

# «Компьютерные сети»

Лектор: **АЛИЕВ Тауфик Измайлович, д.т.н., профессор**

**[tialiev@itmo.ru](mailto:tialiev@itmo.ru)**

**(комн. 1334)**

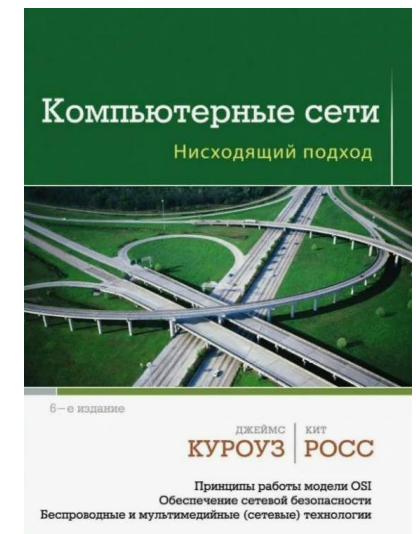
---

**Национальный исследовательский университет ИТМО  
(НИУ ИТМО)**

*Факультет программной инженерии и компьютерной техники*

# Рекомендуемая литература

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 5-е изд. (**Юбилейное издание**) – СПб: Питер, 2016 (**2021**). – 944 с. (**1005с.**)
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 6-е изд. – СПб: Питер, 2023. – 992 с.
3. Куроуз Дж. Компьютерные сети: Нисходящий подход / Джеймс Куроуз, Кит Росс – 6-е изд. – М.: Издательство «Э», 2016.–912 с.
4. Алиев Т.И. Сети ЭВМ и телекоммуникации. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 400 с.  
[https://books.ifmo.ru/book/628/seti\\_evm\\_i\\_telekommunikacii.htm](https://books.ifmo.ru/book/628/seti_evm_i_telekommunikacii.htm)
5. Учебно-методические материалы по дисциплине «Компьютерные сети» в ИСУ ИТМО.



# **Разделы дисциплины**

**Раздел 1. Принципы организации компьютерных сетей**

**Раздел 2. Технологии локальных сетей**

**Раздел 3. Глобальная сеть Интернет**

**Раздел 4. Транспортные технологии глобальных сетей**

**Раздел 5. Заключительный раздел**

## Раздел 1

# Принципы организации компьютерных сетей

- 1.1. Основные понятия и терминология
- 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей
- 1.3. Структурная организация компьютерных сетей
- 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей
- 1.5. Стеки сетевых протоколов
- 1.6. Многообразие современных компьютерных сетей

### Основная литература:

- 1. Алиев Т.И. Сети ЭВМ и телекоммуникации. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 400 с. (Раздел 1. Общие принципы организации сетей ЭВМ)
- 2. Файл в ИСУ ИТМО: [P1 КС конспект ПОКС.pdf](#)

# 1.1. Основные понятия и терминология

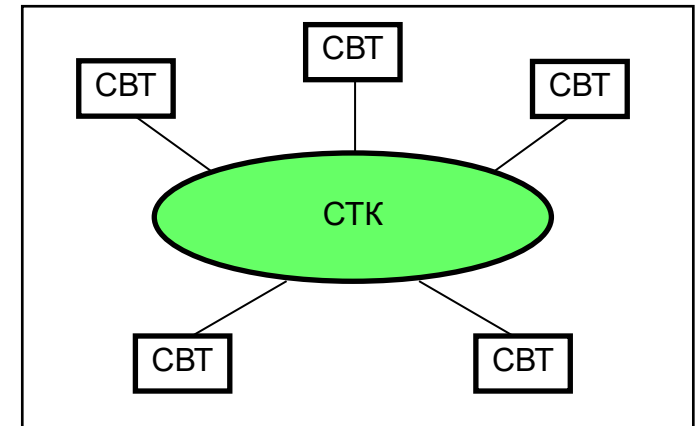
## Понятие компьютерной сети

Компьютерная сеть (сеть ЭВМ, вычислительная сеть) – совокупность *средств ВТ и телекоммуникаций*: СВТ+СТК.

Средства вычислительной техники (СВТ) – ЭВМ, вычислительные комплексы и системы разных классов  
(обработка данных)

Средства телекоммуникаций (СТК) – взаимосвязанная совокупность каналов связи и каналообразующей аппаратуры, образующих телекоммуникационную сеть или сеть передачи данных (СПД) (передача данных)

Функции компьютерной сети: обработка и передача  
(данных или информации?)



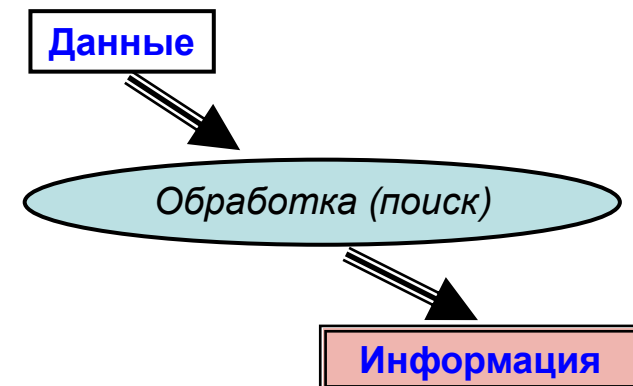
Данные - "сведения, необходимые для какого-нибудь вывода, решения" (Ожегов С.И. Словарь русского языка).

Информация - "сведения, освещающие о положении дел, о состоянии чего-нибудь" (Ожегов С.И. Словарь русского языка).

Информационная энтропия — мера неопределённости, определяемая через вероятность  $p_i$  появления  $i$ -го символа некоторого алфавита или  $i$ -го сообщения:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

$n$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$H$
2	0,5	0,5	-	-	1
2	0,1	0,9	-	-	0,47
4	0,25	0,25	0,25	0,25	2
4	0,1	0,2	0,3	0,4	1,85
4	0,01	0,04	0,3	0,65	1,2





# 1.1. Основные понятия и терминология

## Средства вычислительной техники

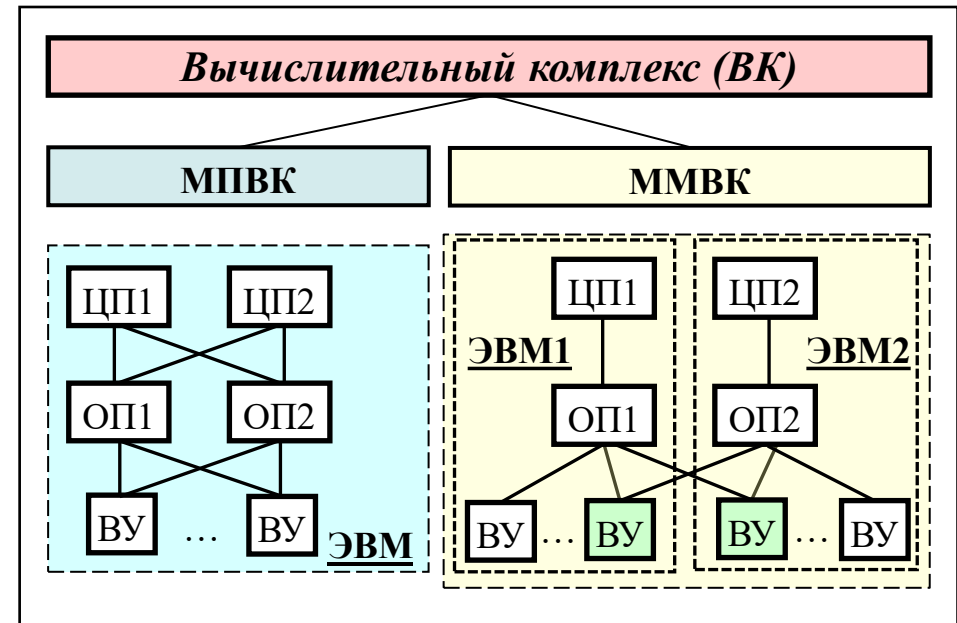
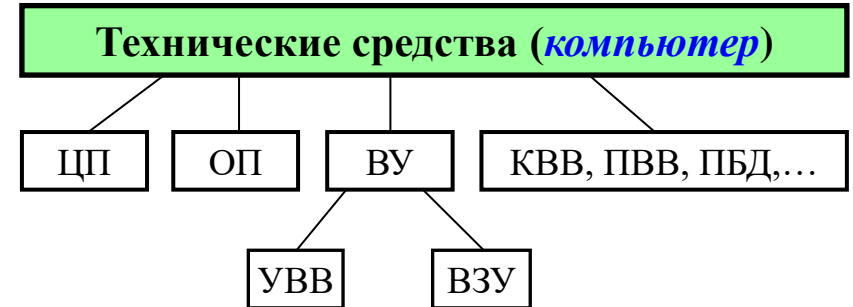
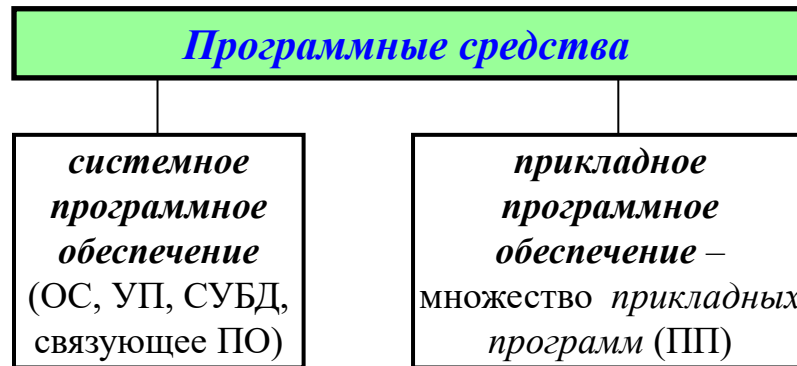
**ЭВМ** (*электронная вычислительная машина, компьютер*) – совокупность технических средств для автоматической обработки информации  
**[MIPS, FLOPS]**

**Вычислительный комплекс (ВК)** – совокупность технических средств, содержащая несколько центральных процессоров:

- многопроцессорный ВК (МПВК);
- многомашинный ВК (ММВК).

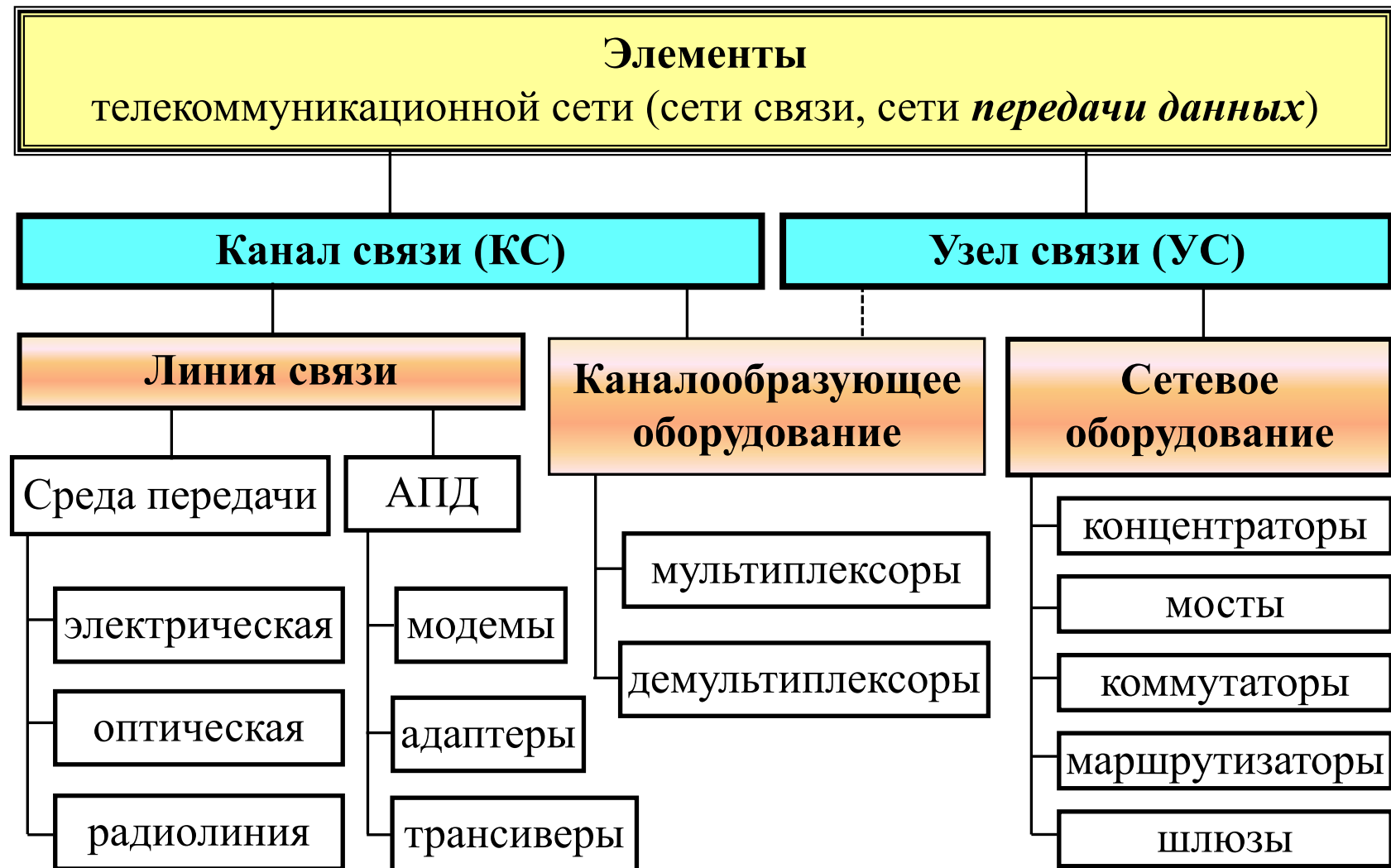
**Основная цель построения ВК** – обеспечение *высокой надежности и/или производительности.*

