Systems, NetTest, Alcatel Inc., ADVA Optical Networking, NeoPhotonics Corp., Hitachi Telecom и ATB Lambda Americas Lucent Technologies Communications и др.

Большинство из этих разработки имеют сложную иерархическую структуру и базируются в основном на базе стандартов SDH и ATM (STM) 3-го и 4-го уровней с использованием как пассивной (PON), так и активной (AON) архитектуры и активным использованием технологии волнового мультиплексирования WDM в волоконно-оптическом каналах и ее разновидностей: SWDM и CWDM, которые используются в магистральных сегментах сетей. Пример построения таких сетей изображено на рис. 13.

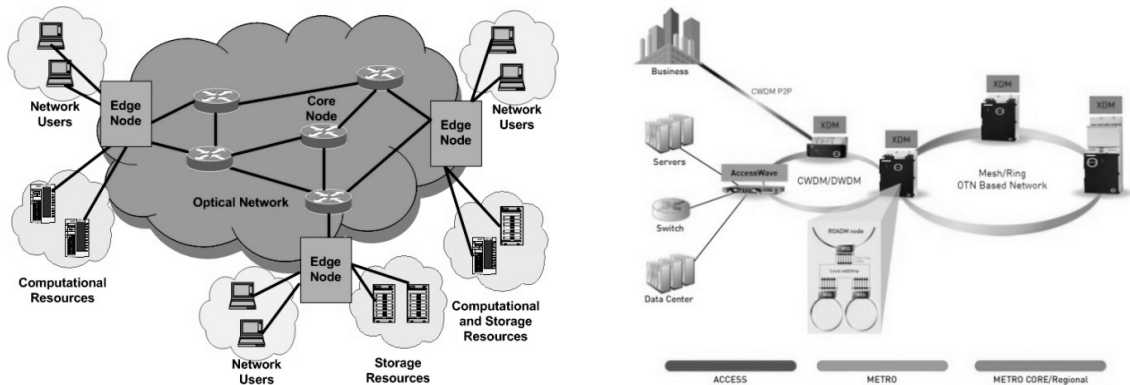
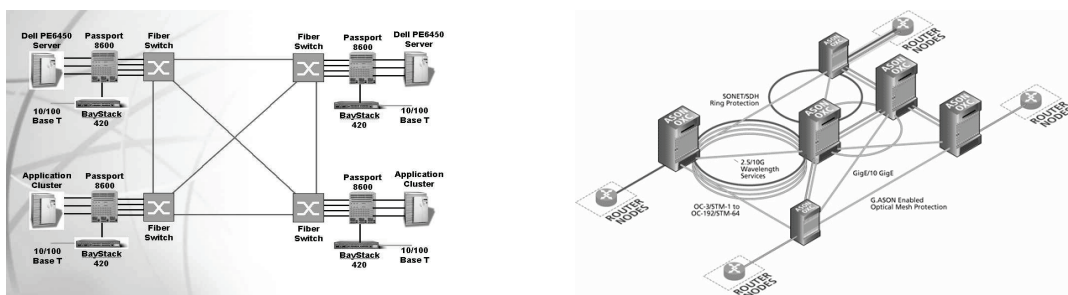


Рис.13. Структура современной корпоративной иерархической оптической информационной сети с ядром

Поскольку существует очень много разновидностей реализованных на практике оптических сетей с современными технологиями каналов, которые в большинстве объединяются в современную сеть Интернет, то нецелесообразно проводить анализ и сравнение их через некорректность результатов и отличие стандартов. Проведем анализ только основных технологий и топологий построения оптических сетей и методов повышения стабильности их функционирования. Модели современных иерархических оптических сетей реализованных в мире на базе архитектуры Enterprise Campus Architecture Network (Core-Distribution-Access, CDA) на базе современных стандартов ATM, SDH, SONET и в том числе MPLS представлена на рис. 14 [8—10].

Все приведенные структурные модели, и схемы организации сетей достаточно широко используются в современной информационной инфраструктуре построения локальных LAN, региональных MAN и глобальных WAN сетей, а также SAN. Вопросы организации и топологические особенности построения оптических иерархических информационных сетей полностью подобные классических информационных сетей, а этого достаточно исследованными, описанным и реализованными на практике. Каждый тип модели сети (рис. 14) имеет свои собственные преимущества и недостатки как по скорости передачи данных в канале, стабильности и функциональности при использовании для построения информационных инфраструктур в мегаполисах и между ними. Поэтому выбор модели должен проводиться в каждом конкретном случае, исходя из технических условий. Не существует универсальной и идеальной модели, которая бы объединяла преимущества всех, но есть возможность спроектировать сеть под конкретные целевые задачи с точки зрения обеспечения требуемых характеристик и необходимого функционала. Отдельные типы структурных моделей оптических сетей имеют лучшие особенности и перспективы использования для реализации кластерных и муниципальных (так называемые Metropolitan Networks). Эти типы топологии позволяют строить сети с более функциональным и производительным ядром и иерархию распределения на уровнях 1—2 концепции ENTERPRISE CAMPUS ARCHITECTURE NETWORK. Так же они будут лучше с точки зрения показателя информационной обеспеченности: резервирование и избыточности каналов в некоторых сегментах (рис. 15), но это не могут быть реализовано во всех сегментах сетей.





