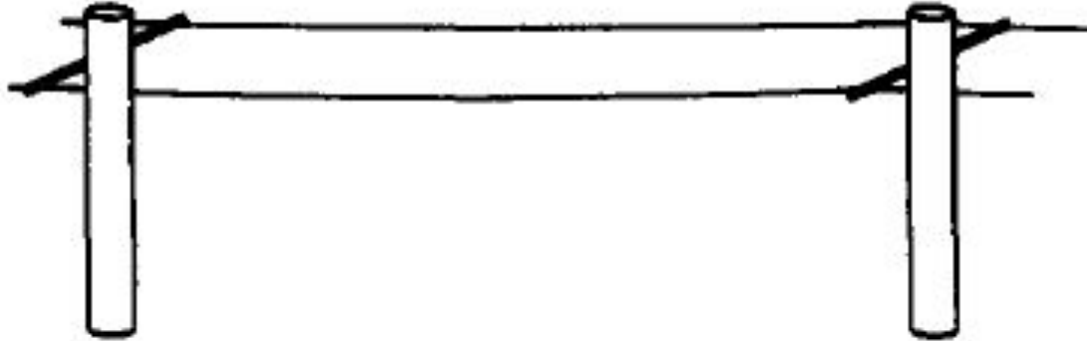


# Физический уровень

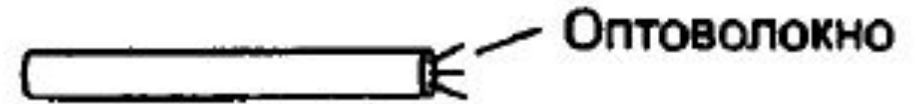
глава 2

# Физическая среда передачи данных

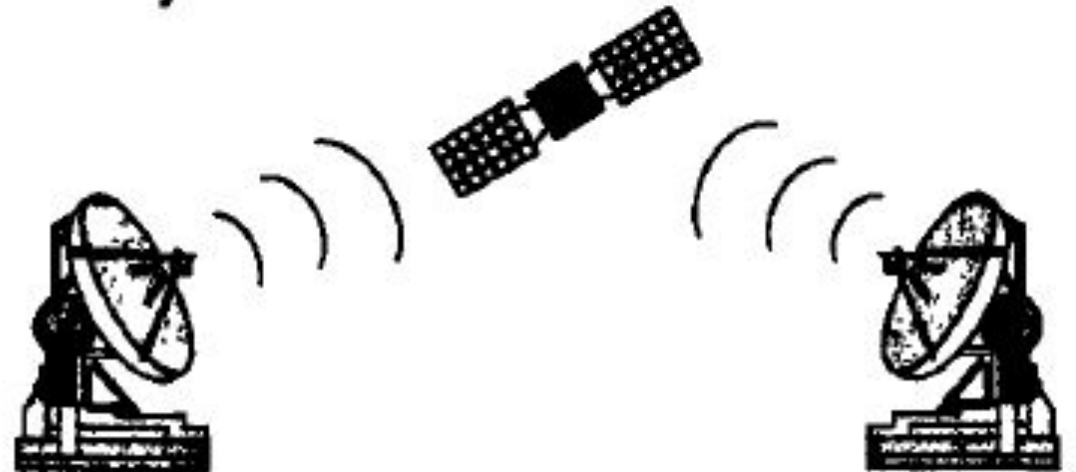
▶ Подводные (воздушные) линии связи



▶ Волоконно-оптические линии связи



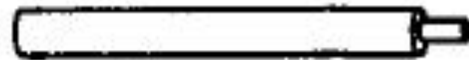
▶ Радиоканалы наземной и спутниковой связи



▶ Кабельные линии связи (медь)



Витая пара



Коаксиал

Рис. 8.2. Типы сред передачи данных

# Физическая среда передачи данных

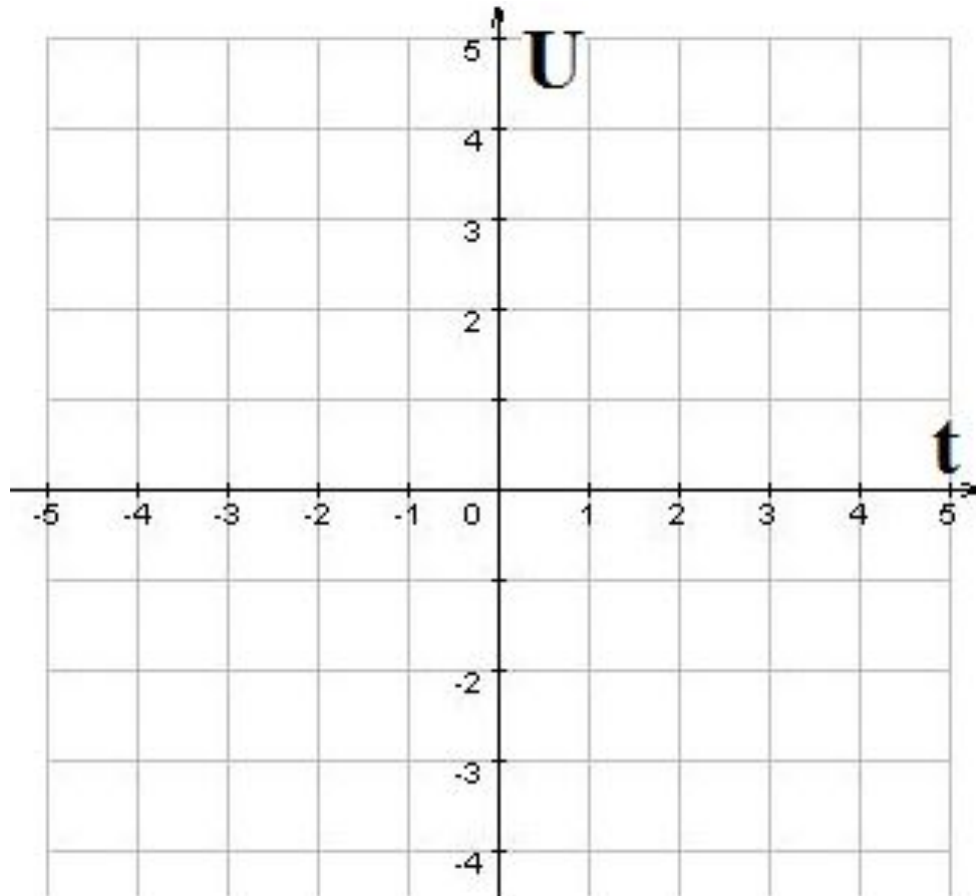
- **Проводные (воздушные) линии связи** представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе (телефон, телеграф).
- **Кабельные линии** основаны на кабелях, состоящих из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции и разъемов, позволяющих выполнять присоединение к нему различного оборудования (УТР, STP, опто-волокно).
- **Радиоканалы** наземной и спутниковой связи образуются с помощью передатчика и приемника радиоволн (АМ-частоты, FM-частоты).

# Сигнал

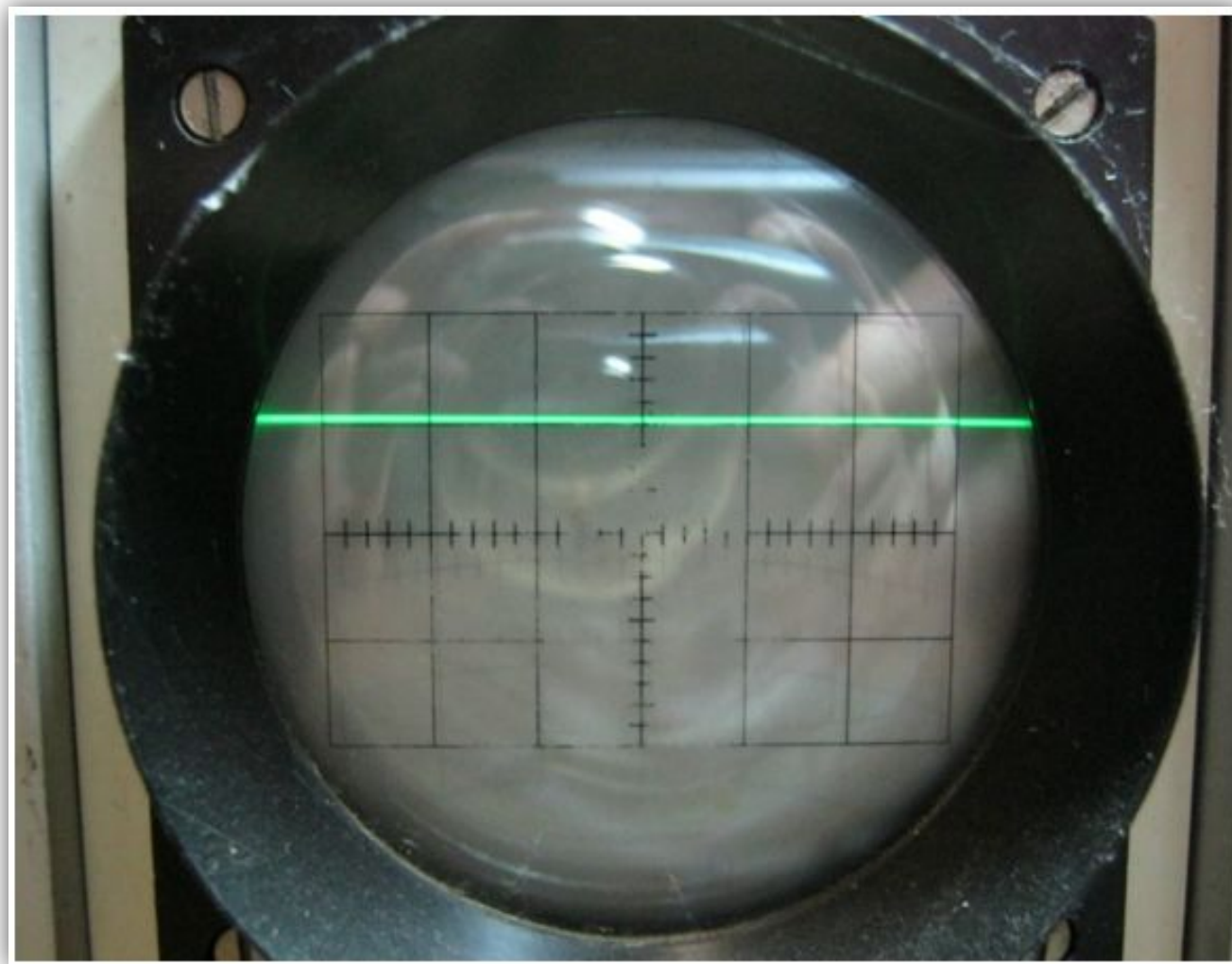
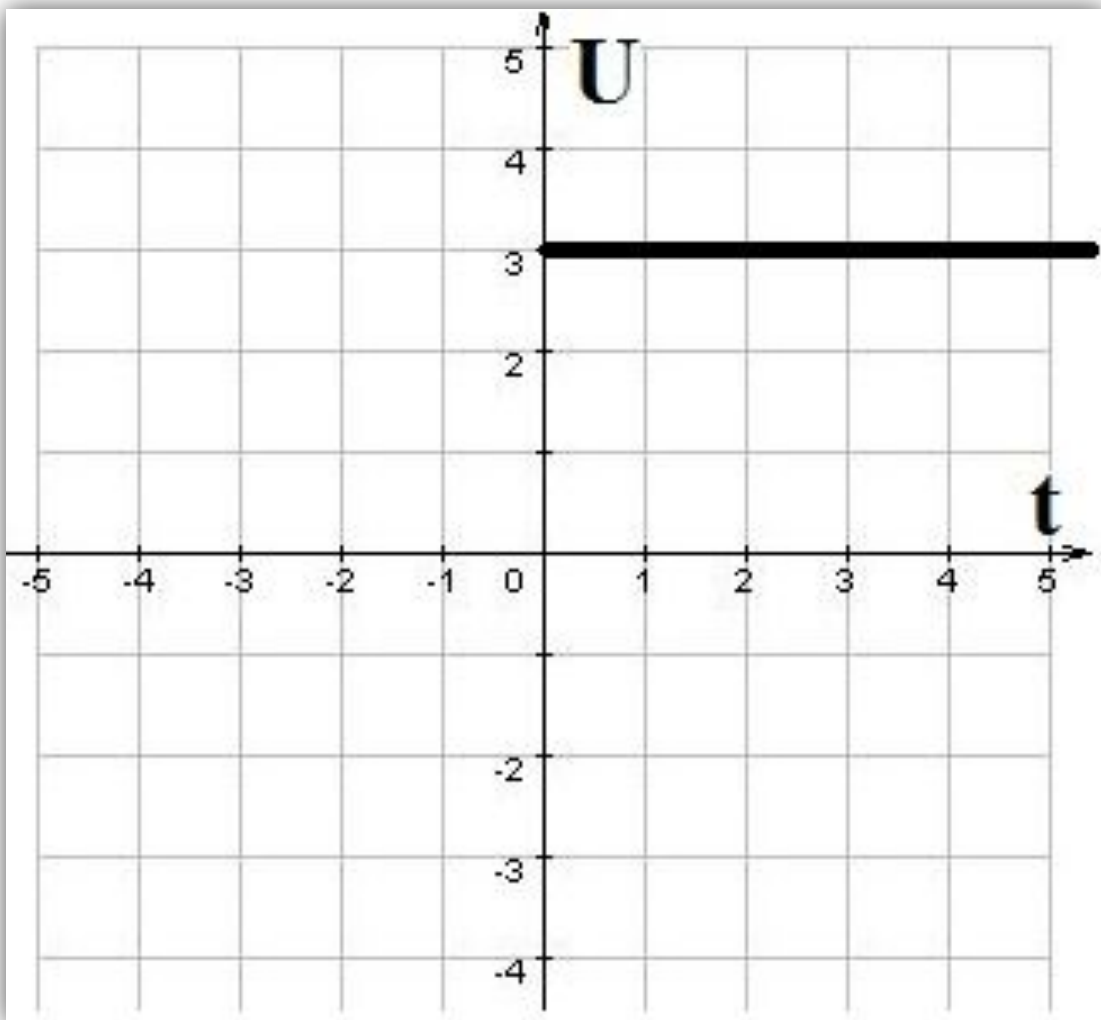
- **Сигнал** — код (символ, знак), созданный и переданный в пространство (по каналу связи) одной системой, либо возникший в процессе взаимодействия нескольких систем. Смысл и значение сигнала проявляются в процессе его регистрации второй (принимающей) системой.
- Сигнал, детерминированный или случайный, описывают **математической моделью**, функцией, характеризующей изменение параметров сигнала (н-р зависимость какой-либо характеристики от времени).
- Противоположностью полезного сигнала является **шум** —случайная функция времени, взаимодействующая (например, путём сложения) с сигналом и искажающая его.

# Представление сигнала

- Для представления сигнала используется **график** с осями координат, показывающий изменение одной характеристики от другой.
- В электронике и электротехнике **по X откладывается время (t)**, а по Y напряжение (U).