**Вычислительная система (ВС)** = технические + *программные* средства **[задач/с, ...]**



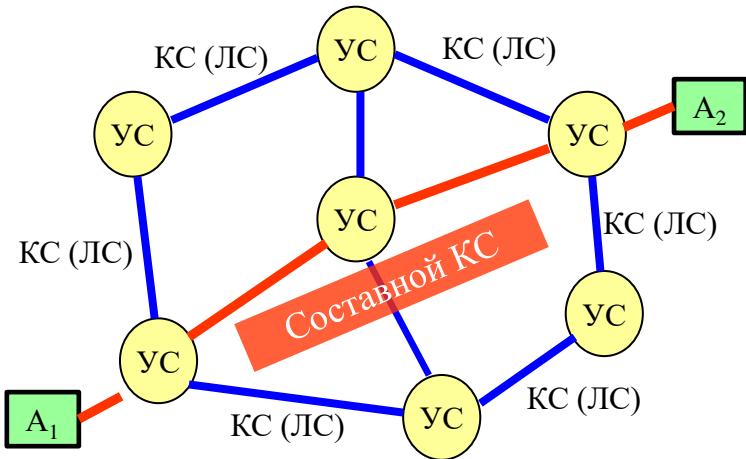
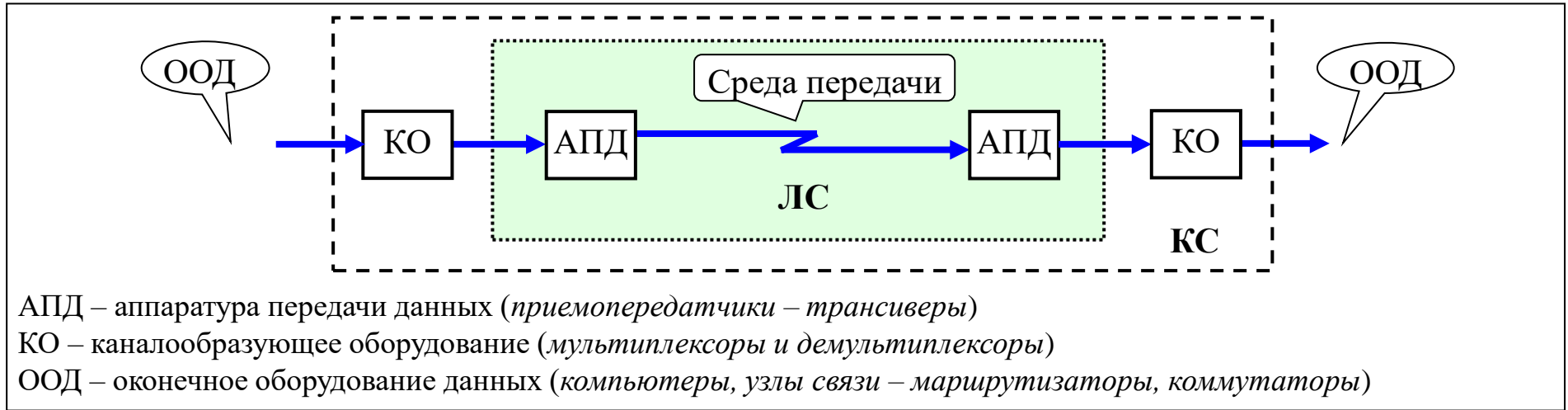
## 1.1. Основные понятия и терминология

### Средства телекоммуникаций





## Средства телекоммуникаций



## Основные функции КС (АПД)

- |  |
|--|
| модуляция и демодуляция                |
| формирование и преобразование сигналов |
| прием и передача сигналов              |

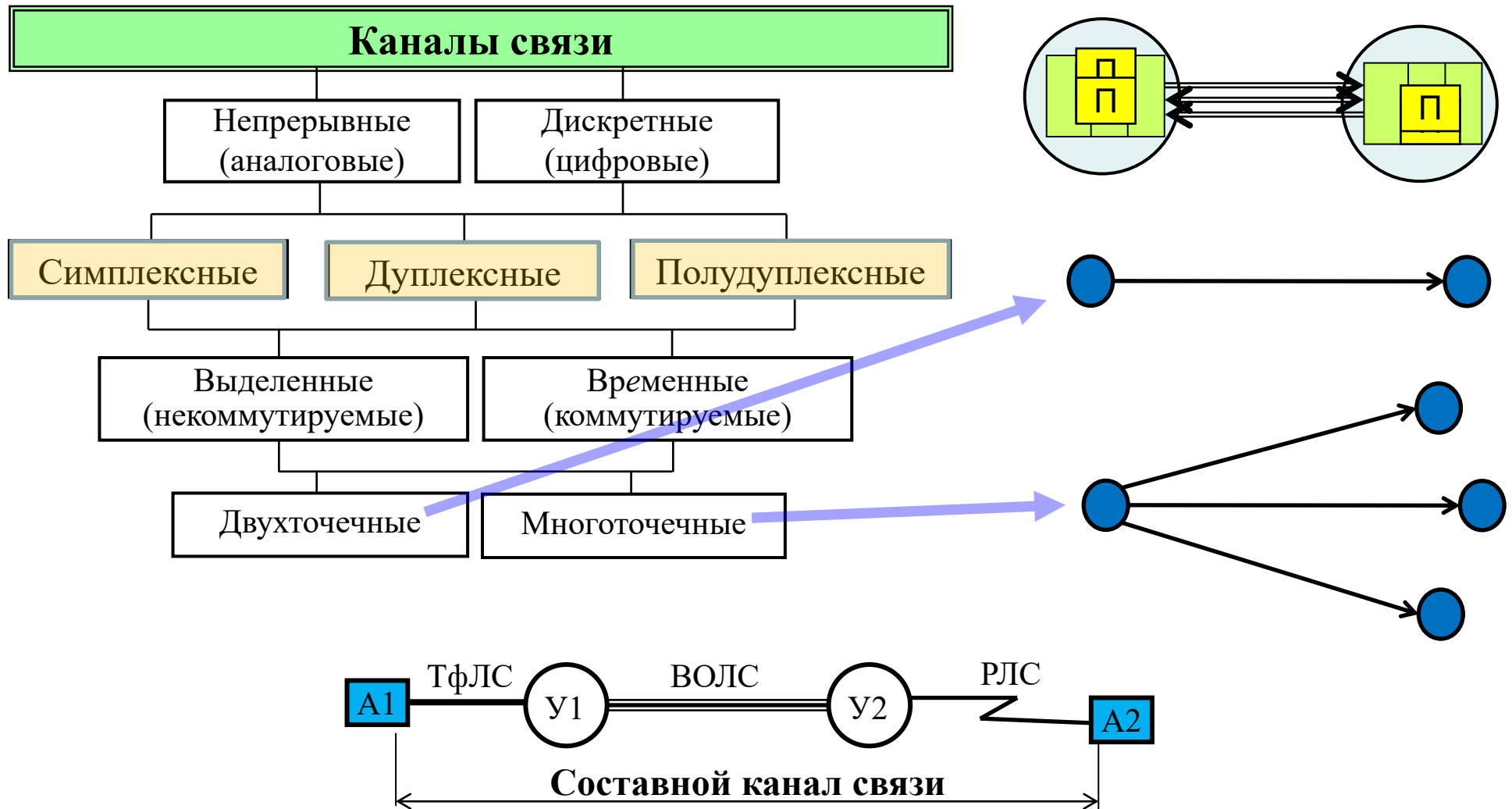
## Основные функции УС

- |   |
|---|
| маршрутизация                               |
| коммутация                                  |
| мультиплексирование и демультиплексирование |

**Топология** телекоммуникационной сети – способ объединения УС с помощью КС.

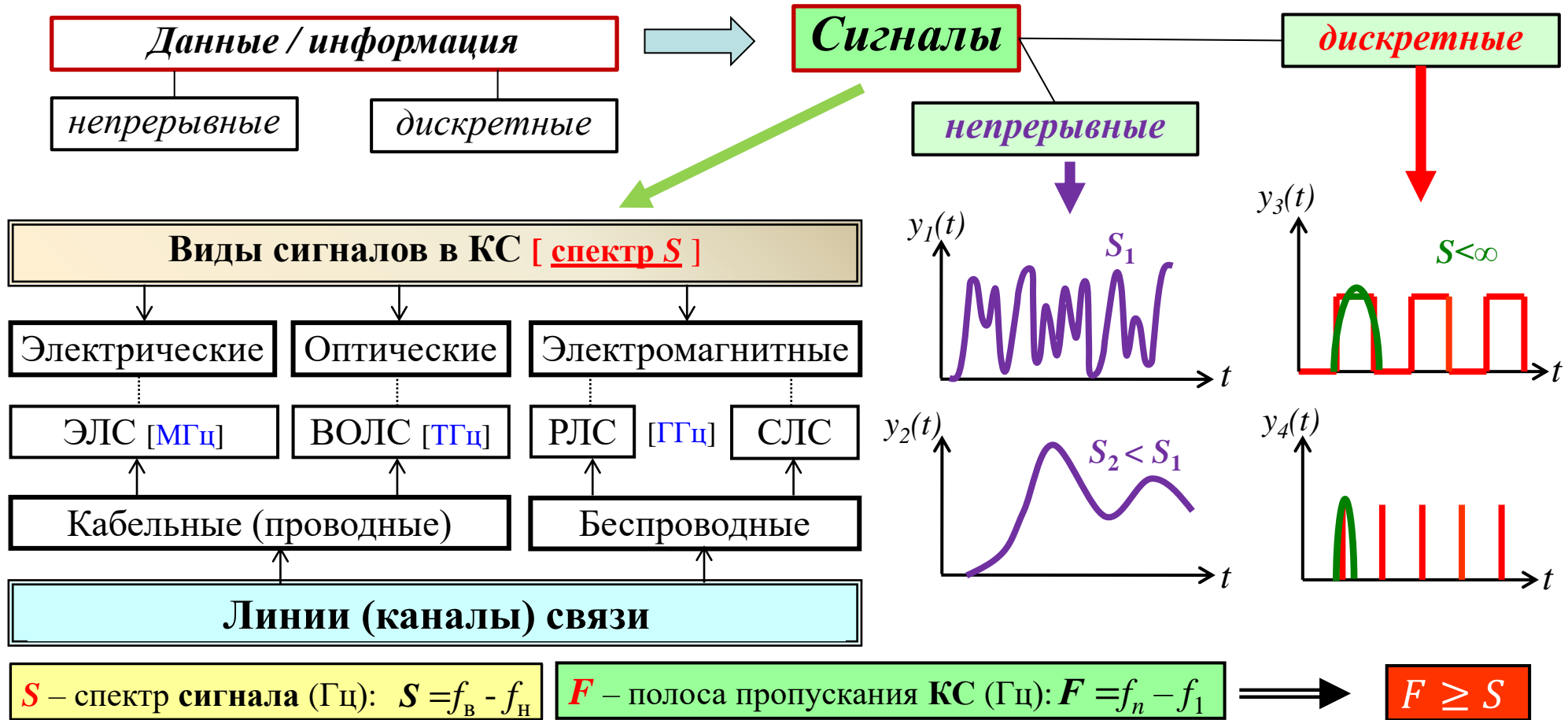
## 1.1. Основные понятия и терминология

### Классификация каналов связи



# 1.1. Основные понятия и терминология

## Данные и сигналы



**Кодирование** – представление дискретных данных в виде дискретных сигналов: *потенциальных* и *импульсных*.

**Модуляция** – перенос сигнала в заданную полосу частот путем изменения параметров сигнала (амплитуды, частоты, фазы) в соответствии с *информативным* сигналом.

## 1.1. Основные понятия и терминология

### Характеристики каналов связи

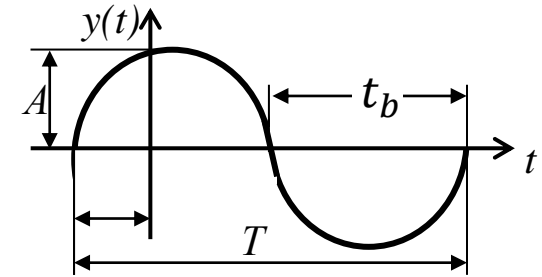
1. Полоса пропускания (частот) [Гц]:  $F = f_n - f_1$ .

где  $f_n$  и  $f_1$  – соответственно наибольшая и наименьшая частота сигнала;

2. Скорость модуляции [бод]:  $B = 2F = \frac{2}{T} = \frac{1}{t_b}$ ,

где  $t_b$  – длина единичного (битового) интервала:  $t_b = T/2$ .