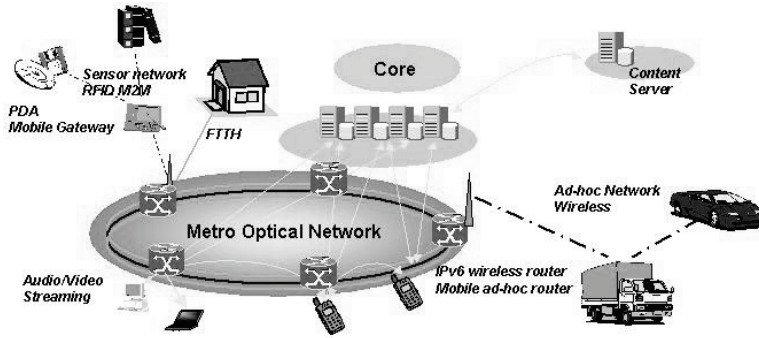


Рис. 14. Различные структурные модели современных иерархических оптических сетей реализованных в мире на базе архитектуры Enterprise Campus Architecture Network (Core-Distribution-Access, CDA) на базе современных стандартов ATM, SDH, SONET и MPLS

Теоретически не существует принципиальных ограничений на создание сетей с произвольной архитектурой на основе приведенных типов структурных моделей (рис. 13—15). Но с точки зрения энергетического обеспечения и направления иерархии распространения «Data» — потоков в проводниках и ВОЛС ИС, более рациональными являются разветвленные модели с использованием пассивной оптики (PON). Которая в отличие от активной — имеет преимущество по надежности (безотказности), а также стоимости.

Если такие узлы сети, как концентраторы (разветвители) и коммутаторы имеют дополнительное питание, сеть называется «дерево с активными узлами». Конечные узлы и вычислительные системы с приемными станциями по энергетической составляющей, и обеспечивают энергетическое и информационное подключение каждого по каналам к общему (главному) каналу связи через разветвитель, который выполнен в основном как пассивный узел. Такая топология может быть взята за основу построения полной инфраструктуры информационной оптической сети при их расширении и масштабирование путем ответвления от крайних точек других веток топологии (рис. 15). Такой вариант архитектуры сегмента получают путем замены или дополнения оконечных абонентских узлов сетевыми концентраторами, что дает возможность увеличения количества абонентов. Для задачи повышения производительности и функциональности оптических иерархических сетей и передачи и обработки информационных потоков в них (Processing), как вариант — может быть введение дополнительных блоков распределения на уровень ядра (Core Level).

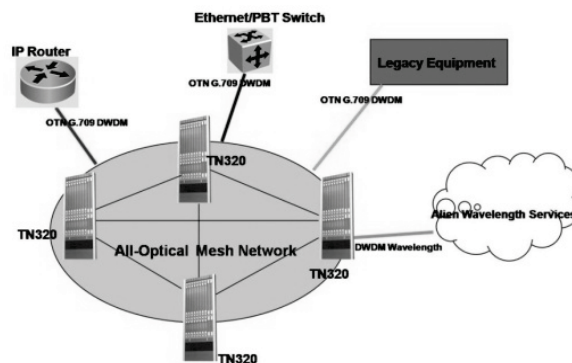


Рис. 15. Структурная модель сети типа Enterprise Campus Architecture Network со смешанным (резервным) ядром

## СОВРЕМЕННЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

С ростом объема передаваемой информации в XXI веке. возникает основная задача увеличение пропускной способности оптических сетей. В настоящее время эта задача решается несколькими способами:

1. заменой коммутаторов на мощные L2 / L3-коммутаторы с функциями агрегации потоков в центральных узлах сетей, рассчитанные на скорость передачи по волокну до 120-200 Гбит / с [13, 18], имеющие механизмы пакетной коммутации ATM / SDH / MPLS или Gigabit Ethernet в сочетании с WDM - технологии и т. п. [18]:

2. Использование для передачи данных резервных каналов на «темных» (потенциально заложенных, но незадействованных) волокнах в проложенных в имеющейся архитектуре волоконно-оптических кабелях;

3. Прокладкой новых дополнительных кабелей, что требует дополнительных существенных затрат;

4. Построение SWDM / DWDM магистралей на основе технологий полностью оптических сетей с PON / AON физической архитектурой, что позволяет повысить экономичность, гибкость и надёжность сети и самое главное — значительно увеличить их пропускную способность, а не затрагиваете существующую инфраструктуру.

**Оптические коммутаторы.** Данные устройства выполняют функцию коммутации потоков по MAC адресам (L2) IP-адресам (L3) в полностью оптических сетях, обеспечивая при этом коммутацию каналов или пакетов данных. Наряду с Простейшим коммутатором 2x2 в настоящее время начали отнесутся коммутаторы с числом портов 4x4, 8x8 и 16x16, 32x32, 64x64 и даже 128x128 в магистральных платформах агрегации потоков (например, таких как Cisco Edge Catalyst 6500, 7200 и т.п.).

Основными параметрами оптического коммутатора являются: перекрёстные помехи, вносимые помехи, скорость переключения, управляющее напряжение. В настоящее время используются разнообразные типы оптических коммутаторов — направленные ответвители, мостовой балансировый интерферометр и коммутатор на скрещивающихся волноводах. Работа оптического коммутатора основана на нелинейном электрооптическом эффекте Поккельса, который заключается в изменении показателя преломления материала пропорционально приложенному электрическому напряжению. Эффект Поккельса может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии. Устройства мультиплексирования/демультиплексирования WDM (и его разновидности SWDM/ DWDM), волновые фильтры и оптические коммутаторы имеют одну общую черту — в основе их работы лежат в той или иной степени интерференционные эффекты. Основные принципы работы коммутатора базируются на обычном четырёхполюснике — разветвителе-коммутаторе.