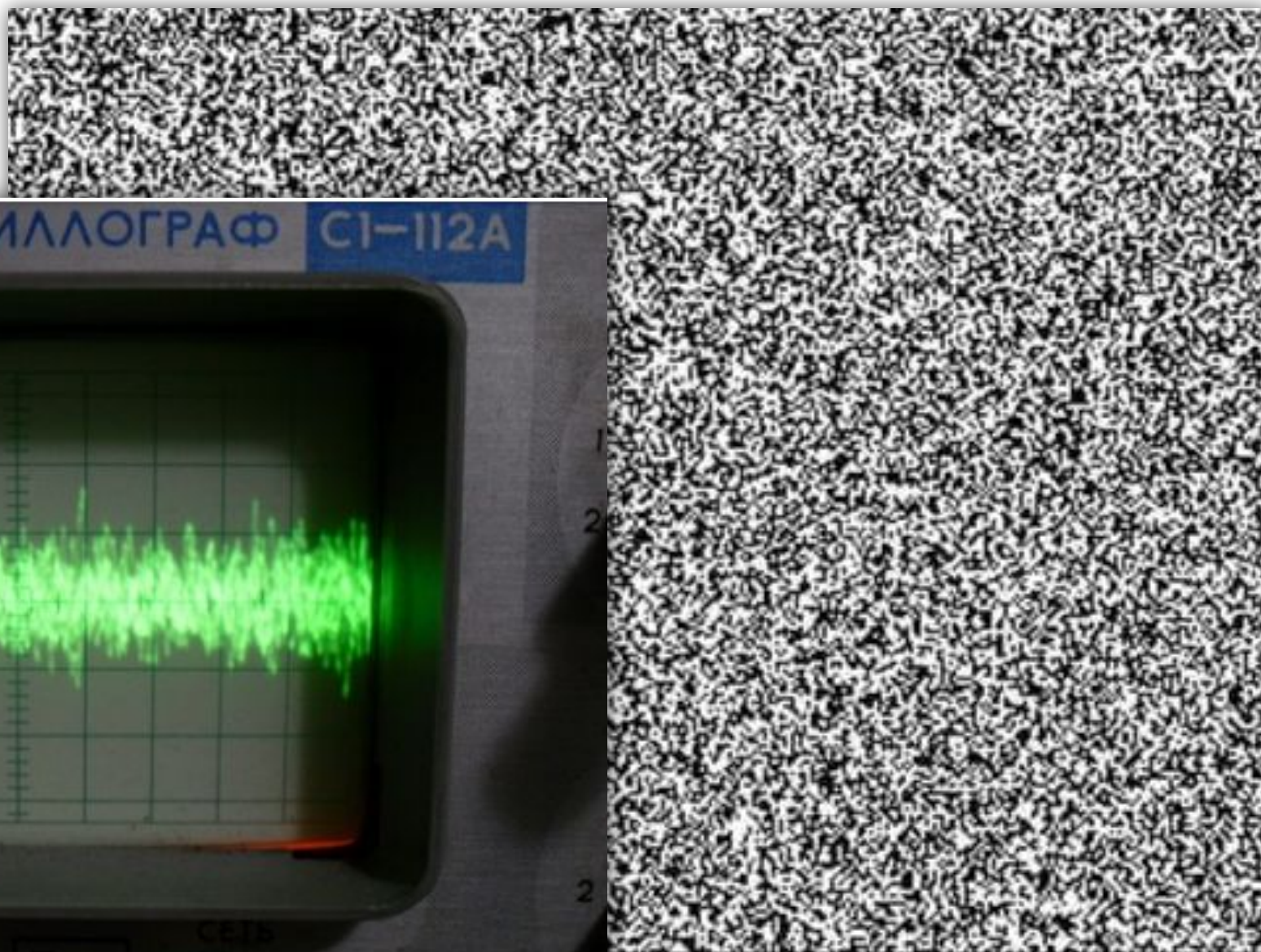


# Сигнал постоянного тока



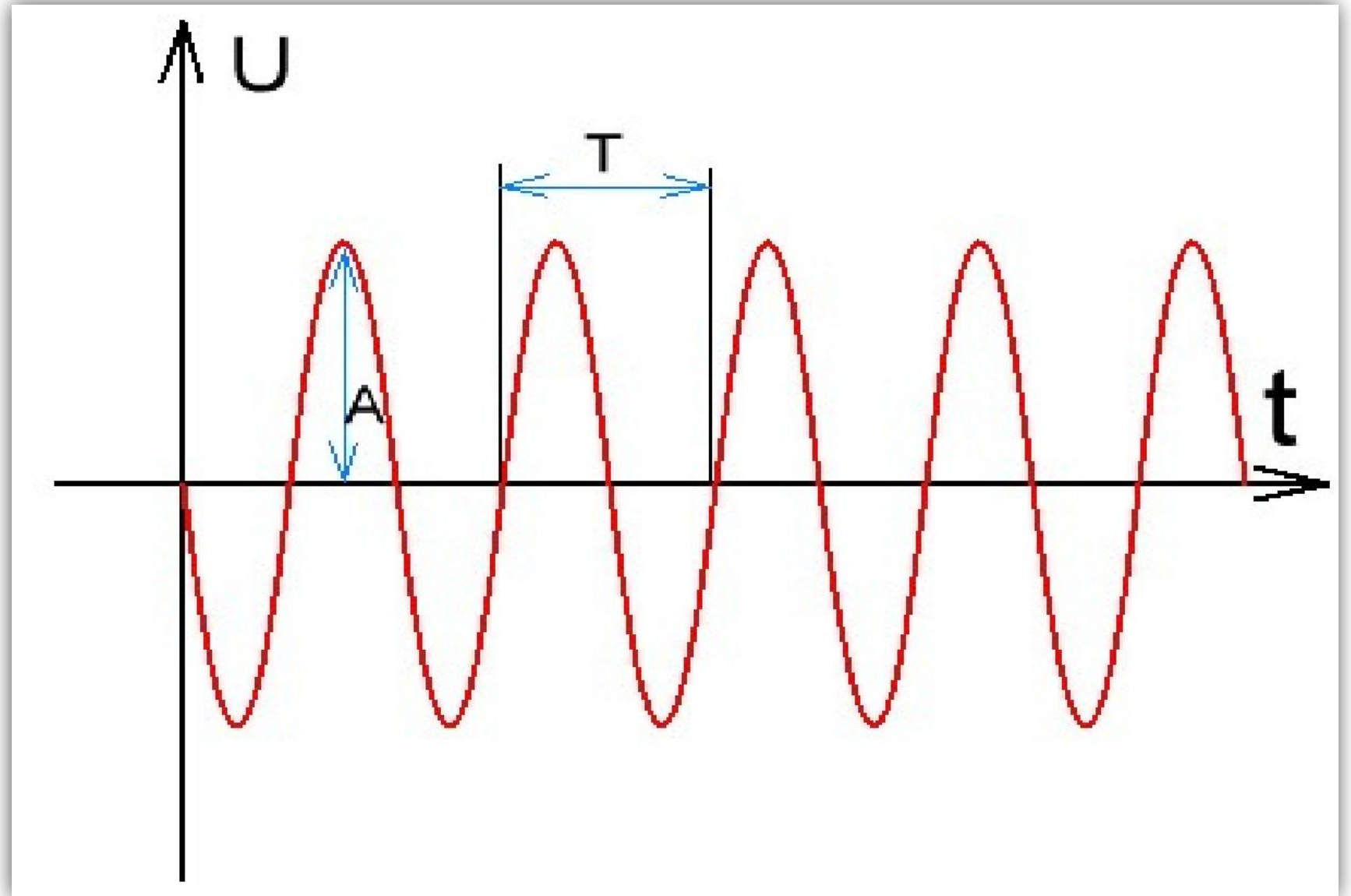


# Шум



# Синусоидальный сигнал

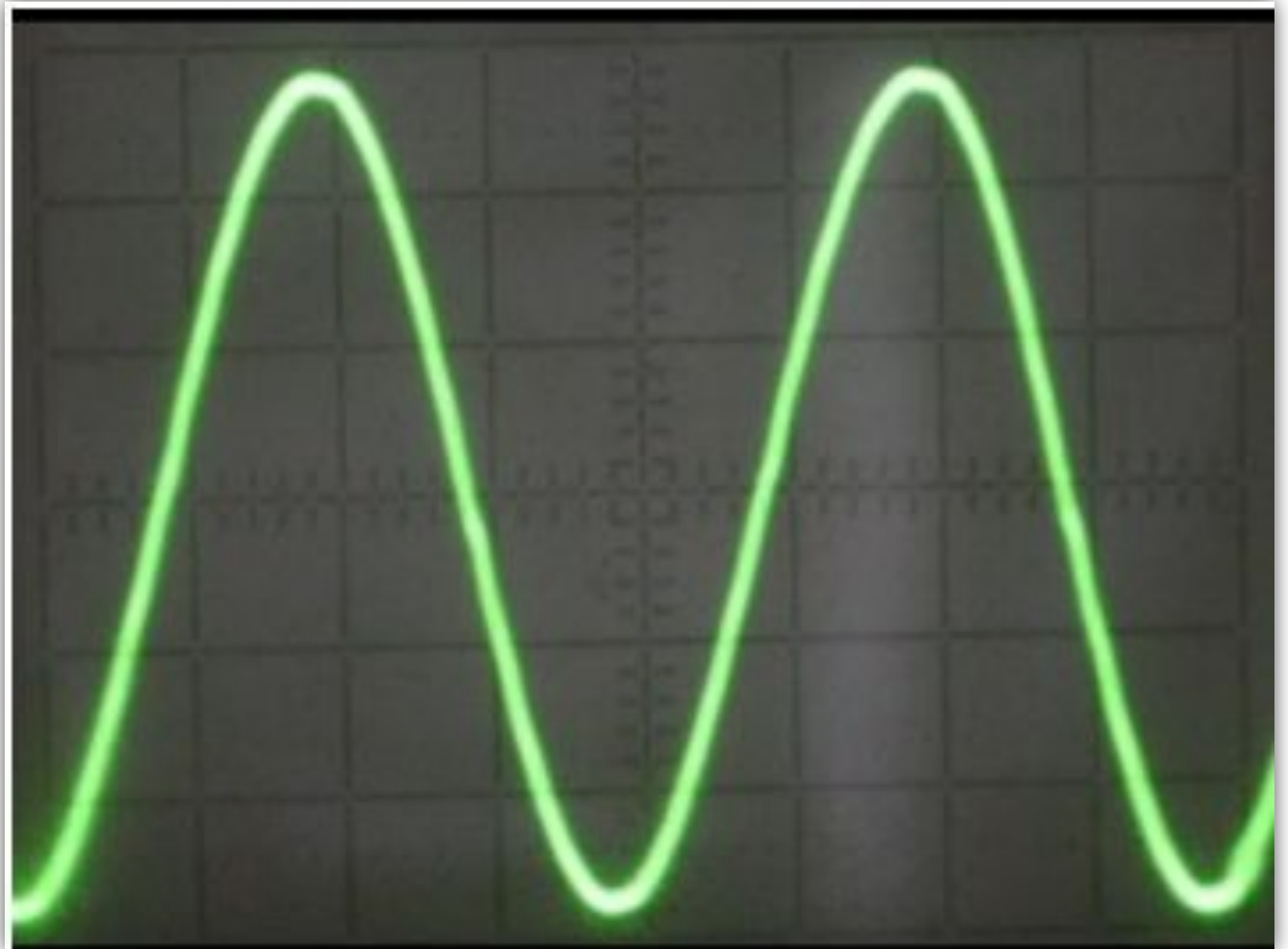
- **Амплитуда (A)** - максимальное отклонение напряжения от нуля и до какого-то значения
- **Период (T)** - время, за которое сигнал снова повторяется (сек)
- **Частота (F)** – количество колебаний в секунду ( $1/T$ ) (Гц)



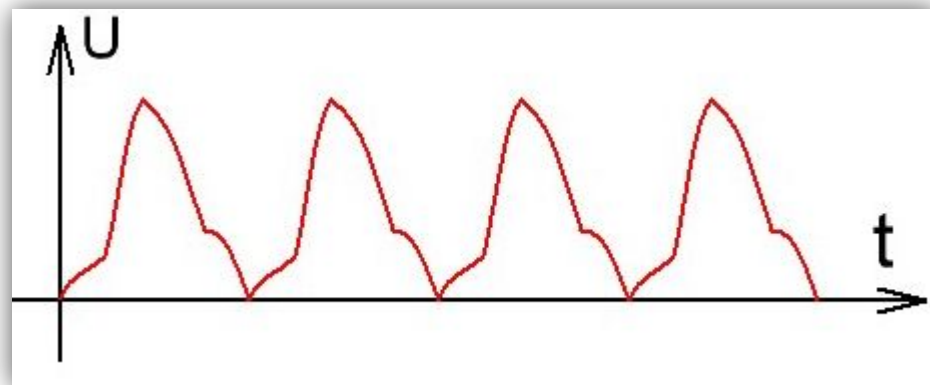
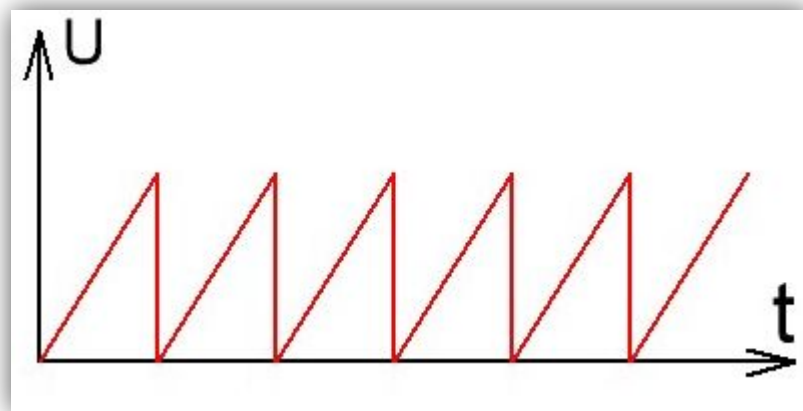
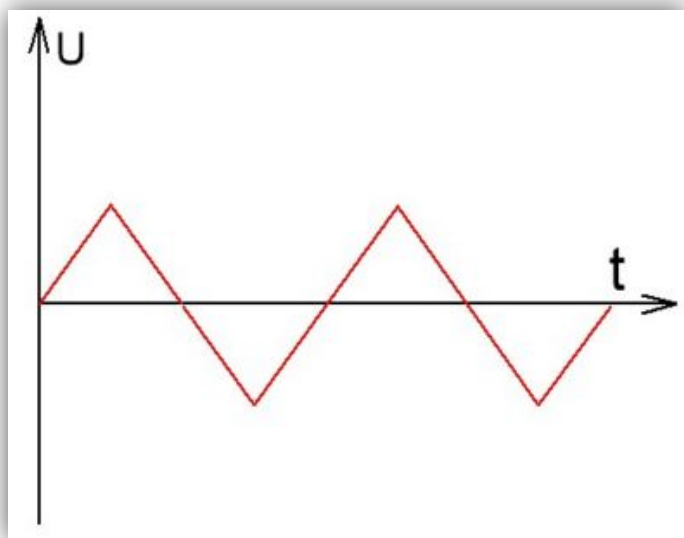
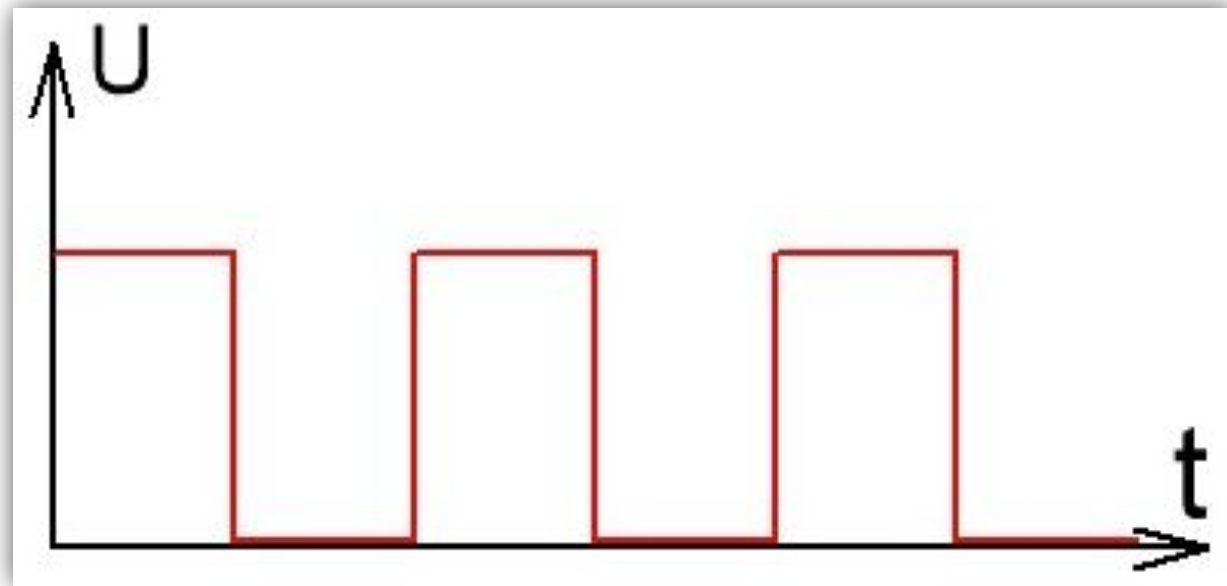
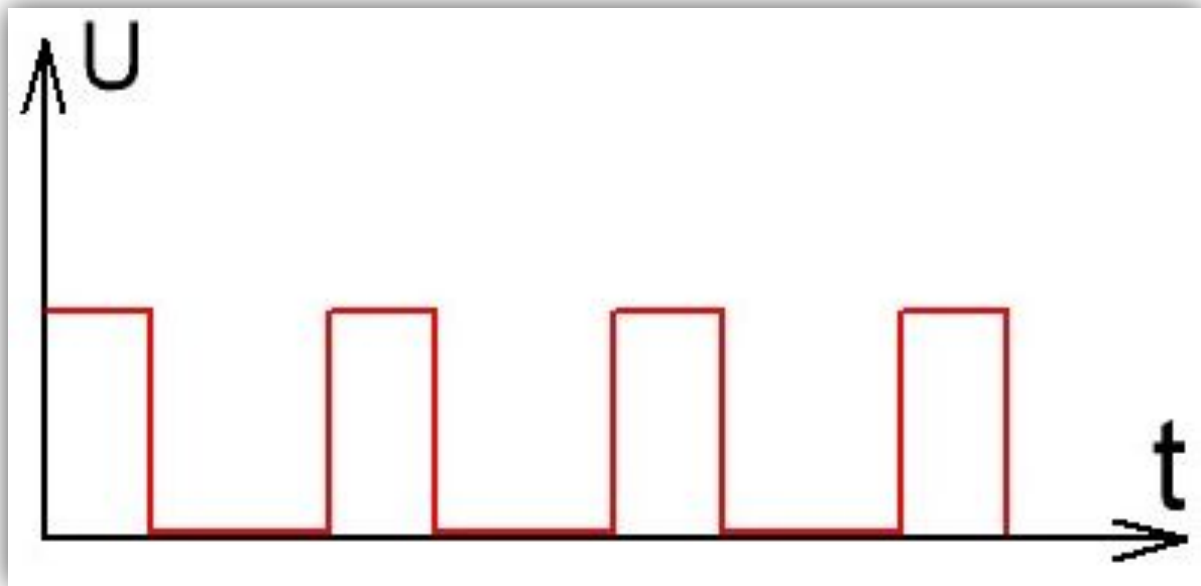


# В нашей розетке

- **В розетке** можно наблюдать синусоидальный сигнал, **частотой** в 50 Герц и **амплитудой** в 310 Вольт

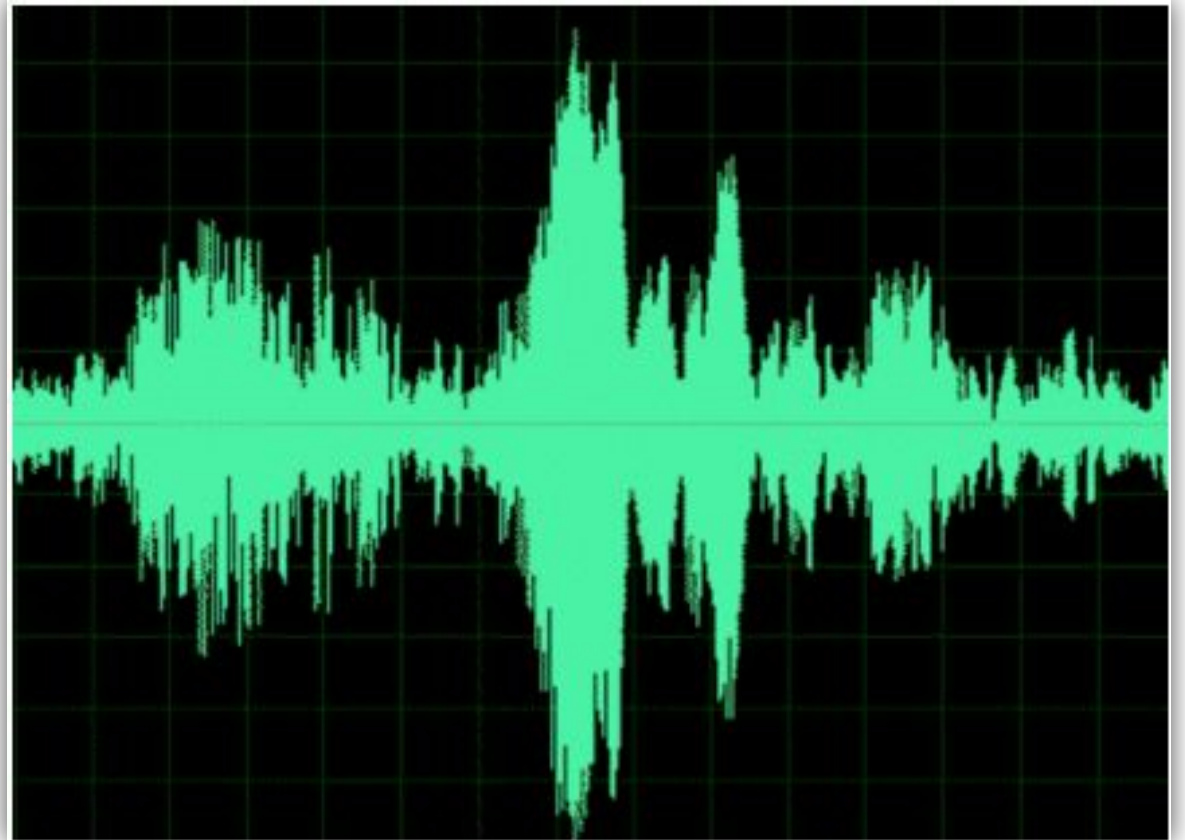
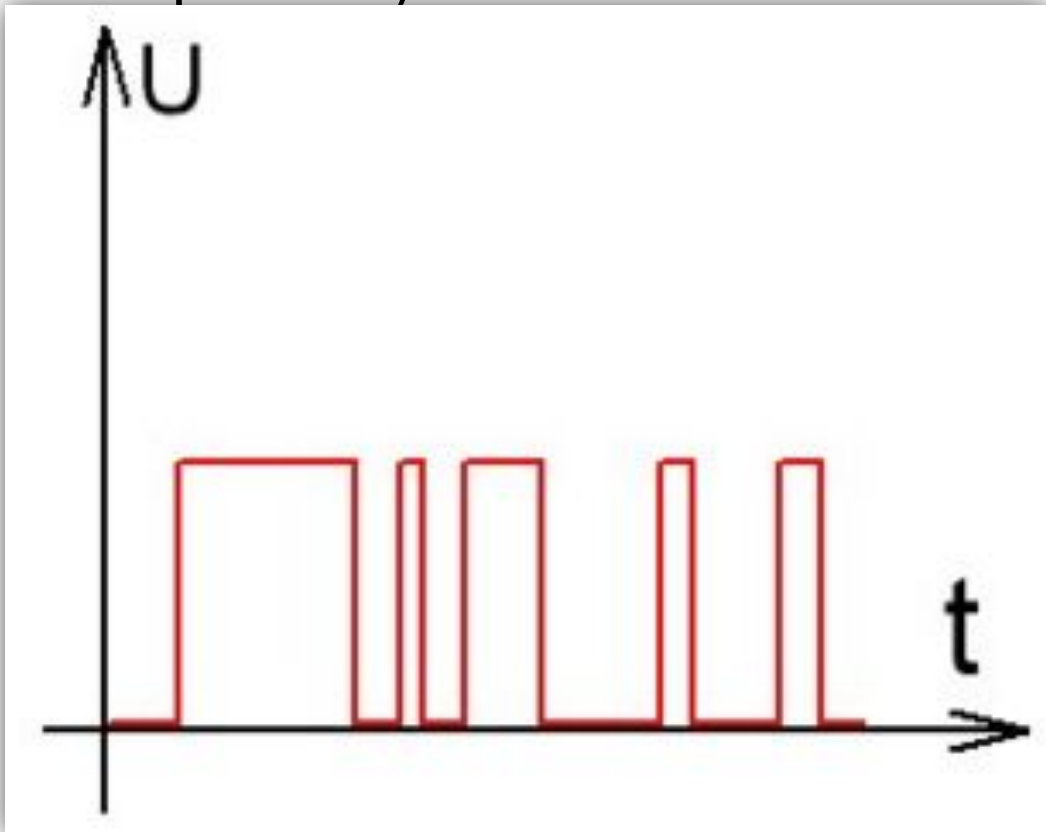


# Еще периодические сигналы



# Импульс

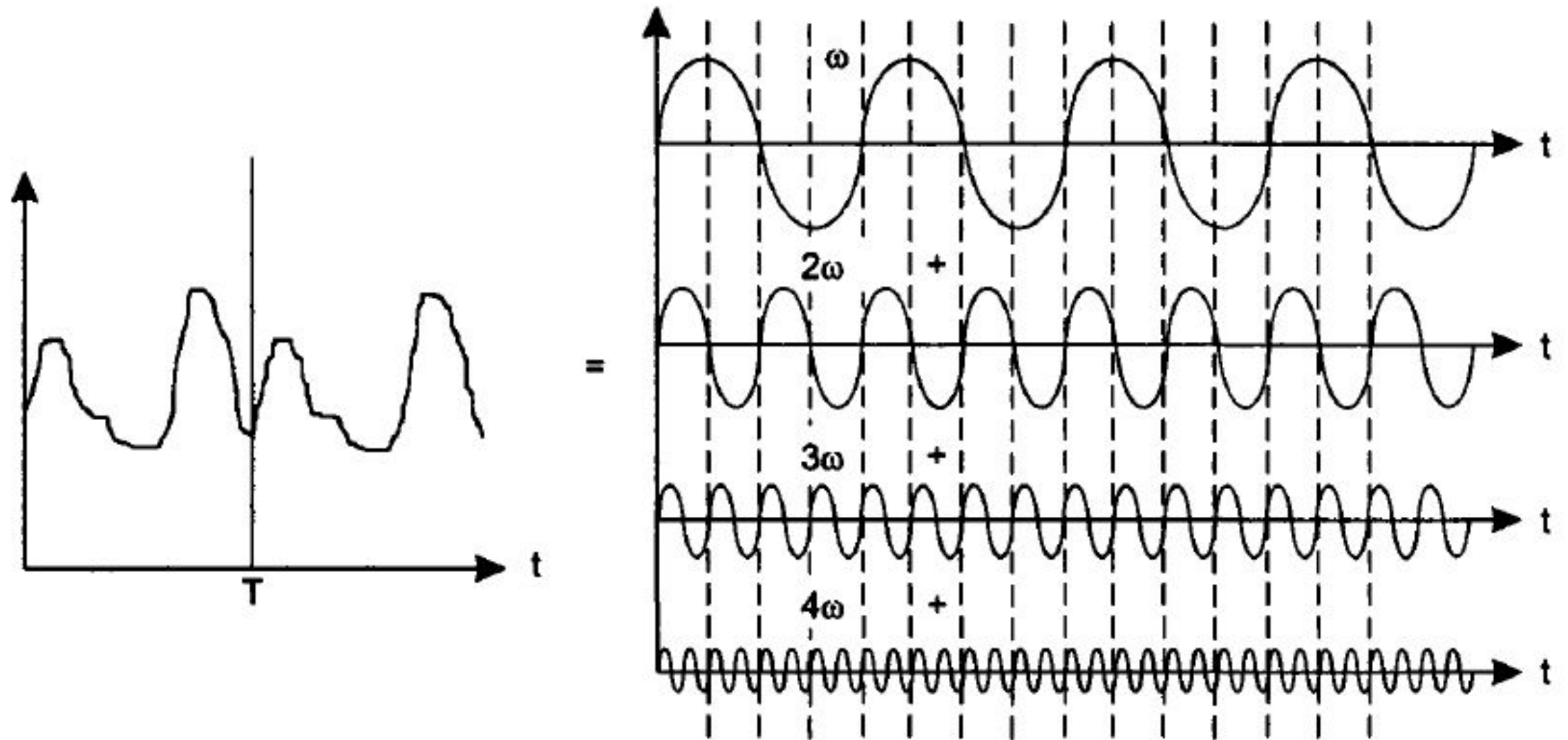
- **Импульсы** - это сигналы, не поддающиеся периодическому закону, и меняющие свое значение, в зависимости от ситуации (характеризуются максимальной мощностью при минимальном времени).



