



РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ДРУЖБЫ НАРОДОВ

# СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ  
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

Под редакцией  
**К. Е. Самуйлова, И. А. Шалимова, Д. С. Кулябова**

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом  
высшего образования в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим  
направлениям и специальностям*

*Рекомендовано федеральным государственным казенным  
образовательным учреждением высшего профессионального образования  
«Академия Федеральной службы безопасности Российской Федерации»  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности 10.05.02  
«Информационная безопасность телекоммуникационных систем»*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)**

**Москва ■ Юрайт ■ 2019**

УДК 621.3(075.8)

ББК 32я73

С33

**Ответственные редакторы:**

**Самуйлов Константин Евгеньевич** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук Российского университета дружбы народов;

**Шалимов Игорь Анатольевич** — доктор технических наук, профессор;

**Кулябов Дмитрий Сергеевич** — доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук Российского университета дружбы народов.

**Рецензенты:**

*Пестряков А. В.* — доктор технических наук, профессор, декан факультета радио и телевидения Московского технического университета связи и информатики;

*Кучерявый А. Е.* — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сетей связи и передачи данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича;

*Зефирова С. Л.* — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационной безопасности систем и технологий Пермского государственного университета.

**Сети и телекоммуникации** : учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. К. Е. Самуйлова, И. А. Шалимова, Д. С. Кулябова. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 363 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-534-00949-1

В учебнике последовательно изложены основные концепции современного состояния сетей и систем передачи информации. Рассматриваются аспекты и уровни организации сетей — от физического до уровня приложений модели взаимодействия открытых систем. Теоретический материал дополнен лабораторным практикумом и практическими заданиями.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

*Для студентов высших учебных заведений инженерно-технических профилей, аспирантов, преподавателей, а также практических работников в области телекоммуникаций и информационной безопасности.*

УДК 621.3(075.8)

ББК 32я73

*Информационно-правовая поддержка  
предоставлена компанией «Гарант»*



*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».*

ISBN 978-5-534-00949-1

© Коллектив авторов, 2015

© ООО «Издательство Юрайт», 2019

# Оглавление

<b>Авторский коллектив .....</b>	<b>9</b>
<b>Предисловие .....</b>	<b>10</b>
<b>Глава 1. Общие сведения о сетях и системах передачи информации.....</b>	<b>13</b>
1.1. Основные термины и определения.....	13
1.2. Понятие протокола. Иерархия протоколов. Интерфейсы и сервисы .....	16
1.3. Обобщенная структурная схема сети .....	17
1.4. Методы коммутации информации в сетях связи .....	20
1.5. Основные технологии сетей передачи данных.....	24
1.6. Стандартизирующие организации .....	26
<i>Резюме.....</i>	<i>28</i>
<i>Контрольные вопросы .....</i>	<i>28</i>
<b>Глава 2. Принципы построения телекоммуникационных сетей.....</b>	<b>30</b>
2.1. Обзор эталонной модели OSI.....	30
2.1.1. Принципы построения модели OSI .....	32
2.1.2. Уровни в модели OSI .....	33
2.2. Иерархия протоколов в различных стеках .....	38
2.2.1. Стек ISO/OSI.....	38
2.2.2. Стек TCP/IP.....	39
2.2.3. Стек IEEE 802 .....	41
2.2.4. Стек IPX/SPX.....	42
2.2.5. Стек NetBIOS/SMB.....	42
2.2.6. Стек H.323.....	43
2.2.7. Стек SS7 .....	44
<i>Резюме.....</i>	<i>46</i>
<i>Контрольные вопросы .....</i>	<i>46</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>46</i>
<b>Глава 3. Физический уровень .....</b>	<b>47</b>
3.1. Среда передачи .....	47
3.1.1. Коаксиальный кабель.....	48
3.1.2. Витая пара .....	49
3.1.3. Оптоволокно.....	50
3.1.4. Структурированная кабельная система.....	52
3.2. Активное сетевое оборудование .....	57
3.3. Модуляция сигналов.....	58
3.3.1. Амплитудная модуляция .....	60
3.3.2. Частотная модуляция.....	60

3.3.3. Фазовая модуляция .....	60
3.3.4. Квадратурная амплитудная модуляция .....	61
3.3.5. Технология расширенного спектра .....	62
3.4. Кодирование сигнала .....	63
3.4.1. Код NRZ и NRZI.....	63
3.4.2. Код Rz .....	63
3.4.3. Манчестерский код .....	64
3.4.4. Код MLT-3.....	64
<i>Резюме.....</i>	65
<i>Контрольные вопросы .....</i>	65
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	65

## **Глава 4. Канальный уровень ..... 66**

4.1. Доступ к среде.....	66
4.1.1. Динамическое выделение канала.....	67
4.1.2. Протоколы множественного доступа .....	67
4.2. Группа стандартов IEEE 802.....	69
4.2.1. Структура стандартов IEEE 802.....	70
4.2.2. Протокол MAC .....	74
4.2.3. Протокол IEEE 802.2 LLC .....	75
4.3. Технология Ethernet.....	79
4.3.1. Метод доступа CSMA/CD.....	79
4.3.2. Форматы кадров Ethernet.....	80
4.3.3. Технология Fast Ethernet.....	83
4.3.4. Технология Gigabit Ethernet.....	84
4.4. Сети с маркерным доступом .....	86
4.4.1. Технология Token Bus Схема передачи данных.....	86
4.4.2. Технология Token Ring.....	88
4.4.3. Технология FDDI.....	91
4.5. Технология 100VG-AnyLAN .....	97
4.5.1. Элементы сети 100VG-AnyLAN.....	97
4.5.2. Схема передачи данных.....	98
4.5.3. Метод доступа Demand Priority.....	98
4.5.4. Процедура подготовки к связи (Link Training) .....	99
4.5.5. Основные параметры сети 100VG-AnyLAN.....	99
4.6. Технологии доступа с виртуальными каналами.....	100
4.6.1. Технология X.25.....	100
4.6.2. Технология Frame Relay.....	102
4.7. Технологии региональных сетей.....	106
4.7.1. Технологии опорной сети .....	106
4.7.2. Технологии уровня доступа .....	109
4.7.3. Технология Metro Ethernet.....	110
4.8. Технологии беспроводного доступа.....	112
4.8.1. Методы доступа к среде в беспроводных сетях.....	112
4.8.2. Стек протоколов IEEE 802.11 (WiFi).....	113

4.8.3. Стек протоколов IEEE 802.16 (WiMAX).....	123
4.8.4. Технология Bluetooth.....	125
<i>Резюме</i> .....	132
<i>Контрольные вопросы</i> .....	133
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	134
<b>Глава 5. Сетевой уровень .....</b>	<b>135</b>
5.1. Протокол IPv4 .....	136
5.1.1. Формат пакета IP.....	136
5.1.2. Схема адресации протокола IPv4 .....	139
5.2. Протокол IPv6 .....	145
5.2.1. Формат заголовка пакета IPv6.....	145
5.2.2. Дополнительные заголовки IPv6.....	147
5.2.3. Схема адресации протокола IPv6 .....	149
5.3. Другие протоколы межсетевого уровня стека TCP/IP.....	157
5.3.1. Протокол ICMP.....	157
5.3.2. Протокол ARP.....	162
5.3.3. Протокол RARP .....	163
5.4. Маршрутизация .....	164
5.4.1. Ядерная маршрутизация.....	165
5.4.2. Протоколы маршрутизации.....	168
5.5. Коммутация пакетов по меткам (MPLS) .....	184
5.5.1. Архитектура MPLS .....	185
5.5.2. Формат MPLS-метки .....	186
5.5.3. Label Distribution Protocol.....	187
5.5.4. Сервисы на базе MPLS .....	188
5.5.5. Особенности MPLS.....	189
<i>Резюме</i> .....	189
<i>Контрольные вопросы</i> .....	190
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	191
<b>Глава 6. Транспортный уровень .....</b>	<b>192</b>
6.1. Основная концепция протоколов транспортного уровня.....	192
6.2. Протокол UDP.....	193
6.3. Протокол TCP.....	194
6.3.1. Формат пакета TCP .....	195
6.3.2. Установление сессии TCP.....	197
6.3.3. Управление потоком.....	198
6.3.4. Проблемы TCP .....	199
6.4. Протокол SCTP.....	200
6.4.1. Формат пакета SCTP.....	200
6.4.2. Функции SCTP.....	202
6.4.3. Множественность потоков и варианты доставки.....	203
6.4.4. Многодомность.....	204
6.4.5. Установление ассоциаций.....	204
6.4.6. Завершение работы ассоциации.....	205

6.5. Протокол DCCP.....	206
6.5.1. Характеристики DCCP.....	206
6.5.2. Типы сообщений DCCP.....	207
6.5.3. Формат заголовка DCCP.....	207
6.5.4. Процедура взаимодействия.....	208
6.5.5. Функциональность DCCP.....	208
<i>Резюме.....</i>	209
<i>Контрольные вопросы.....</i>	209
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	210
<b>Глава 7. Обеспечение информационной безопасности сетей.....</b>	<b>211</b>
7.1. Общие сведения об информационной безопасности.....	211
7.1.1. Отказ в обслуживании, DoS-атаки.....	214
7.1.2. Распределенная DoS-атака (DDoS).....	215
7.1.3. Формирование паролей на сетевых элементах.....	216
7.2. Межсетевые экраны.....	218
7.2.1. Общие сведения о межсетевых экранах.....	218
7.3. Списки доступа.....	220
7.3.1. Конфигурирование списков доступа.....	223
7.3.2. Конфигурирование расширенных списков доступа.....	225
7.3.3. Именованные списки доступа.....	227
7.3.4. Контроль списков доступа.....	227
7.4. Анализ MAC-адресов при сетевой фильтрации.....	228
7.4.1. Адресация коммутаторов, конфигурирование интерфейсов.....	228
7.4.2. Управление таблицей коммутации.....	229
7.4.3. Конфигурирование безопасности на коммутаторе.....	230
7.5. Виртуальные локальные сети.....	232
7.5.1. Общие сведения о виртуальных локальных сетях.....	232
7.5.2. Транковые соединения.....	236
7.5.3. Конфигурирование виртуальных локальных сетей.....	237
7.5.4. Маршрутизация между виртуальными локальными сетями.....	242
7.5.5. Конфигурирование транковых соединений.....	244
<i>Резюме.....</i>	246
<i>Контрольные вопросы.....</i>	247
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	247
<b>Глава 8. Сети следующего поколения.....</b>	<b>249</b>
8.1. Определение и суть NGN.....	249
8.1.1. основополагающие характеристики NGN.....	250
8.1.2. Преимущества сетей, базирующихся на концепциях NGN.....	250
8.1.3. Спектр предоставляемых услуг.....	251
8.1.4. Архитектура NGN.....	251
8.1.5. Концепции NGN.....	255
8.1.6. Компоненты сети NGN.....	257
8.1.7. Softswitch и IMS как концепции NGN.....	257
8.2. Сеть на базе стека H.323.....	258
8.2.1. Архитектура сети H.323.....	259
8.2.2. Адресация элементов сети H.323.....	262