Гармонический сигнал (гармоника)



$$B = 10 \text{ Мбод} \rightarrow t_b = 100 \text{ нс} \rightarrow C = 10 \text{ Мбит/с} \rightarrow T = 2t_b = 0,2 \text{ мкс} \rightarrow F = 5 \text{ МГц}$$

3. Пропускная способность канала связи:  $C = 1/t_b$  [бит/с или *bps* – bits per second]

1) формула Шеннона:

$$C = F \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right)$$

$\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$  – SNR (*Signal-to-Noise Ratio*)

$$\underline{F = 100 \text{ МГц}}: \quad \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 1 \rightarrow C = 100 \text{ Мбит/с}; \quad \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = 3 \rightarrow C = 200 \text{ Мбит/с}$$

2) формула Найквиста:

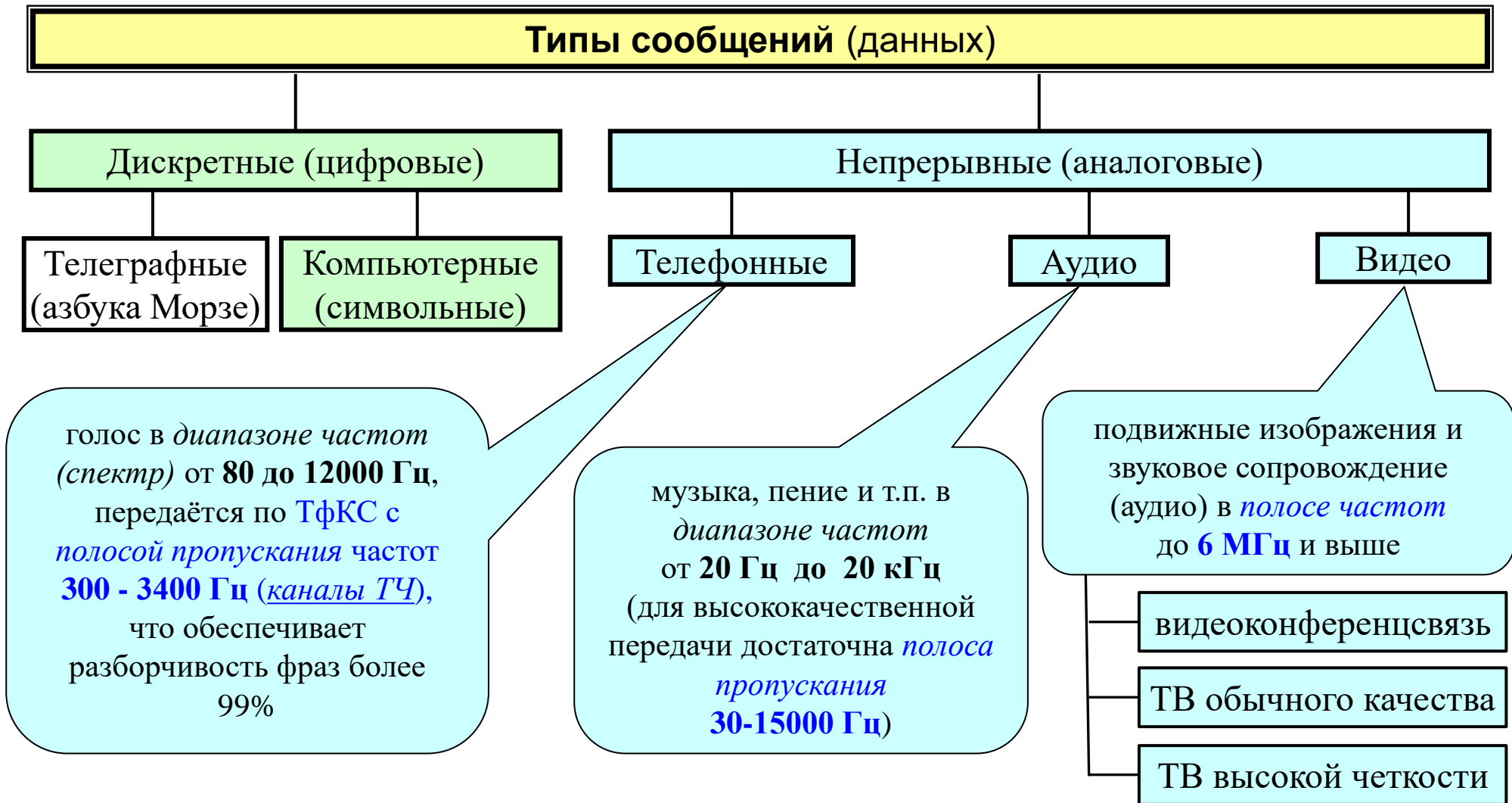
$$C = \frac{1}{t} \log_2 n_c = 2F \log_2 n_c = B \log_2 n_c$$

$$\underline{F = 100 \text{ МГц}}: \quad \underline{n_c = 2} \rightarrow C = 200 \text{ Мбит/с}; \quad \underline{n_c = 4} \rightarrow C = 400 \text{ Мбит/с}$$

4. Достоверность передачи данных – вероятность искажения бита ( $10^{-4}$  до  $10^{-10}$  и выше) при передаче по каналу связи [*BER* – *Bit Error Rate*].

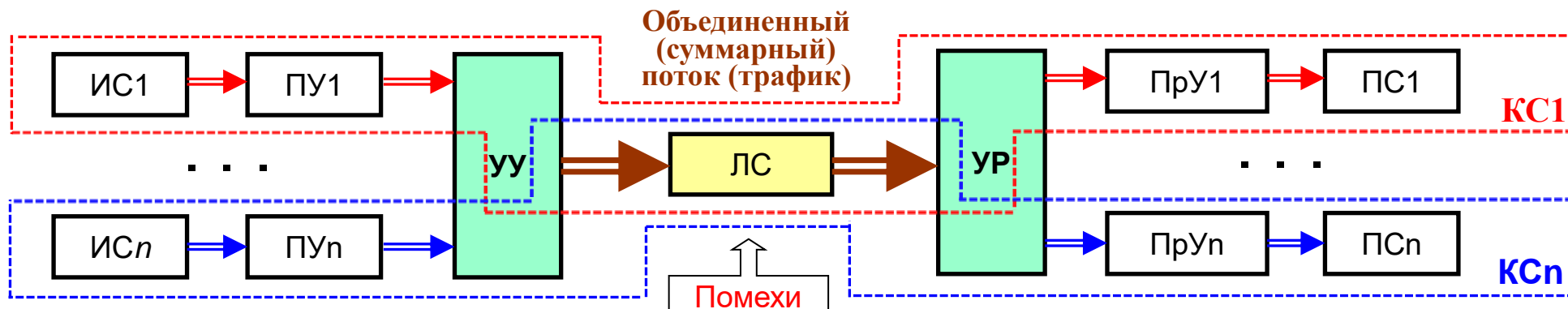
## 1.1. Основные понятия и терминология

### Классификация сообщений



# 1.1. Основные понятия и терминология

## Методы уплотнения каналов связи

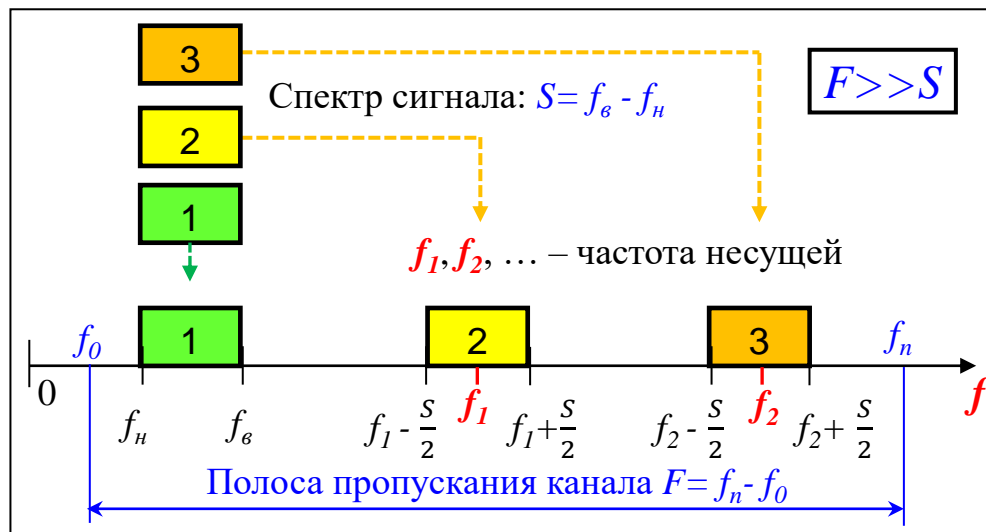


ИС (ПС) – источник (приёмник) сообщения  
 ПУ (ПрУ) – передающее (принимающее) устройство

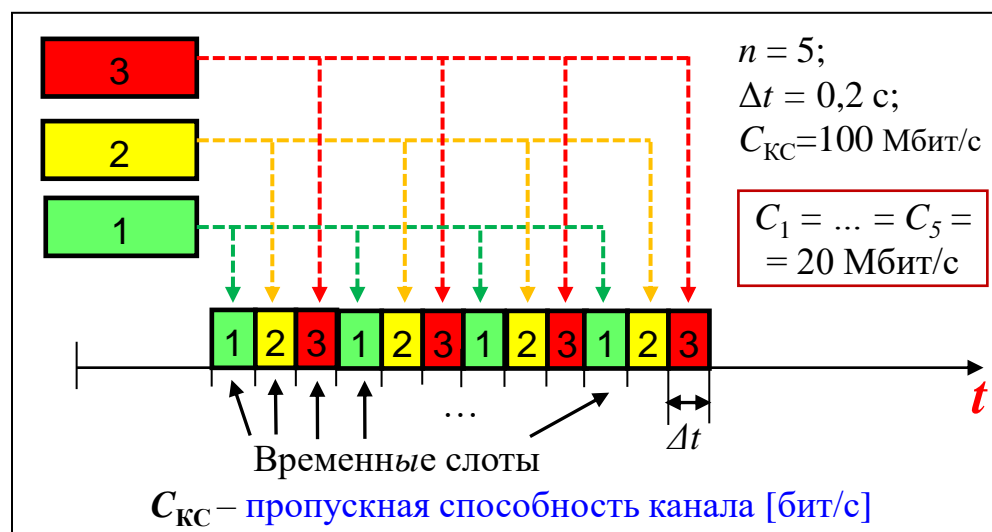
УУ (УР) – устройство уплотнения (разделения)  
 ЛС (КС) – линия (канал) связи