# Спектральный анализ сигналов

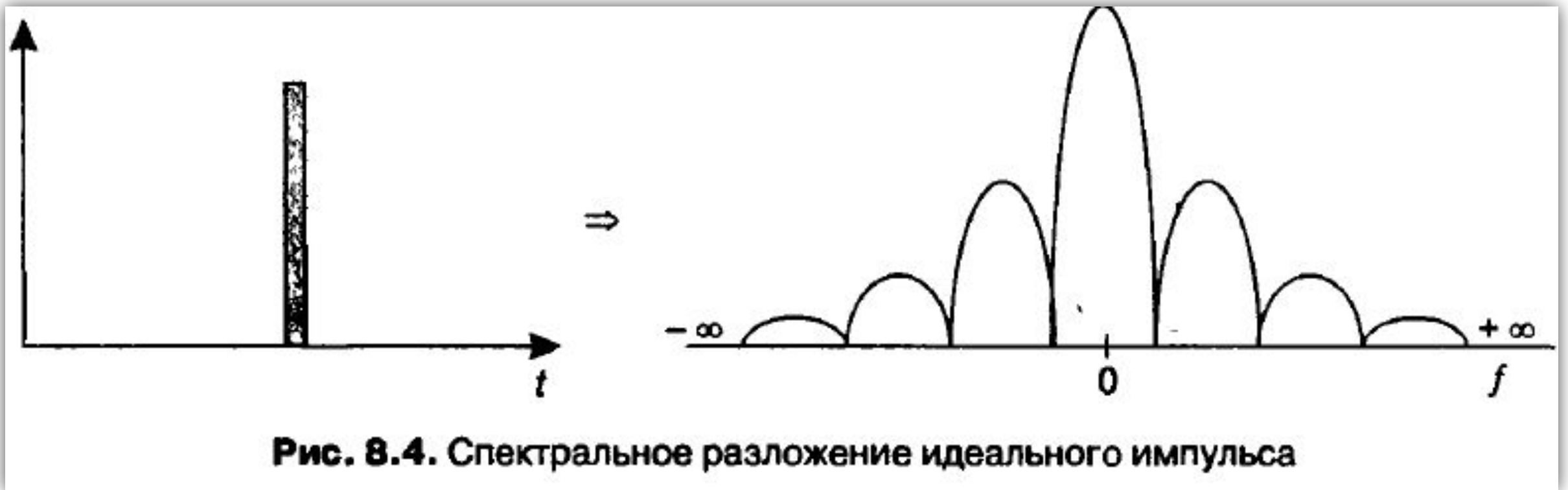
- Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде **суммы синусоидальных колебаний** различных частот и различных амплитуд.
- Каждая составляющая синусоида называется **гармоникой**, а набор всех гармоник называют **спектральным разложением**, или **спектром**, исходного сигнала.
- **Непериодические сигналы** (импульсы) можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот.

# Спектральный анализ сигналов



**Рис. 8.3.** Представление периодического сигнала суммой синусоид

# Спектральный анализ сигналов

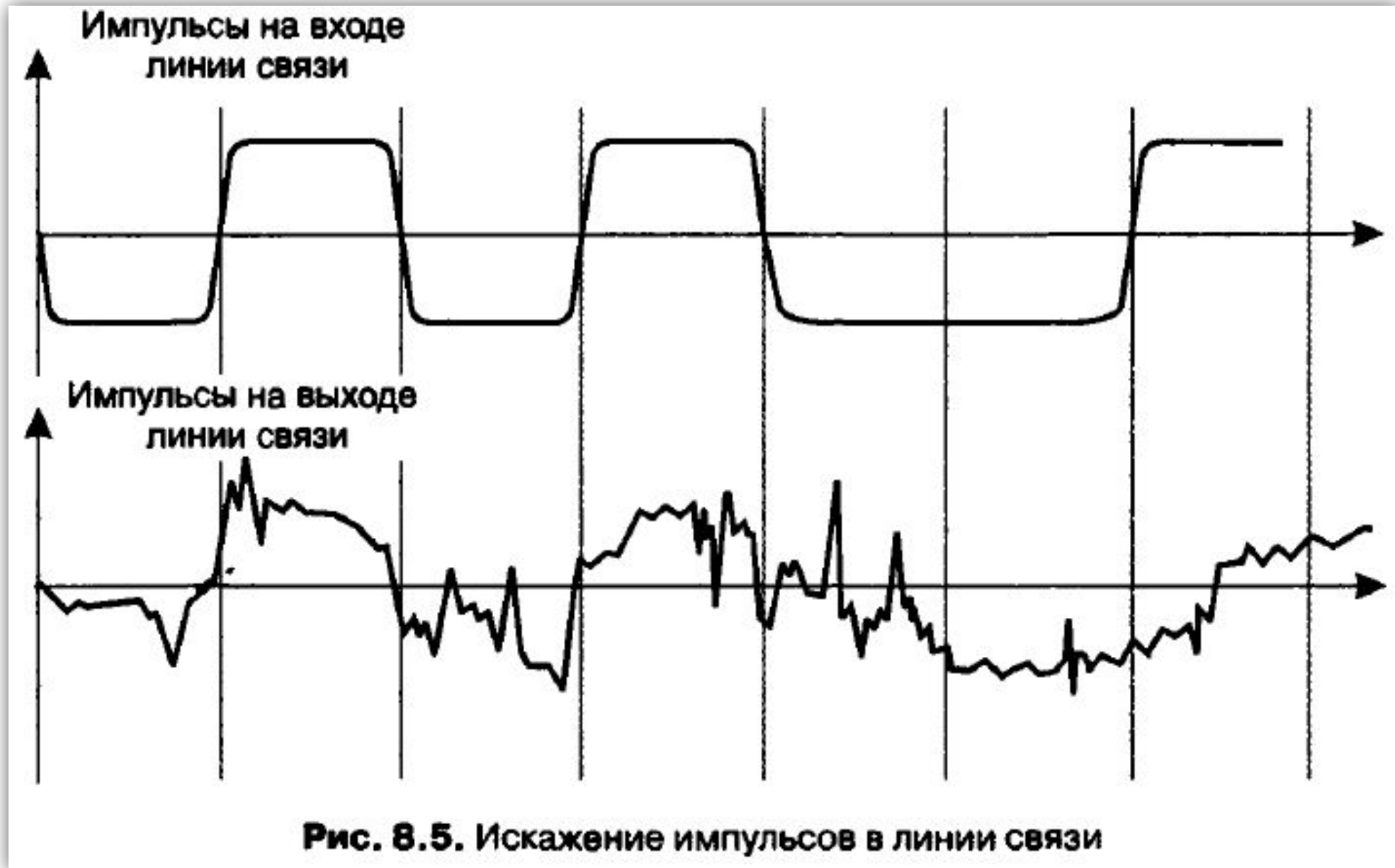




# Искажение сигнала

- Искажение передающей линией связи синусоиды какой-либо частоты приводит, в конечном счете, к **искажению амплитуды и формы** передаваемого сигнала любого вида.
- **При передаче импульсных сигналов**, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму, и сигналы могут плохо распознаваться на приемном конце линии.

# Спектральный анализ сигналов

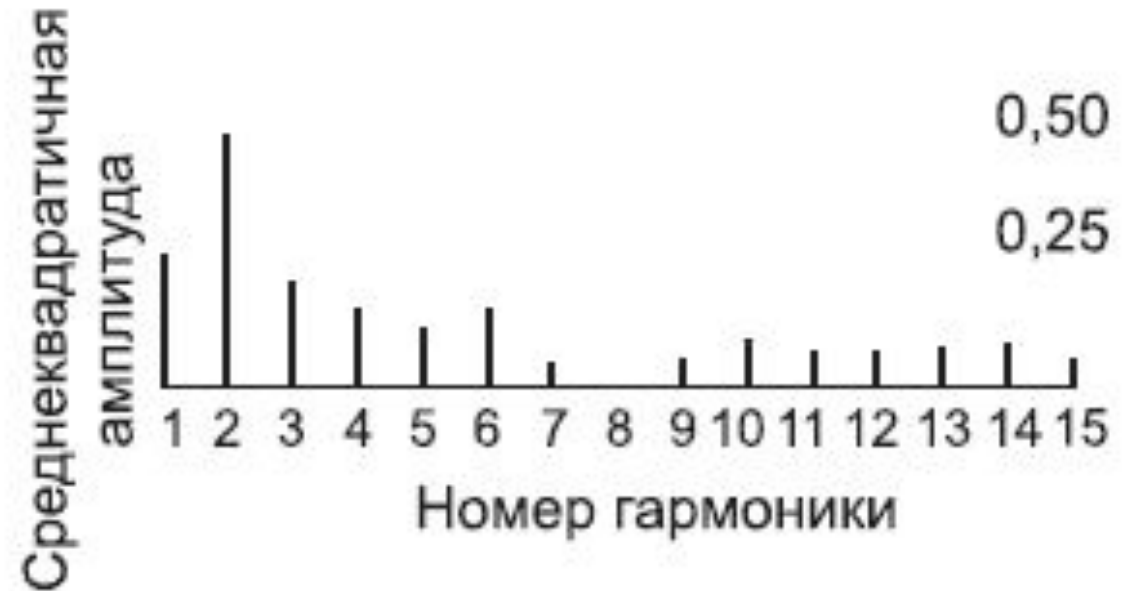
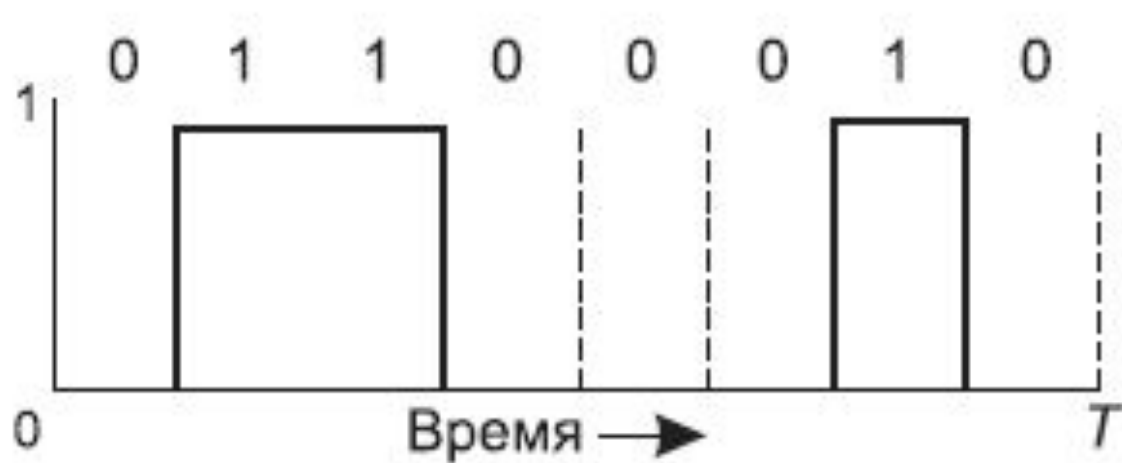


# Ряд Фурье

- Любая периодическая **функция  $g(t)$**  с **периодом  $T$**  может быть разложена в ряд, состоящий из сумм синусов и косинусов.
- **Информационный сигнал**, имеющий конечную длительность (все информационные сигналы имеют конечную длительность), может быть разложен в ряд Фурье, если представить, что весь сигнал бесконечно повторяется снова и снова.
- Ряд Фурье позволяет восстановить исходный (посланный из источника) сигнал, из сигнала пришедшего в приемник, т.е. позволяет найти **спектр некоторого исходного сигнала**.

# Передача бит

- Необходимо осуществить передачу **двоичного кода ASCII** символа «b».
- Для этого потребуется 8 бит (то есть 1 байт). Задача — передать следующую **последовательность бит: 01100010**.



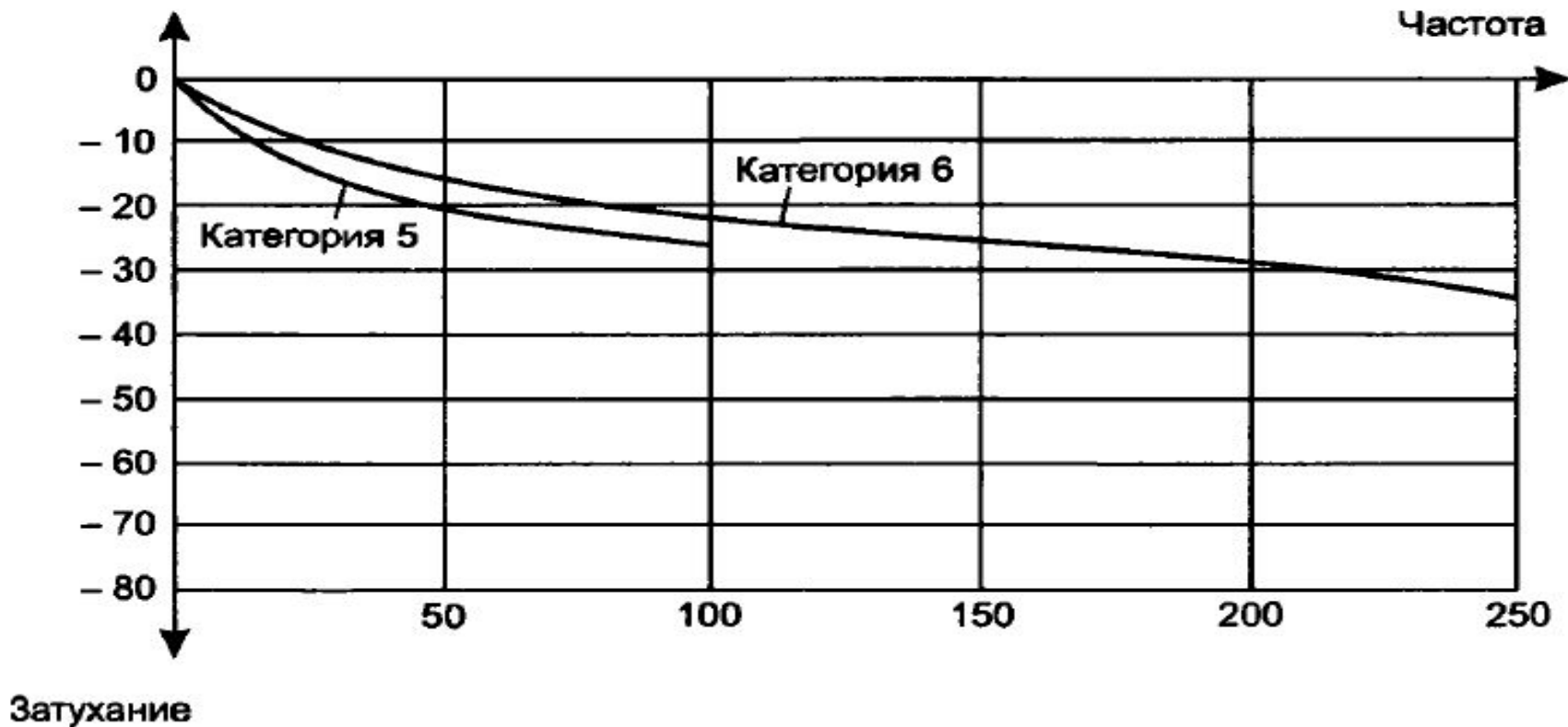
а

# Потеря мощности

- Ни один канал связи **не может** передавать сигналы **без потери мощности**.
- Все каналы связи уменьшают гармоники ряда Фурье **в разной степени**, тем самым искажая передаваемый сигнал.
- Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается такими характеристиками, как **затухание и полоса пропускания**.

# Затухание

- **Затухание (Дб)** показывает, насколько уменьшается мощность эталонного синусоидального сигнала на выходе линии связи по отношению к мощности сигнала на входе этой линии.
- Затухание зависит от длины линии связи, то в качестве характеристики линии связи используется так называемое **погонное затухание**, то есть затухание на линии связи определѐ



**Рис. 8.8.** Затухание неэкранированного кабеля на витой паре



# Помехоустойчивость

- **Помехоустойчивость линии** — способность линии уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде и на внутренних проводниках, зависит от:
  - ✓ характеристик используемой физической среды;
  - ✓ средств линии, предназначенных для экранирования и подавления помех самой линии
- **Наименьшим** является показатель помехоустойчивости у радиолиний, **гораздо большей** устойчивостью обладают кабельные линии и **наилучшей** — волоконно-оптические линии.

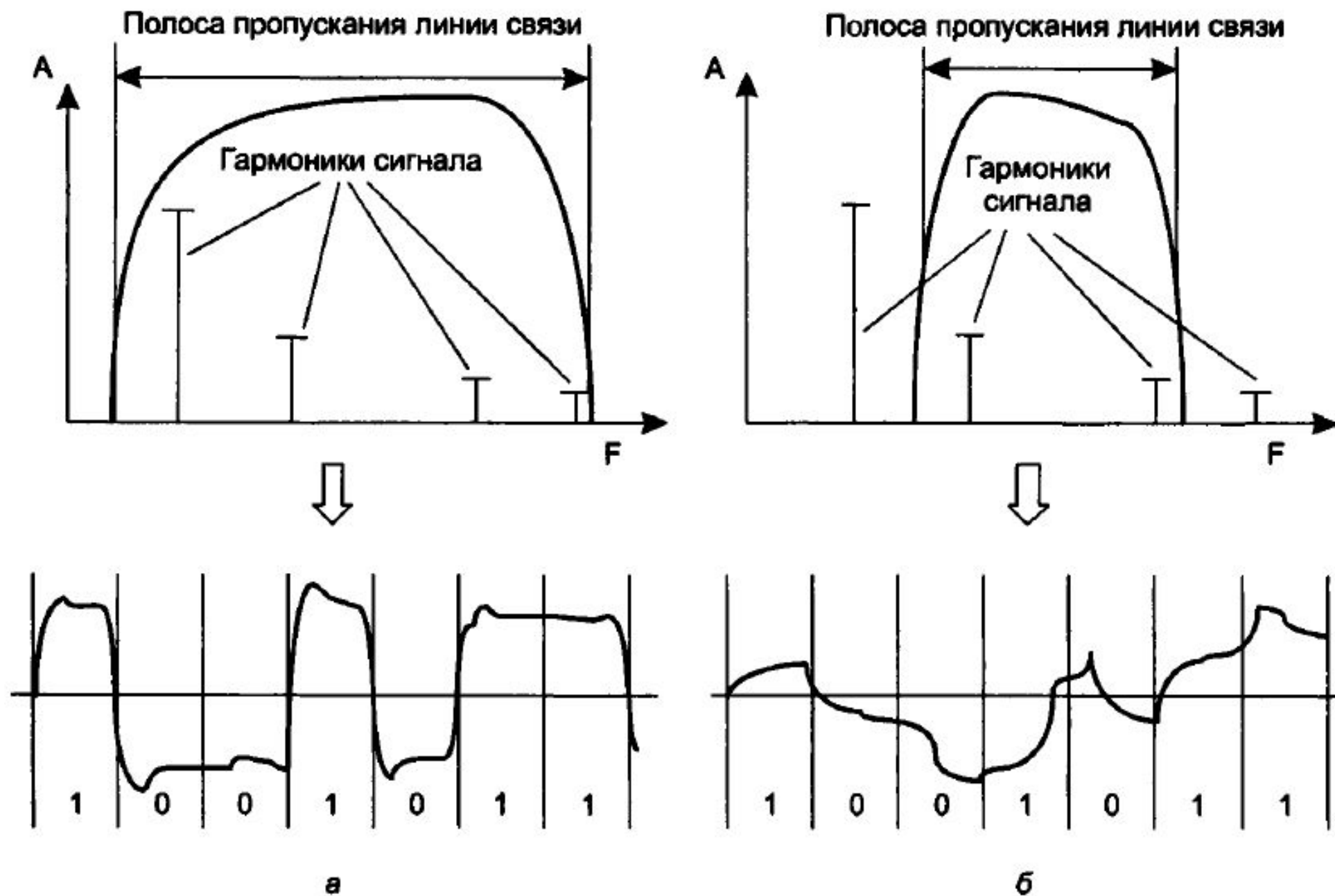
# Полоса пропускания

- **Полоса пропускания** – это непрерывный диапазон частот, для которого затухание не превышает некоторый заранее установленный предел.
- Полоса пропускания **определяет диапазон частот** синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи **без значительных искажений** (примерно -3Дб).
- **Ширина полосы пропускания** в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи.