**Разветвитель-коммутатор 2x2 (элемент 2x2).** Общая схема сплавного разветвителя X-типа показана на рис. 16.

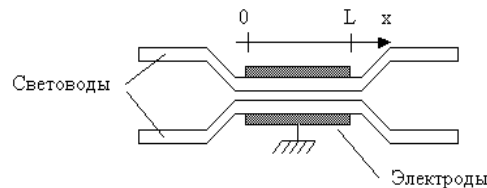


Рис. 16. Общая схема направленного разветвителя (четырёхполюсника)

Излучение, введённое в один световод, проникает в другой за счёт реактивных полей двух волноводов. Погонный коэффициент связи  $K$  зависит от параметров волновода, длины волны  $\lambda$  и ширины зазора  $g$  между волноводами. Разветвитель характеризуется разностью постоянных распространения двух волноводов:

$$\Delta\beta = 2\pi(n_{ef1} - n_{ef2})/ \lambda, \quad (2)$$

где  $n_{ef1}$ ,  $n_{ef2}$  — эффективные показатели преломления и длиной  $L$ ;  $\lambda$  — длина волны излучения.

Прикладывая электрическое напряжение к электродам по бокам или сверху и снизу волноводов, образующих ячейку Поккельса, можно регулировать фазовую расстройку за счёт нелинейного электрооптического эффекта.

В случае полностью симметричной конструкции на основе 2-х одинаковых волноводов в отсутствии напряжения ( $\delta = \Delta\beta / 2 = 0$ ) полная передача мощности происходит при  $KL = \pi\eta(2n + 1) / 2$ , где  $n$  — целое число и минимальная длина при этом будет определяться выражением  $L = \Delta\beta / 2 = 0$ . Заметим, что при  $\delta \neq 0$  полная передача мощности невозможна ни при каких значениях  $KL$ .

Параллельное прохождение световых сигналов можно обеспечить за счёт подачи электрического потенциала, вводя фазовую расстройку  $\Delta\beta$ . Величина необходимой расстройки  $\Delta\beta = \sqrt{3}\pi / L$ . В отсутствии напряжения эффективность связи между волноводами коммутатора составляет 100 % (оптические сигналы полностью кроссируются — т. е. входят в один волновод, а выходят из другого), а при подаче необходимого напряжения эффективность связи уменьшается до нуля. Это коммутация без блокировки света. Ещё одна реализация разветвителя — коммутатора 2x2, состоящая из двух последовательных X — разветвителей,

представлена на рис. 17. Оптические сигналы после прохождения по разным плечам интерферируют во втором разветвителе. Путём изменения напряжения на электродах, охватывающих одно из плеч, можно регулировать разность фаз между проходящими во втором разветвителе оптическими сигналами и тем самым влиять на характер интерференции.

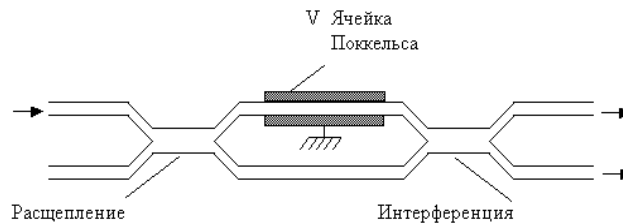


Рис. 17. Двухлучевой оптический разветвитель-коммутатор

Наряду с электрооптическим эффектом, для осуществления коммутации широко используется акустооптический эффект.

**Оптические коммутаторы  $n \times n$**  строятся на основе простых оптических разветвителей — коммутаторов  $2 \times 2$  (рис. 18).

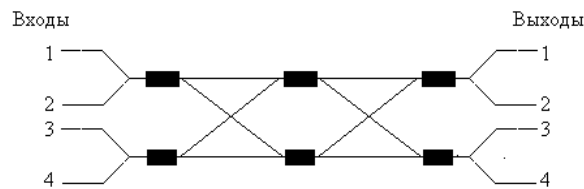


Рис. 18. Схема оптического коммутатора  $4 \times 4$

Поскольку составные элементы  $2 \times 2$  принимают на входные полюсы сигналы одной и той же длины волны, то весь коммутатор  $n \times n$  изготавливается для работы с поступающими оптическими сигналами одной и той же заданной длины волны. Другими важными характеристиками коммутатора, кроме рабочей длины, являются максимальные вносимые потери и поперечные помехи на выходных полюсах.

Коммутатор  $4 \times 4$  (рис. 18) с 6 элементами представляет перестраиваемый неблокирующий коммутатор. Он позволяет всегда без блокировки установить 4 соединения для заранее заданных пар входных-выходных полюсов.

Основные виды оптических коммутаторов:

— **коммутатор называется строго неблокирующим**, если для любой свободной пары входных-выходных полюсов и при любых предварительно установленных соединениях других пар полюсов всегда можно построить соединение, не перестраивая (не разрывая) уже существующие соединения;

— **коммутатор  $n \times n$  называется блокирующим**, если существует комбинация входов и выходов, для которой невозможно найти  $n$  взаимно неблокированных путей, связывающих входные и выходные полюсы.

— **коммутатор  $n \times n$  называется перестраиваемым неблокирующим**, если для любой заданной комбинации входов и выходов всегда можно найти  $n$  взаимно неблокированных путей, связывающих входные и выходные полюсы. В общем случае, такие пути получаются сильно взаимосвязанными. При использовании перестраиваемых неблокирующих коммутаторов можно встретиться с ситуацией, когда для того, чтобы удовлетворить очередной приходящий запрос на установку соединения между определёнными входными и выходными полюсами, может потребоваться перестройка внутренней структуры других соединений.

## ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ

**Пассивные оптические сети, PON (Passive Optical Networks)** — это сети, использующие только пассивные оптические компоненты: волокна, направленные ответвители, разветвители, волновые мультиплексоры и фильтры. Особенности таких сетей — низкая цена и низкие затраты на поддержку или полное её отсутствие. Основные сферы приложения — «волокно в дом» (FTTB/FTTH) и «волокно по кругу» (Talking Ring). Допускается «частичное», в основном для преодоления больших расстояний,

возможность использования оптических усилителей EDFA, хотя последние и не являются чисто пассивными компонентами.

### ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНЫЕ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ ISDN BISDN

Каждому удалённому узлу широковещательной сети (ISDN) [18] обычно приписывается определённая длина волны, на которой узел ведёт передачу. Сигналы со всех удалённых узлов собираются в оптическом звездообразном разветвителе, где они смешиваются и распределяются по выходным полюсам в волокна, идущие обратно к удалённым узлам, поэтому каждый узел получает мультиплексный сигнал, в котором представлены все длины волн, рис. 19.

Примечательно, что в качестве центральных элементов сети используются один или несколько звездообразных разветвителей, не имеющих избирательной функции по длинам волн. Каждый удалённый узел сам определяет, канал какой длины волны из принимаемого мультиплексного потока выбрать. В качестве приёмного элемента может служить либо перестраиваемый в соответствии с протоколом управления фильтр с одним фотоприёмником, либо демультиплексор WDM с множеством фотоприёмников, подключённых к выходным полюсам. В таких сетях рациональным решением является использование технологии коммутации MPLS, что собственно и делается на практике в известных масштабных проектах 200G Metropolitan Area Networks (например, от компании Alcatel-lucent Technologies Inc.) с архитектурой AON/PON с кольцевой топологией Talking Ring.

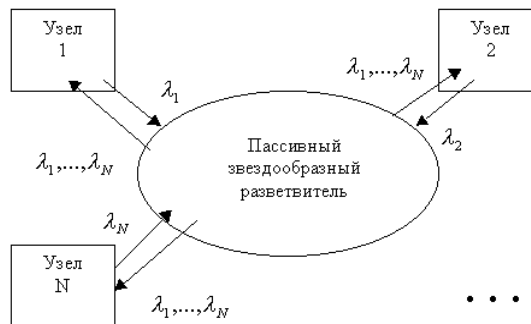


Рис. 19. Модель широковещательной сети ISDN с PON

### АРХИТЕКТУРА RAINBOW-1- RAINBOW-10

Одни из последних разработок 3 проекта – прототипа широковещательной вычислительной PON сети реализованы фирмой IBM [18]: Rainbow-1 (1991 г.), Rainbow-2 (1995 г.) и Rainbow-10 (2014 г.). Сеть Rainbow-2 обладает значительно большими возможностями по сравнению с сетью Rainbow-1, однако, так как принцип действия у них одинаковый, ниже рассмотрена архитектура сети Rainbow-1. Данная архитектура охватывает 32 удалённые станции типа IBM PS/2. Электронные и оптические сетевые элементы встроены в две стандартные Micro Channel карты.

**Основные характеристики:** 1) Каждый терминал станций оснащен передатчиком фиксированной длины волны и приёмником с перестраиваемой длиной волны; 2) Передаваемые длины волн лежат в диапазоне от 1505 нм до 1545 нм; 3) Оптоэлектронному приёмнику предшествует фильтр Фабри-Перо с перестраиваемым диапазоном 50 нм; 4) Скорость перестройки длины волны 10 мкс/нм (Rainbow-1,2) и до 0.5нс (Rainbow-10), что соответствует среднему времени настройки на нужный канал 250 мкс и 12,5 мкс; 5) Скорость передачи 200 Мбит/с (Rainbow-1,2) по стандартному одномодовому волокну SF8/25 и 10Гбит/с (Rainbow-10) соответственно.

*Принцип работы таких сетей заключается в следующем:* Если станция А хочет передать информацию станции В, она поступает следующим образом:

- Начинает передавать запрос на разрешение передачи для станции В. Это - повторяющаяся последовательность коротких сообщений и сигнала синхронизации на длине волны  $\lambda_a$ .
- Перестраивает свой приёмник на длину волны  $\lambda_b$  станции В
- Если станция В занята в это время (например, принимает данные от третьей станции), то станция А будет продолжать посылать запросы на разрешение передачи для станции В.
- Если станция В свободна, она последовательно по циклу сканирует весь диапазон длин волн, проверяя наличие запросов от других станций, предназначенных для нее.
- Когда станция В обнаруживает адресованный ей запрос (в данном случае запрос от станции А), она фиксирует свой перестраиваемый фильтр на длине волны  $\lambda_a$  этого запроса, и сразу же посылает

подтверждение станции А. Это происходит быстро, так как станция В всегда передаёт на фиксированной длине волны  $\lambda_b$ , а станция А уже настроила свой приёмник на эту длину волны.

— После этого обе станции могут свободно обмениваться данными до тех пор, пока они не решат разорвать соединение.

Допустима альтернативная архитектура широковещательной PON, в которой узлу разрешено принимать сигнал только на одной фиксированной, предназначенной только для этого узла, длине волны, а передавать на разных длинах волн, используя перестраиваемый лазер.

Поскольку центральный узел широковещательной PON и все оптические сегменты являются чисто пассивными элементами, такая сеть имеет очень высокую надёжность.