### Традиционные методы уплотнения каналов (мультиплексирование):

#### 1) частотное

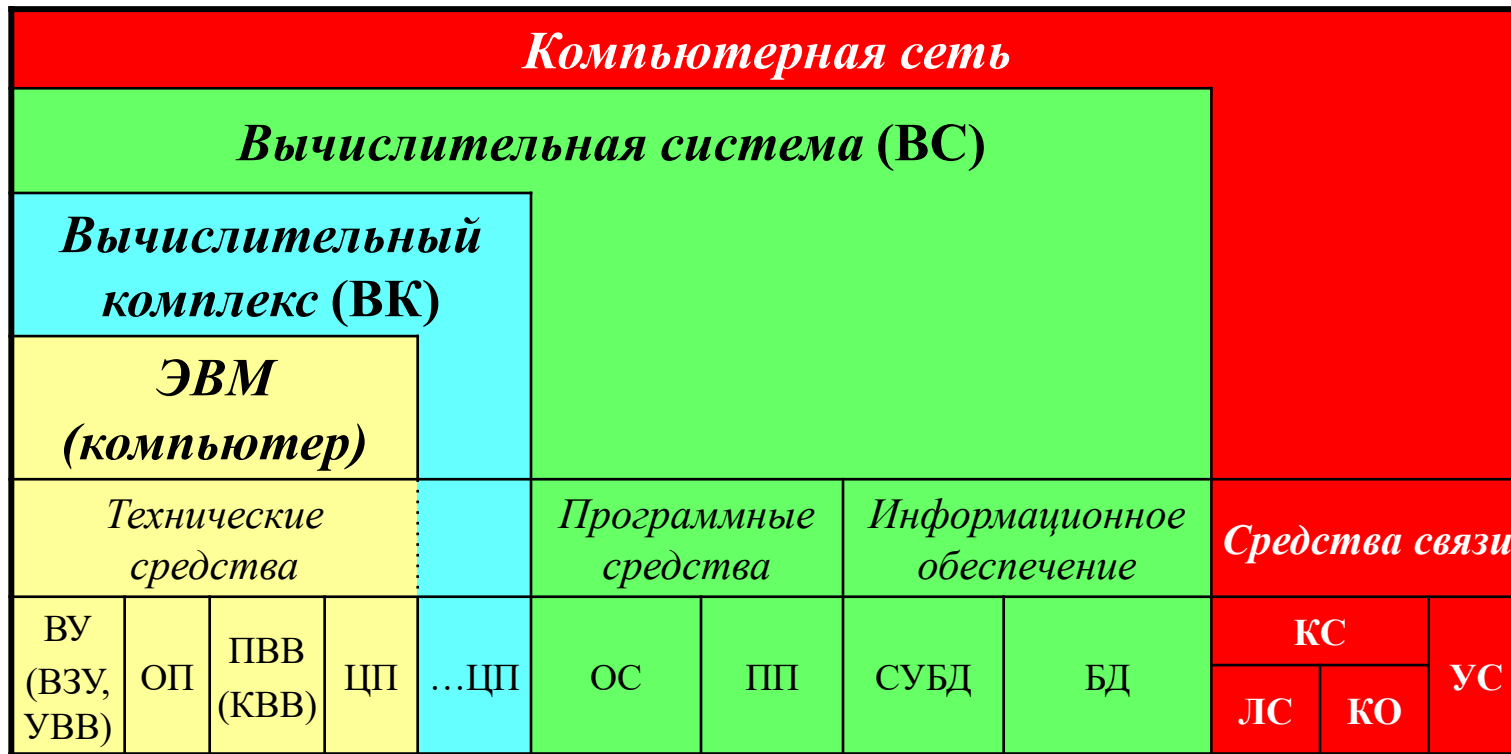


#### 2) временное



## 1.1. Основные понятия и терминология

### Состав и взаимосвязь компьютерных систем и сетей

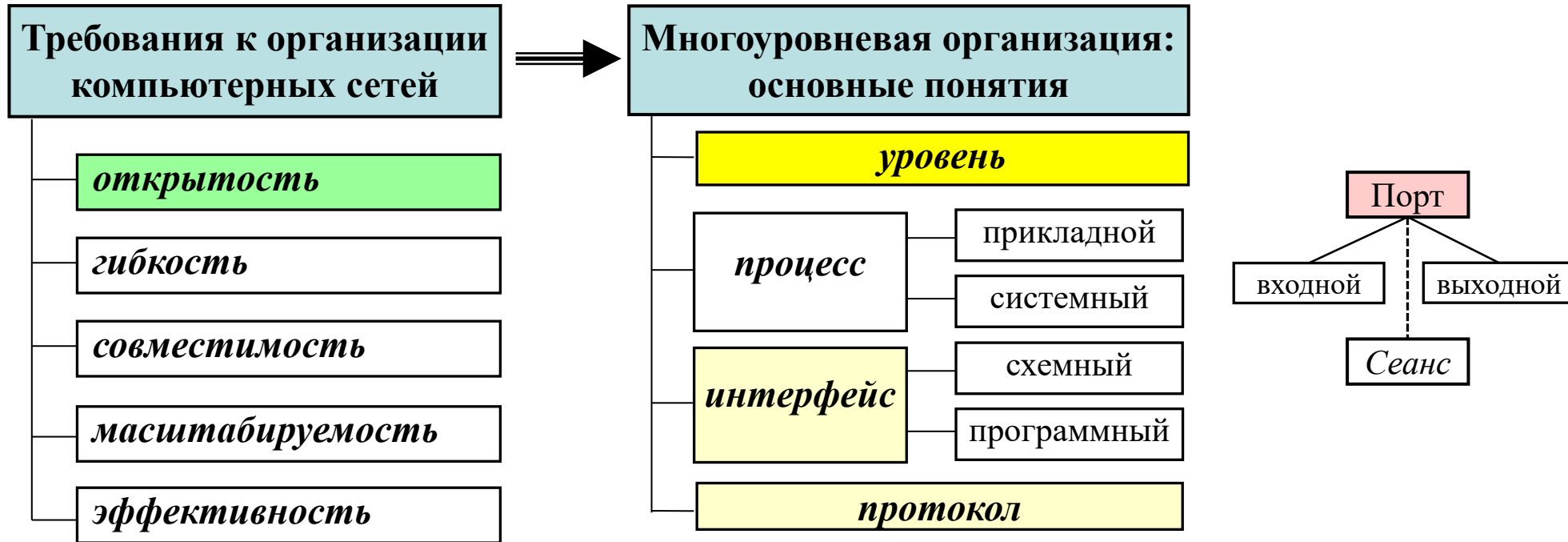


Архитектура компьютерной сети – множество технических и инженерных решений по структурной и функциональной организации сети, обеспечивающих определенную совокупность ее свойств и характеристик, рассматриваемую с точки зрения *пользователя* сети и отличающую данную конкретную сеть от любой другой сети.

Технологии компьютерной сети – способы организации передачи и обработки данных, обеспечивающие достижение требуемой эффективности сети.

## 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей

### Требования к организации компьютерных сетей



**Уровень (layer)** - понятие, позволяющее разделить все функции сети (по обработке и передаче данных) на несколько взаимосвязанных иерархических групп.

На каждом уровне реализуются определенные **функции обработки и передачи данных** с помощью аппаратных и/или программных средств сети.

Каждый уровень **обслуживает вышележащий уровень** и, в свою очередь, **пользуется услугами нижележащего**.

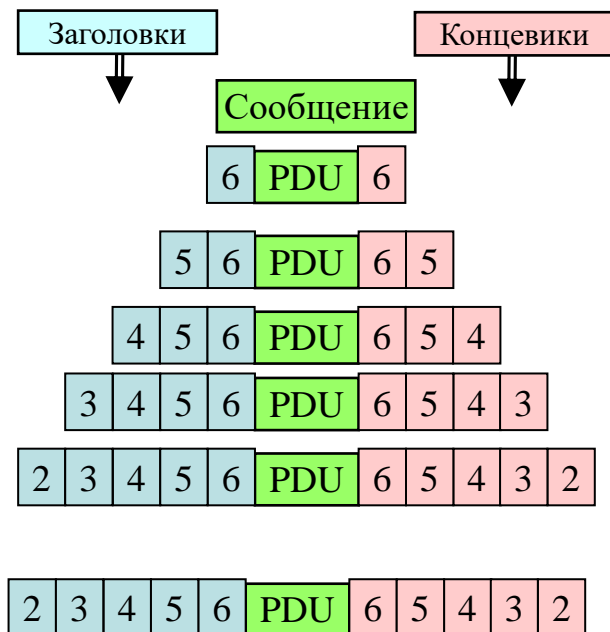


## 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей

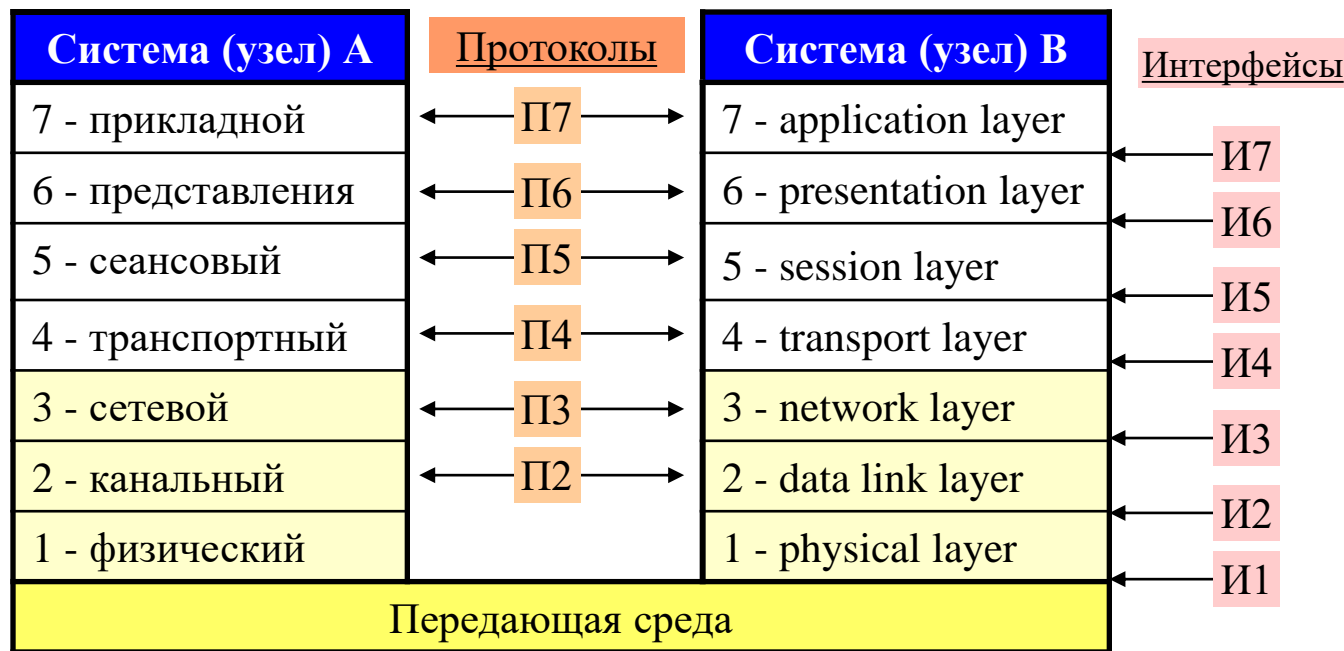
### Модель взаимодействия открытых систем

#### Инкапсуляция

(Обрамление)



#### Семиуровневая OSI-модель :



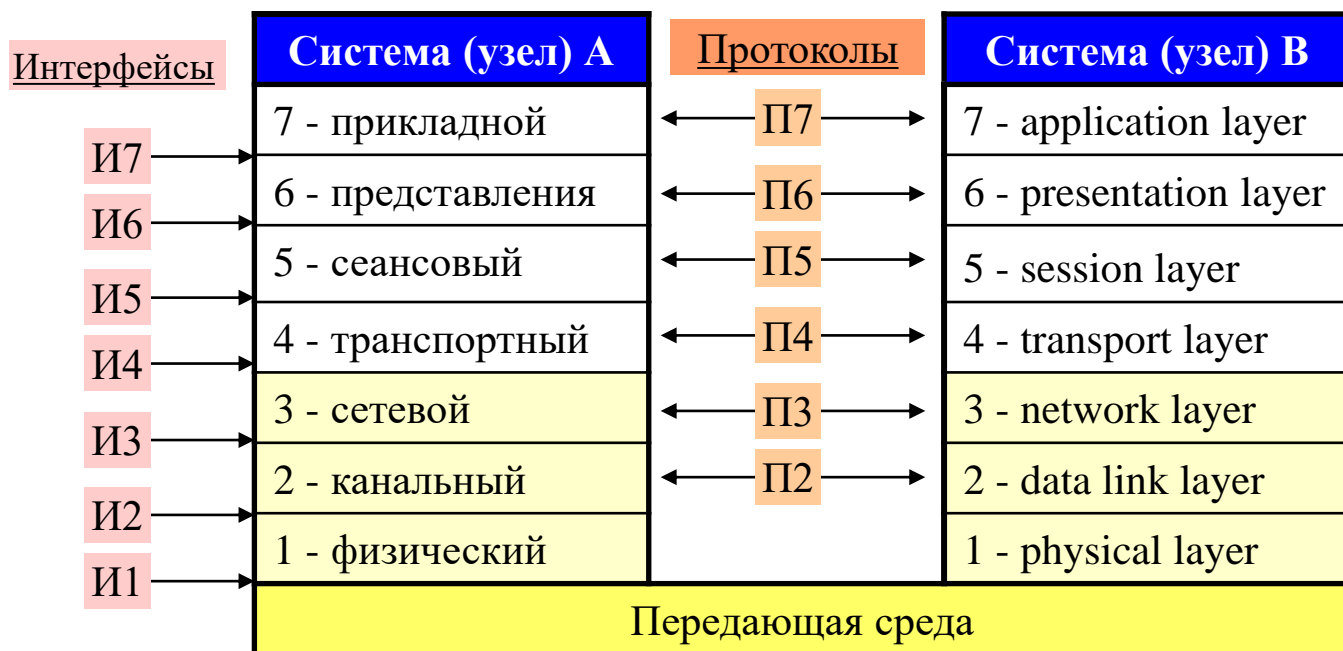
- **OSI-модель** (*Open Systems Interconnection*) - модель Взаимодействия Открытых Систем (ВОС)
- **ISO** (*International Standards Organization*) - Международная Организация по Стандартам (МОС)

**PDU (Protocol Data Unit) - протокольный блок данных** (заголовок и концевик):

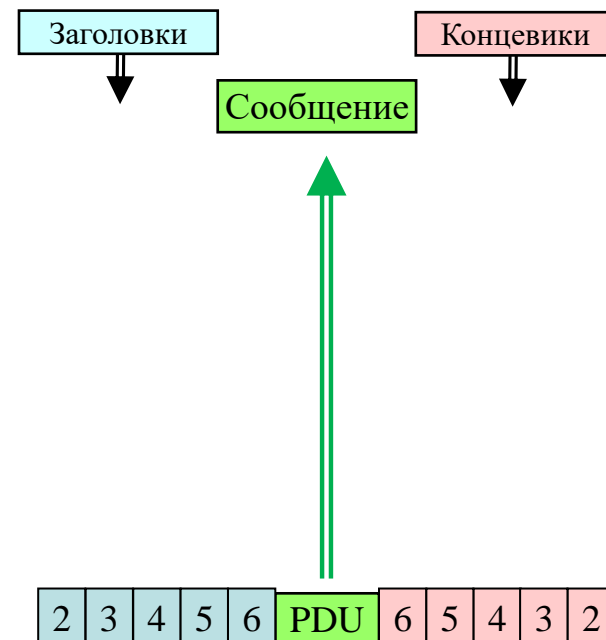
## 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей

### Модель взаимодействия открытых систем

#### Семиуровневая OSI-модель :



#### Деинкапсуляция



- **OSI-модель** (*Open Systems Interconnection*) - модель Взаимодействия Открытых Систем (ВОС)
- **ISO** (*International Standards Organization*) - Международная Организация по Стандартам (МОС)

**PDU (Protocol Data Unit) - протокольный блок данных:**

**сообщение** (*message*), **дейтаграмма** (*datagram*), **пакет** (*packet*), **кадр** (*frame*)

## 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей

### IEEE-модель локальных сетей

#### IEEE-модель :

IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) -  
Институт инженеров по электротехнике и электронике

Уровни OSI-модели	
7 - прикладной	
6 - представления	
5 - сеансовый	
4 - транспортный	
3 - сетевой	
2 - канальный	Подуровни IEEE- модели <b>LLC</b>
1 - физический	<b>MAC</b>

#### Необходимость деления

#### канального уровня на подуровни:

- увеличение числа функций на канальном уровне;
- предоставление дополнительных услуг.

**MAC** (*Medium Access Control*) – управление доступом к среде передачи

MAC-адрес:      **00-25-AF-98-DC-07**

**LLC** (*Logical Link Control*) – управление логическим соединением предоставляет сервис трех типов:

- 1) без установления соединения и без подтверждения доставки;
- 2) без установления соединения с подтверждением доставки;
- 3) сервис с установлением соединения.