8.2.3. Основные характеристики H.323.....	263
8.2.4. Обработка звуковых сигналов (Audio Signal).....	263
8.2.5. Обработка видеосигналов (Video Signal).....	268
8.2.6. Конференц-связь для передачи данных (Data).....	272
8.2.7. Управление (Control).....	273
8.2.8. Мультимедийная передача.....	275
8.2.9. Эволюция H.323.....	275
8.3. Концепция Softswitch. Протокол SIP.....	277
8.3.1. Архитектура Softswitch.....	277
8.3.2. Протоколы в сетях Softswitch.....	279
8.3.3. Протокол SDP.....	284
8.3.4. Услуги в сетях Softswitch.....	285
8.4. Концепция IMS.....	286
8.4.1. Архитектура IMS.....	286
8.4.2. Услуги в сетях IMS.....	291
8.4.3. Протокол SIP.....	293
8.4.4. Преимущества и недостатки IMS.....	293
8.5. Концепция A-IMS.....	293
<i>Резюме.....</i>	295
<i>Контрольные вопросы.....</i>	295
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	296
<b>Лабораторный практикум.....</b>	<b>297</b>
Лабораторная работа 1. Методы кодирования и модуляция сигналов.....	297
Лабораторная работа 2. Расчет сети Fast Ethernet.....	319
Лабораторная работа 3. Знакомство с Packet Tracer. Моделирование простой сети.....	325
Лабораторная работа 4. Packet Tracer. Настройка маршрутизаторов.....	337
<b>Список терминов.....</b>	<b>352</b>
<b>Литература.....</b>	<b>359</b>
<b>Ответы к заданиям.....</b>	<b>362</b>





## **Авторский коллектив**

**Самуйлов Константин Евгеньевич** — заведующий кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей, факультет физико-математических и естественных наук, Российский университет дружбы народов, доктор технических наук, профессор;

**Шалимов Игорь Анатольевич** — доктор технических наук, профессор;

**Васин Николай Николаевич** — доктор технических наук, профессор;

**Василевский Валерий Владимирович** — кандидат военных наук, доцент;

**Кулябов Дмитрий Сергеевич** — доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, факультет физико-математических и естественных наук, кандидат физико-математических наук, Российский университет дружбы народов;

**Королькова Анна Владиславовна** — доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей, факультет физико-математических и естественных наук, кандидат физико-математических наук, Российский университет дружбы народов.

## Предисловие

Учебник содержит целостное представление о существующих сетевых технологиях и архитектуре современных телекоммуникаций, показывает их эволюцию и перспективы развития. Авторы учебника являются практиками, обладающими большим опытом преподавания дисциплины студентам профильных специальностей и направлений подготовки.

Основной упор делается на описание протоколов и архитектуру сетей и систем телекоммуникаций. Для понимания эволюции развития телекоммуникаций авторы предлагают ознакомиться не только с современным состоянием протоколов и архитектур, но и дают обзор их эволюционного развития.

Учебник направлен на достижение следующих целей:

- ввести учащихся в предметную область существующих систем и сетей телекоммуникаций;
- сформировать понятийный аппарат в области концепций, архитектур, стандартов современных систем и сетей телекоммуникаций;
- ознакомить слушателей с современными технологиями в области систем и сетей телекоммуникаций;
- создать у слушателей понимание принципов построения современных систем и сетей телекоммуникаций.

Структурно в книге можно выделить две взаимосвязанные части: протоколы компьютерных сетей и мультисервисные сети. Первая часть изучает протоколы компьютерных сетей согласно структуре эталонной модели взаимодействия открытых систем. Уделяется основное внимание двум стекам протоколов — Ethernet и TCP/IP. Другие стеки протоколов показаны в целом без практического применения. Вторая часть рассматривает современное состояние сетей телекоммуникаций.

В учебнике представлено восемь глав.

В первой главе даются и объясняются базовые понятия систем телекоммуникаций. Дается обзор существующих сетей связи, сетевых сервисов. Рассматриваются структура и основные аспекты деятельности стандартизирующих организаций.

Во второй главе рассматриваются общие принципы построения модели взаимодействия открытых систем (OSI), иерархия протоколов различных стеков протоколов (TCP/IP, IEEE, ISO/OSI, H.323, SS7 и др.) по отношению к модели OSI.

В третьей главе анализируются методы и технологии физического уровня модели OSI, расширенного в духе IEEE 802. В частности, дается обзор возможных сред передачи (в том числе и стандарты кабельной системы), методов кодирования сигнала и сферы их применения.

В четвертой главе изучаются методы и протоколы доступа к среде (семейства ALOHA и CSMA), а также технологии сетей (Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Token Ring, 100VG-AnyLAN, Wireless Networks, WiMAX, Bluetooth, FDDI, ISDN, Frame Relay). Упор делается на стандарты IEEE 802.x, особенно на IEEE 802.3 (Ethernet).

В пятой главе рассматриваются протоколы межсетевого уровня стека протоколов TCP/IP. Особое внимание уделяется протоколу IP. В этой же главе отдельным пунктом изучается проблема маршрутизации и протоколы статической (iproute2, click), а также динамической маршрутизации (RIP, OSPF, BGP, IGRP). Кратко описываются другие протоколы межсетевого уровня стека протоколов TCP/IP (ARP, RARP, ICMP, IGMP).

В шестой главе разбираются протоколы транспортного уровня стека протоколов TCP/IP: TCP (формат TCP-пакета, алгоритм установления связи (сессия TCP), надежная доставка, технология скользящего окна, процедура «медленный старт»), UDP (формат UDP-пакета, псевдозаголовок, ненадежная передача), DCCP, SCTP.

В седьмой главе обсуждаются вопросы обеспечения информационной безопасности сетей передачи данных. Дается краткий обзор существующих угроз, рассматриваются элементы обеспечения защиты сетевого оборудования.

Восьмая глава посвящена мультисервисным сетям. В ней описываются основные подходы к построению сетей последующих поколений (NGN). Дается сравнительный обзор концепций Softswitch и IMS как развитие концепций конвергирования сетей коммутации каналов (в частности, ТфОП) и сетей коммутации пакетов (в частности, IP-сети). Описываются архитектурные особенности и основные протоколы обоих подходов.

В результате освоения материала данного учебника студент должен:

***знать***

- основную терминологию, определения и понятия предметной области сетей связи;
- методы коммутации в сетях связи;
- основные стандартизирующие организации в области сетей связи и сферы их деятельности;
- эталонную модель взаимодействия открытых систем, модели TCP/IP, IEEE802;
- перечень основных протоколов различных стеков сетей и систем передачи информации;
- основные типы сред передачи данных, их характеристики, область их применения;
- типы модуляции аналоговых сигналов, основные методы кодирования сигналов;
- основные модели, технологии и протоколы доступа к среде передачи данных, структуру протоколов доступа к среде;
- структуры заголовков протоколов межсетевого уровня стека TCP/IP;
- принципы организации адресного пространства IPv4 и IPv6;
- принципы коммутации по меткам (технология MPLS);

- принципы построения сетей передачи данных и настройки сетевого оборудования;
- структуры заголовков протоколов транспортного уровня стека TCP/IP, принципы передачи данных на транспортном уровне;

***уметь***

- грамотно пользоваться языком предметной области сетей связи;
- зная основные функции протоколов различных стеков, определять их место в модели взаимодействия открытых систем;
- определять элементы структурированной кабельной системы организации, ограничения их применения;
- строить временные диаграммы информационных сигналов;
- ориентироваться в стандартах IEEE 802;
- оценивать работоспособность сети, построенной на базе технологии Fast Ethernet;
- планировать адресное пространство IPv4, определять тип адреса IPv6;
- определять область применения того или иного транспортного протокола;

***владеть***

- базовыми знаниями в области современных сетей и систем передачи информации;
- навыками анализа основных характеристик уровней модели взаимодействия открытых систем;
- навыками анализа основных характеристик протоколов различных стеков;
- способностью применять математический аппарат, в том числе с использованием вычислительной техники, для решения профессиональных задач, например для оценки работоспособности сети, построенной на базе технологии Fast Ethernet;
- способностью планировать структуру сети передачи данных;
- способностью настраивать коммутационное и маршрутизирующее оборудование;
- способностью анализировать данные заголовков сетевых протоколов и протоколов транспортного уровня.

# Глава 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕТЯХ И СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

---

В результате освоения главы 1 студент должен:

**знать**

- основные понятия, термины и определения предметной области сетей связи;
- стандартизирующие организации в области сетей связи, ограничения сфер их деятельности;

**уметь**

- грамотно пользоваться языком предметной области сетей связи;
- применять методы коммутации информации в сетях связи;

**владеть**

- основополагающими знаниями в области современных сетей и систем передачи информации.
- 

Данная глава посвящена введению в предметную область сетей связи. В ней рассматриваются основные понятия, связанные с сетевыми технологиями. Основу главы составили материалы авторов из источников [1–3].