В то же время, широковещательная PON невозможно использовать в качестве магистралей для глобальных сетей по двум причинам:

— оптическая мощность передатчика распределяется между всеми остальными узлами, в результате чего большая доля энергии тратится вхолостую. Можно использовать усилители, но при этом снижается надёжность;

— каждый узел PON сети требует своей  $\lambda$ , так что полное число узлов в сети ограничено максимальным числом каналов, которое можно мультиплексировать в отдельное волокно. Это число теоретически равно 200. Если используется 20 волокон, то можно объединить порядка 4000 узлов, что недостаточно для построения единой информационной магистрали.

Принципиальная невозможность построения масштабных архитектур широковещательных сетей PON по типу ISDN ограничивает их сферу применения локальным масштабом.

### PON С ПАССИВНОЙ ВОЛНОВОЙ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ ПАКЕТОВ

Частично указанные выше проблемы могут быть решены на основе PON с пассивной волновой маршрутизацией, рис. 20. В такой сети (рис. 20) сигнал определённой длины волны может перенаправляться (статически маршрутизироваться) в узел назначения через последовательность промежуточных узлов вместо того, чтобы широковещательно распределяться между всеми оконечными узлами сети. Это позволяет экономить энергию оптического сигнала благодаря отсутствию разветвителей и допускает одновременное использование сигналов, представленных одной и той же длиной волны в разных неперекрывающихся частях сети.

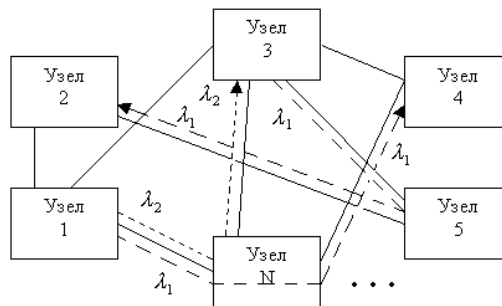


Рис. 20. Модель PON с пассивной волновой маршрутизацией

Промежуточными узлами сети с пассивной волновой маршрутизацией являются статистические маршрутизаторы, выполненные как правило на основе WDM мультиплексоров.

### PON С АКТИВНОЙ ВОЛНОВОЙ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ

Дальнейшее наращивание сети связано с переходом от статической к динамической маршрутизации. Маршрутизация на узлах становится активной и допускает дистанционное конфигурирование. Динамическая маршрутизация, прежде всего, предполагает использование оптических коммутаторов.

**Волновая конверсия.** Безусловно, динамическая маршрутизация в ПОС с коммутацией каналов предоставляет большую гибкость. Однако для достижения максимума масштабируемости, наряду с активной волновой маршрутизацией, должна быть реализована волновая конверсия, которая позволяет установить соединение между волновыми каналами, представленными в сети разными длинами волн. Волновая конверсия также позволяет наиболее эффективно использовать предоставленное ограниченное число волновых каналов.

На рис. 21 приведена модель сети PON ISDN с центральным узлом на основе волновых конвертеров. Каждый узел передаёт сигнал на фиксированной длине волны, а также принимает сигнал на фиксированной, индивидуальной (установленной для данного узла) длине волны. Выбор длины волны



удалённой станции не принципиален, например, все станции могут передавать на одной и той же длине волны. Центральный узел коммутации принимает оптические сигналы от всех удалённых узлов и конвертирует их в сигналы других длин волн в соответствии с инструкциями управляющего компьютера. Звездообразный комбайн — разветвитель смешивает сигналы разных длин волн и этот многоволновый сигнал распределяет по всем выходным полюсам.

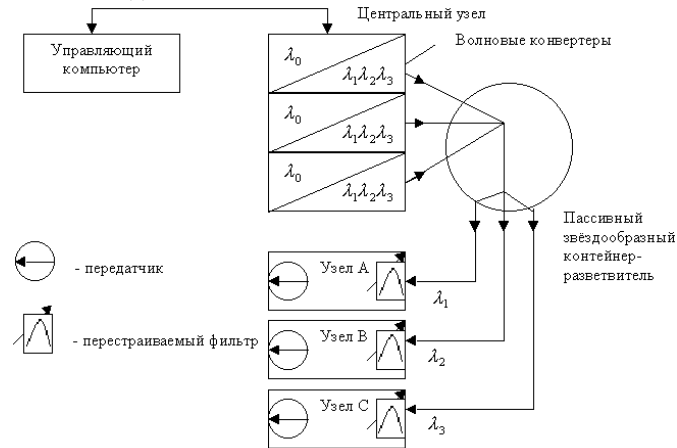


Рис. 21. Модель PON ISDN с коммутацией каналов и пакетов на основе волновых конвертеров

Логическому соединению между двумя удалёнными узлами предшествует настройка соответствующих волновых конвертеров. Если узел С желает передать сообщение узлу А, то выполняется следующая процедура:

— Узел С размещает специальный запрос на разрешение передачи на узел А, который обрабатывается управляющим компьютером.

— Если узел назначения А свободен, управляющий компьютер обменивается сообщениями с этим узлом, получая подтверждение о готовности узла А установить соединение.

— Если всё в порядке, управляющий компьютер сообщает узлу С, что будет установлено соединение с узлом А.

— Управляющий компьютер устанавливает соединение между узлами А и С.

Главный недостаток такой архитектуры сети – относительно длительный процесс установления соединения.

К сильным сторонам рассмотренной архитектуры сети можно отнести:

— Очень простой центральный контроль. Отсутствует проблема разрешения коллизий.

— Возможность использования одной и той же реперной частоты для всех передатчиков, что означает потенциальную возможность более плотной упаковки волновых каналов; хотя в некоторых случаях приёмникам может и потребоваться стабилизация.