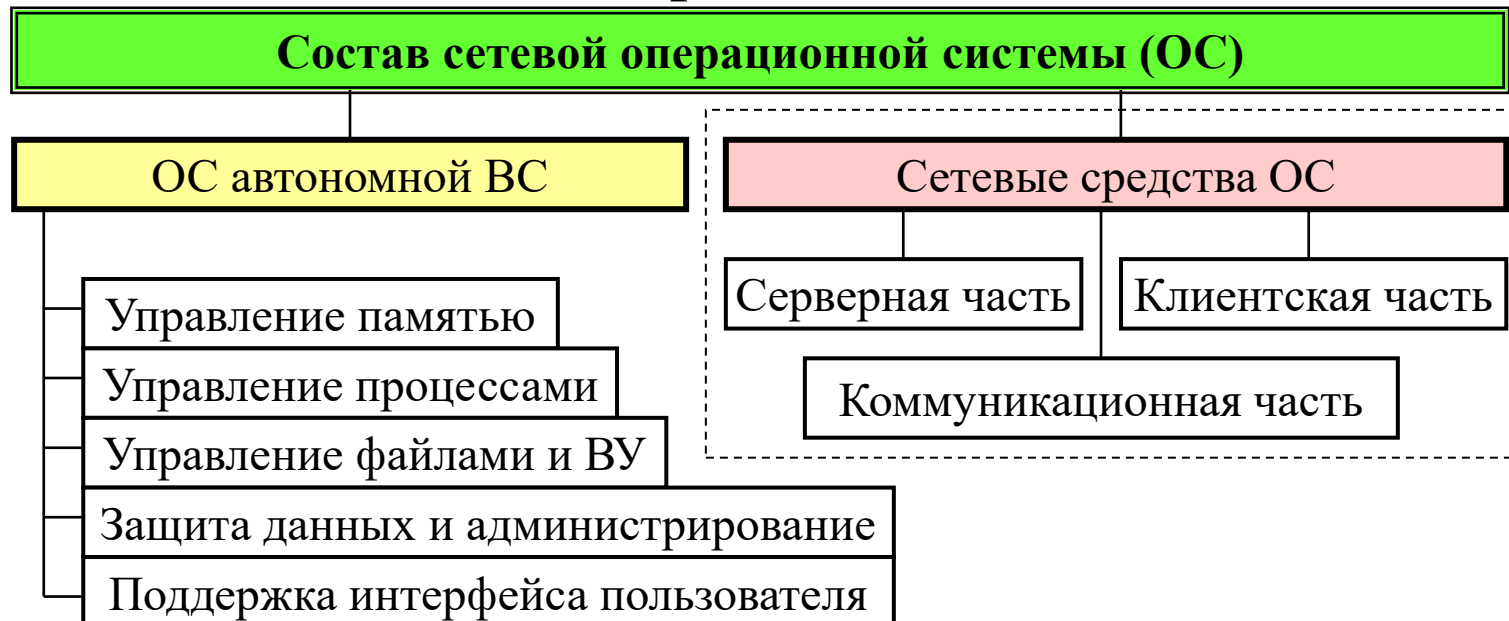
## 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей

### Протокольные блоки данных (PDU)

Уровни OSI-модели		PDU	
7	Прикладной	<i>Сообщение</i>	Message
...	...	...	...
4	Транспортный	<i>Дейтаграмма Сегмент</i>	Datagram Segment
3	Сетевой	<i>Пакет</i>	Packet
2	Канальный	<i>Кадр</i>	Frame

Ячейка (в АТМ-сетях)

### Сетевая операционная система



## 1.2. Многоуровневая организация компьютерных сетей

### Администрирование компьютерных сетей



#### Основные функции администрирования сети:

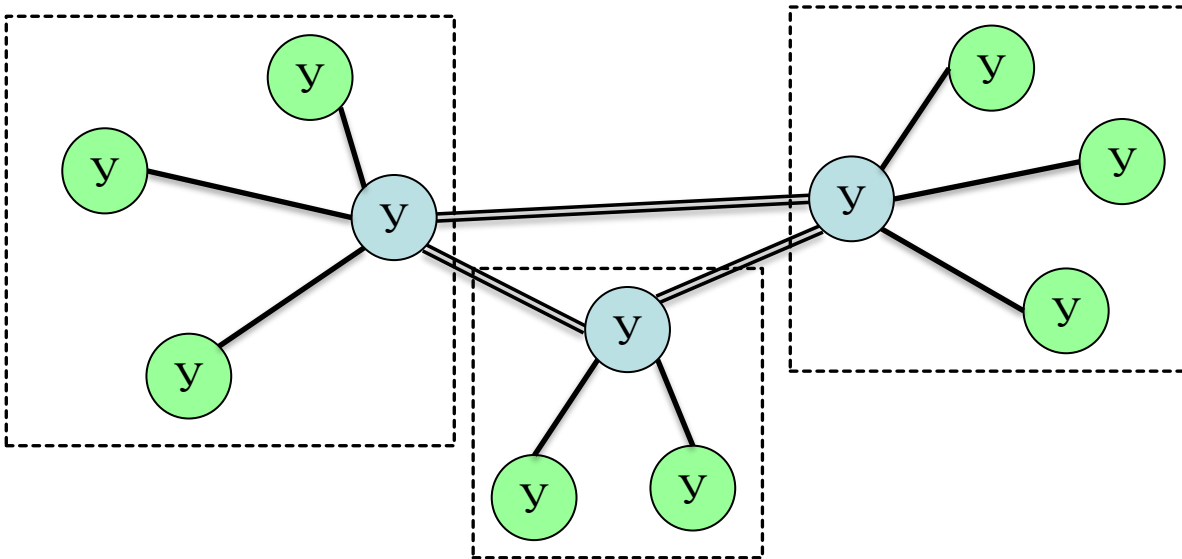
- наблюдение за **потоками данных**;
- установка новых версий **программного обеспечения**;
- создание и поддержание **таблиц маршрутизации и коммутации**;
- диагностика** состояния компонентов сети;
- контроль** ошибок и устранение простых отказов;
- замена** отказавших узлов резервными;
- реконфигурация** сети;
- поддержка **отказоустойчивости** компьютерной сети;
- добавление** новых пользователей;
- определение **прав пользователей** сети при их обращении к разным ресурсам: файлам, каталогам, принтерам и т.д.;
- ограничение** возможностей пользователей в выполнении тех или иных системных действий.

# 1.3. Структурная организация компьютерных сетей

## Типовые топологии

Структурная организация компьютерной сети определяется:

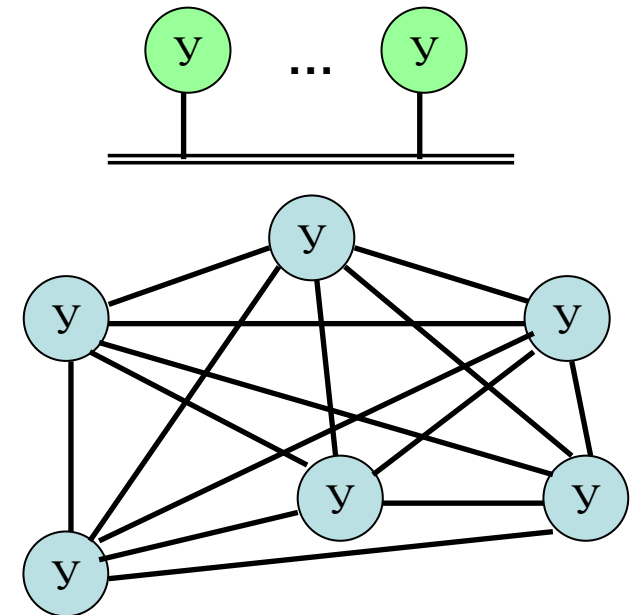
- *составом узлов* (количество и типы узлов: компьютеры, коммутаторы, маршрутизаторы, ...);
- *топологией*;
- *производительностью узлов связи и пропускной способностью каналов связи.*



Следует различать: **физическую (структурную) топологию**;  
**логическую (функциональную) топологию.**

Основные топологии:

- «общая шина»;
- полносвязная,
- «кольцо»,
- «дерево»,
- «звезда» (узловая),
- смешанная,
- многосвязная.

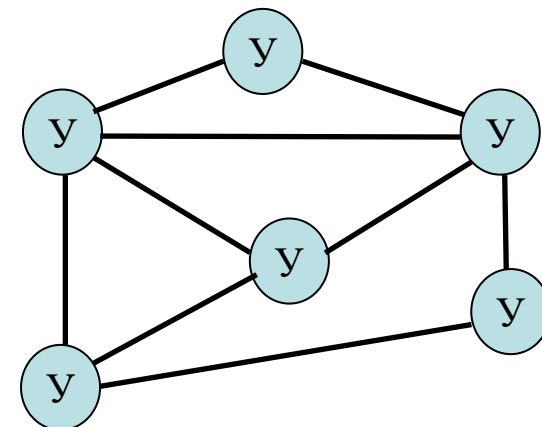


## 1.3. Структурная организация компьютерных сетей

### Сравнительный анализ топологий

Сравнительный анализ топологий на основе следующих признаков:

- **простота** (сложность) структурной и функциональной организации;
- **надежность**, определяемая наличием альтернативных путей;
- **производительность** сети: а) *скорость передачи данных* (реальная и эффективная) [бит/с]; б) *количество пакетов, передаваемых за единицу времени* [пакетов/с];
- **время доставки** сообщений, например в хопх (hop);
- **стоимость**, зависящая как от состава оборудования, так и от сложности реализации.



Показатель	Топология						
	ОШ	Звезда	Дерево	Кольцо	Полно-связная	Смешанная	Много-связная
Простота	1	2	2	3	5	4	4
Надёжность	5	4	4	3	1	2	2
Производительность	5	4	4	3	1	2	2
Время доставки	3	2	4	5	1	3	3
Стоимость	1	2	2	3	5	4	4

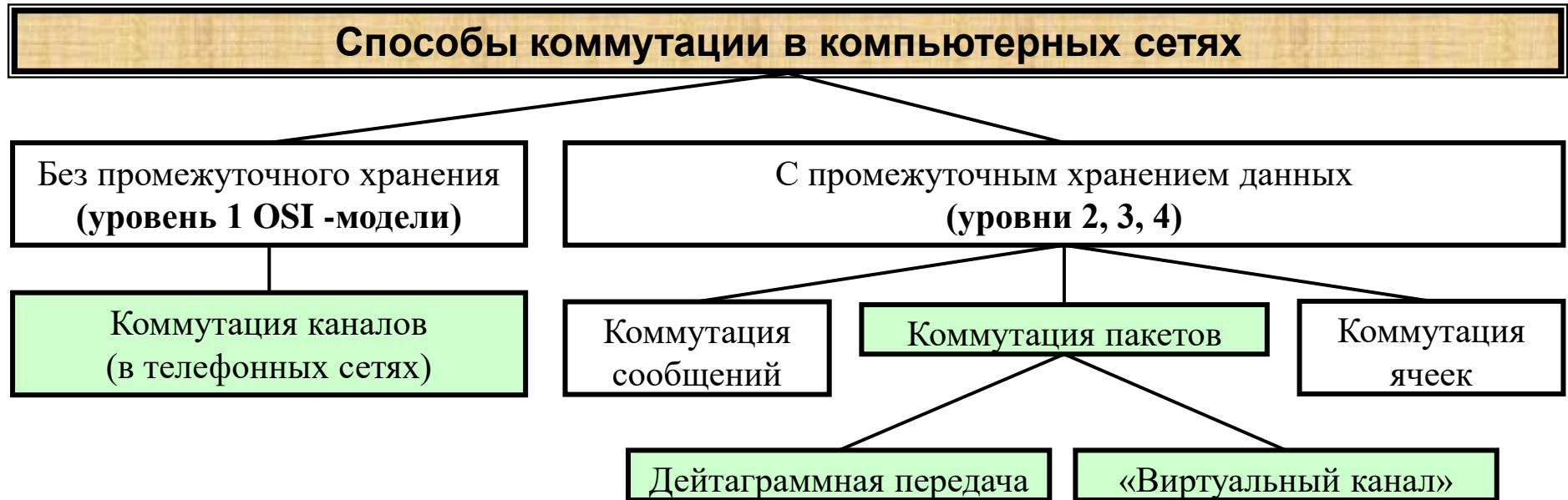
## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей





## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Коммутация

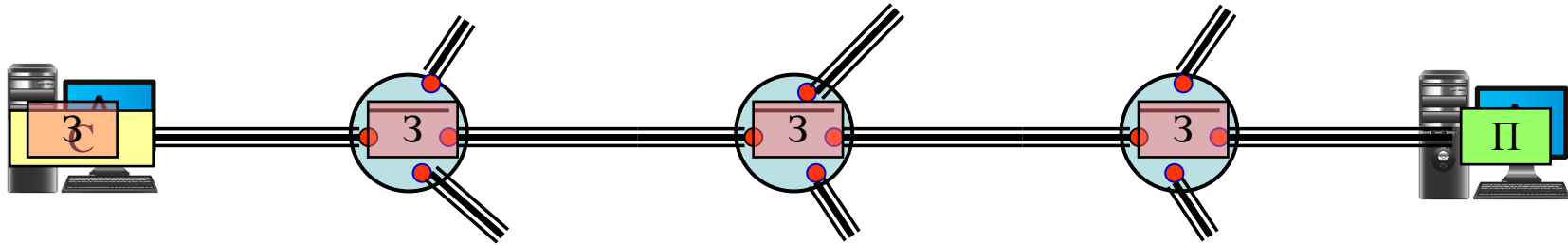


#### Достоинства коммутации:

- 1) повышение производительности сети передачи данных;
- 2) возможность построения логических (виртуальных) сетей;
- 3) простота настройки и использования коммутационного оборудования и, как следствие, дешевизна реализации.

## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Коммутация каналов (КК)



#### Достоинства КК:

- возможность использования существующей инфраструктуры и каналов связи *телефонной сети*;
- *не требуется память* в транзитных узлах для хранения сообщений;
- эффективна при передаче *длинных сообщений*.