### 1.1. Основные термины и определения

Сеть связи можно рассматривать как систему, состоящую из линий связи, соединяющих некоторое множество узлов, и предназначенную для передачи данных от одного узла к другому с определенными параметрами качества обслуживания.

Основу сетей связи составляют *многоканальные системы передачи* (МСП), для передачи информации используются электромагнитные сигналы. Структурная схема МСП приведена на рис. 1.1.

Сообщения абонентов при помощи  $C/C_i$  преобразуются в первичные электрические сигналы. Множество сформированных сигналов коммутируются на передающей стороне коммутаторами КП и на приемной стороне коммутаторами КПр, чтобы установить соединение источника сообщения  $ИС_j$  с соответствующим получателем  $ПС_j$ .

Первичные электрические сигналы при помощи преобразователя П преобразуются во вторичные или линейные сигналы, характеристики которых хорошо согласуются с параметрами линии связи. На приемной стороне Пр принимает и преобразует линейные сигналы в первичные.

Наиболее дорогостоящим элементом многоканальной системы передачи является линия связи, поскольку ее протяженность может составлять сотни и даже тысячи километров.

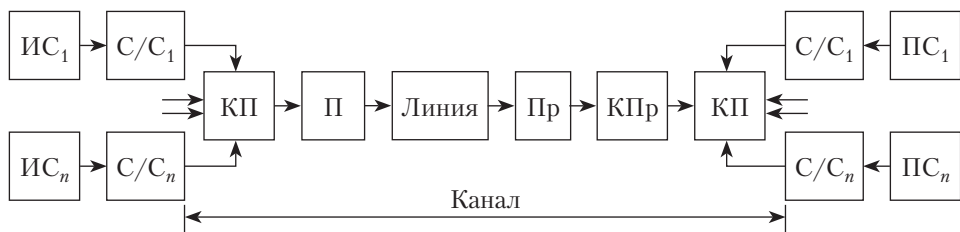


Рис. 1.1. Структурная схема МСП:

$ИС_i$  — источники передаваемых сообщений;  $C/C_i$  — преобразователи сообщения в первичный сигнал на передающей стороне и полученного первичного сигнала в сообщение на приемной стороне; КП — коммутатор передающей стороны; КПр — коммутатор приемной стороны; П — преобразователь первичного сигнала в линейный сигнал (передатчик); Пр — преобразователь линейного сигнала в первичный (приемник); ПС<sub>*i*</sub> — получатели сообщений

Под *линией связи (каналом связи)* обычно понимают некую физическую среду распространения сигналов, связывающую некоторое множество технических устройств, обеспечивая при этом передачу с сигналов на заданное расстояние определенными показателями: полосой частот, скоростью передачи и т.п. Например, линию связи может образовывать кабельная система на базе оптоволокну или меди, или радиоканал (беспроводная среда передачи).

Линии связи (каналы связи) необходимы для того, чтобы множество одновременно передаваемых сигналов не мешали друг другу в общей линии многоканальной системы. На рис. 1.1 каналы образуются оборудованием коммутаторов и формируются в среде общей линии связи.

Каналы связи разделяют на *непрерывные (аналоговые)* и *дискретные (цифровые)*. Кроме того, каналы связи могут иметь один из трех типов направленности передачи информации [1]:

- симплексный (Simplex Transmission) — передача данных в одном направлении;
- полудуплексный (Half-Duplex Transmission) — передача данных в двух направлениях, но только в одном направлении в каждый момент времени;
- дуплексный (Duplex Transmission) — передача данных одновременно в двух направлениях.

Сеть передачи информации образуется путем соединения между собой множества источников и приемников сообщений (абонентов). Соединение обеспечивается аппаратными средствами многоканальных систем и средой передачи сигналов (линиями связи).

Аппаратуру абонентов принято называть *узлами*, или *конечными устройствами (У)* сетей, которым соответствует широко распространенное англоязычное наименование *Host* (хост). Соединение многочисленных узлов (абонентов), находящихся на большом расстоянии друг от друга, обычно обеспечивается через транзитные (промежуточные) *сетевые элементы (СЭ)* (рис. 1.2).

Таким образом, *сеть передачи информации* представляет собой совокупность узлов (У) и сетевых элементов (СЭ), соединенных линиями (кана-

лами) связи. При этом сетевые элементы производят перемещение (*коммутацию*) поступившего сообщения с одного интерфейса (входного порта) на другой (выходной порт). Например, в сети (см. рис. 1.2) при передаче сообщения от узла У2 узлу У6 сетевой элемент СЭ1 производит коммутацию сообщения с входного интерфейса В на выходной интерфейс С, сетевой элемент СЭ3 — с входного интерфейса В на выходной Е. Таким образом, формируется *маршрут*, по которому осуществляется передача сообщений.

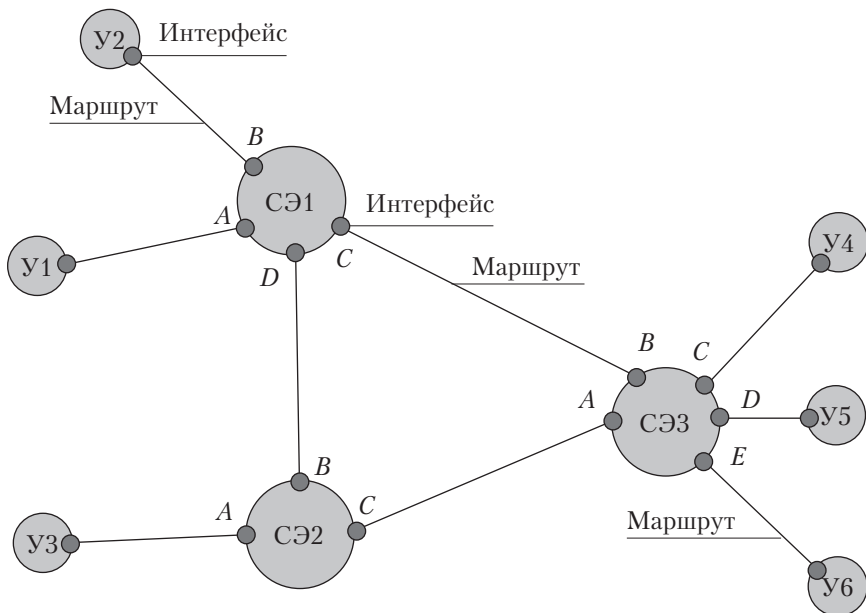


Рис. 1.2. Сеть передачи информации [3]

В некоторых сетях все возможные маршруты заранее созданы, и необходимо только выбрать оптимальный. Процесс выбора оптимального маршрута получил название *маршрутизация*, а устройство, ее реализующее, — *маршрутизатор*. Таким образом, промежуточные сетевые элементы могут выполнять функции коммутаторов, которые формируют маршрут, и (или) маршрутизаторов, которые производят выбор оптимального маршрута.

Для выбора (создания) маршрута необходимо задать *адреса* источника и получателя сообщения. Выбор оптимального маршрута сетевые элементы (маршрутизаторы) производят на основе *таблиц коммутации* (или *маршрутизации*) с использованием определенного критерия — *метрики*.

При анализе систем передачи информации рассматривается процесс передачи сигналов между сетевыми элементами и формирование каналов для передачи многих информационных потоков, а при анализе сетей передачи информации — процессы коммутации и маршрутизации, т.е. передачи *информационных потоков (трафика сообщений)* по каналам (*трактам*) линий сети связи.

*Информационный поток* — это совокупность передаваемых сообщений, или последовательность информационных единиц, объединенных общими признаками.

## 1.2. Понятие протокола. Иерархия протоколов. Интерфейсы и сервисы

Под сетевым протоколом обычно понимают совокупность правил взаимодействия двух элементов сети при обмене информацией между ними.

Большинство протоколов имеют иерархический принцип организации (рис. 1.3): нижележащий уровень предоставляет через интерфейс некоторый набор услуг (сервисов) вышележащему уровню, не раскрывая детали реализации предоставляемой услуги.

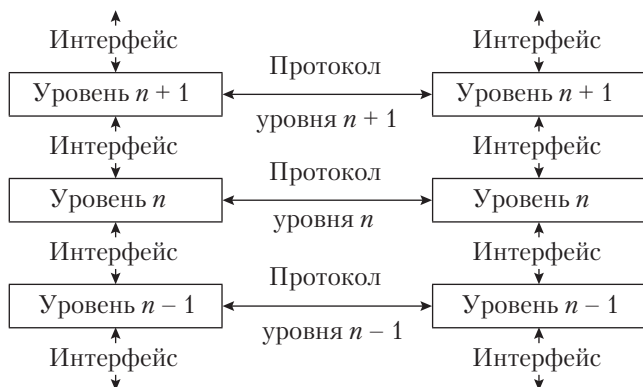


Рис. 1.3. Уровни протоколов [1; 2]

Правила и соглашения, используемые при взаимодействии уровня  $n$  одного узла и уровня  $n$  другого узла, называются *протоколом уровня  $n$* .

На каждом уровне имеется активный элемент (сущность (Entity)). *Одноранговыми сущностями* называют сущности одного уровня на разных узлах сети. Сущности уровня  $n$  предоставляют услуги уровню  $n + 1$ , т.е. являются поставщиками услуг. При этом сущности уровня  $n + 1$  являются потребителями услуг уровня  $n$ . Оказывая услуги уровню  $n + 1$ , уровень  $n$  может использовать услуги (быть потребителем) нижележащего уровня  $n - 1$ .

Сервис (услуга) определяет операции, которые будет выполнять уровень, но не реализацию этих операций. Сервис, по сути, описывает интерфейс взаимодействия двух смежных уровней — поставщика услуг (нижележащего уровня) и потребителя (вышележащего уровня).