# Пропускная способность

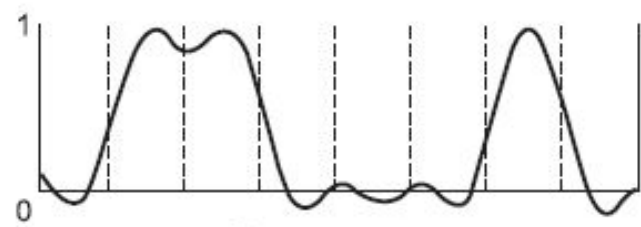
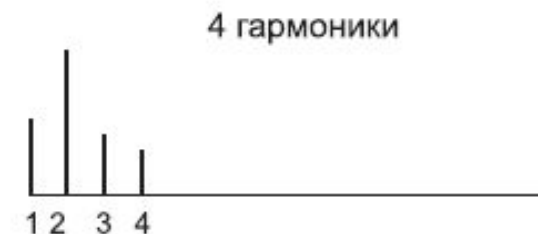
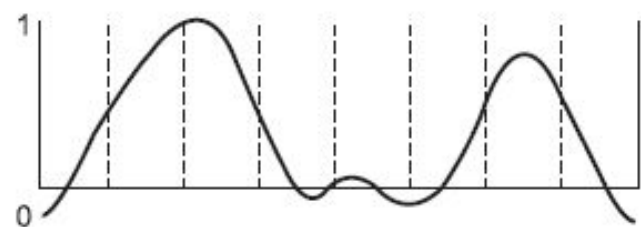
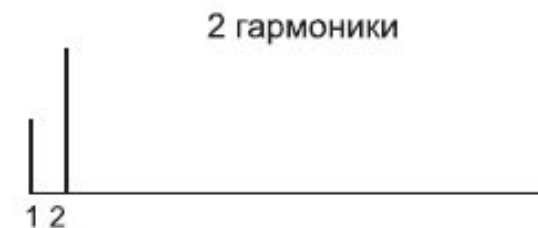
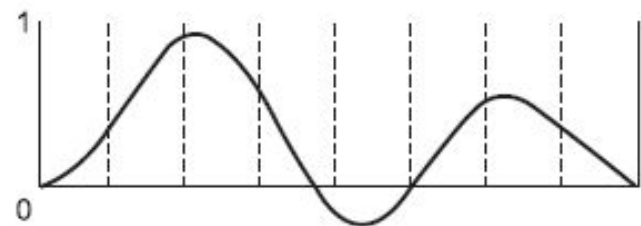
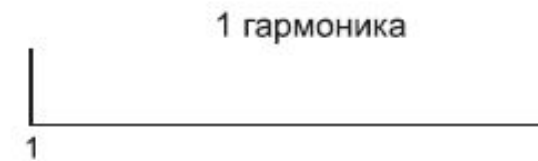
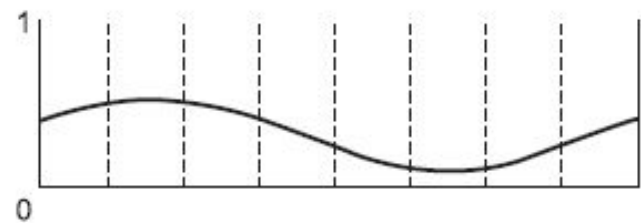
- **Пропускная способность** характеризует максимально возможную скорость передачи данных, которая может быть достигнута на данной линии связи.
- Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик (затухание и полоса пропускания), но и от спектра передаваемых сигналов:

*Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи, и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком. Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал начнет значительно искажаться, и приемник будет*



**Рис. 8.14.** Соответствие между полосой пропускания линии связи и спектром сигнала

Так будет выглядеть сигнал (рис. 2.1, а), если полоса пропускания канала будет такой, что через него будут проходить только некоторые гармоники.



Время →

Номер гармоники →

Рис. 2.1. Двоичный сигнал и его среднеквадратичные гармоники Фурье (а); последовательные приближения к оригинальному сигналу (б–д)

**Таблица 2.1.** Соотношение между скоростью передачи данных и числом гармоник для нашего примера

| <b>Бит/с</b> | <b>T, мс</b> | <b>1-я гармоника, Гц</b> | <b>Количество пропускаемых гармоник</b> |
|--------------|--------------|--------------------------|---|
| 300          | 26,67        | 37,5                     | 80                                      |
| 600          | 13,33        | 75                       | 40                                      |
| 1200         | 6,67         | 150                      | 20                                      |
| 2400         | 3,33         | 300                      | 10                                      |
| 4800         | 1,67         | 600                      | 5                                       |
| 9600         | 0,83         | 1200                     | 2                                       |
| 19 200       | 0,42         | 2400                     | 1                                       |
| 38 400       | 0,21         | 4800                     | 0                                       |



# Максимальная скорость передачи данных

- В 1924 году американский ученый Х. Найквист вывел **уравнение**, позволяющее найти **максимальную скорость** передачи данных в бесшумном канале с ограниченной полосой пропускания частот.

максимальная скорость передачи данных =  $2B \log_2 V$ , бит/с.

- В 1948 году К. Шеннон продолжил его работу и расширил ее для случая канала со **случайным шумом**:

максимальная скорость передачи данных =  $B \log_2(1 + S/N)$ , бит/с.

- Так вычисляется **максимальная скорость передачи данных** или **емкость канала** с полосой частот  $B$  Гц и отношением сигнал/шум, равным  $S/N$ .

# Витая пара

- **Витая пара (twisted pair)** — вид кабеля связи, представляющий собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), покрытых пластиковой оболочкой.
- Полоса пропускания **зависит от диаметра и длины провода**, но в большинстве случаев на расстоянии до нескольких километров может быть достигнута скорость несколько мегабит в секунду.



# Передача по направлениям

- Линии, по которым данные могут одновременно передаваться в обе стороны называются **дуплексными**.
- Линии, по которым данные в каждый момент времени могут пересылаться лишь в одном направлении называются **полудуплексными**.
- Третья категория — линии, по которым передача сигнала возможна только в одну сторону, называются **симплексными**.

# Коаксиальный кабель

- **Коаксиальный кабель (*coaxial*)** — электрический кабель, состоящий из расположенных соосно центрального проводника и экрана, разделенных изоляционным материалом или воздушным промежутком.
- Широко применяются **два типа кабелей**:
  - ✓ **50-Омный**, обычно используется для передачи исключительно цифровых данных
  - ✓ **75-Омный**, часто применяется для передачи аналоговой информации, а также в кабельном телевидении



# Коаксиальный кабель

- Коаксиальный кабель **состоит из:**
  1. **твердого медного провода**, расположенного в центре кабеля, покрытого изоляцией.
  2. поверх изоляции натянут **цилиндрический проводник**, обычно выполненный в виде мелкой медной сетки.
  3. он покрыт наружным **защитным слоем изоляции** (пластиковой оболочкой).

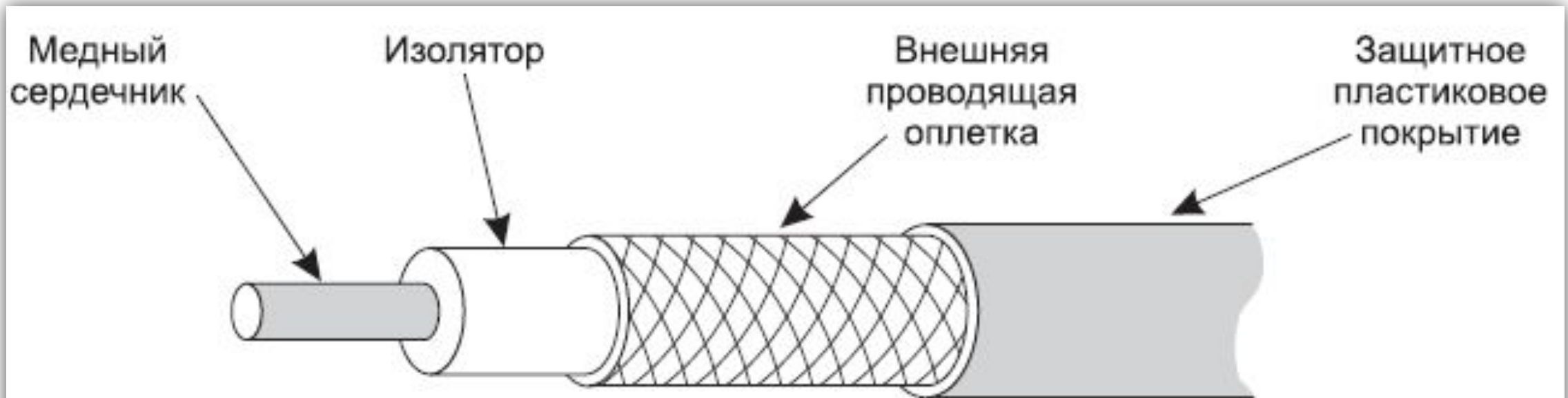
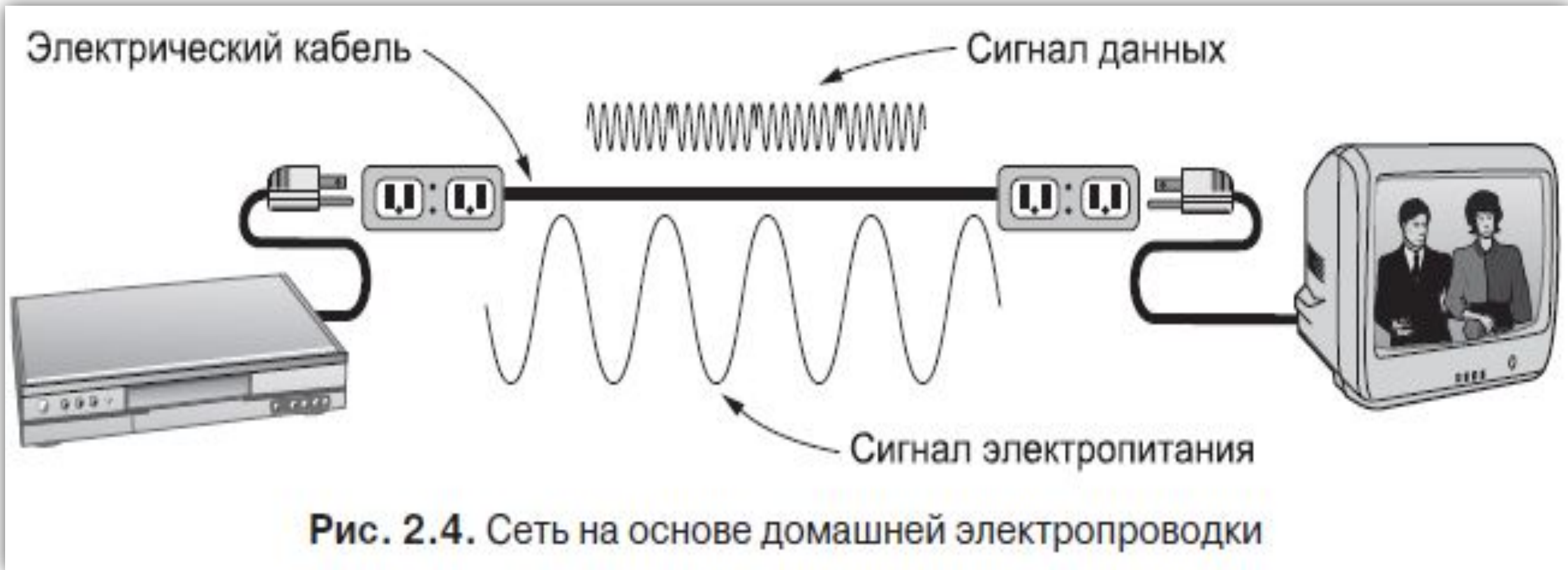


Рис. 2.3. Коаксиальный кабель

# Линии электропитания



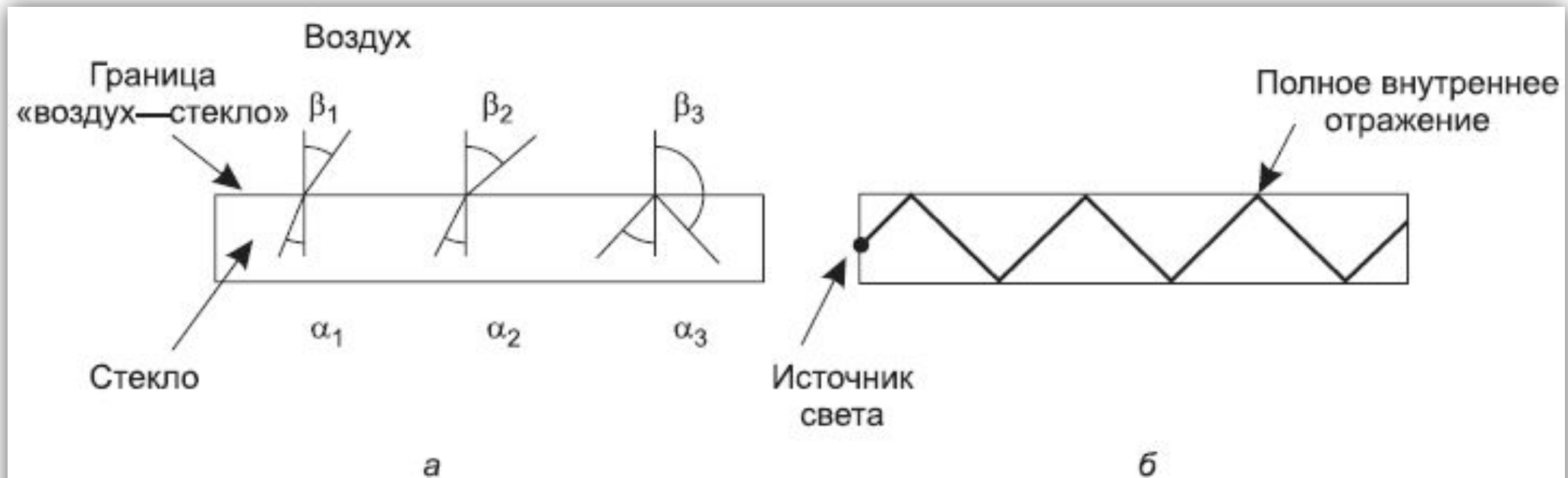
# Волоконная оптика

- **Оптическое волокно** — нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.
- **Волоконно-оптическая связь** — способ передачи информации, использующий в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического (ближнего инфракрасного) диапазона, а в качестве направляющих систем — волоконно-оптические кабели.

# Волоконная оптика

- Оптоволоконная система передачи данных состоит из **трех основных компонентов**:

1. источника света,
2. носителя, по которому распространяется световой сигнал,
3. приемника сигнала, или детектора.

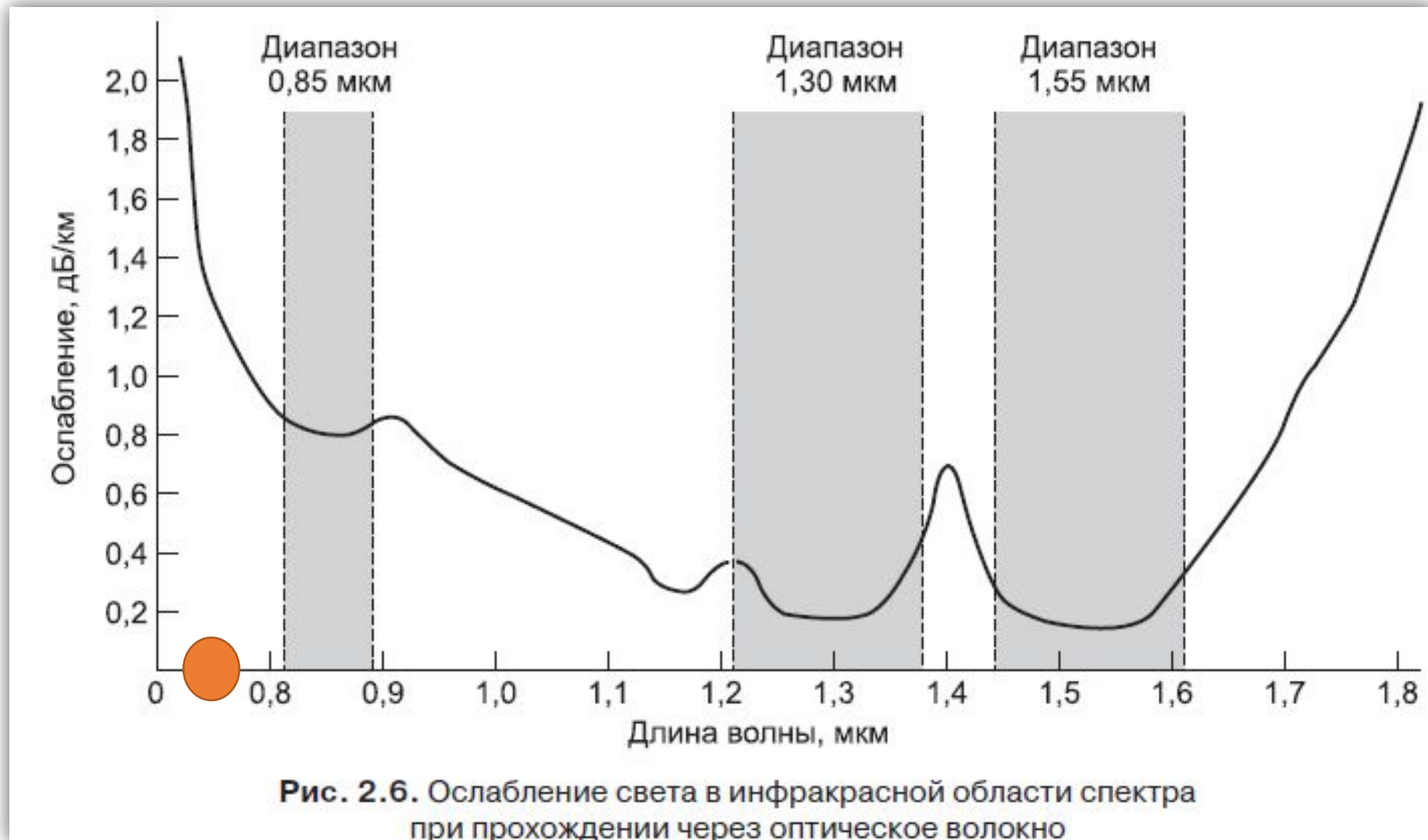


**Рис. 2.5.** Три примера преломления луча света, падающего под разными углами, на границе кварцевого волокна и воздуха (а); луч света, пойманный полным внутренним отражением (б)



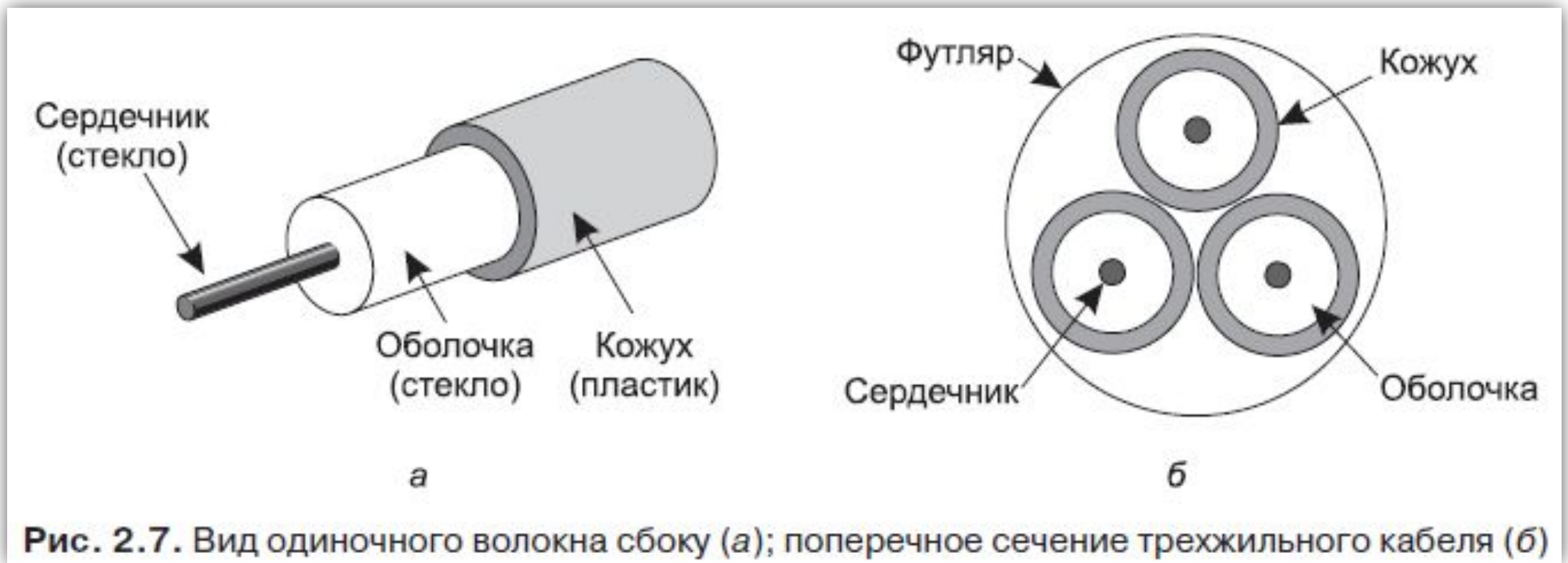
# Прохождение света по волокну

- **Ослабление силы света** при прохождении через стекло зависит от длины волны (а также от некоторых физических свойств стекла).



# Оптоволоконные кабели

- В центре кабеля располагается **стеклянная сердцевина**, по которой распространяется свет.
- В многомодовом оптоволокне диаметр сердечника составляет **50 мкм**, а в одномодовом **от 8 до 10 мкм**.