— Главное преимущество рассмотренной централизованной сети в том, что она (при очень больших скоростях передачи — до 100 Гбит/с и более) должна быть значительно дешевле, чем сеть с чисто электронным коммутатором в центральном узле.

Для организации каналов передачи данных в современных иерархических оптических сетях используют несколько основных стандартов волоконно-оптических каналов передачи, к числу которых относятся [19—21]: FibreChannel (FC), Optical Ethernet (OE), Fiber Distributed Data Interface (FDDI), SCI, Optobus, SCSI, ESCON, High Performance Parallel Interface (HIPPI) и его модификацию SuperHiPPI (HiPPI-6400).

## ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ НОВОГО ТИПА – SMART GRID

Технология организации сетей Smart Grid [17, 22—24] («Умные электросети») — предусматривает создание унифицированные электроэнергетические сети и сочетание их с оптическими сетями передачи данных, с одновременным интеллектуальным управлением всеми компонентами. В частности, совмещенные такие функции как передачи информационного медиа трафика, «видео по запросу», распределенные сетевые вычисления, управления базами данных, сохранение информации, WEB-доступ с интеллектуальным управлением, генерацией потоков электроэнергии, энергосбережения и др. В сетях Smart Grid (рис. 23) по типу организации их архитектуры фундаментально заложен принцип функционирования сети на базе распределенных источников (как информационных, так и энергетических). В отличие от большинства известных промышленных технологий информационных сетей и электроэнергетических сетей, концепция Smart Grid предусматривает использование отдельно

существующих независимых сегментов информационной сети и сети электропитания на базе альтернативных источниках [17, 21—23]).

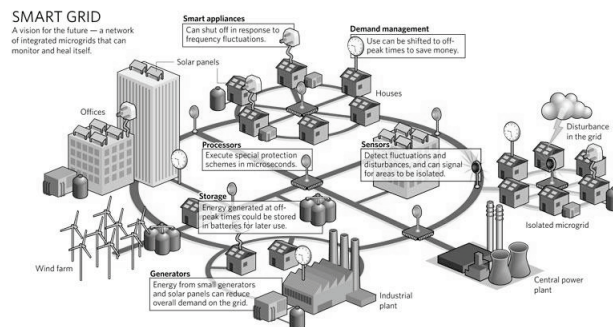


Рис. 23. Структура оптической сети на базе технологии «Smart Grid» [22]

Подводя итоги на основе проведенного анализа технологий построения современных иерархических сетей и их отдельных интерфейсов, можно утверждать что большими преимуществами по сравнению с технологиями SDH, ATM, SONET и обладает архитектура MPLS сетей на базе коммутации по меткам. Однако существующая структура ИС на базе MPLS имеет недостатки, связанные в основном с временем передачи метки на L2/L3. Ключом к решению этой проблемы является усовершенствование метода  $\lambda$ -MPLS в современных оптических иерархических сетях, который предусматривает быструю оптическую коммутацию и формирование меток на основе кодирования длины волны излучения параллельно с WDM (Wave Division Multiplexing) технологиям в современных оптических иерархических сетях. Что планируется провести в следующих исследованиях.

## ВЫВОДЫ

В статье проведен анализ технологий современных иерархических оптических сетей на физическом и логическом уровне. Проведены анализ технологий организации физических и логических интерфейсов для современных ИС. Определены их основные преимущества и недостатки и получены основные качественные и количественные характеристики и параметры современных архитектур оптических сетей и их интерфейсов. Определено, что большими перспективами по сравнению с традиционными архитектурами SDH, ATM и SONET обладает технология коммутации на базе кодирования и передачи меток — MPLS. Последняя, в том числе ее разновидность —  $\lambda$ -MPLS имеет большие перспективы в плане скорости осуществления коммутации и ее эффективности. Однако, требует дополнительного исследования и совершенствования метода для высокопроизводительной коммутации каналов и пакетов данных.

В числе перспективных оптических сетей — волоконно-оптические сети на базе совмещенных архитектур PON (Passive Optical Network) с MPLS и как ее вариант —  $\lambda$ -MPLS коммутации, которые совмещают в себе преимущества дешевой пассивной архитектуры и быстрой коммутации на основе оптических меток. Однако для получения новых результатов и достоверных сведений необходимо провести более глубокие исследования и разработку методов. В работе в целом определены проблемы и задачи для дальнейшего исследования информационных сетей с целью совершенствования их производительности и коммутации в них для удовлетворения современных проблем и требований к информационным системам 21 ст.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Буров С. В. Комп'ютерні мережі: [Текст] / С. В. Буров. — Львів : Бак, 2003. — 584 с. — ISBN: 966-8340-69-8.
2. Куссуль Н. Н. Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии: [Монографія] / Н. Н. Куссуль, А. Ю.Шелестов. — К. : «Наукова думка», 2008. — 452 с.
3. Палагин А. В. Системная интеграция средств компьютерной техники: [Монографія] / А. В. Палагин, Ю. С. Яковлев. — Винница : УНІВЕРСУМ—Вінниця, 2005. — 680 с. — ISBN: 966-641-140-7.
4. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети [Текст] / Р. Р. Убайдуллаев. — М. : Эко-Гренз, 1998. — 268 с. — ISBN 5-88405-023-2.
5. Матеріали компанії Cisco Systems Inc. Enterprise Campus 3.0 Architecture: Overview and