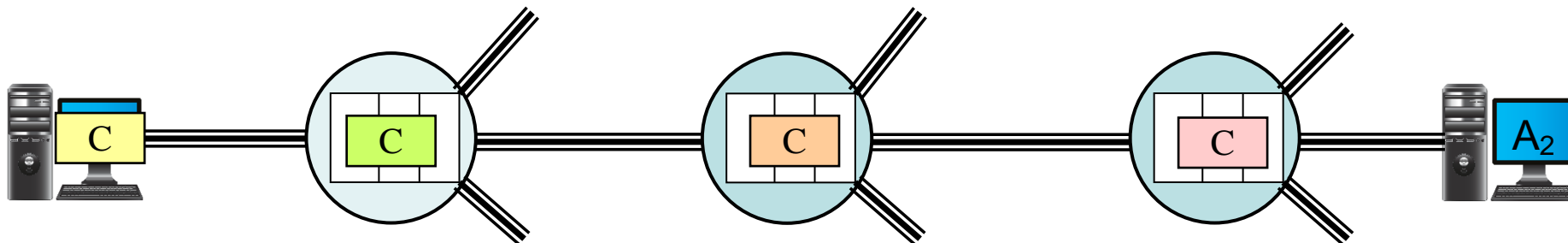
#### Недостатки КК:

- *низкое качество* телефонных каналов и, как следствие *невысокие скорости* передачи данных;
- каналы должны иметь *одинаковые пропускные способности* на всем пути передачи;
- *большие накладные расходы* на установление соединения при передаче коротких сообщений.

## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Коммутация сообщений (КС)

*Выбор маршрута, ...*



#### Достоинства КС:

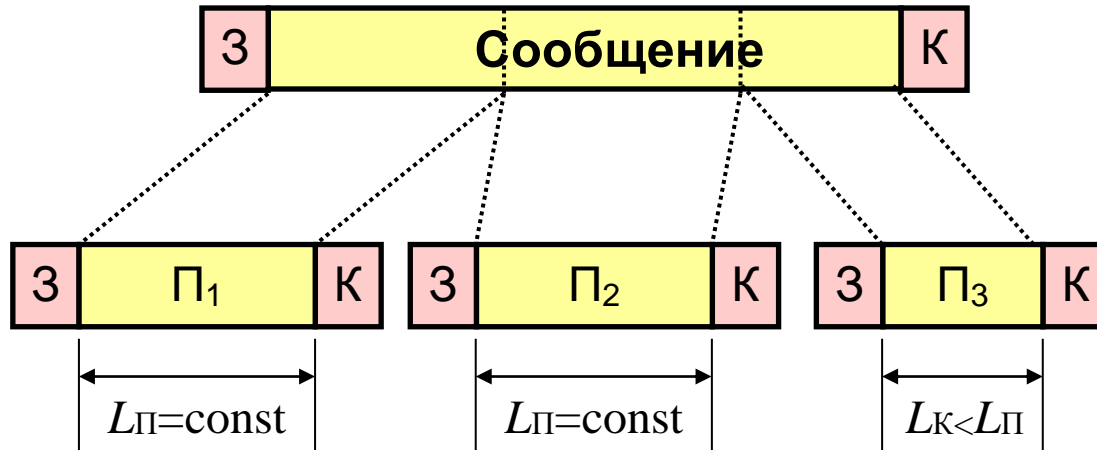
- не требуется предварительное установление соединения, что существенно *снижает накладные расходы*;
- каналы связи на всем пути передачи могут иметь *разные пропускные способности*;
- в промежуточных узлах происходит *регенерация* передаваемых сигналов.

#### Недостатки КС:

- необходимость хранения сообщений в промежуточных узлах требует *значительной ёмкости памяти* при *разных длинах* передаваемых сообщений;
- *задержка в промежуточных узлах* может оказаться значительной;
- *монополизация среды передачи* длинными сообщениями.

## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Коммутация пакетов (КП)



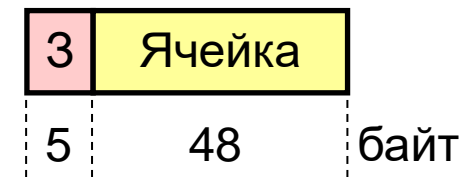
Размер пакета  $L_{\Pi} = ?$

#### Достоинства КП:

- *время доставки сообщений меньше, чем при коммутации сообщений;*
- *более эффективное использование буферной памяти;*
- *более эффективная организация надежной передачи данных;*
- *не монополизирована среда передачи;*
- *меньше задержка пакетов в узлах.*

#### Коммутация ячеек

В АТМ-технологии:



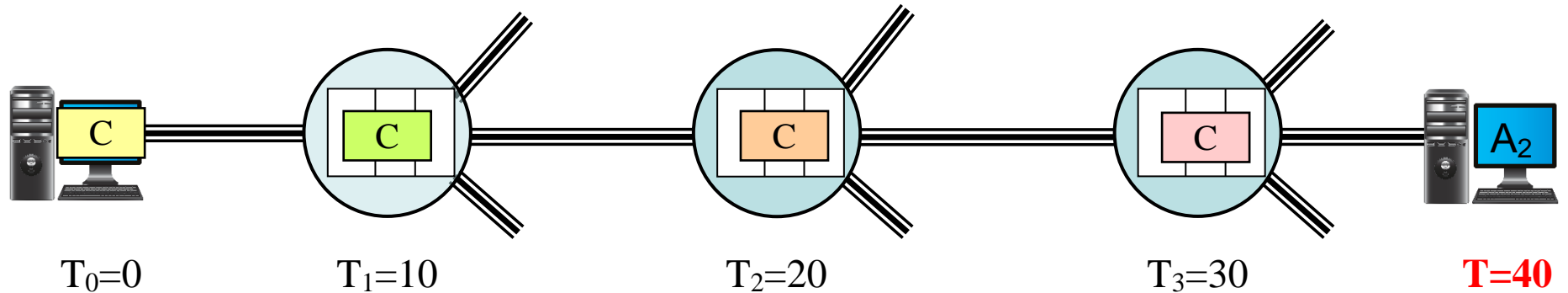
#### Недостатки КП:

- *более высокие накладные расходы на анализ и передачу заголовков всех пакетов сообщения;*
- *необходимость сборки сообщения из пакетов в узле назначения;*
- *проблема ожидания «заблудившегося» пакета в узле назначения.*

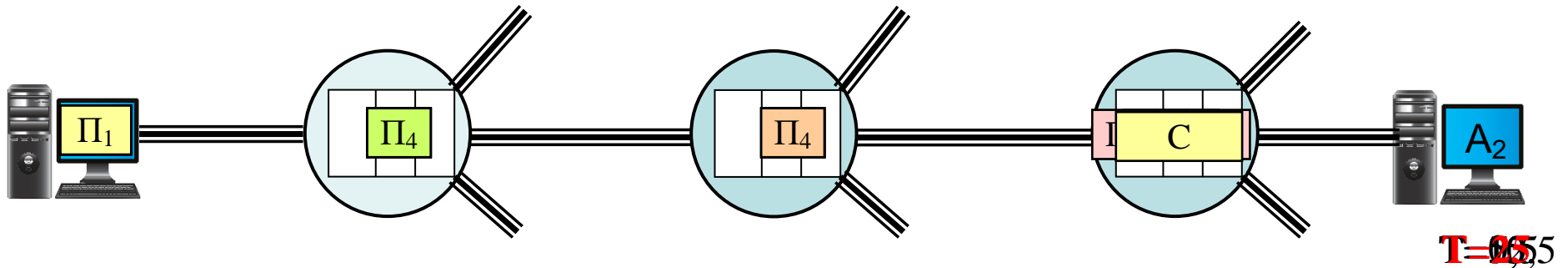
## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Сравнительный анализ коммутации сообщений и коммутации пакетов

#### Коммутация сообщений



#### Коммутация пакетов (сообщение разделено на 4 пакета)

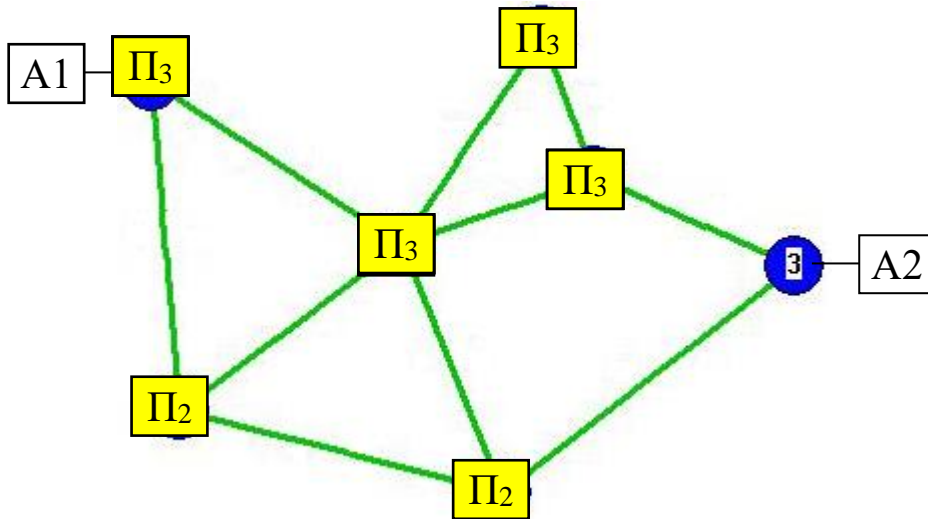


## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Способы передачи пакетов (сообщений)

#### 1. Дейтаграммный:

- а) без установления соединения (E-mail);
- б) с установлением соединения (IP-телефония).



#### Достоинства:

- простота организации и реализации передачи данных без установления соединения;
- каждый пакет выбирает наилучший путь;
- возможность установления соединения.

#### Недостатки:

- произвольный порядок прибытия в конечный узел и, как следствие,
  - большое время ожидания прихода всех пакетов для сборки сообщения;
  - невозможность собрать сообщение в конечном узле и неопределенное время ожидания при потере одного из пакетов;
  - буферная память может быть переполнена;
- затраты ресурсов при установлении соединения.

#### 2. «Виртуальный канал» (с установлением соединения)

#### Достоинства:

- меньшие задержки в узлах сети за счёт резервирования ресурсов;
- небольшое время ожидания в конечном узле;
- более эффективное использование буферной памяти узлов сети.

#### Недостатки:

- наличие накладных расходов (дополнительных затрат) на **установление соединения**;
- неэффективное использование ресурсов сети, поскольку они резервируются на все время взаимодействия абонентов (сеанса).

## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### Методы управления трафиком

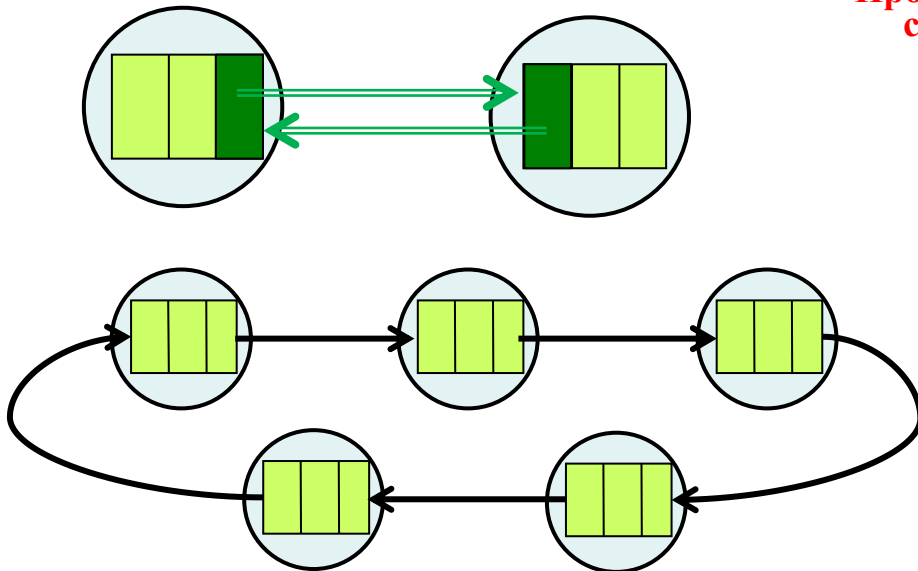
#### Особенности сетевого трафика:

- *неоднородность* потока данных;
- *разные требования* к качеству передачи данных разных типов;
- *нестационарность* трафика;
- возникновение *перегрузок* в сети.

#### Основные задачи управления трафиком:

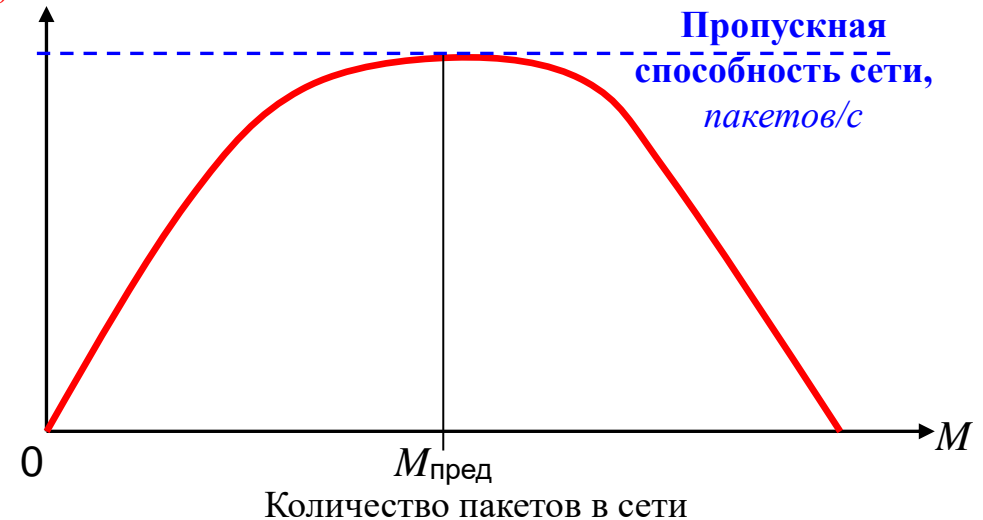
- *малые задержки* при передаче по сети;
- *надежная передача* данных (без ошибок и без потерь пакетов);
- *эффективная загрузка* оборудования (каналов и узлов) компьютерной сети;
- предотвращение *перегрузок* и *блокировок*.