# Соединение оптических кабелей

- Соединение отрезков кабеля может осуществляться **тремя способами:**
  1. на конец кабеля может прикрепляться **специальный разъем**, с помощью которого кабель вставляется в **оптическую розетку** (10-20% потерь);
  2. кабеля могут **механически сращиваться** — два аккуратно отрезанных конца кабеля укладываются рядом друг с другом и зажимаются **специальной муфтой** (10% потерь);
  3. два куска кабеля могут **быть сплавлены вместе**. Сплавное соединение почти так же хорошо, как и сплошной кабель, но даже при таком методе происходит небольшое уменьшение мощности света.

# Передача сигнала по оптоволокну

- Для передачи сигнала по оптоволоконному кабелю могут использоваться **два типа источника света**: светоизлучающие диоды (LED, Light Emitting Diode) и полупроводниковые лазеры.

**Таблица 2.2.** Сравнительные характеристики светодиодов и полупроводниковых лазеров

| Характеристика                 | Светодиод    | Полупроводниковые лазеры     |
|--------------------------------|--------------|------------------------------|
| Скорость передачи данных       | Низкая       | Высокая                      |
| Тип волокна                    | Многомодовые | Многомодовые или одномодовые |
| Расстояние                     | Короткое     | Дальнее                      |
| Срок службы                    | Долгий       | Короткий                     |
| Чувствительность к температуре | Невысокая    | Значительная                 |
| Цена                           | Низкая       | Высокая                      |

# Сравнение оптоволоконна и меди

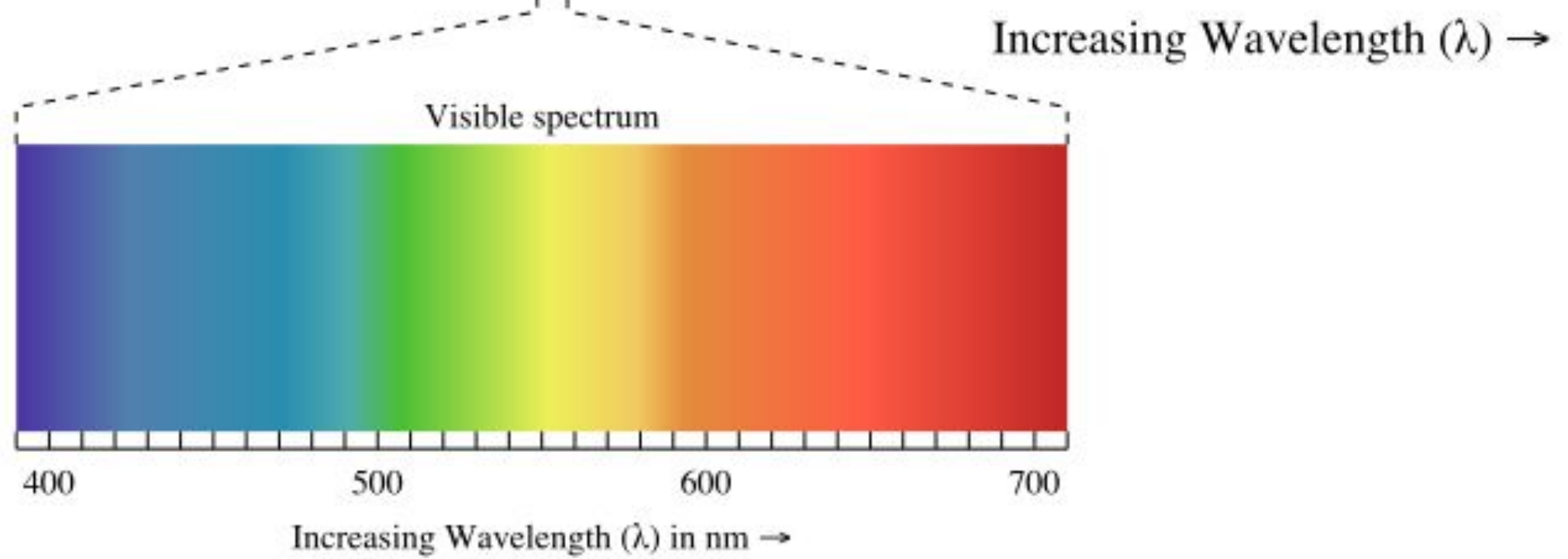
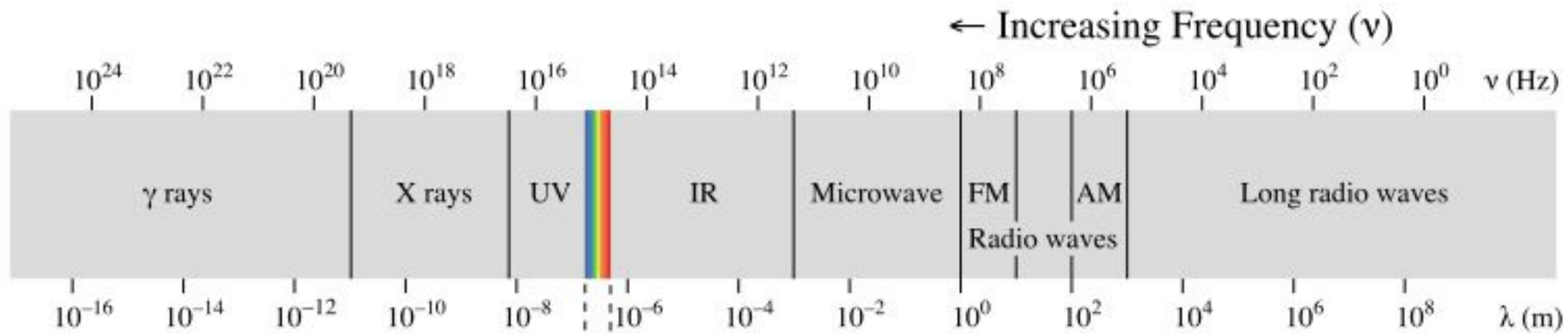
- Оптическое волокно обладает рядом преимуществ:
  - ✓ оно **обеспечивает** значительно **более высокие скорости** передачи, чем медный провод;
  - ✓ **имеет меньший коэффициент** ослабления сигнала;
  - ✓ **не подвержено** внешним электромагнитным возмущениям;
  - ✓ **стекло не подвержено коррозии**, так как является химически нейтральным;
  - ✓ оптоволоконные кабели **тонкие и легкие**;
  - ✓ несет **меньшие экономические затраты** на прокладку;
  - ✓ **не теряет свет** (данные);
  - ✓ к оптоволокону **сложно подключиться** (сохранность данных).

# Сравнение оптоволокна и меди

- Оптическое волокно обладает **рядом недостатков:**
  - ✓ для работы с оптоволокном **требуется определенные навыки**, которые имеются далеко не у всех инженеров;
  - ✓ кабель **довольно хрупкий и ломается** в местах сильных изгибов;
  - ✓ поскольку оптическая передача данных является строго однонаправленной, **для двухсторонней связи требуется** либо два кабеля, либо две частотные полосы в одном кабеле;
  - ✓ оптический интерфейс **стоит дороже** электрического.

# Электромагнитная волна

- **Электромагнитные волны, электромагнитное излучение** — распространяющееся возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля.
- Электромагнитные волны **подразделяются на:**
  - ✓ радиоволны (начиная со сверхдлинных),
  - ✓ инфракрасное излучение,
  - ✓ видимый свет,
  - ✓ ультрафиолетовое излучение,
  - ✓ рентгеновское излучение и жёсткое (гамма-излучение).





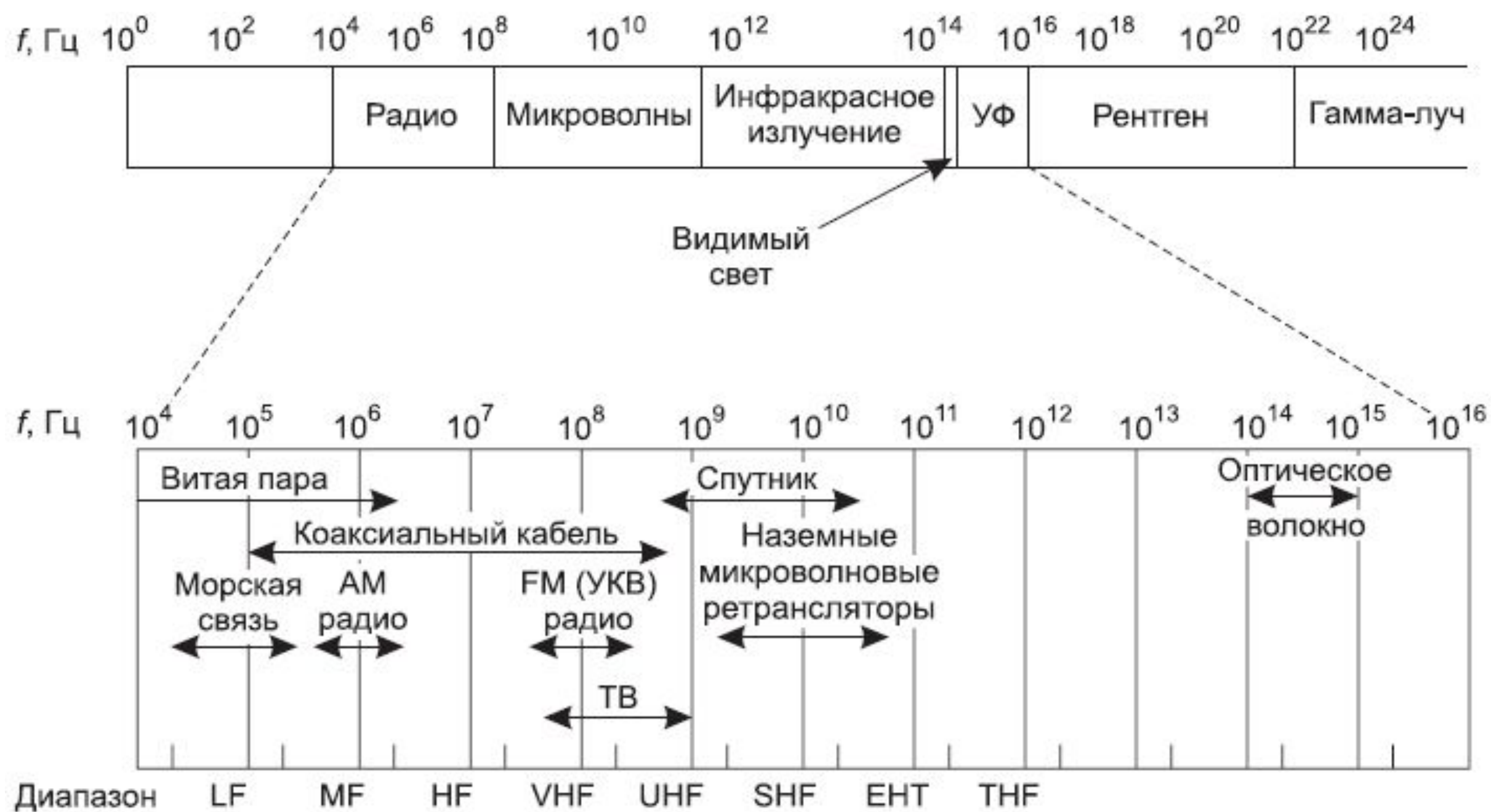
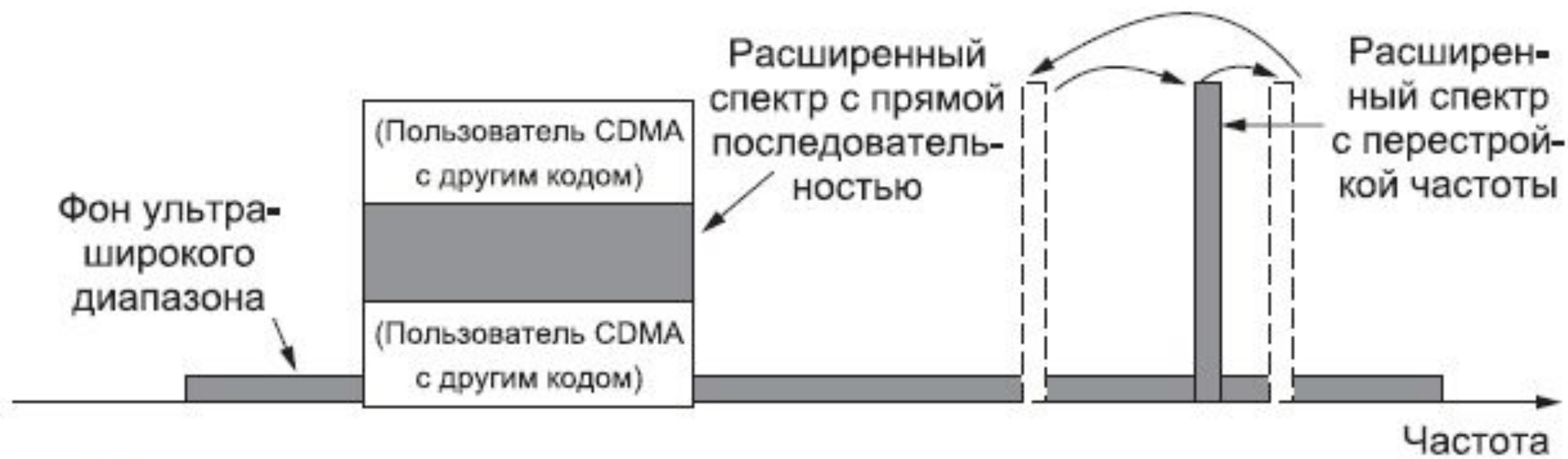


Рис. 2.8. Электромагнитный спектр и его применение в связи

# Полосы частот

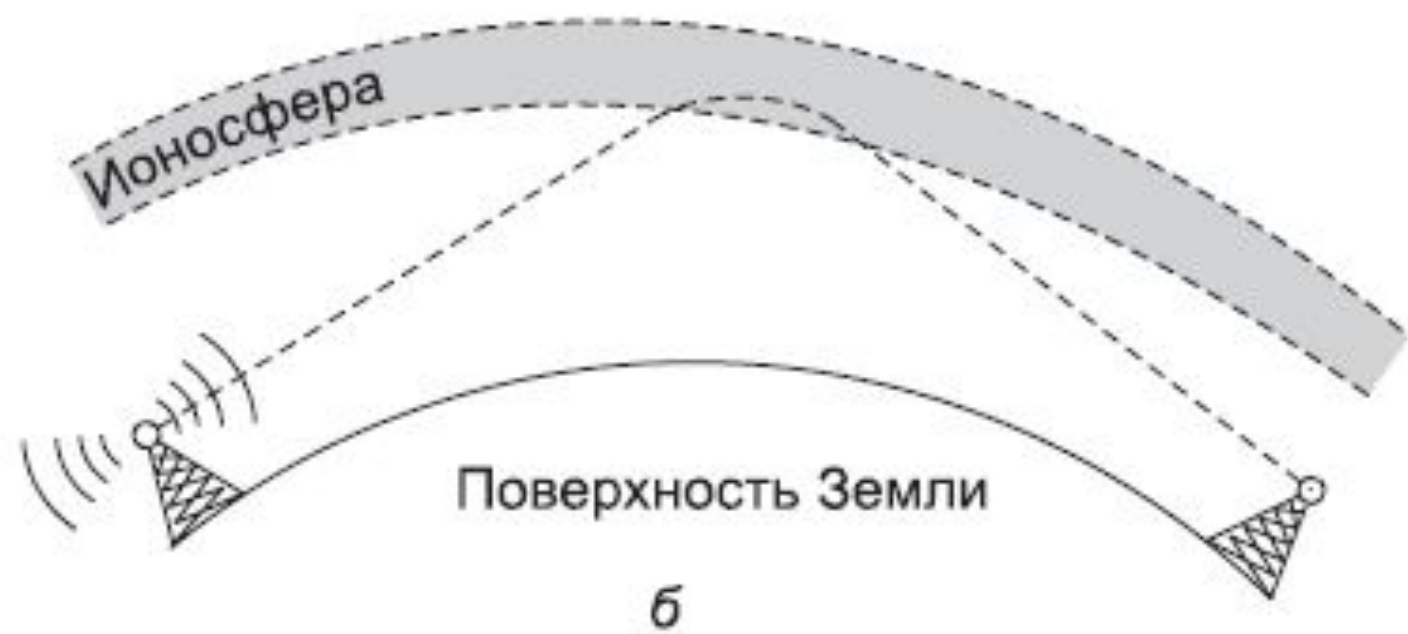
- Большинство систем связи используют относительно **узкие полосы частот**.
- Сигналы концентрируются в узкой полосе **для эффективного использования** спектра и **достижения хорошей скорости** передачи данных при достаточно мощной передаче.
- Иногда используются и **широкие полосы**. При этом возможны **три варианта**:
  - ✓ расширенный спектр с перестройкой частоты;
  - ✓ расширенный спектр с прямой последовательностью;
  - ✓ UWB-коммуникация или коммуникация в ультрашироком диапазоне.



**Рис. 2.9.** Расширенный спектр и передача данных по сверхширокой полосе пропускания

# Радиоволны

- **Радиоволны** — электромагнитное излучение с длинами волн в электромагнитном спектре длиннее инфракрасного излучения.
- Радиоволны имеют **частоту** от 3 кГц до 3000 ГГц, и соответствующую **длину волны** от 100 километров до 0,1 миллиметра.
- **Свойства радиоволн** зависят от частоты:
  - ✓ При работе на **низких частотах** радиоволны хорошо проходят сквозь препятствия, однако мощность сигнала в воздухе резко падает по мере удаления от передатчика.
  - ✓ На **высоких частотах** радиоволны вообще имеют тенденцию распространяться исключительно по прямой линии и отражаться от препятствий.



**Рис. 2.10.** Волны диапазонов VLF, LF и MF огибают неровности поверхности земли (а); волны диапазона HF отражаются от ионосферы (б)

# Микроволны

- **Микроволновое излучение, сверхвысокочастотное излучение (СВЧ-излучение)** — электромагнитное излучение, включающее в себя дециметровый, сантиметровый и миллиметровый диапазон радиоволн (длина волны от 1 м — частота 300 МГц до 1 мм — 300 ГГц).
- **Микроволновое излучение большой интенсивности** используется для бесконтактного нагрева тел (микроволновые печи), а также для радиолокации.
- **Микроволновое излучение малой интенсивности** используется в средствах связи, преимущественно портативных — рациях, сотовых телефонах и т.д.

# Препятствия для распространения

- микроволны плохо проходят сквозь здания;
- при прохождении сквозь пространство микроволновый луч значительно расширяется в диаметре;
- часть волн может отражаться атмосферными слоями (принимающая сторона получит отраженные и прямые волны – многолучевое затухание);
- микроволны  $> 4\text{ГГц}$  поглощаются водой и дождем.

# Преимущества МК-связи перед ОПТОВОЛОКНОМ

- В отличие от оптоволоконна **не нужно прокладывать кабель**, соответственно, **не нужно платить за аренду земли** на пути сигнала (достаточно купить маленькие участки земли через каждые 50 км и установить на них ретрансляционные вышки);
- микроволновая связь является **относительно недорогой** (установка вышек дешевле прокладки кабеля или аренды оптоволоконных линий);



# Политика распределения частот

- **Национальные правительства распределяют частоты между** AM- и FM-радиостанциями, телевидением, операторами сотовой связи, телефонными компаниями, полицией, морскими и аэронавигационными службами, военными, администрацией и еще многими другими потенциальными клиентами.
- **Международное агентство ITU-R (WRC)** пытается скоординировать действия различных структур, чтобы можно было производить устройства, способные работать в любой точке планеты.

# Распределение внутри диапазона

- **конкурс красоты**, подразумевал подробные объяснения претендентов, доказывающие, что именно предлагаемый ими сервис лучше всего отвечает интересам общественности;
- **обычная лотерея** среди компаний, желающих получить свою долю спектрального пирога;
- **аукцион**, на торгах которого частоту выигрывал тот покупатель, который мог выложить наибольшую сумму.