Доступ к услугам некоторого уровня обеспечивается через *точки доступа к услуге (Service Access Point, SAP)*, т.е. посредством набора правил используемого для взаимодействия между уровнями интерфейса. Через SAP сущность вышележащего уровня передает сущности нижележащего уровня *элемент данных интерфейса (Interface Data Unit, IDU)*, который состоит из *элемента данных услуги (Service Data Unit, SDU)* и некоторой *управляющей информации (Interface Control Information, ICI)*. При этом SDU может быть разбит на несколько фрагментов. Тогда его пересылка осуществляется в виде отдельных *элементов данных протокола (Protocol Data Unit, PDU)* или *пакетов*.

Таким образом, *протокол* определяет набор правил, которые описывают формат и назначение пакетов, передаваемых между одноранговыми



сущностями внутри уровня. По сути, протокол определяет услуги уровня, на котором он работает. Протокол может претерпеть изменения, но предоставляемые услуги не должны меняться.

Протоколы разделяют на протоколы с *установлением соединения* (*Connection Oriented*) и без установления соединения (*Connectionless*). В первом случае до начала обмена данными отправитель и получатель должны установить соединение, определив предварительно некоторые параметры протокола. После завершения передачи данных (завершения сеанса передачи) соединение должно быть разорвано с помощью обмена специальными управляющими сообщениями.

Во втором случае передача данных осуществляется без организации специальной процедуры по установлению соединения с получателем отправляемых данных.

Список протоколов, который использует элемент сети, называется *стеком протоколов*. Совокупность уровней и протоколов образуют архитектуру сети.

### 1.3. Обобщенная структурная схема сети

*Архитектура сети связи* является одной из основных характеристик, определяющих состав сети, раскрывающий типы образующих ее функциональных компонентов, иерархию и характер их взаимодействия.

В связи с большим разнообразием видов передаваемых сообщений и сигналов, среды распространения, методов и устройств коммутации или маршрутизации сигналов и информационных потоков архитектура сетей связи классифицируется согласно требованиям *Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ)*.

*Единая сеть электросвязи РФ* определяется совокупностью сетей связи различного назначения и технологий, располагающихся на территории РФ. Модель архитектуры сети связи, предложенная в положении о ЕСЭ РФ, может быть представлена в виде, показанном на рис. 1.4.

Первый уровень модели — *первичная сеть* (первичные сети), образуемая на системах передачи определенных родов связи. Первичные сети разделяются на *магистральные*, *внутризоновые* и *местные* (городские и сельские). Первичная сеть представляет собой совокупность всех каналов связи независимо от назначения и вида связи; она включает линии связи и каналообразующую аппаратуру.

Второй уровень — *вторичные сети*, образуемые на базе каналов передачи первичной сети и систем коммутации, выполняющих функции распределения сообщений по заданному адресу. Вторичные сети различаются по виду передаваемых по ним сообщений: телефонные, передачи данных, телеграфные, передачи газет, звукового вещания, телевизионного вещания и др. При интеграции сетей связи вторичные сети превращаются в единую сеть, обеспечивающую передачу и распределение сообщений различных видов связи (передачи речи, данных, факсимильных сообщений и др.).

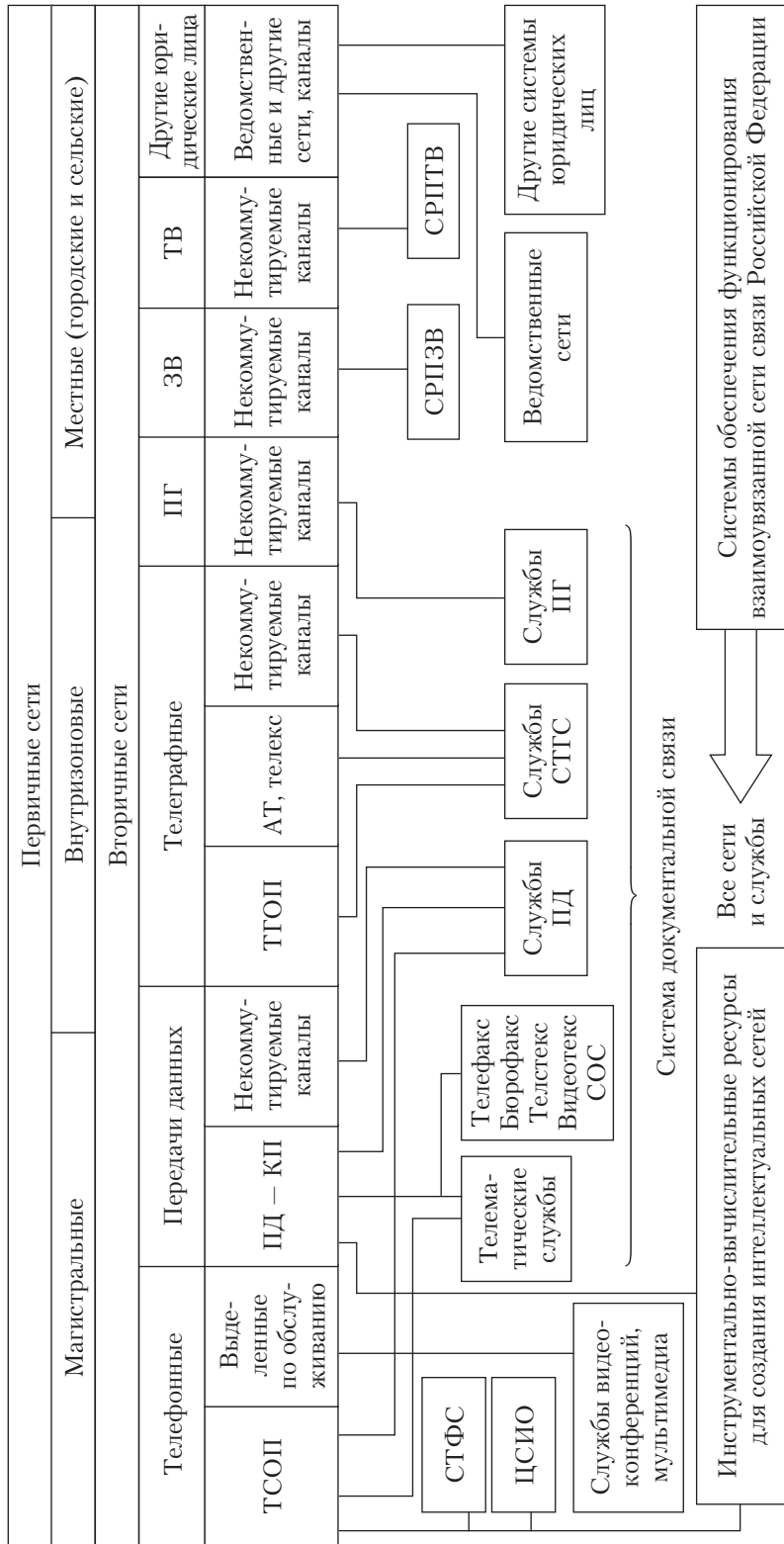


Рис. 1.4. Модель архитектуры ЕСЭ РФ:

ТСОП – телефонная сеть общего пользования; СТФС – сеть телефонной связи; СТТС – сеть телеграфной связи; ЦСИО – цифровые сети с интеграцией обслуживания; ПД – КП – передача данных – коммутация пакетов; ПД – передача данных; ТВ – телевидение; ПГ – передача газет; СРПЗВ – сети распределения программ звукового вещания; ЗВ – звуковое вещание; СРПТВ – сети распределения программ телевизионного вещания; АТ – абонентское телеграфирование

Третий уровень модели — *службы связи*, обеспечивающие предоставление пользователям услуг различных видов связи.

Четвертый уровень — *пользователь услуг связи*. Он определяется видом связи (передача речи, телеграфных и/или факсимильных сообщений, сообщений данных), а также терминальным оборудованием, имеющимся у пользователя.

При классификации сетей по категориям сети ЕСЭ подразделяются на *сети общего пользования, выделенные сети, технологические сети* и *сети связи специального назначения*.

В соответствии с выполняемыми функциями сети ЕСЭ разделяются на *сети доступа* и *транспортные сети*. По транспортной сети передаются высокоскоростные (широкополосные) потоки информации. Транспортная сеть связи включает магистральную (междугородную и международную) и зоновые (региональные) сети связи. Сеть доступа обеспечивает доступ абонентов к транспортной сети; она также называется *сетью абонентского доступа* и по территориальному признаку является местной сетью. Данная сеть состоит из абонентских линий и оконечных устройств.

Обобщенная структурная схема телекоммуникационной сети включает в себя *транспортный уровень* (магистральная сеть), *уровень доступа* (сети доступа) и *терминальное оборудование пользователей*.

Компоненты телекоммуникационной сети:

- магистральные сети;
- сети доступа;
- терминального оборудования пользователей;
- информационных центров, или *центров управления сервисами* (*Services Control Point, SCP*).

*Магистральная сеть* объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транспорт трафика между ними по высокоскоростным каналам. По сути, магистральные сети относятся к глобальным сетям связи (*Wide Area Network, WAN*).

*Сеть доступа* располагается на нижнем уровне иерархии телекоммуникационной сети и предназначена для агрегации потоков, поступающих по различным каналам связи от клиентского оборудования, в магистральной сети.

Сеть доступа представляет собой региональную сеть большой разветвленности. Она может быть многоуровневой. Сетевые элементы нижнего уровня мультиплексируют информацию, поступающую по многочисленным абонентским каналам (абонентскими окончаниями), и передают ее сетевым элементам верхнего уровня для перенаправления элементам магистралей. Размер сети доступа определяет число ее уровней — небольшая сеть доступа будет иметь один уровень, крупная — несколько.

В компьютерной сети *оконечным оборудованием* являются компьютеры, в телефонной — телефонные аппараты, в телевизионной или радиосети — соответствующие теле- или радиоприемники.

Оконечное оборудование пользователей может формировать сеть, не входящую в состав телекоммуникационной сети. Например, совокупность компьютеров пользователей организации образует *локальную сеть*

(*Local Area Network, LAN*). Локальные сети характеризуются высокой скоростью передачи данных на сравнительно небольшие расстояния.