- Framework [Електронний ресурс] / Document 1834: Cisco Inc. — 15.08. — 2008. — 208pp. Тип доступу: World Wide Web: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/campover.html>.
6. Матеріали компанії Cisco Systems Inc. Campus Network for High Availability Design Guide [Електронний ресурс] / Document 1941: Cisco Inc. — 21.08. — 2008. — 145pp. Тип доступу: World Wide Web: [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA\\_campus\\_DG/hacampusdg.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA_campus_DG/hacampusdg.html).
  7. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум ; [пер. с немецкого под ред. Г. Гроше, В. Циглера]. — СПб. : Питер, 2005. — 992 с. — (4-е изд.) — ISBN 978-5-318-00492-6.
  8. Raj Jain. ATM Networks: An Overview [Електронний ресурс / текст] / Jain Raj / The Ohio State University Columbus, OH 43210. Тип доступу: World Wide Web: <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/>
  9. Synchronous Digital hierarchy (SDH) / The international Engineering Consortium [Електронний ресурс]: Web ProForum Tutorials. — Тип доступу: World Wide Web: [http://www.ee.columbia.edu/~bbathula/courses/HPCN/chap04\\_part-2.pdf](http://www.ee.columbia.edu/~bbathula/courses/HPCN/chap04_part-2.pdf) ^ [www.lec.org](http://www.lec.org)
  10. Матеріали компанії Cisco Systems Inc. Multiprotocol Label Switching (MPLS) [Електронний ресурс]: / Cisco Systems Inc. — Тип доступу: World Wide Web: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/multiprotocol-label-switching-mpls/index.html>.
  11. Малиновський В. І. Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж / В. П. Кожем'яко, В. І. Малиновський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — Вінниця, ВНТУ. — 2008. — № 1. — С. 95—101.
  12. Малиновський В. І. Аналіз сучасного стану розвитку геоінформаційно-енергетичних технологій / В. П. Кожем'яко, В. І. Малиновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2008. — № 1(15). — С. 86—99.
  13. Матеріали компанії Alcatel-Lucent Technology Inc. 100G and 200G Optics | Alcatel-Lucent [Електронний ресурс]: / Alcatel-Lucent Technology Inc. — Тип доступу : World Wide Web: <https://www.alcatel-lucent.com/solutions/100g-200g-optics>
  14. Олифер В. Г. Сети : Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы ; [Текст] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — СПб.: Питер. — 2008. — 958 с.
  15. Коноплянський Д. К. PLC — передача даних по електрическим сетям. Последняя миля / Д. К. Коноплянський // Вестник связи. — 2004. — № 5. — С. 5—7.
  16. Никифоров А. В. Технология PLC — телекоммуникации по сетям электропитания / А. В. Никифоров // Сети и системы связи. — 2002. — № 5. — С. 15—23.
  17. Матеріали компанії Energy.Gov. Smart Grid / : [Текст] / Energy.Gov: Office of Electricity Delivery & Energy Reliability. — Тип доступу: World Wide Web: <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>
  18. Антонов В. М. Сучасні комп'ютерні мережі / В. М. Антонов. — Київ, «МК-Прес», 2005. — 478 с.
  19. Никульский И. Е. Оптические интерфейсы цифровых коммутационных станций и сети доступа : [Монография] / Никульский И. Е. — М. : Техносфера, 2006. — 256 с.
  20. Михаил Гук. Интерфейсы устройств хранения. ATA, SCSI и другие. Энциклопедия: [Текст] / Гук Михаил. — СПб. : Питер, 2006. — 448 с.
  21. Лапин А. А. Интерфейсы. Выбор и реализация : [Текст] / А. А. Лапин. — М. : : Техносфера, 2005. — 168с.
  22. Current Grid vs. Smart Grid [Електронний ресурс] : / Smart Grid Technology Integrating the 19th and 21st centuries to bring smart electricity to the masses. — Тип доступу : World Wide Web: <https://smartgridtech.wordpress.com/smart-grid/>
  23. European Technology Platform SmartGrids (2012). SmartGrids SRA 2035: Strategic Research Agenda Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 [Електронний ресурс] : /— Тип доступу: World Wide Web: <http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf>
  24. Fangxing (Fran) Li, Wei Qiao, Hongbin Sun, Hui Wan, Jianhui Wang, Yan Xia, Zhao Xu, and Pei Zhang (2010). «Smart Transmission Grid: Vision and Framework.»: [текст ] : IEEE Transactions on Smart Grid, 1—10. — 232 pp.