# Другой подход

- Совершенно другим подходом является следующий: **вообще не распределять частоты.**
- Пусть каждый работает на той частоте, которая ему больше нравится, но следит за мощностью своих передатчиков: она не должна быть такой, чтобы сигналы накладывались друг на друга.
- В соответствии с этим принципом выделено несколько частотных диапазонов, называемых **ISM (Industrial, Scientific, Medical, то есть промышленные, научные, медицинские).**

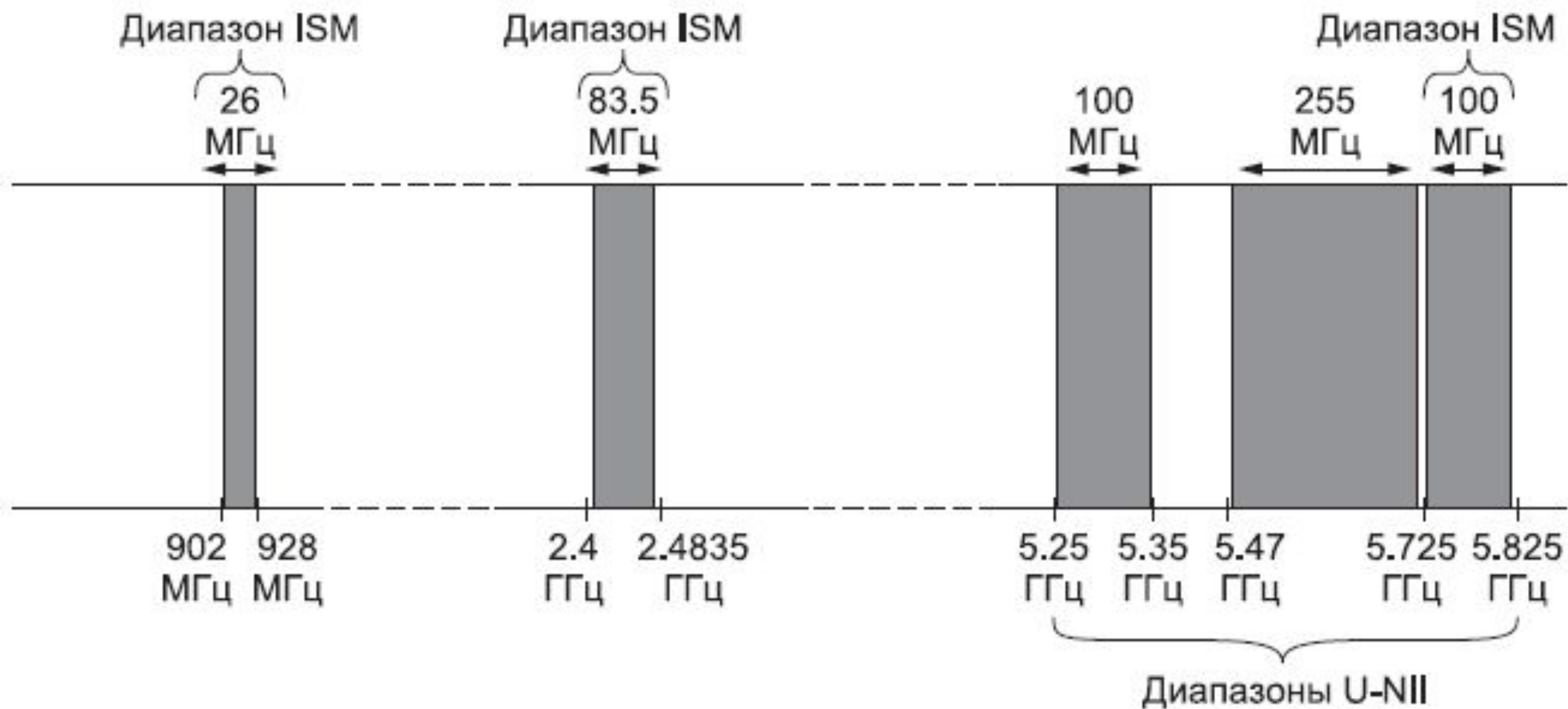


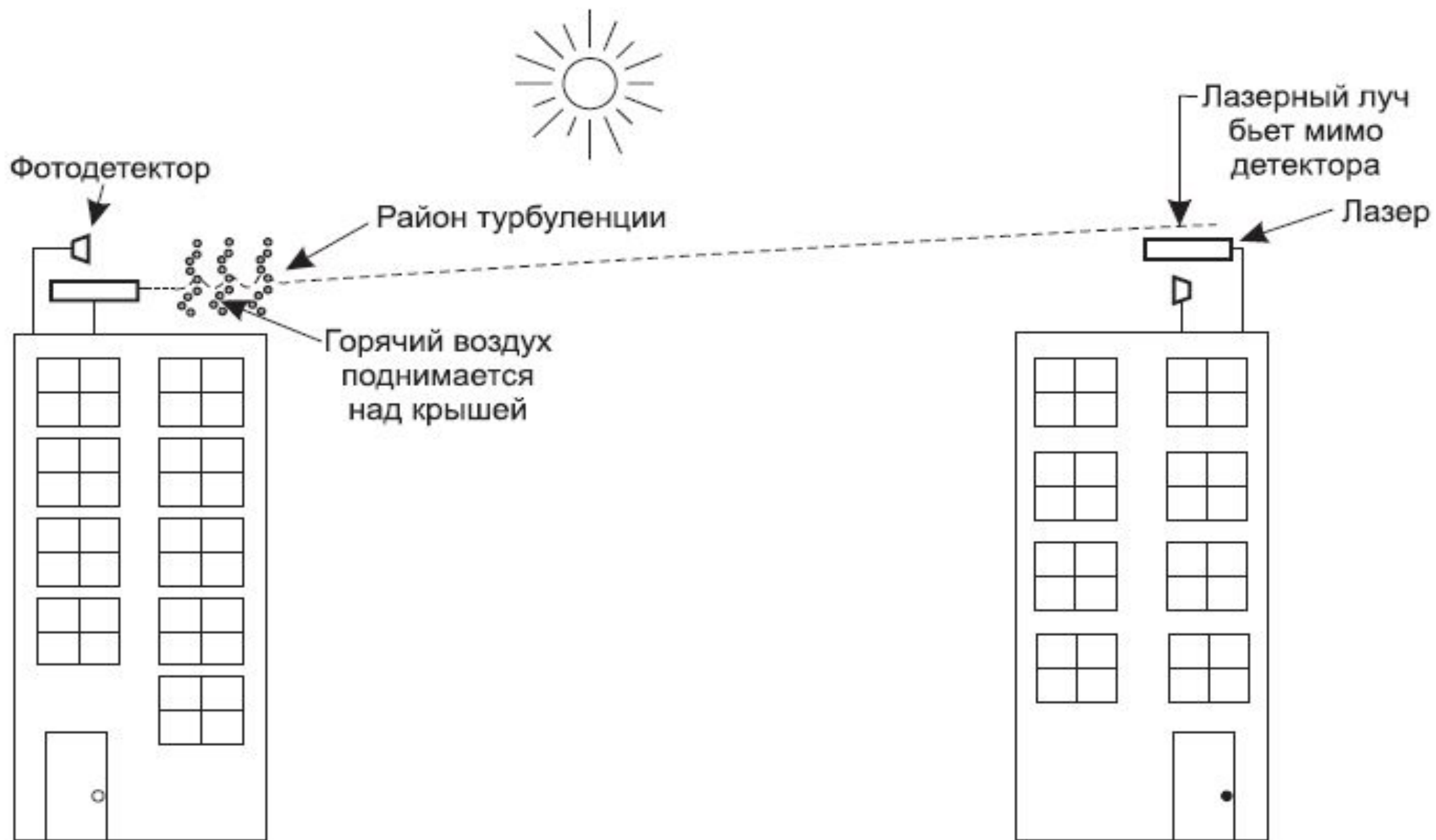
Рис. 2.11. Диапазоны ISM и U-NII, используемые в США беспроводными устройствами

# Инфракрасный спектр

- **Инфракрасное излучение** - электромагнитное излучение, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны  $\lambda = 0,74$  мкм и частотой 430 ТГц) и микроволновым радиоизлучением ( $\lambda \sim 1-2$  мм, частота 300 ГГц).
- Инфракрасное излучение без использования кабеля широко применяется **для связи на небольших расстояниях**, оно не проходит сквозь стены.
- Для использования инфракрасного спектра **не требуется государственной лицензии**.

# Связь в видимом спектре

- **Видимое излучение** — электромагнитные волны, воспринимаемые человеческим глазом. Обычно в качестве коротковолновой границы принимают участок **380—400 нм (790—750 ТГц)**, а в качестве длинноволновой — **760—780 нм (395—385 ТГц)**.
- **Оптическая связь с помощью лазера** позволяет организовать при очень **низкой цене** связь с очень **хорошей пропускной** способностью и относительно высокой **безопасностью**, так как перехватить узкий лазерный луч очень сложно, однако такая связь является **однонаправленной**.



**Рис. 2.12.** Конвекционные потоки мешают работать лазерной системе связи.  
На рисунке изображена двунаправленная система с двумя лазерами

# Спутниковая связь

- **Спутниковая связь** — один из видов **космической радиосвязи**, основанный на использовании **искусственных спутников земли** в качестве **ретрансляторов**. Спутниковая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть как стационарными, так и подвижными.
- Спутник включает в себя несколько **транспондеров**, каждый из которых настроен на определенную часть частотного спектра.
- **Транспондеры усиливают сигналы** и преобразуют их на новую частоту, чтобы при отправке на Землю (узкая труба – bent pipe).

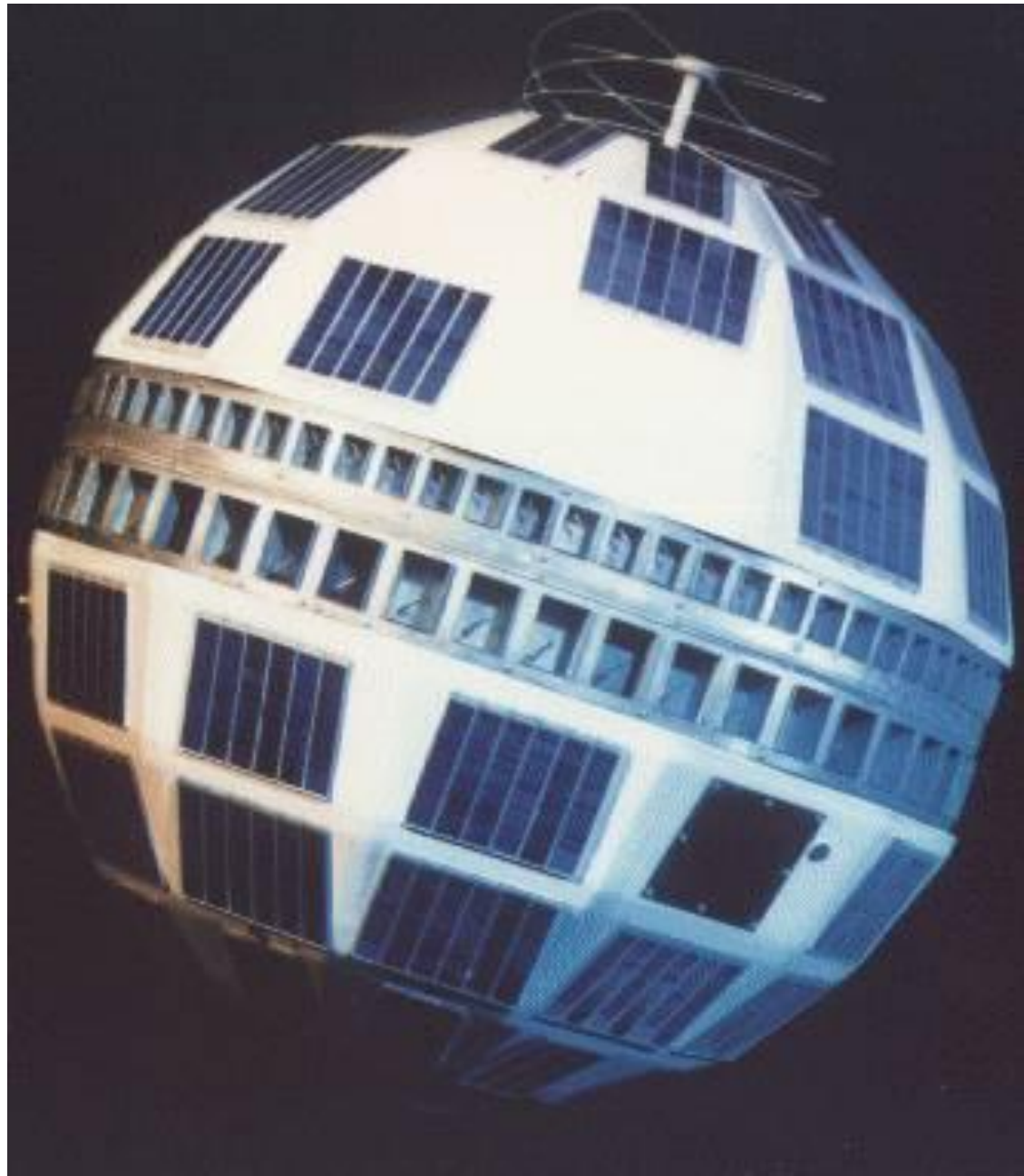




**Рис. 2.13.** Спутники связи и их свойства: высота орбиты, задержка, число спутников, необходимое для покрытия всей поверхности земного шара

# Геостационарные спутники

- **Телстар (Telstar)** — американский искусственный спутник Земли, выведенный на орбиту 10 июля 1962. Стал первым активным спутником связи и обеспечивал двустороннюю **телефонную связь по 60 каналам** или **трансляцию одной телевизионной программы**. Вышел из строя 21 февраля 1963, однако находится на орбите до сих пор.
- Про спутники, вращающиеся на большой высоте, говорят, что они расположены на **геостационарной орбите** (GEO, Geostationary Earth Orbit).





**Таблица 2.3.** Основные частотные диапазоны спутников связи

| Диапазон | Нисходящие сигналы, ГГц | Восходящие сигналы, ГГц | Ширина полосы, МГц | Проблемы                      |
|----------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------|
| L        | 1,5                     | 1,6                     | 15                 | Узкая полоса; переполнен      |
| S        | 1,9                     | 2,2                     | 70                 | Узкая полоса; переполнен      |
| C        | 4,0                     | 6,0                     | 500                | Наземная интерференция        |
| Ku       | 11                      | 14                      | 500                | Дождь                         |
| Ka       | 20                      | 30                      | 3500               | Дождь, стоимость оборудования |

# Геостационарные спутники

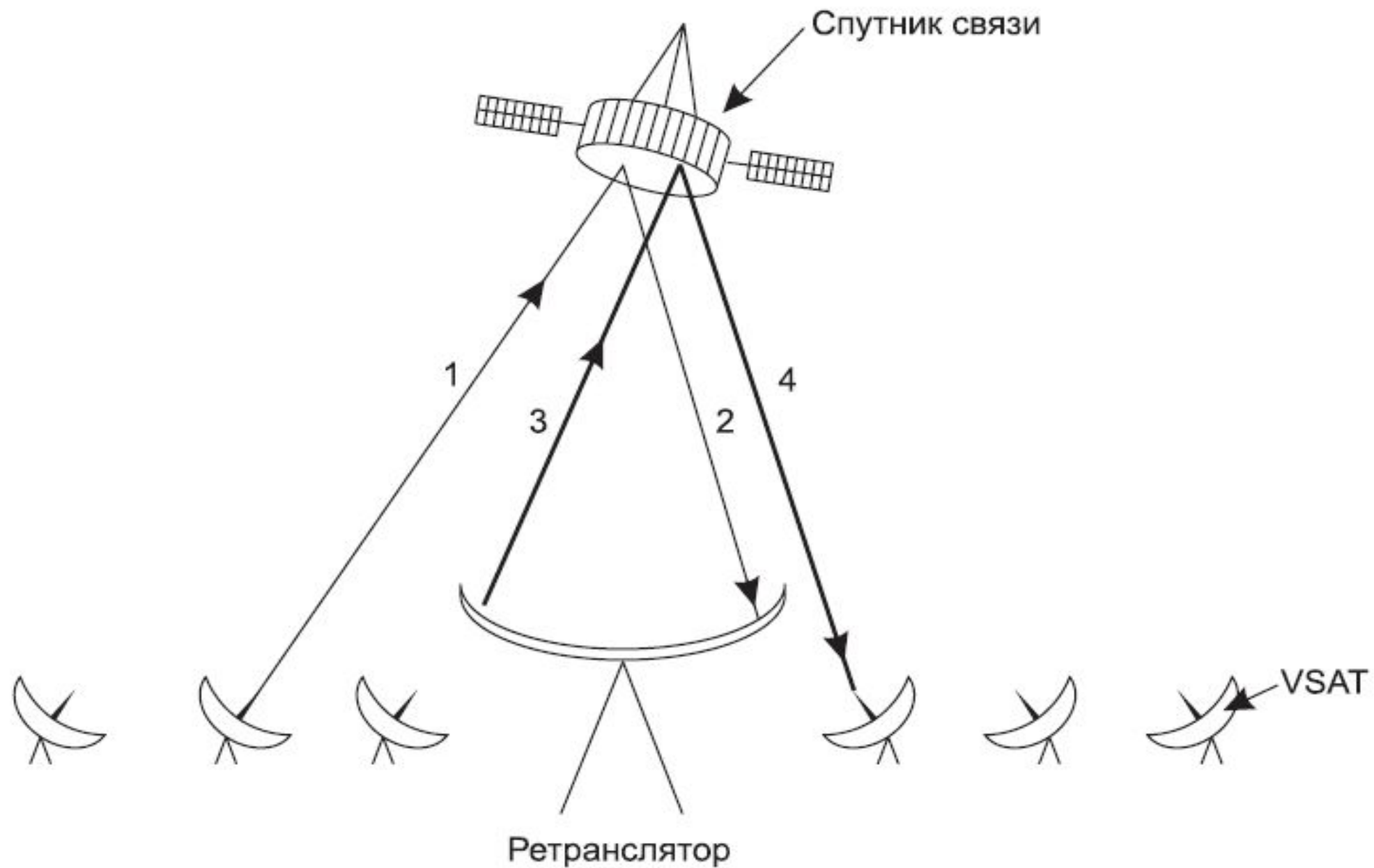
- Первые геостационарные спутники связи имели один луч, который охватывал примерно  $1/3$  земной поверхности и назывался **точечным лучом**.
- Сейчас возможно оборудовать каждый спутник несколькими антеннами и несколькими транспондерами, при этом каждый нисходящий луч **сфокусировали на небольшой территории (пятне)**.

# VSAT

- **VSAT (Very Small Aperture Terminal)** — малая спутниковая земная станция, то есть терминал с маленькой антенной.
- К VSAT относятся спутниковые станции с антеннами менее 2,5 метров, для VSAT применяется упрощённая процедура получения разрешений на частоты.



**Апертура** в антенной технике — условная плоская излучающая или принимающая излучение поверхность антенн.

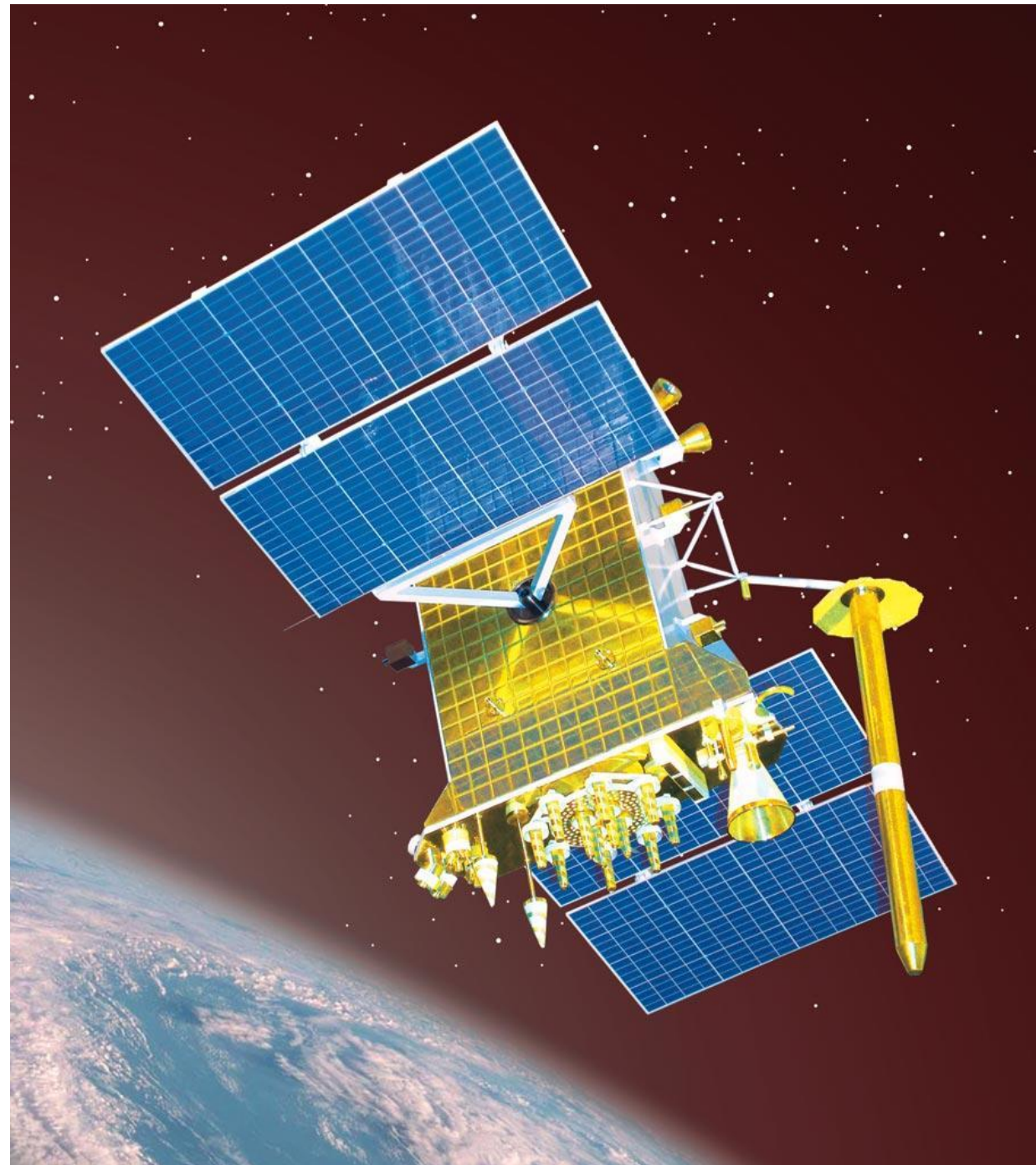


**Рис. 2.14.** Микростанция VSAT и наземный концентратор

# Средневысотные спутники

- **Средневысотные спутники (МЕО)** находятся между двумя поясами Ван Алена и делают полный оборот вокруг нашей планеты примерно **за 6 часов**.
- Спутники МЕО используются **для поддержки навигационных систем**, а не в телекоммуникациях,
- Примерами средневысотных спутников являются около 30 спутников системы **GPS (Global Positioning System, Глобальная система определения местонахождения)**, вращающихся вокруг Земли на высоте **около 20 200 км**.