*Информационные центры* (центры управления сервисами) предоставляют информационные сетевые услуги. В таких центрах хранится пользовательская информация (информация, непосредственно интересующая конечных пользователей) и служебная информация, помогающая поставщику услуг предоставлять услуги пользователям.

Пользовательская информация обычно содержит разнообразную справочную и новостную информацию. Подобные центры телефонных сетей оказывают, например, услуги экстренного вызова милиции или скорой помощи, а также справочные услуги различных организаций и предприятий — вокзалов, аэропортов, магазинов и т.п.

К служебной информации обычно относят различные данные системы авторизации и аутентификации пользователей, с помощью которых организация, которая владеет сетью, проверяет права пользователей на получение тех или иных услуг. Это могут быть системы биллинга, используемые для определения платы за предоставляемые услуги, или базы данных, содержащие учетные записи пользователей и перечни предоставляемых пользователям услуг.

Сети конкретного типа обладают своими особенностями, в них могут отсутствовать некоторые элементы обобщенной сети, но в целом их структура соответствует описанной выше.

## 1.4. Методы коммутации информации в сетях связи

Основными задачами, решаемыми системами коммутации в сетях передачи информации, являются:

- распределение информации;
- предоставление абонентам различного типа услуг связи;
- объединение элементов сети связи в единую систему.

Оборудование систем коммутации вместе с программным обеспечением образуют *коммутационный центр* (КЦ) сети связи.

Распределение информации может осуществляться или путем распределения каналов, или распределением информационных потоков по направлениям связи. В сетях связи информация распределяется в процессе *коммутации*.

Коммутацией называется совокупность операций, при выполнении которых сигнал, поступивший на вход элемента сети связи, называемого *системой коммутации*, поступает на ее выход с измененным идентификатором пункта назначения. Иначе под коммутацией в какой-либо системе понимается изменение координаты информационного сигнала на выходе этой системы по отношению к его координате на ее входе. Координаты могут быть пространственные, временные, спектральные, фазовые и т.п. В настоящее время применяются пространственная и временная коммутация.

Различают два вида коммутации: долговременную и оперативную. Под *долговременной* понимается коммутация, выполняемая вне зависимости от поступления заявки от источника информации на передачу одиночного

сообщения. Коммутация этого вида осуществляется по плану (схеме) связи или по команде от системы (лица) управления связью.

*Оперативной* называется коммутация, осуществляемая по заявке источника информации (абонента) на установление соединения для передачи одного сообщения. После передачи каждого сообщения (по сигналу «отбой») установленное соединение разрушается. Различают несколько типов оперативной коммутации. В сетевых технологиях наиболее часто находят применение коммутация каналов и коммутация пакетов [1; 2]:

- коммутация каналов (Circuit Switching) – режим передачи, при котором на время передачи информации (до разъединения соединения) формируется составной канал (соединение), проходящий через несколько транзитных узлов;

- коммутация сообщений (Message Switching) – режим передачи, при котором осуществляется прием, хранение, выбор исходящего направления и дальнейшая передача сообщений без нарушения их целостности;

- коммутация пакетов (Packet Switching) – режим передачи сообщений, при котором сообщения разбиваются на пакеты ограниченного размера, причем канал передачи занят только во время передачи пакета и освобождается после ее завершения;

- коммутация ячеек (Cell Switching) – режим передачи пакетов фиксированного размера.

В сети связи между двумя коммутационными центрами могут использоваться простые либо составные каналы связи (каналы передачи). Простой канал связи (передачи) образуется на базе одной системы передачи (СП) и состоит из двух комплектов каналообразующей аппаратуры (КОА), соединенных направляющей системой (НС) или, по-другому, средой распространения сигналов электросвязи. Составной канал связи представляет собой два и более последовательно соединенных простых каналов (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Структура составного канала

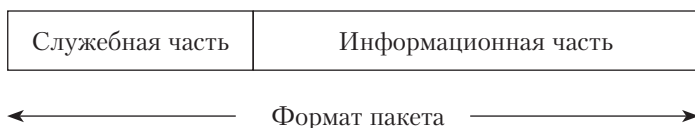
Коммутация каналов может осуществляться по заявке абонента (источника информации) на время передачи одного сообщения (оперативная коммутация каналов) либо оператором связи по плану или по запросу другого оператора вне зависимости от конкретной заявки на передачу сообщений (долговременная или кроссовая коммутация каналов). В первом случае примерами могут служить соединения между абонентами на местной либо междугородной телефонных сетях; во втором случае – закрепление

оконечной аппаратуры связи за конкретным типовым каналом связи или образование составного канала на кроссе узла связи.

Так как созданный (скоммутированный) канал связи выделяется в полное распоряжение пары абонентов, то он обеспечивает требуемое качество передачи сообщения. Например, технологии коммутации каналов широко используются в телефонных сетях общего пользования (ТфОП). Однако при этом каналы связи используются неэффективно. Паузы между словами и, особенно, между фразами могут быть достаточно большими. Поэтому коэффициент использования канала часто оценивают величиной 0,25.

В отличие от сетей с коммутацией каналов сети с коммутацией пакетов могут более эффективно использовать свои ресурсы. При передаче информации важно обеспечить надежность ее доставки получателю. Надежность обеспечивается не только за счет использования надежных аппаратных средств связи, но и за счет повторной передачи сообщения в случае его потери или искажения. Поэтому большие сообщения делятся на сравнительно небольшие *пакеты*. При потере части сообщения повторно передается не все сообщение, а только потерянный или искаженный пакет.

Каждому пакету присваивается адрес получателя информации и признак принадлежности пакета к данному сообщению. В ряде случаев пакету присваивается его порядковый номер в данном сообщении. Формат пакета включает две части: *служебную* и *информационную* (рис. 1.6). Служебная часть пакета содержит адрес получателя сообщения, а также другую служебную информацию.



**Рис. 1.6. Формат пакета при коммутации пакетов**

По внешнему виду каждый пакет формально представляет собой независимое сообщение.

Для исключения потерь передаваемых по сети пакетов данные сетевые устройства должны иметь *буферы памяти* на своих интерфейсах, с тем чтобы в них хранились пакеты, ожидающие своей очереди на обработку. Для обеспечения требуемой надежности передачи сообщений по сети наряду с повторной передачей пакетов данных и использования буферов памяти на интерфейсах сеть должна работать в недогруженном режиме, когда средняя интенсивность поступления данных будет меньше средней интенсивности их обработки.

Примером сетей с коммутацией пакетов являются компьютерные сети, которые создавались для передачи цифровых данных.

В создаваемых в настоящее время мультисервисных *сетях следующего поколения (Next Generation Network, NGN)* технология коммутации пакетов используется для передачи всех видов трафика (аудиосигналов IP-телефонии, видеoinформации, компьютерных данных). Однако требования к *качеству обслуживания (Quality of Service, QoS)* разных видов передаваемого трафика будут различны.

Например, при передаче по сети с коммутацией пакетов трафика аудиосигналов IP-телефонии, который чувствителен к задержкам пакетов и вариации задержек, указанные параметры должны быть минимизированы. Каналы передачи видеoinформации должны характеризоваться малыми задержками и возможностью передачи большого объема данных с высокой скоростью. При передаче компьютерных данных, которые слабо чувствительны к задержкам, однако очень чувствительны к потерям и искажениям пакетов (сообщений), важно обеспечить *надежность* за счет повторной передачи потерянных или искаженных пакетов.

Характерным для коммутации пакетов является «эстафетная» передача пакета от терминала связи (ТС) источника информации к коммутационному центру КЦ1 через запоминающее устройство (ЗУ1), далее от КЦ1 к КЦ2 через ЗУ2, от КЦ2 к КЦ3 через ЗУ3 и т.д. к терминалу связи потребителя информации (рис. 1.7).

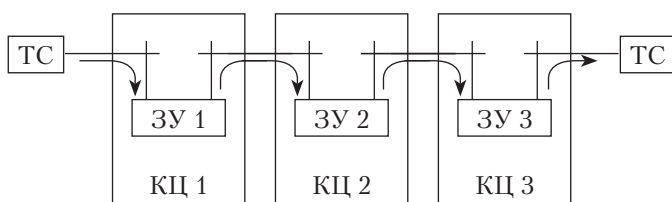


Рис. 1.7. Принцип коммутации пакетов

В зависимости от принятых на сети связи алгоритмов передачи и коммутации пакетов различают *виртуальные* или *дейтаграммные* соединения или сети. При реализации виртуальных соединений все пакеты одного сообщения передаются по одному пути, определенному при установлении соединений для первого пакета данного сообщения. В этом случае для сокращения времени передачи сообщения во всех пакетах, кроме первого, информация о номере вызываемого абонента из служебной части пакета может быть исключена (остается лишь признак принадлежности пакета к данному сообщению). Примером сетей с виртуальными каналами являются сети Frame Relay, ATM.

При дейтаграммном способе передачи пакетизированных сообщений каждый пакет ищет на сети связи свой (оптимальный на момент его поступления) путь от источника к потребителю информации. Естественно, что при этом каждый из них должен в своей служебной части содержать полный адрес вызываемого абонента. На окончном (приемном) пункте все пакеты объединяются (агрегируются, сшиваются) в одно сообщение. Однако при этом следует учесть, что ввиду независимости прохождения пакетов по сети связи со сложной структурой может случиться, что ранее поступивший пакет может выбрать более длинный путь, чем пакет, поступивший после него, который выбрал более короткий путь. В таком случае может возникнуть ситуация, при которой на конечный пункт сети раньше придет пакет, переданный позже. То есть пакеты будут приняты не в том порядке, в котором передавались. Для правильной «сшивки» сообщения из поступающих пакетов каждый из них в служебной части должен содер-

жать свой идентификационный номер в данном сообщении. На «сшивку» сообщения отводится определенное время, в течение которого все поступившие из сети пакеты распределяются по их порядковым номерам. Пакет, поступивший по истечении этого времени, теряется. Примером действующих сетей являются IP-сети.