## SPISOK LITERATURI

1. Burov E. V. Komp'yuterni mrezhzi: [Tekst] / E. V. Burov. — Lviv: Bak, 2003. — 584 s. — ISBN: 966-8340-69-8.
2. Kussul N. N. Grid-sistemyi dlya zadach issledovaniya Zemli. Arhitektura, modeli i tehnologii: [Monografiya] / N. N. Kussul, A. Yu. Shelestov. — K.: «Naukova dumka», 2008. — 452 s.
3. Palagin A. V. Sistemnaya integratsiya sredstv kompyuternoy tehniki: [Monografiya] / A. V. Palagin, Yu. S. Yakovlev. — Vinnitsa: UNIVERSUM-Vinnitsya, 2005. — 680 s. — ISBN: 966-641-140-7.
4. Ubaydulaev R. R. Volokonno-opticheskie seti [Tekst] / R. R. Ubaydullaev. — M.: Eko-Trenz, 1998. — 268 s. — ISBN 5-88405-023-2.
5. Materiali kompaniyi Cisco Systems Inc. Enterprise Campus 3.0 Architecture: Overview and Framework [Elektronniy resurs] / Document 1834: Cisco Inc. — 15.08. — 2008. — 208rr. Tip dostupu: World Wide Web: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/campover.html>.
6. Materiali kompaniyi Cisco Systems Inc. Campus Network for High Availability Design Guide [Elektronniy resurs] / Document 1941: Cisco Inc. — 21.08. — 2008. — 145 rr. Tip dostupu: World Wide Web: [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA\\_campus\\_DG/hacampusdg.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Campus/HA_campus_DG/hacampusdg.html).
7. Tanenbaum E. Kompyuternyye seti / E. Tanenbaum; [per. s nemetskogo pod red. G. Groshe, V. Tsiglera]. — SPb.: Piter, 2005. — 992 s. — (4-e izd.) — ISBN 978-5-318-00492-6.
8. Raj Jain. ATM Networks: An Overview [Elektronniy resurs / tekst] / Jain Raj / The Ohio State University Columbus, OH 43210. Tip dostupu: World Wide Web: <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/>
9. Synchronous Digital hierarchy (SDH) / The international Engineering Consortium [Elektronniy resurs]: Web ProForum Tutorials. — Tip dostupu: World Wide Web: [http://www.ee.columbia.edu/~bbathula/courses/HPCN/chap04\\_part-2.pdf](http://www.ee.columbia.edu/~bbathula/courses/HPCN/chap04_part-2.pdf) ^ [www.lec.org](http://www.lec.org)
10. Materiali kompaniyi Cisco Systems Inc. Multiprotocol Label Switching (MPLS) [Elektronniy resurs]: / Cisco Systems Inc. — Tip dostupu: World Wide Web: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/multiprotocol-label-switching-mpls/index.html>.
11. Malinovskiy V. I. Printsipi pobudovi ta strukturna organizatsiya kanaliv dlya povnistyu optichnih geoInformatsiyno-energetichnih mrezh / V. P. Kozhem'yako, V. I. Malinovskiy // Visnik Vinnitskogo politehnichnogo Institutu. — Vinnitsya, VNTU. — 2008. — #1. — S. 95—101.
12. Malinovskiy V. I. Analiz suchasnogo stanu rozvitku geoInformatsiyno-energetichnih tehnologiy / V. P. Kozhem'yako, V. I. Malinovskiy // Optiko-elektronni Informatsiyno-energetichni tehnologiyi. — 2008. — #1(15). — S. 86—99.
13. Materiali kompaniyi Alcatel-Lucent Technology Inc. 100G and 200G Optics | Alcatel-Lucent [Elektronniy resurs]: / Alcatel-Lucent Technology Inc. — Tip dostupu: World Wide Web: <https://www.alcatel-lucent.com/solutions/100g-200g-optics>
14. Olifer V. G. Seti: Kompyuternyye seti: Printsipyi, tehnologii, protokoly; [Tekst] / V. G. Olifer, N. A. Olifer. — SPb.: Piter. — 2008. — 958 s.
15. Konoplyanskiy D. K. PLC — peredacha danyih po elektricheskim setyam. Poslednyaya milya / D. K. Konoplyanskiy // Vestnik svyazi. — 2004. — # 5. — S. 5—7.
16. Nikiforov A. V. Tehnologiya PLC — telekommunikatsii po setyam elektropitaniya / A. V. Nikiforov // Seti i sistemyi svyazi. — 2002. — # 5. — S. 15—23.
17. Materiali kompaniyi Energy.Gov. Smart Grid / : [Tekst] / Energy.Gov: Office of Electricity Delivery & Energy Reliability. — Tip dostupu: World Wide Web: <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>
18. Antonov V. M. Suchasni komp'yuterni mrezhzi / V. M. Antonov. — Kiyiv, «MK-Pres», 2005. — 478 s.
19. Nikulskiy I. E. Opticheskie interfeysyi tsifrovih kommutatsionnyih stantsiy i seti dostupa: [Monografiya] / Nikulskiy I. E. — M.: Tehnosfera, 2006. — 256 s.
20. Mihail Guk. Interfeysyi ustroystv hraneniya. ATA, SCSI i drugie. Entsiklopediya: [Tekst] / Guk Mihail. — SPb.: Piter, 2006. — 448 s.
21. Lapin A. A. Interfeysyi. Vyibor i realizatsiya: [Tekst] / A. A. Lapin. — M.: Tehnosfera, 2005. — 168 s.

22. Current Grid vs. Smart Grid [Elektronniy resurs] : / Smart Grid Technology Integrating the 19th and 21st centuries to bring smart electricity to the masses. — Tip dostupu: World Wide Web: <https://smartgridtech.wordpress.com/smart-grid/>
23. European Technology Platform SmartGrids (2012). SmartGrids SRA 2035: Strategic Research Agenda Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 [Elektronniy resurs] : /— Tip dostupu: World Wide Web: <http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf>
24. Fangxing (Fran) Li, Wei Qiao, Hongbin Sun, Hui Wan, Jianhui Wang, Yan Xia, Zhao Xu, and Pei Zhang (2010). «Smart Transmission Grid: Vision and Framework.»: [Tekst ] : IEEE Transactions on Smart Grid, 1—10. — 232 pp.

Надійшла до редакції 21.12.2015 р.

**ЛЫСЕНКО ГЕННАДИЙ ЛЕОНИДОВИЧ** — к.т.н., доцент, доцент кафедри лазерной та оптоелектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г.Винница, Украина.

**АШРАФ И.М. АЛЬКЕЙСИ** — аспирант кафедры лазерной и оптоелектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г.Винница, Украина.

**АНДРЕЭС ДЖУЛИАН УТРАС ТЭЛЮ** — доцент кафедры оптической связи университета Escuela Politecnica Nacional, г. Кито, Эквадор, соискатель кафедры лазерной и оптоелектронной техники Винницкого национального технического университета, г.Винница, Украина.