#### Блокировки в сети:



#### Перегрузка в сети:

Производительность  
сети, пакетов/с



### Методы управления трафиком





## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### 1. Управление трафиком на физическом уровне

**На физическом уровне** – выделение кадров из потока битов (разделение на кадры):

- 1) указание в заголовке кадра его длины (недостаток – неустойчивость к помехам);
- 2) использование в качестве границы кадров запрещенных сигналов физического уровня;
- 3) использование в качестве границы кадров специальных стартовых и стоповых символов (байт) - *байт-стаффинг*;
- 4) использование в качестве границы кадров специальных последовательностей битов – *бит-стаффинг (bit stuffing)*.

0111011011111111000010011111101000000101001011111001001

1000111111011001110101111001111101100001111111

011111101000111110110011101011110011111001100001111101101111110

00100111111010001111101100111010111100111110011000011111011011111100011

# 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

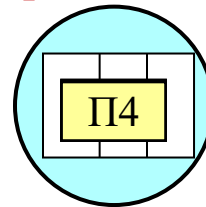
## 2. Управление трафиком на канальном уровне

На канальном уровне управление потоком в канале связи между двумя узлами реализуется за счет применения:

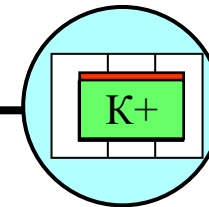
- механизма квитирования;
- механизма *тайм-аута*;
- механизма скользящего окна.

$$\Delta t > T = 25$$

Ширина окна=4



Загрузка канала:  
 $10/25 = 40\%$   
 $40/55 = 73\%$



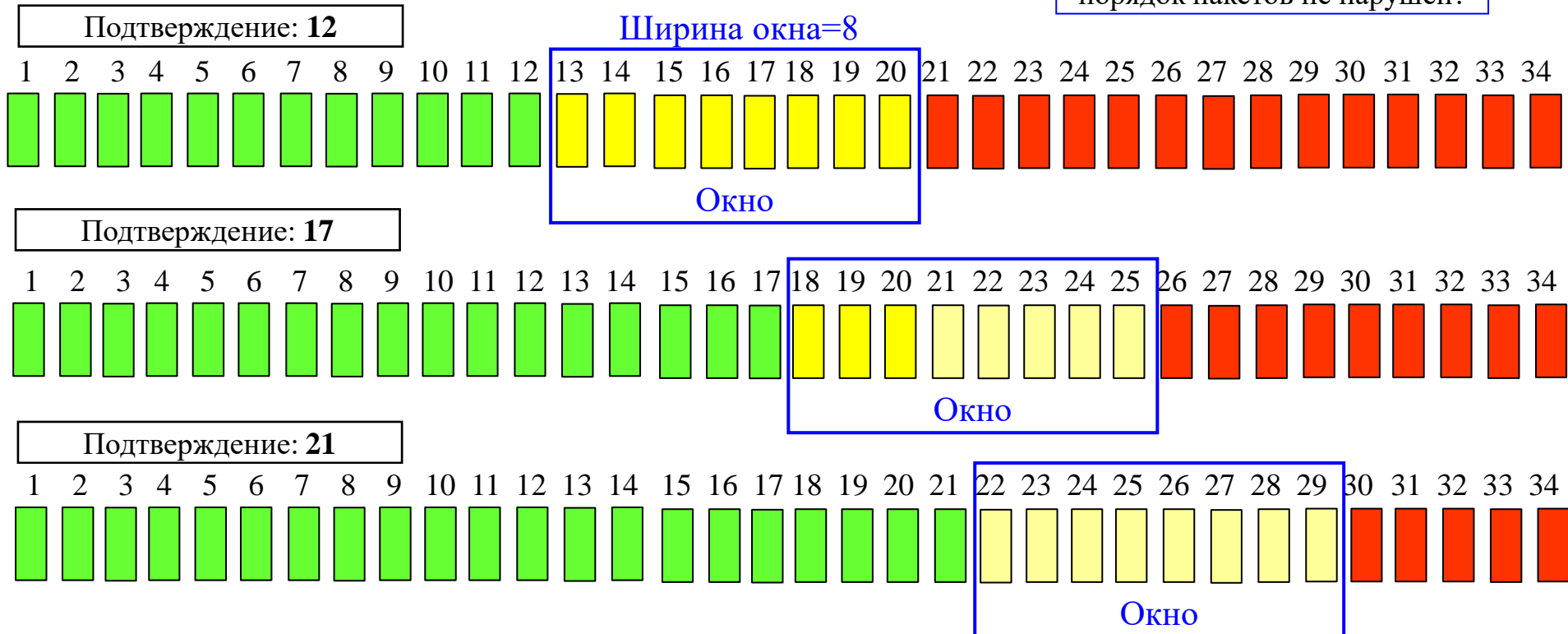
Протоколы  
канального  
уровня:  
**HDLC, LAP-M**

**К+** - пакет удаляется из буфера  
**К-** - пакет посылается повторно

Проверка:

- пакет не искажен?
- порядок пакетов не нарушен?

Ширина окна=8



## 1.4. Функциональная организация компьютерных сетей

### 3. Управление трафиком на сетевом уровне – маршрутизация

#### Методы маршрутизации

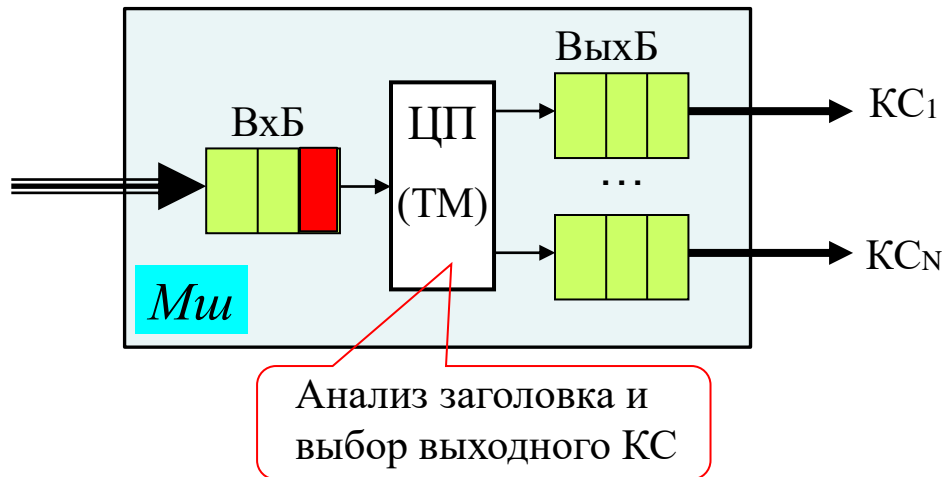
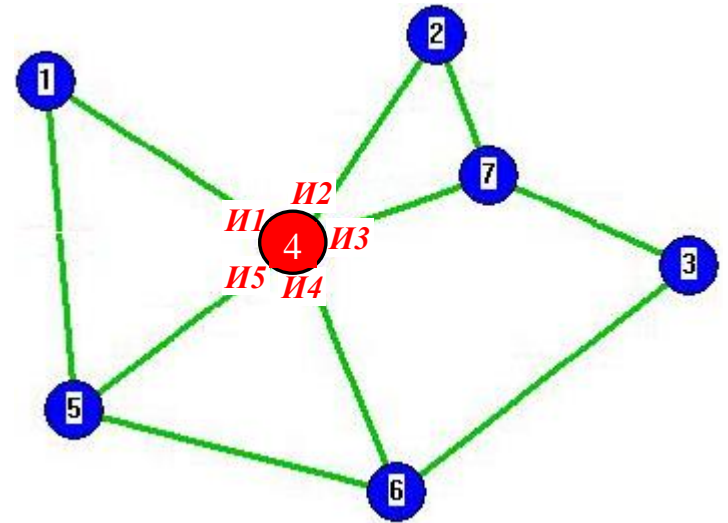
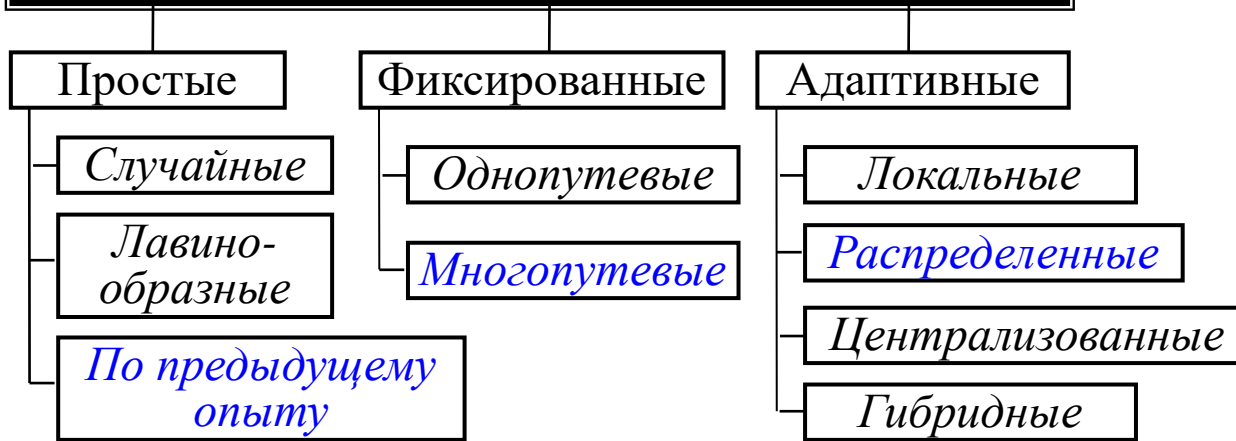


Таблица маршрутизации (ТМ) узла 4

Сетевой адрес	Интерфейс	Метрика
1	И1	0
2	И2	0
2	И3	1
3	И3	0,5
3	И4	1,5
5	И5	0

### 3. Управление трафиком на сетевом уровне – маршрутизация

#### Маршрутизация по предыдущему опыту

АП	АО	Р	...		
$Y_{10}$	$Y_1$	0	...	Данные	КС

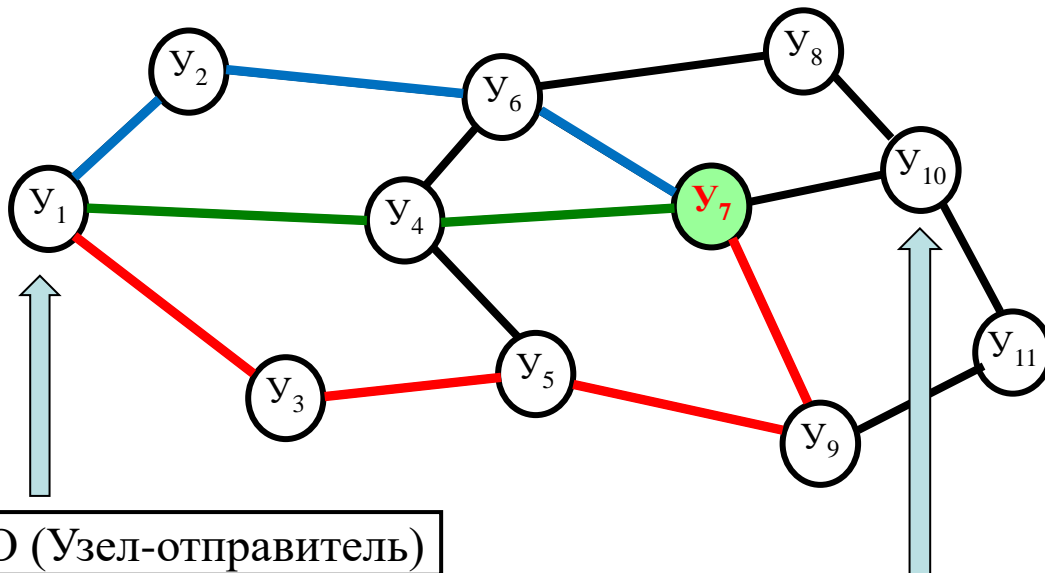


Таблица маршрутизации узла $Y_7$ (1)		
АН	АСУ	Расстояние (Р)
$Y_1$	$Y_9$	3
...	...	...



Таблица маршрутизации узла $Y_7$ (2)		
АН	АСУ	Расстояние (Р)
$Y_1$	$Y_6$	2
...	...	...



Таблица маршрутизации узла $Y_7$ (3)		
АН	АСУ	Расстояние (Р)
$Y_1$	$Y_4$	1
...	...	...