Использование того или иного вида или типа коммутации принципиально не зависит ни от вида связи (телефонная, телеграфная, факсимильная, передачи данных и др.), ни от формы образующих сообщения сигналов (аналоговые, дискретные). Однако при выборе вида и типа коммутации необходимо учитывать требования к качеству обслуживания поступающих сообщений.

Эффективность сетей с пакетной коммутацией выше, чем сетей с коммутацией каналов, что предопределило использование сетей с коммутацией пакетов для передачи всех видов трафика, т.е. мультисервисных сетей следующего поколения (NGN).

В сетях следующего поколения обеспечивается конвергенция существующих на данный момент сетей в единую информационную сеть связи, базирующуюся на сетях передачи данных. Пользователям сети NGN предоставляется широкий спектр услуг с гарантированным качеством.

## 1.5. Основные технологии сетей передачи данных

Сети телекоммуникаций можно классифицировать<sup>1</sup> по нескольким параметрам [1; 2]:

- 1) по размеру:
  - локальные (LAN) — сети здания или организации;
  - региональные (Metropolitan Area Network, MAN) — сети уровня города или региона;
    - глобальные (WAN) — сети, охватывающие большие территории и включающие в себя десятки и сотни тысяч компьютеров;
- 2) по типу коммутации:
  - с коммутацией пакетов (TCP/IP, IPX/SPX, ATM, сети сотовой связи 3G);
  - с коммутацией каналов (ТфОП, сети сотовой связи 1G и 2G);
  - смешанные (сети сотовой связи 2,5G);
- 3) по установлению виртуального канала:
  - с установлением (сети X.25, Frame Relay, ATM, ТфОП);
  - без установления (сети TCP/IP, IPX/SPX);
- 4) по используемому стеку протоколов;
- 5) по количеству используемых стеков протоколов:
  - монопротокольные;
  - мультипротокольные (IP over ATM, IP over SDH/SONET);
- 6) по спектру оказываемых услуг:
  - моносервисные (передача данных, передача голоса);
  - мультисервисные;

---

<sup>1</sup> Заметим, что мы строим классификацию, а не таксономию.



- 7) по типу передаваемой информации:
  - передачи данных;
  - передачи голоса;
  - передачи видео;
- 8) по наличию сигнализации:
  - с выделенной сигнализацией (SS7);
  - без выделенной сигнализации (TCP/IP);
- 9) по топологии сети:
  - шина;
  - кольцо;
  - звезда;
  - со смешанной топологией;
- 10) по среде передачи:
  - проводные сети:
    - связь осуществляется по медному кабелю,
    - связь осуществляется по оптоволокну;
  - беспроводные сети.

Сеть, размещенная на ограниченной территории, например, в отдельном здании, считается локальной вычислительной сетью (ЛВС, LAN). Локальные сети характеризуются высокой скоростью передачи данных на сравнительно небольшие расстояния. На данный момент локальные сети строятся в основном на базе технологии Ethernet и ее модификаций (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet).

Совокупность нескольких локальных сетей, объединенных линиями связи, называют составной, распределенной или *глобальной сетью* (*Internetwork, Internet*). Такие сети могут состоять из *подсетей* (*subnet*) различных технологий. Сети крупных фирм (Intranet) могут использовать технологии как локальных, так и глобальных сетей. Таким образом, глобальные вычислительные сети (WAN) характеризуются тем, что пользователи этих сетей могут находиться на большом (в географическом смысле) расстоянии друг от друга, например, в разных городах, но при этом совместно использовать информационные данные.

Глобальные сети передачи цифровых данных строят на основе различных сетевых технологий, в том числе сетей с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов.

Сети с коммутацией пакетов базируются на протоколе IP (*Internet Protocol*), использующим дейтаграммный метод передачи сообщений. С IP-сетями совместимы сети на базе *протокола коммутации по меткам* (*Multi Protocol Label Switching, MPLS*). В настоящее время MPLS рассматривается в качестве основной транспортной технологии для сетей с пакетной коммутацией. Технология *Ethernet операторского класса для глобальных сетей* (*Carrier Ethernet Transport, CET*) пока не получила широкого распространения, однако имеет хорошие перспективы широкого внедрения. Сети, использующие технологии виртуальных каналов (X.25; сети трансляции кадров; сети асинхронной передачи данных), постепенно вытесняются.

Глобальные сети с коммутацией каналов используют технологии *синхронной цифровой иерархии* (*Synchronous Digital Hierarchy, SDH*), *плезео-*

хронной цифровой иерархии (*Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH*), а также технологии *оптических линий связи спектрального уплотнения по длине волны (Wave-length Division Multiplexing, WDM)*. В настоящее время внедряются технологии *оптических транспортных сетей — ОТС (Optical Transport Network, OTN)*, объединивших технологии систем цифровой иерархии SDH и спектрального уплотнения по длине волны WDM.

Технологии PDH, SDH характеризуются высокой скоростью передачи данных. По сетям PDH передача данных осуществляется со скоростью от 2 до 139 Мбит/с, а в сетях SDH — от 155 до 40 Гбит/с. В системах со спектральным уплотнением по длине волны (технологии CWDM, DWDM) на волоконно-оптических кабелях данные передаются с еще большей скоростью. Основными аппаратными средствами высокоскоростных технологий с коммутируемыми цифровыми линиями связи являются мультиплексоры (MUX).

В сетях с коммутацией пакетов в зависимости от предъявляемых требований могут использоваться технологии виртуальных каналов, применяемые в сетях ATM, Frame Relay или технологии передачи дейтаграммных сообщений — сети IP-технологий. В сетях с виртуальными каналами предварительно прокладывается маршрут, по которому передаются данные. После приема данных адресат подтверждает их получение. Это обеспечивает надежность передачи.

Технология X.25 использует ненадежные аналоговые линии связи. Ее характерной чертой является низкая скорость передачи данных (до 48 кбит/с). Тем не менее X.25 используется, например, в сетях банкоматов, поскольку обеспечивает высокую надежность передачи данных при ненадежных линиях.

Технология Frame Relay обеспечивает более высокую по сравнению с X.25 скорость передачи данных до 2–4 Мбит/с. Но линии связи должны быть более надежными по сравнению с X.25. Более высокую скорость передачи данных (155 Мбит/с или 620 Мбит/с, а также 2,4 Гбит/с) обеспечивают сети ATM. Однако развитие этих сетей сдерживает их высокая стоимость.

Компромиссное решение по цене и скорости передачи данных предоставляют IP-сети, получившие в настоящее время наиболее широкое распространение. Поэтому на базе IP-сетей создается транспортный уровень мультисервисных сетей NGN с распределенной коммутацией пакетов.

Еще одна технология — технология *виртуальных частных сетей (Virtual Private Network, VPN)* использует для передачи данных сеть общего пользования Интернет, формируя защищенные каналы связи с гарантированной полосой пропускания и требуемым уровнем безопасности передаваемой информации. Таким образом, сети VPN при экономичности и доступности обеспечивают безопасность и секретность передаваемых сообщений. Использование VPN позволяет сотрудникам фирмы получить безопасный дистанционный доступ к корпоративной сети компании через Интернет.

## 1.6. Стандартизирующие организации

Организации в международной системе стандартизации можно разделить следующим образом [1; 2].

- Официальные международные организации стандартизации:
  - *Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO)*. Создана в 1946 г., включает в себя национальные организации стандартизации из 157 стран мира, в частности, ANSI (США), Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Россия), BSI (Великобритания), AFNOR (Франция) и др., обладает полномочиями для координирования на международном уровне разработки различных промышленных стандартов и принятия их в качестве международных стандартов;

- *Международный союз электросвязи, МСЭ (International Telecommunication Union, ITU)*<sup>1</sup>. Занимается стандартизацией международных средств связи и состоит из трех основных секторов:

- а) сектор стандартизации телекоммуникаций (ITU-T<sup>2</sup>) — занимается вопросами, связанными с телефонными системами и системами передачи данных<sup>3</sup>;

- б) сектор радиосвязи (ITU-R) — распределяет радиочастоты между конкурирующими компаниями, решает спорные вопросы в данной области;

- в) сектор развития (ITU-D) — занимается вопросами стратегии и политики развития систем электросвязи.

- Региональные организации стандартизации:

- *Европейский институт стандартизации в области телекоммуникаций (European Telecommunications Standards Institute, ETSI)*. Создан в 1988 г., отвечает за стандартизацию информационных и телекоммуникационных технологий в пределах Европы;

- *Центр сетевых информационных технологий Азиатско-Тихоокеанского региона (Asia Pacific Network Information Centre, APNIC)*, отвечает за распределение сетевых ресурсов в Азиатско-Тихоокеанском регионе;

- национальные организации стандартизации:

- *Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Россия)*;

- *Американский институт национальных стандартов (American National Standards Institute, ANSI)*;

- и др.;

- промышленные консорциумы:

- *Сообщество инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE)*. Целью данной организации является продвижение теоретических и прикладных достижений электротехнической и электронной индустрии;

- *Рабочая группа по проектированию интернет-технологий (Internet Engineering Task Force, IETF)*. IETF представляет собой сообщество разработчиков, операторов, изготовителей и исследователей в области сетевых

---

<sup>1</sup> ITU также принято переводить как Международный телекоммуникационный союз.

<sup>2</sup> С 1956 по 1993 г. ITU-T именовался ССИТТ (Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique) — Консультативный комитет по международной телефонной и телеграфной связи.

<sup>3</sup> Рекомендации ITU-T часто становятся международными стандартами, хотя любая страна может и проигнорировать их.

технологий. В основе интернет-стандартизации лежит технология издания и поддержания RFC-документов — спецификаций, разработанных различными организациями и рабочими группами IETF;

— *Интернет-сообщество (Internet Society, ISOC)*. ISOC представляет собой ассоциацию экспертов, отвечающих за разработку стандартов технологий сети Интернет;

— Консорциум, специализирующийся в области разработки и развития стандартов WWW-технологий (*World Wide Web Consortium, W3C*).