# Низкоорбитальные спутники

- В 1990 году фирма Motorola запустила **77 спутников** связи для нового проекта **Iridium**.
- После семи лет решения вопросов удалось запустить спутники. Услуги связи начали предоставляться **с ноября 1998 года**.
- Коммерческий спрос на большие и тяжелые телефоны спутниковой связи **оказался незначительным**, в итоге **в августе 1999** его пришлось объявить **банкротом** (убыток 5\$ млрд, оборудование продано на 25\$ млн).





# Iridium

- **Спутники Iridium** вращаются по околоземной круговой полярной орбите на **высоте 750 км**.
- Они составляют **ожерелье**, ориентированное вдоль линий долготы. **Шесть таких ожерелий** опоясывают Землю.
- У каждого спутника **максимум 48 ячеек** (пятен от лучей сигналов), а полоса пропускания вмещает **3840 каналов**.

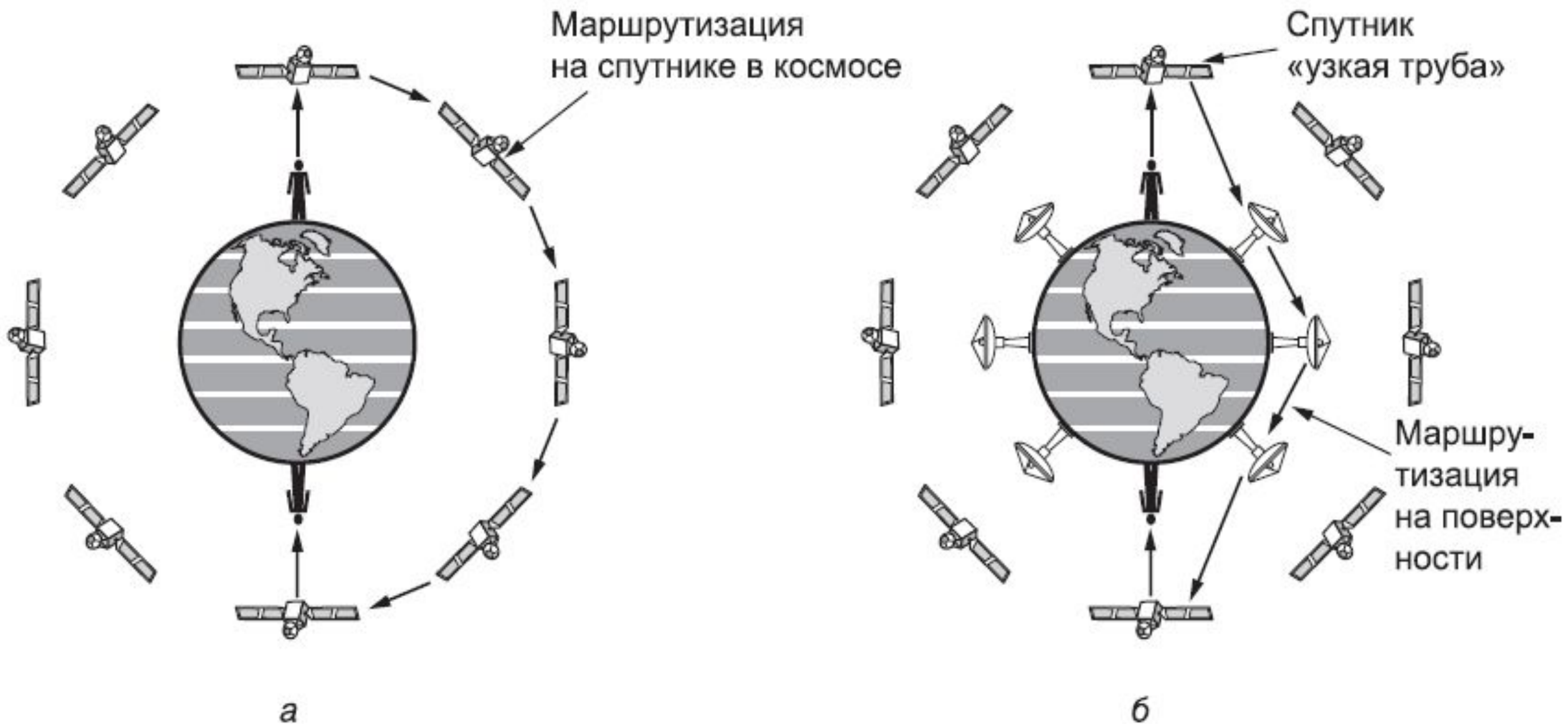


У каждого спутника  
четыре соседа

**Рис. 2.15.** Шесть ожерелий Земли из спутников Iridium

# Globalstar

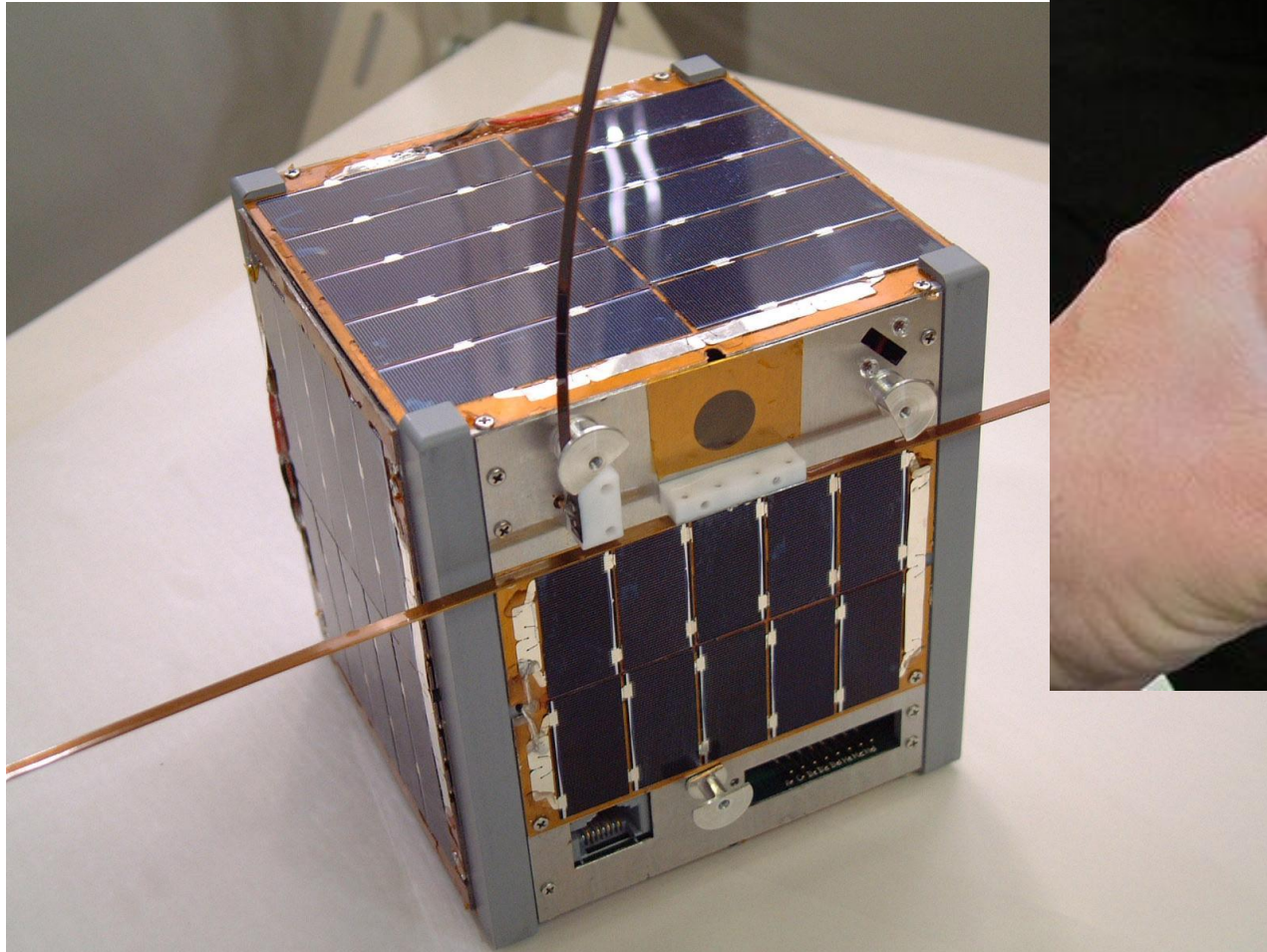
- **Globalstar** – группировка из 48 низкоорбитальных спутников, запущенных в 1998 году как совместное предприятие корпораций Loral и Qualcomm.
- Имея более чем **315 000 абонентов** (по данным на июнь 2008 г.), «Глобалстар» является **одним из крупнейших в мире поставщиков мобильной спутниковой связи** и передачи данных.
- «Глобалстар» предлагает свои услуги коммерческим и частным лицам в более чем 120 странах по всему миру. Продукты компании включают в себя мобильные и стационарные спутниковые телефоны, симплексные и дуплексные спутниковые модемы, пакеты спутникового эфирного времени.



**Рис. 2.16.** Пересылка данных в космосе (а); пересылка данных наземными станциями (б)



# CubSat



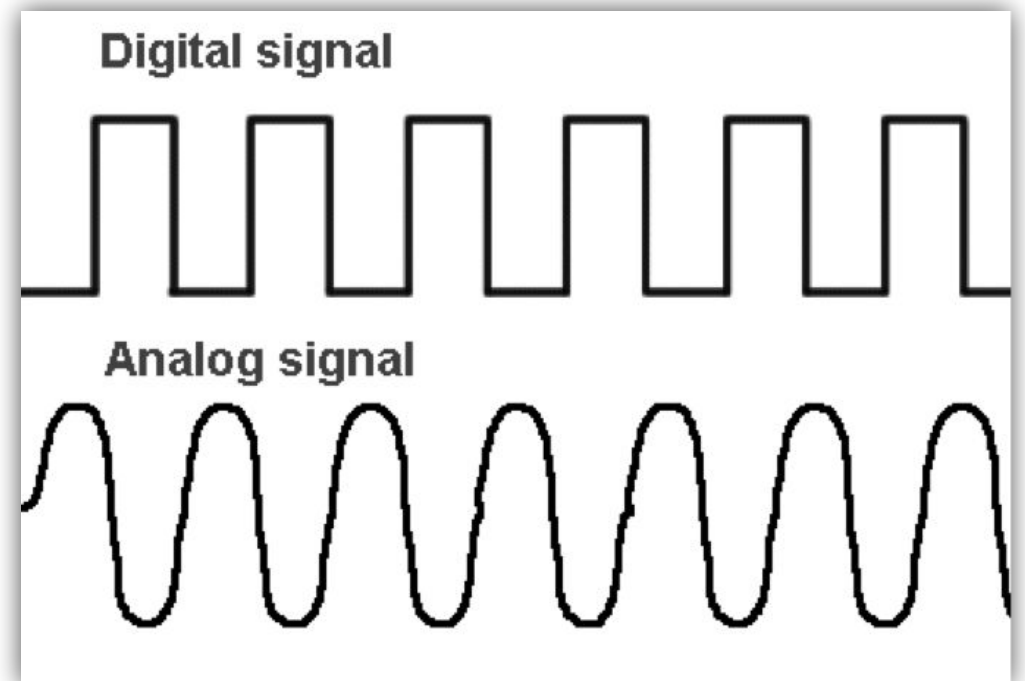
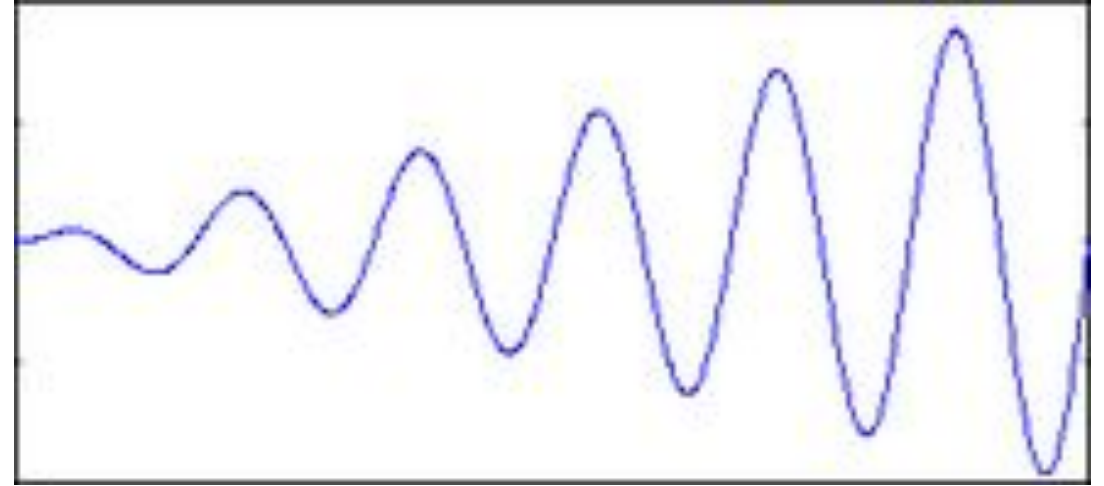
# Преимущества спутников

1. **Быстрая скорость развертывания** спутниковой системы для обеспечения связи;
2. **Обеспечение связи** в регионах с плохо развитой наземной инфраструктурой;
3. **Широковещание**, т.к. развернуть широковещание с помощью наземных средств дороже и сложнее;
4. **Удешевление** компонентов и систем, удешевление самой СВЯЗИ.



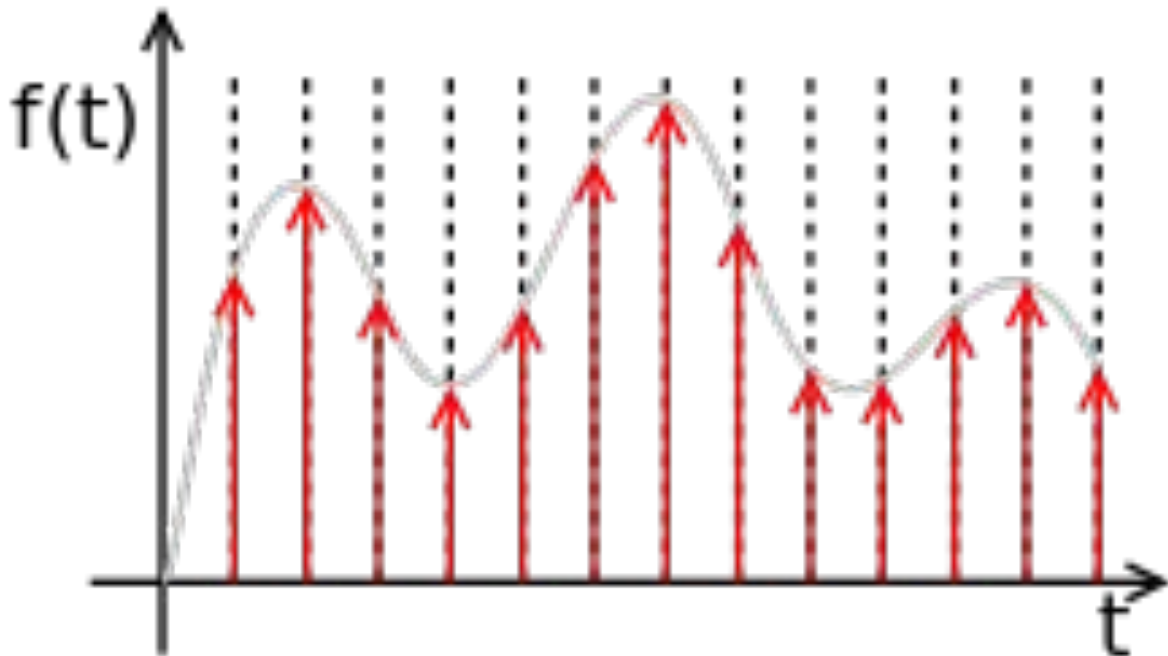
# Аналоговые сигналы

- Большинство сигналов имеют **аналоговую природу**, то есть изменяются **непрерывно** во времени и могут принимать любые значения на некотором интервале.
- Отсутствие чётко отличимых друг от друга **дискретных уровней** сигнала приводит к **невозможности применить для его описания понятие информации** в том виде, как она понимается в цифровой телекоммуникации.

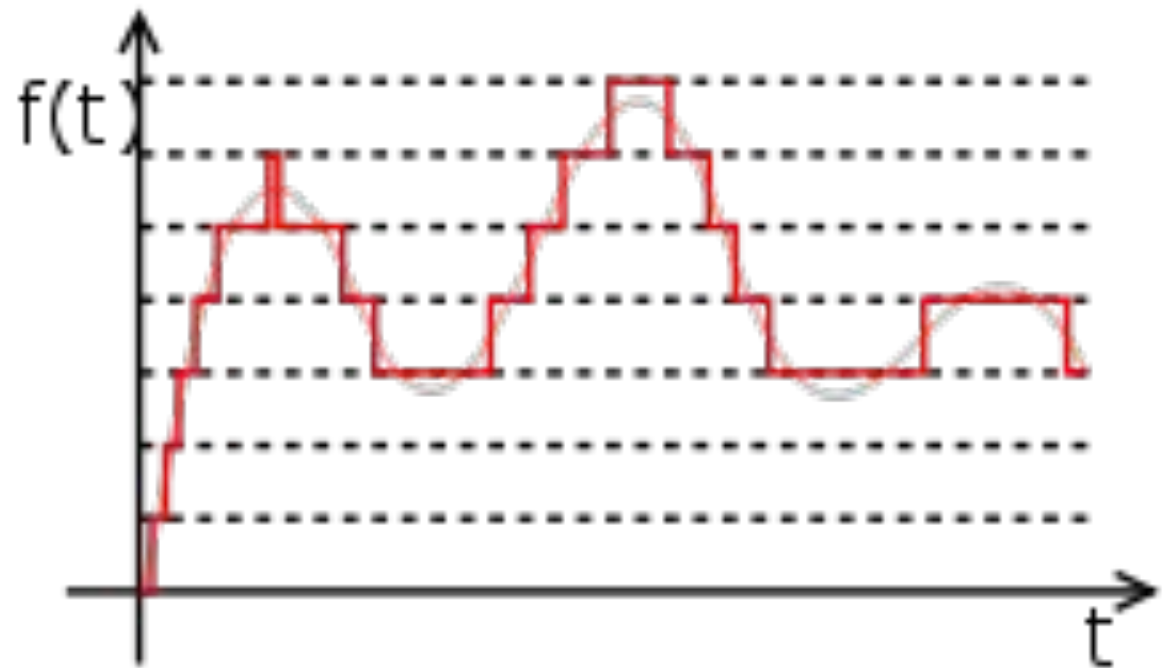


# Дискретизация и квантование

- **Дискретизация** аналогового сигнала состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений, взятых в дискретные моменты времени.