### 4. Управление трафиком на сетевом уровне – мультиплексирование

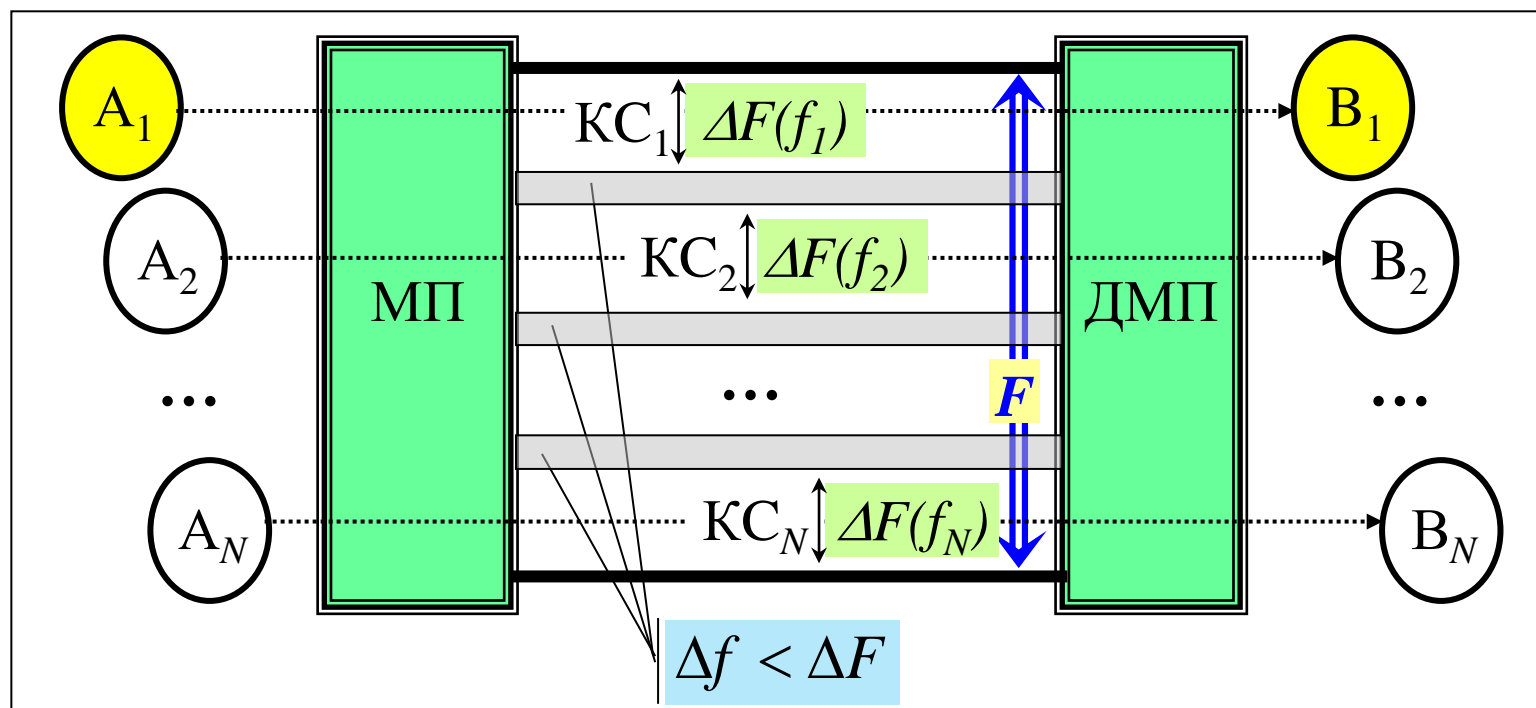
#### Методы мультиплексирования в компьютерных сетях

Частотное (FDM)

Временное (TDM)

Волновое (WDM)

#### Частотное мультиплексирование (Frequency Division Multiplexing – FDM)

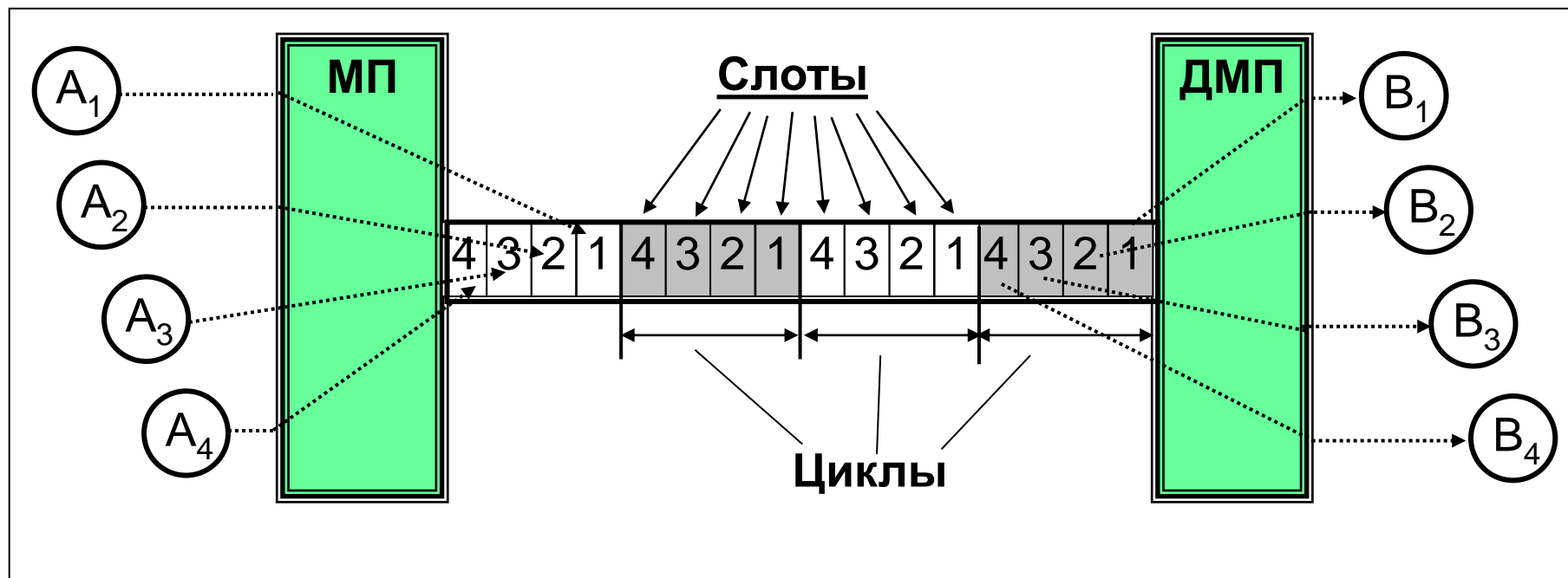


## 4. Управление трафиком на сетевом уровне – мультиплексирование

### Временное мультиплексирование (Time Division Multiplexing – TDM)

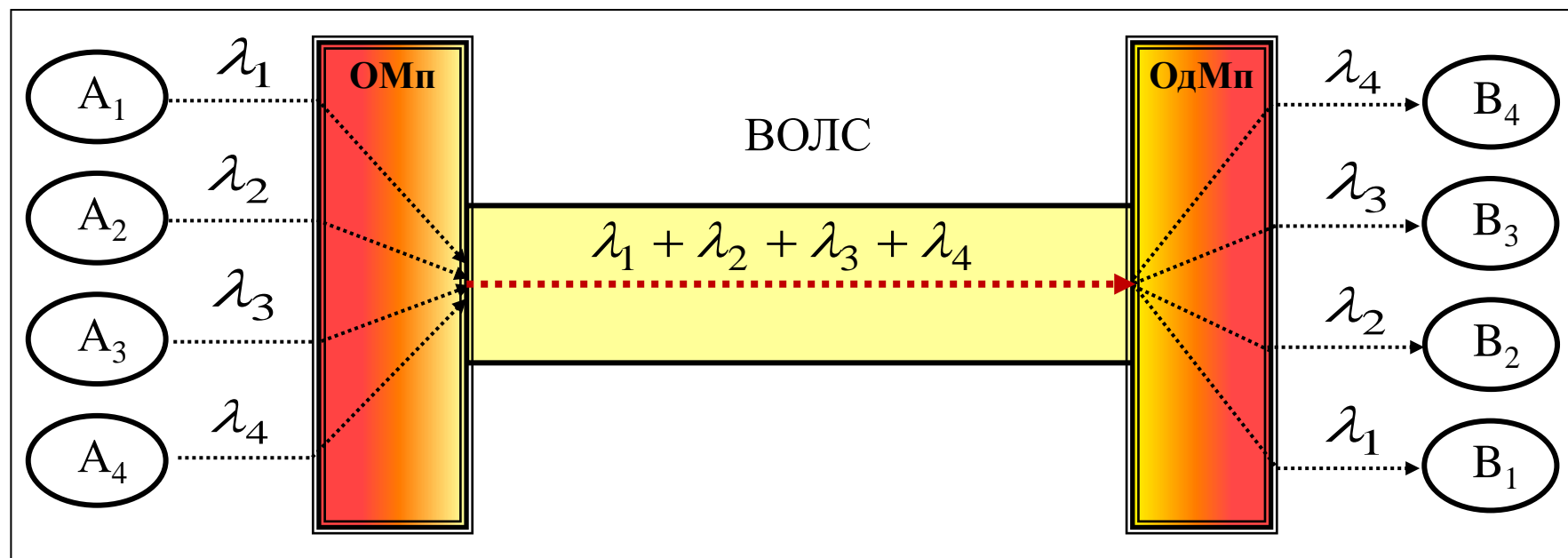
Статическое (синхронное)

Статистическое (асинхронное)



### 4. Управление трафиком на сетевом уровне – мультиплексирование

#### Волновое мультиплексирование – спектральное уплотнение (Wavelength Division Multiplexing – WDM)

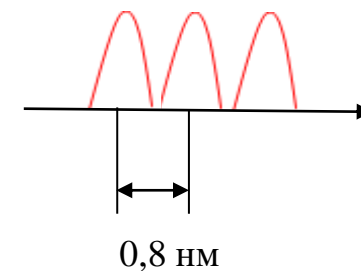


#### Грубое волновое мультиплексирование CWDM (Coarse WDM):

до 16 спектральных каналов (волн) по 2,5 Гбит/с с разнесом несущих в 20 нм

#### Уплотнённое волновое мультиплексирование DWDM (Dense WDM):

32, 40 и 80 спектральных каналов (от 10 до 100 Гбит/с и более) с разнесом несущих в 1,6 нм и 0,8 нм



### 5. Управление трафиком на высших уровнях OSI-модели

На транспортном уровне управление потоком *между конечными узлами* компьютерной сети может быть реализован за счет:

- *квитирования* на основе скользящего окна (например, в протоколе TCP);
- установления *приоритетов* между различными типами трафика;
- применения **методов борьбы с перегрузками** в сети (когда скорость передачи данных от отправителя выше скорости получателя) путем:
  - *уменьшения объемов передаваемых данных* (размера скользящего окна) при возникновении перегрузок;
  - *ограничения* поступающего от абонента *трафика*;
- *ограничения доступа* – количества пакетов в сети (изаритмический алгоритм);
- ...

На сеансовом уровне управление трафиком в коммутируемых сетях сеансом связи реализуется за счет:

- применения различных способов *установления, поддержки и разрыва соединения* между абонентами;
- *приоритезации* трафика;
- ...



## 1.5. Стеки сетевых протоколов

**Стек протоколов** – множество протоколов разных уровней одной сетевой технологии:

	OSI-модель	IEEE-модель		TCP/IP	XNS (Xerox) IPX/SPX (Novell)	AppleTalk	DECnet	SNA
7	Прикладной	Прикладной		Прикладной	Прикладной	Представления	Прикладной (пользователь-ский)	Сервис транзакций
6	Представления				Контрольный		Сетевые приложения	Представитель-ный сервис
5	Сеансовый (сессионный)					Сессионный		
4	Транспортный			Транспортный	Транспортный	Транспортный	Коммуникации "конец-связи"	Контроль передачи
3	Сетевой			Межсетевой	Межсетевой	Сетевой	Маршрутизаци-онный	Контроль маршрута
2	Канальный (передачи данных)	Каналь-ный	LLC	Сетевой интерфейс	Канальный интерфейс	Канальный	Канальный	Контроль канала
			MAC					
1	Физический	Физический				Физический	Физический канал	Физический контроль

## 1.6. Многообразие современных компьютерных сетей



## 1.6. Многообразие современных компьютерных сетей

- **Самоорганизующаяся сеть** (Ad-Hoc сеть – лат. «специально для этого», «для данного случая») – сеть, не имеющая постоянной *структуры*, в которой устройства соединяются «на лету», а функции между узлами перераспределяются при подключении нового устройства или выходе из строя узлов сети, изменении характера трафика и т.д.:
  - **мобильные беспроводные** самоорганизующиеся сети (**MANET** – **M**obile **A**d-Hoc **N**etworks);
  - **mesh-сеть** – сеть с *ячеистой конфигурацией*, состоящая из узлов, реализующих функции маршрутизаторов (шлюзов).
- **Программно-конфигурируемые сети** (*Software-defined Networking, SDN*) – разделение процессов передачи и управления данными (управление реализуется программно с использованием унифицированных программных средств); одна из форм виртуализации физических сетевых ресурсов.
- **Когнитивные сети** (от лат. *cognitio* – «познание») – сети, способные *анализировать, обучаться, запоминать, делать логические выводы и адаптироваться* к изменяющимся условиям для достижения поставленных целей и решения требуемых задач.
- **Интернет вещей** (*Internet of Things, IoT*) – множество физических объектов (*вещей*), объединенных в сеть и взаимодействующих друг с другом и с внешней средой.
- **Тактильный Интернет** – высокоскоростное и надежное соединение с возможностью передачи физических (тактильных) ощущений.
- **Грид-системы** (*grid* – решётка, сеть) – кластеры слабосвязанных гетерогенных компьютеров, объединенных с помощью сети передачи данных.
- **Облачные вычисления** (*cloud computing*) – обеспечение удобного сетевого доступа к общим конфигурируемым вычислительным ресурсам (ЦОД – центр обработки данных).
- **Туманные вычисления** (*fog computing*) – хранение и обработка данных в локальной сети между конечным устройством и ЦОД с целью отфильтровывания данных, передаваемых в ЦОД.
- **Граничные вычисления** (*Edge computing*) – хранение и обработка данных на конечном устройстве, которое находится к пользователю ближе, чем «облако» и «туман».

# ИТМО