## Резюме

1. Телекоммуникационная сеть образуется совокупностью конечных узлов и сетевых элементов, соединенных линиями (каналами) связи.
2. Аппаратура абонентов называется конечными узлами (хостами, Host).
3. Соединение узлов (абонентов) между собой производится через транзитные — промежуточные сетевые элементы (СЭ).
4. Различают сети с коммутацией каналов, когда сетевые элементы выполняют функции коммутаторов, и с коммутацией пакетов (сообщений), когда сетевые элементы выполняют роль маршрутизаторов.
5. Архитектура сетей связи классифицируется согласно требованиям Единой сети электросвязи Российской Федерации (ЕСЭ РФ).
6. Терминальным оборудованием сети являются компьютеры, телефонные аппараты, теле- или радиоприемники.
7. Локальные сети объединяют пользователей в пределах комнаты, здания или группы близко стоящих зданий (кампуса). Локальные сети строятся на базе протокола Ethernet и его модификаций (Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet).
8. Магистральная сеть объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транспорт трафика между ними по высокоскоростным каналам.
9. Для создания маршрута в разветвленной сети необходимо задавать адреса источника и получателя сообщения.
10. Сети передачи данных с коммутацией пакетов подразделяются на локальные и глобальные.
11. В создаваемых в настоящее время мультисервисных сетях следующего поколения (NGN) технология коммутации пакетов используется для передачи всех видов трафика.
12. Различают виртуальные и дейтаграммные соединения или сети.
13. Технологии виртуальных каналов применяются в сетях ATM, Frame Relay.
14. Сети технологии IP являются дейтаграммными, когда отсутствует предварительное соединение конечных узлов и нет подтверждения приема сообщения.
15. Высокую надежность обеспечивает протокол управления передачей TCP.

## Контрольные вопросы

1. Что собой представляют телекоммуникационные сети?
2. Чем отличаются сети с коммутацией каналов от сетей с коммутацией сообщений (пакетов)?
3. Какие функции выполняет маршрутизатор?
4. Что собой представляет метрика протокола маршрутизации?
5. Чем отличаются коммутации пакетов от коммутации сообщений?
6. Что содержит служебная информация пакетов?
7. Чем отличаются локальные и глобальные сети передачи данных?

8. Чем отличаются виртуальные и дейтаграммные соединения?
9. Какой протокол обеспечивает надежность передачи данных?
10. Какие технологии (коммутации каналов или коммутации пакетов) используются в мультисервисных сетях следующего поколения (NGN) для передачи всех видов трафика? Почему?
11. Что такое протокол?
12. Что такое интерфейс?
13. Дайте определение следующим понятиям: сеть связи, линия связи, технология коммутации, протокол, услуга, интерфейс.
14. Приведите классификацию сетей телекоммуникаций.
15. Укажите основные стандартизирующие организации в сфере телекоммуникаций, охарактеризуйте их деятельность.

## Глава 2

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

---

В результате освоения главы 2 студент должен:

**знать**

- эталонную модель взаимодействия открытых систем;
- модели TCP/IP, IEEE802;
- перечень основных протоколов различных стеков сетей и систем передачи информации;

**уметь**

- определять стеков место в модели взаимодействия открытых систем, на основе знания их основных функций протоколов;
- моделировать взаимодействия систем на основе знаний иерархии протоколов в стеках;

**владеть**

- методами проверки основных характеристик уровней модели взаимодействия открытых систем;
  - навыками оценки характеристик протоколов различных стеков.
- 

В данной главе раскрывается понятие эталонной модели открытых систем (OSI), дается подробная характеристика каждого ее уровня, рассматриваются иерархия протоколов в различных стеках (OSI, TCP/IP, IEEE802, IPX/SPX, NetBIOS/SMB, H.323, SS7) и их соотношение с уровнями модели OSI, дается краткое описание некоторых протоколов рассматриваемых стеков. В основу главы положены материалы из источников [1–12].

### 2.1. Обзор эталонной модели OSI

Сложность сетевых структур и разнообразие телекоммуникационных устройств, выпускаемых различными фирмами, привели к необходимости стандартизации как устройств, так и процедур обмена данными между пользователями. В начале 1980-х гг. при содействии ряда международных организаций, в частности Международной организации по стандартизации, была создана базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection reference model, OSI), которая определила концепцию и методологию создания сетей передачи данных.

Модель описывает стандартные правила функционирования и взаимодействия устройств и программных средств при обмене данными

между узлами в открытой системе. Открытая система состоит из программно-аппаратных средств, способных взаимодействовать между собой при использовании стандартных правил и интерфейсов.

Модель OSI имеет иерархическую структуру и четко определяет семь уровней взаимодействия систем, стандартизует имена уровней и указывает услуги и функции каждого уровня (рис. 2.1).

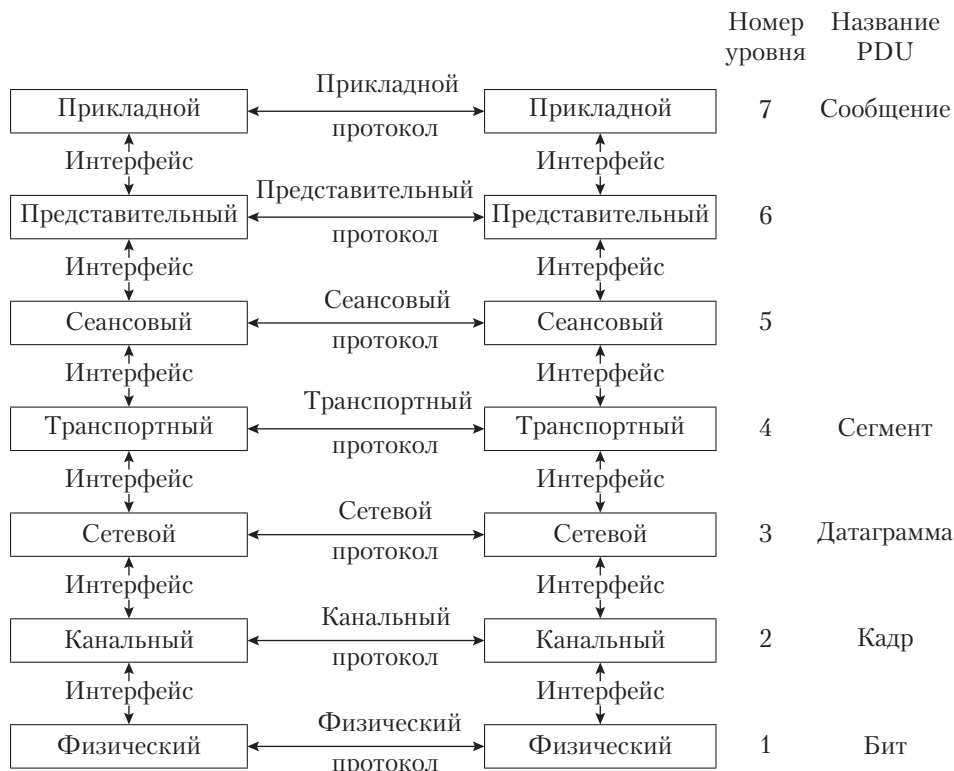


Рис. 2.1. Эталонная модель OSI [1; 2]

Как было сказано в параграфе 1.2, нижележащий уровень посредством *интерфейса* предоставляет некоторый набор услуг (сервисов) для вышележащего.

Одноранговые сущности модели обмениваются определенными фрагментами данных (PDU):

- на физическом уровне – последовательность битов;
- на канальном уровне – кадры (Frame);
- на сетевом уровне – пакеты (Packet);
- на транспортном уровне – сегменты (Segment);
- на трех верхних уровнях – сообщения (Data).

При взаимодействии двух узлов сети данные последовательно проходят на первом узле от уровня приложений до физического уровня, затем передаются по физической среде на физический уровень второго узла и постепенно доходят до его уровня приложений. При этом в процессе про-

хождения уровней на узле происходит инкапсуляция (деинкапсуляция) передаваемых PDU (рис. 2.2).

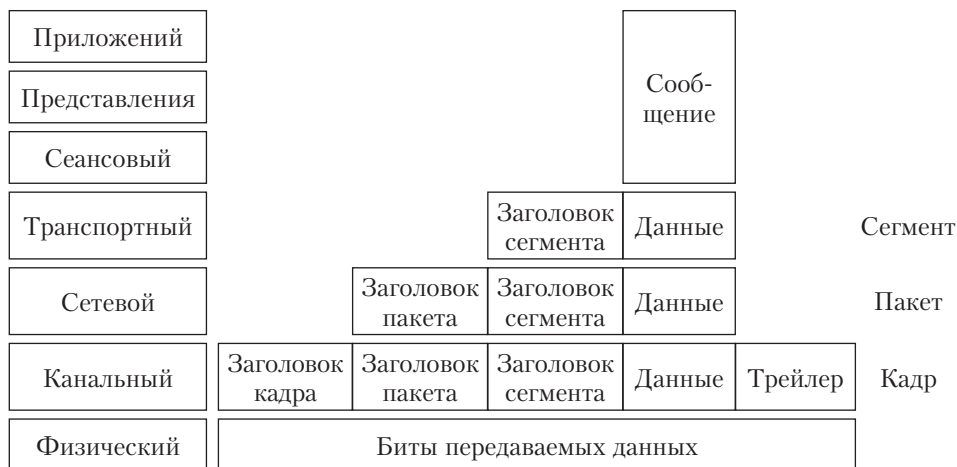


Рис. 2.2. Инкапсуляция данных [3]

Передаваемое сообщение, сформированное приложением, проходит три верхних сетезависимых уровня и поступает на транспортный уровень, где делится на части и каждая часть инкапсулируется (помещается) в сегмент данных (см. рис. 2.2). В заголовке сегмента содержится идентификатор протокола верхнего уровня, с помощью которого подготовлено сообщение, и идентификатор протокола, который будет обрабатывать данный сегмент.

На сетевом уровне сегмент инкапсулируется в пакет данных, в заголовке (header) которого содержатся в том числе и сетевые адреса отправителя (*Source Address, SA*) и получателя (*Destination Address, DA*).

На канальном уровне пакет инкапсулируется в кадр, в заголовке которого, в частности, содержатся физические адреса узла передатчика и приемника. Кроме того, на этом уровне добавляется *трейлер* (концевик) кадра, содержащий информацию, необходимую для проверки правильности принятой информации. Таким образом, происходит обрамление данных заголовками со служебной информацией, т.е. инкапсуляция данных.

### 2.1.1. Принципы построения модели OSI

Эталонная модель OSI базируется на следующих принципах:

- 1) уровень должен создаваться по мере необходимости выделения отдельного уровня абстракции;
- 2) каждый уровень должен выполнять строго определенную функцию;
- 3) функции для каждого уровня должны выбираться с учетом создания стандартизованных международных протоколов;
- 4) границы между уровнями должны выбираться так, чтобы поток данных между интерфейсами был минимальным;
- 5) количество уровней должно быть достаточно большим, чтобы различные функции не объединялись в одном уровне без необходимости, но не слишком высоким, чтобы архитектура не становилась громоздкой.



### 2.1.2. Уровни в модели OSI

Одним из важнейших принципов OSI является то, что сетевые системы взаимодействуют друг с другом на одинаковых уровнях модели. Дадим краткое описание уровней модели OSI (см. рис. 2.1).

**Уровень 1. Физический уровень (*Physical Layer*)** обеспечивает передачу битовых потоков без каких-либо изменений между логическими объектами уровня звена данных по физическим соединениям.

На данном уровне определяются базовые механизмы кодирования и декодирования двоичных данных в физическом носителе, а также специфицируются соединители, но не сама среда. Среда, согласно эталонной модели, рассматривается как нечто, лежащее ниже физического уровня. Битовый поток в носителе должен быть независим от типа среды.

Физический уровень предоставляет канальному уровню следующие услуги и элементы услуг:

- физические соединения;
- физические сервисные блоки данных;
- физические оконечные пункты соединения;
- осуществляет идентификацию канала данных;
- осуществляет упорядочение;
- осуществляет оповещение об ошибках;
- определяет параметры качества услуги.

На физическом уровне выполняются следующие функции:

- активизация и деактивизация физического соединения;
- передача физических сервисных блоков данных;
- административное управление физическим уровнем.

**Уровень 2. Канальный уровень (*Data Link Layer*)** также носит названия *уровень управления передачей данных (*Data Link Control, DLC*)* или *уровень звена данных*.

Канальный уровень обеспечивает функциональные и процедурные средства для установления, поддержания и разрыва соединений канального уровня между сетевыми логическими объектами и для передачи сервисных блоков данных этого уровня. Соединение канального уровня строится на основе одного или нескольких физических соединений.

Канальный уровень обнаруживает и по возможности исправляет ошибки, которые могут возникнуть на физическом уровне. Кроме того, канальный уровень обеспечивает для сетевого уровня возможность управлять подключением каналов данных на физическом уровне. Единицу информации на канальном уровне называют *кадром (*Frame*)*.

Канальный уровень предоставляет следующие услуги или элементы услуг сетевому уровню:

- соединение;
- сервисные блоки данных;
- идентификаторы оконечного пункта соединения;
- осуществляет упорядочение блоков данных;
- осуществляет оповещение об ошибках;
- управляет потоком данных;
- определяет параметры качества услуги.

На канальном уровне выполняются следующие функции:

- установление и разрыв соединения;
- отображение сервисных блоков данных;
- расщепление соединения;
- разграничение и синхронизация;
- упорядочение блоков данных;
- обнаружение ошибок;
- восстановление при ошибках;
- управление потоком данных;
- идентификация и обмен параметрами;
- управление переключением каналов данных;
- административное управление.

**Уровень 3. Сетевой уровень (Network Layer)** предоставляет средства установления, поддержания и разрыва сетевого соединения, а также функциональные и процедурные средства для обмена по сетевому соединению сетевыми сервисными блоками данных между транспортными логическими объектами.

Сетевой уровень обеспечивает транспортным логическим объектам независимость от функций маршрутизации и ретрансляции, связанных с процессами установления и функционирования данного сетевого соединения.

Все функции ретрансляции и расширенные протоколы последовательного переноса данных, которые предназначены для поддержания сетевых услуг между оконечными открытыми системами, функционируют ниже транспортного уровня. Единицу информации на сетевом уровне называют *датаграммой или дейтаграммой (Datagram)*.

Основной услугой сетевого уровня является обеспечение передачи данных без каких-либо изменений между транспортными логическими объектами, т.е. структура и содержание данных, предоставляемых для передачи, определяется уровнями, расположенными выше сетевого.

Услуги, предоставляемые на каждом из концов сетевого соединения, одинаковы и в том случае, когда сетевое соединение проходит через несколько подсетей, каждая из которых предоставляет различные услуги.

Сетевой уровень предоставляет следующие услуги:

- сетевые адреса;
- сетевые соединения;
- сетевые идентификаторы оконечных пунктов соединения;
- осуществляет передачу сетевых сервисных блоков данных;
- определяет параметры качества услуги;
- оповещает об ошибках;
- упорядочивает блоки данных;
- управляет потоком данных;
- осуществляет передачу срочных сетевых сервисных блоков данных;
- осуществляет сброс;
- осуществляет разрыв сетевого соединения.

Некоторые из этих услуг являются необязательными:

- пользователь должен запросить услугу;
- поставщик сетевой услуги может удовлетворить запрос или сообщить, что запрошенная услуга недоступна.

Функции сетевого уровня обеспечивают использование различных конфигураций для поддержки сетевых соединений: от соединений, поддерживаемых двухпунктовыми сетевыми конфигурациями, до сетевых соединений, поддерживаемых сочетаниями подсетей с различными характеристиками.

Сетевой уровень выполняет следующие функции:

- маршрутизацию и ретрансляцию;
- организацию сетевых соединений;
- мультиплексирование сетевого соединения;
- сегментирование и объединение;
- обнаружение ошибок;
- восстановление при ошибках;
- упорядочение блоков данных;
- управление потоком данных;
- передачу срочных данных;
- сброс;
- выбор услуги;
- административное управление сетевым уровнем.

**Уровень 4. Транспортный уровень (*Transport Layer*)** обеспечивает передачу данных без каких-либо изменений между сеансовыми логическими объектами и освобождает их от выполнения операций, обеспечивающих надежную и экономически эффективную передачу данных.

Транспортный уровень оптимизирует использование доступных сетевых услуг, чтобы обеспечить пропускную способность, требуемую каждым сеансовым логическим объектом, при минимальных затратах. Эта оптимизация достигается путем внесения ограничений, обусловленных совместными требованиями со стороны всех одновременно работающих сеансовых логических объектов, а также общим качеством и объемом сетевых услуг, предоставляемых транспортному уровню.

Все протоколы, определенные на транспортном уровне, имеют межколичественный характер. Под окончаниями понимают связанные транспортные логические объекты. Поскольку сетевые услуги обеспечивают сетевые соединения между транспортными логическими объектами по принципу «каждый с каждым», включая использование последовательно соединенных подсетей, то транспортный уровень освобождается от функций маршрутизации и ретрансляции.

На транспортном уровне имеются функции, обеспечивающие требуемое качество услуг на основе услуг, предоставляемых сетевым уровнем. Качество сетевых услуг зависит от того, как они реализуются.

Транспортный уровень однозначно идентифицирует каждый сеансовый логический объект с помощью транспортного адреса. Транспортные услуги предоставляют средства для установления, поддержания и разрыва транспортного соединения. Транспортное соединение обеспечивает дуплексную передачу между двумя транспортными адресами.

Для одной пары транспортных адресов может быть установлено несколько транспортных соединений. Сеансовые логические объекты используют идентификаторы оконечных пунктов транспортных соедине-

ний, обеспечиваемые транспортным уровнем для распознавания этих пунктов.

Качество услуг при предоставлении транспортного соединения зависит от класса обслуживания, запрашиваемого сеансовым логическим объектом при установлении транспортного соединения. Выбранное качество обслуживания поддерживается в течение существования транспортного соединения.

Транспортным уровнем предоставляются следующие виды услуг:

- установление транспортного соединения;
- передача данных;
- разрыв транспортного соединения.

На транспортном уровне могут быть реализованы следующие функции:

- преобразование транспортного адреса в сетевой;
- межоконечное мультиплексирование транспортных соединений в сетевые;
- установление и разрыв транспортных соединений;
- межоконечное упорядочение блоков данных по отдельным соединениям;
- межоконечное обнаружение ошибок и необходимый контроль за качеством услуг;
- межоконечное восстановление после ошибок;
- межоконечное сегментирование, объединение и сцепление;
- межоконечное управление потоком данных по отдельным соединениям;
- супервизорные функции;
- передача срочных транспортных сервисных блоков данных.

**Уровень 5.** *Сеансовый уровень (Session Layer)* реализует службу имен (отображение логических имен в сетевые адреса), устанавливает сеансы между службами и создает точки для контрольной синхронизации в случае потери связи.

Сеансовый уровень выполняет пять функций:

- отображение сеансового соединения на транспортное соединение;
- управление потоком данных в сеансовом соединении;
- передачу срочных данных;
- восстановление сеансового соединения;
- административное управление сеансовым уровнем.

**Уровень 6.** *Уровень представления (Presentational Layer)* устанавливает способы представления информации, которой обмениваются прикладные логические объекты или на которую они ссылаются в процессе этого обмена.

Уровень представления охватывает два взаимодополняющих аспекта способов представления информации:

- представление данных, подлежащих передаче между прикладными логическими объектами;
- представление структуры данных, которую прикладные логические объекты намереваются использовать в своем диалоге, наряду с представлениями совокупности действий, которые могут быть выполнены над этой структурой данных.