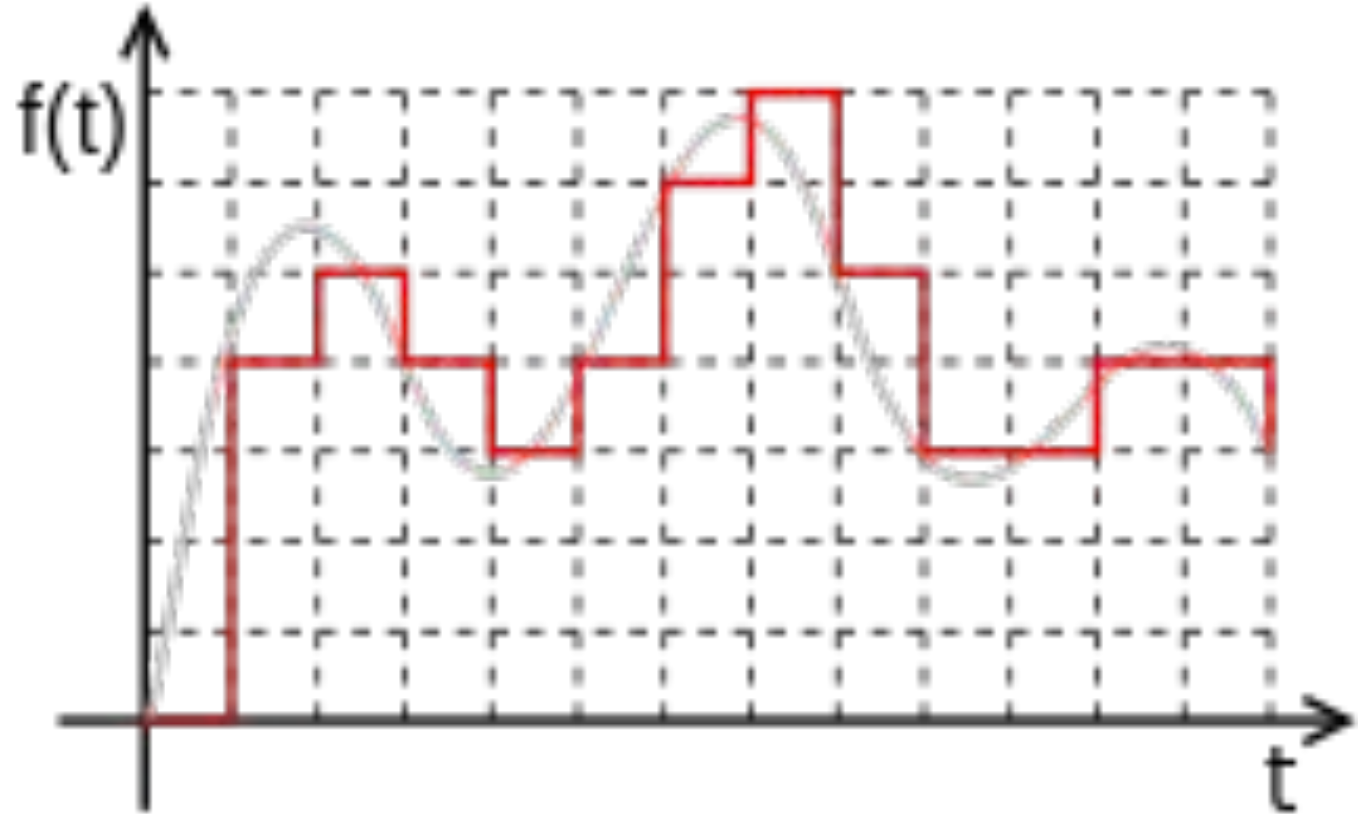


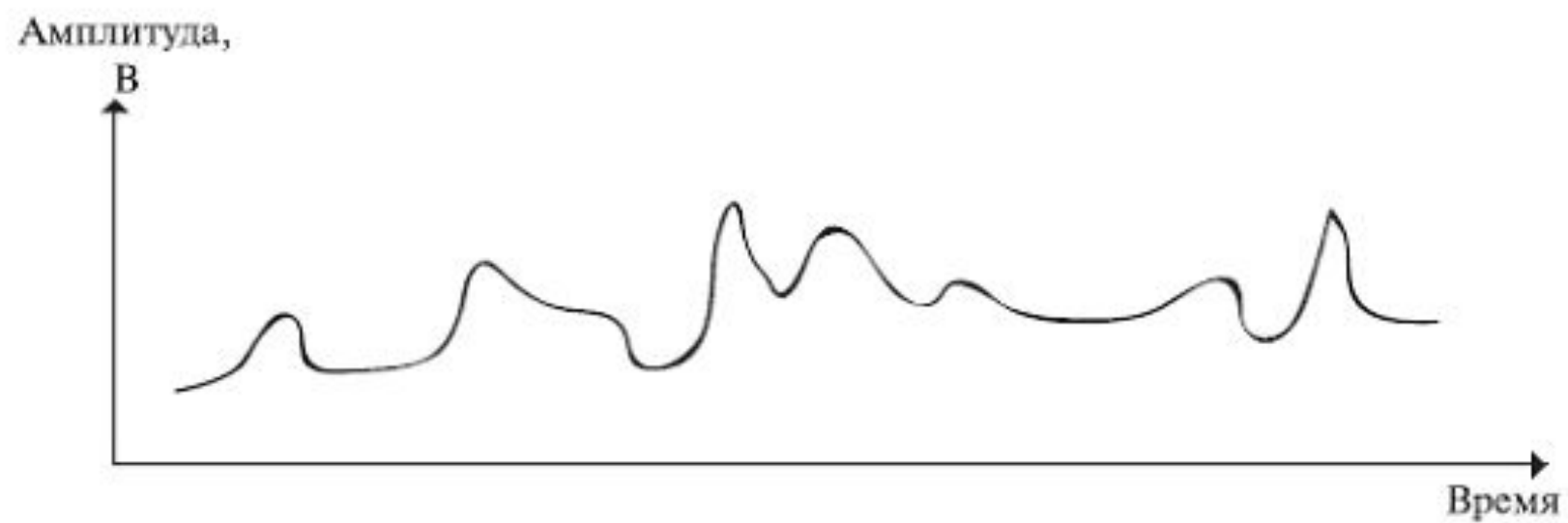
- При квантовании вся область значений сигнала разбивается на уровни, каждому из которых присваивается некоторое число. Отсчёты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается это число.



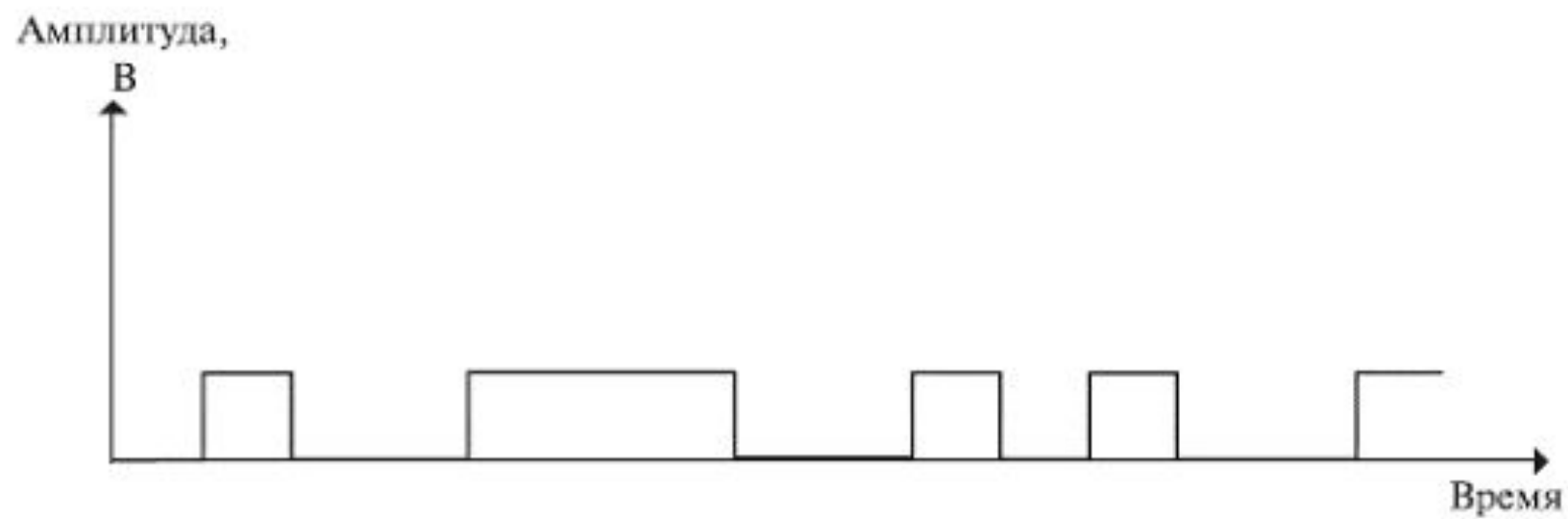
# Цифровой сигнал

- Чтобы представить аналоговый сигнал последовательностью чисел конечной разрядности, его следует сначала превратить в дискретный сигнал, а затем подвергнуть квантованию.
- В результате сигнал будет представлен таким образом, что на каждом заданном промежутке времени известно приближённое (квантованное) значение сигнала, которое можно записать целым числом. Последовательность таких чисел и будет являться **цифровым сигналом**.





а) Аналоговый сигнал

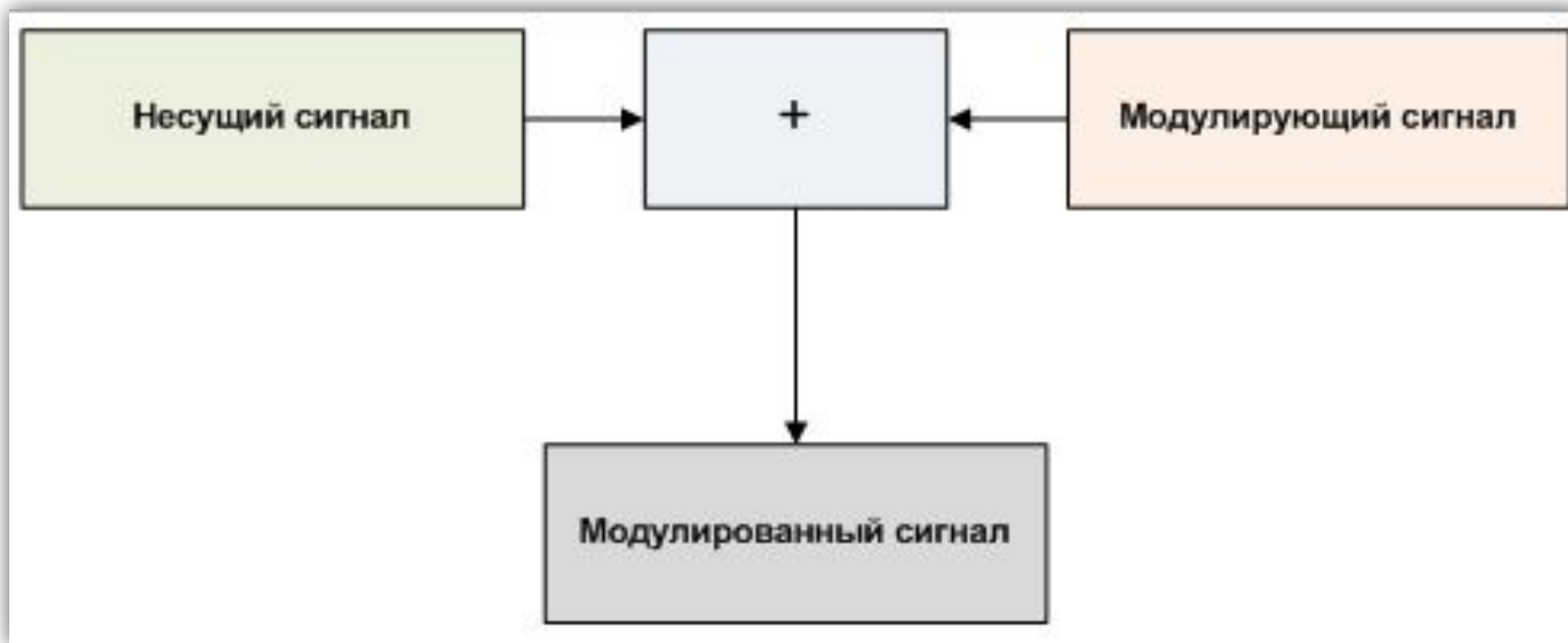
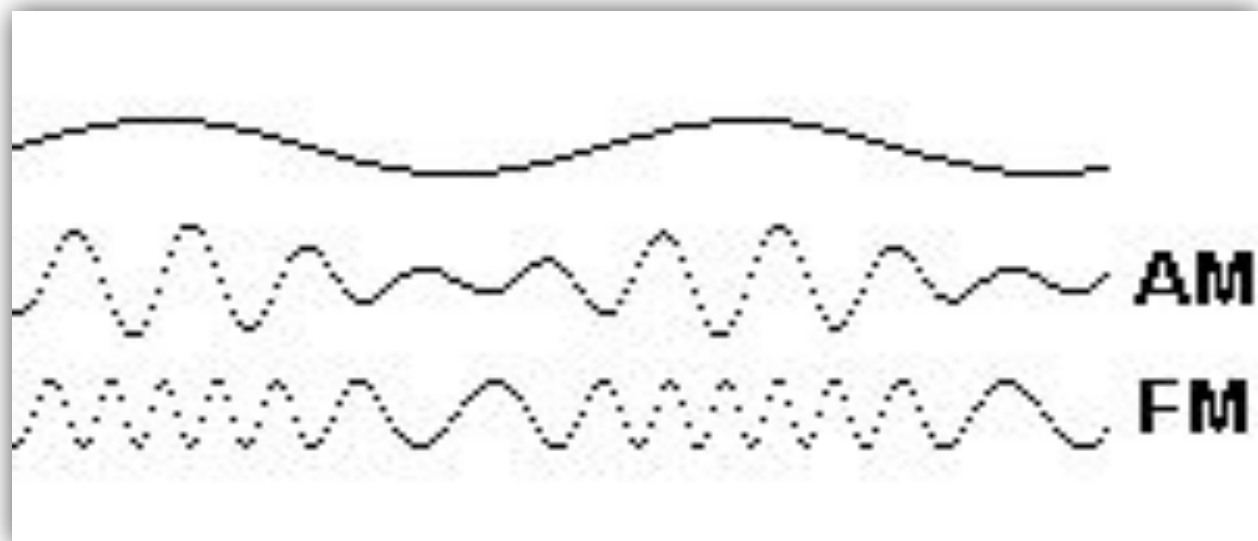


б) Цифровой сигнал

# Модуляция

- **Модуляция** (*modulatio* — размеренность, ритмичность) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).
- Передаваемая информация заложена в **управляющем (модулирующем) сигнале**, а роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое **несущим(модулируемым)**.

# Модуляция



# Модуляция



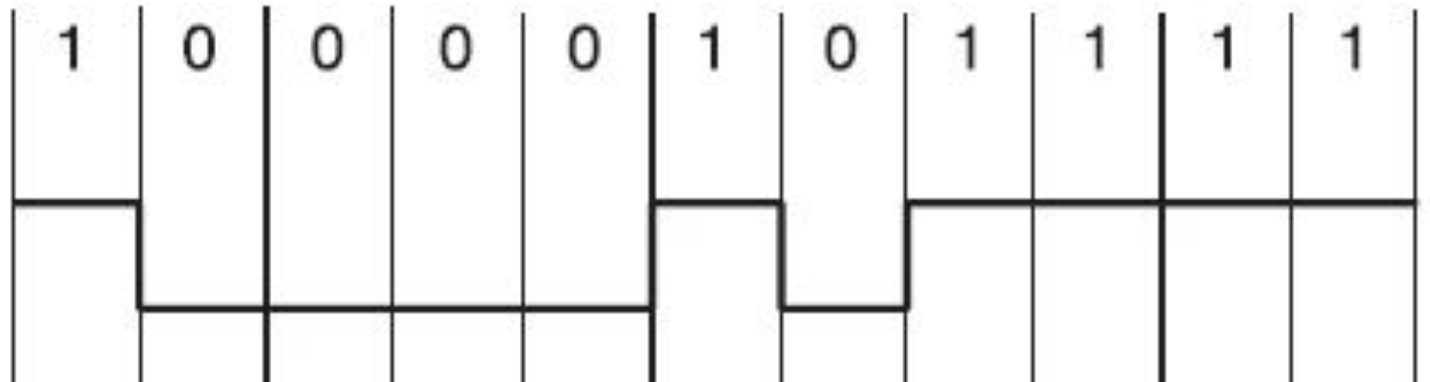
- Амплитудная модуляция (АМ)
- Угловая модуляция
  - Частотная модуляция (ЧМ)
  - Фазовая модуляция (ФМ)

- NRZ
- NRZI
- Манчестерское кодирование
- Биполярное кодирование

# Низкочастотная модуляция

- **NRZ (Non-Return-to-Zero, без возвращения к нулю)**— модуляция использующая положительное напряжение, чтобы представить 1 и отрицательное напряжение, чтобы представить 0 (отсутствие/наличие света).
- Сигнал будет **ослаблен и искажен каналом и шумом** в приемнике и чтобы расшифровать биты, приемник отображает образцы сигнала в самые **близкие символы**.

а Поток битов



б Без возвращения к нулю (NRZ)

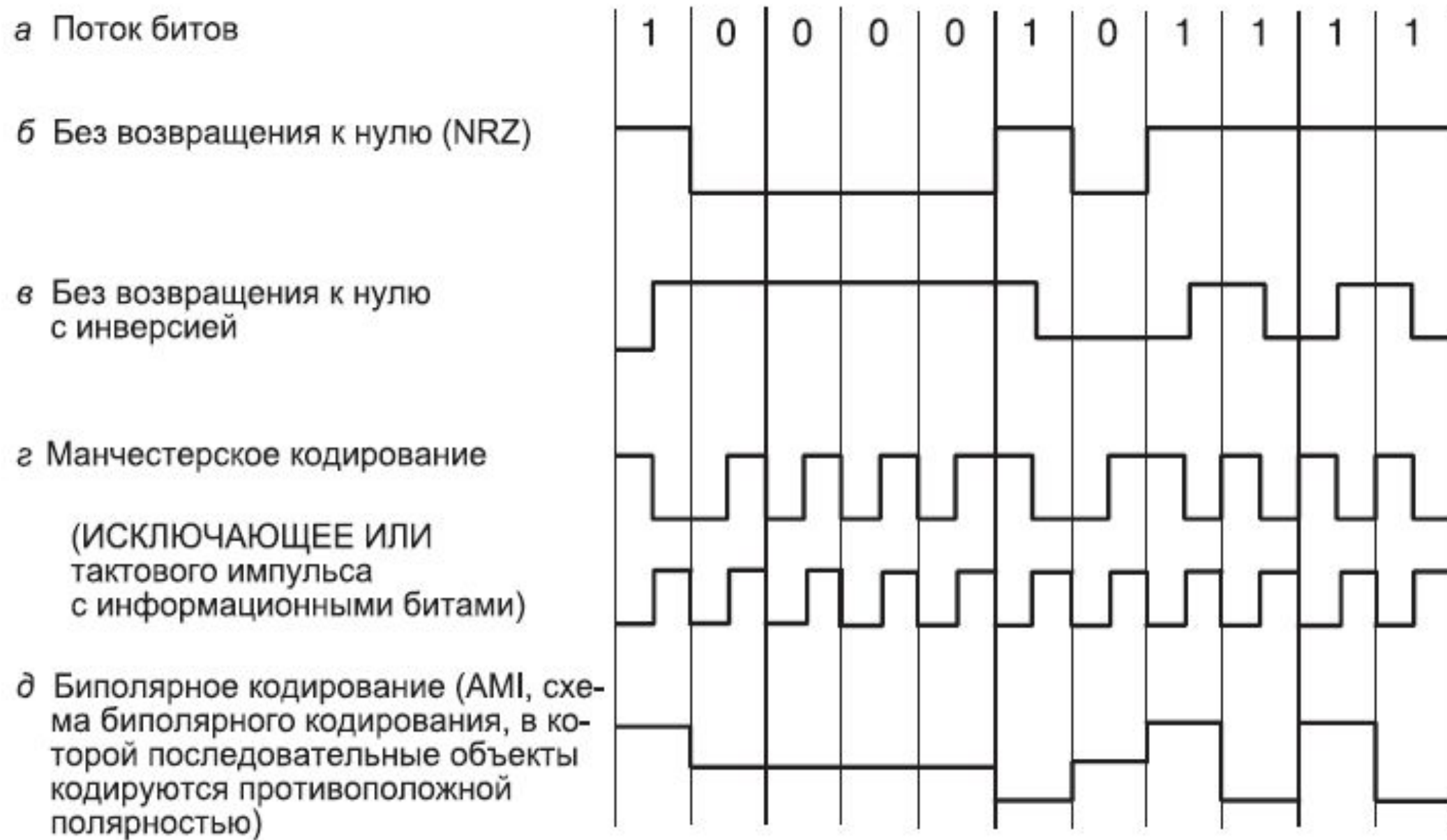


# Битрейт

- Одна из стратегий **более эффективного использования ограниченной полосы** состоит в том, чтобы использовать больше чем два сигнальных уровня. При использовании четырех уровней напряжения, например, мы можем послать два бита сразу как один **символ**.
- Скорость, с которой сигнал изменяет уровень, называется **символьной скоростью**.
- **Битрейт** — скорость символа, умноженная на число битов в символе.

# Синхронизация

- Приемник должен знать когда символ заканчивается и начинается следующий символ, чтобы правильно расшифровывать биты (он должен быть **синхронизован**).
- В простейшей схеме NRZ длинные последовательности одинаковых сигналов вызывают проблемы с синхронизацией, поэтому были разработаны **другие схемы**.



**Рис. 2.17.** Линейные коды (коды для линии связи): а — биты, б — NRZ; в — NRZI; г — Манчестер; д — биполярный или AMI

**Таблица 2.4.** Отображение 4В/5В

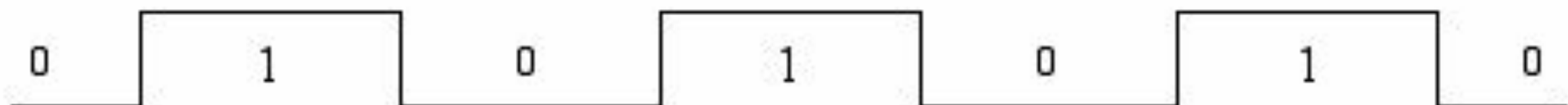
| <b>Данные (4В)</b> | <b>Ключевое слово (5В)</b> | <b>Данные (4В)</b> | <b>Ключевое слово (5В)</b> |
|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| 0000               | 11110                      | 1000               | 10010                      |
| 0001               | 01001                      | 1001               | 10011                      |
| 0010               | 10100                      | 1010               | 10110                      |
| 0011               | 10101                      | 1011               | 10111                      |
| 0100               | 01010                      | 1100               | 11010                      |
| 0101               | 01011                      | 1101               | 11011                      |
| 0110               | 01110                      | 1110               | 11100                      |
| 0111               | 01111                      | 1111               | 11101                      |

# Симметричные сигналы

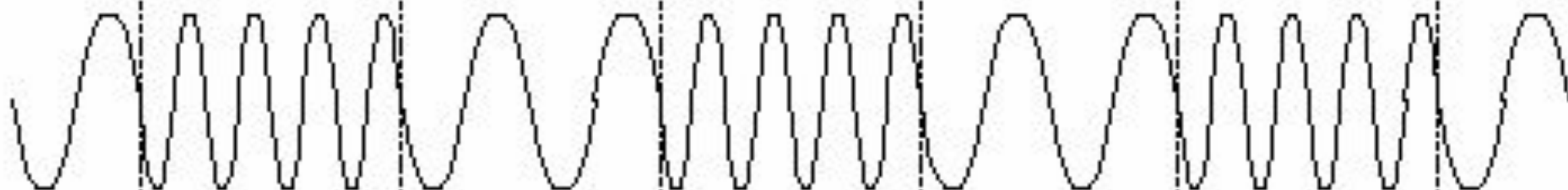
- Сигналы, у которых есть столько же положительного напряжения, сколько и отрицательного напряжения даже за короткие периоды времени, называют **симметричными сигналами**.
- Простейший **способ создать симметричный код** состоит в том, чтобы использовать **два уровня напряжения** для представления логической 1, (скажем +1 В или -1 В), и **0 В для представления логического нуля** (биполярное кодирование, АМІ).
- Чтобы послать 1, передатчик чередует уровни между +1 В и -1 В так, чтобы они всегда давали среднее.

# Передача в полосе пропускания

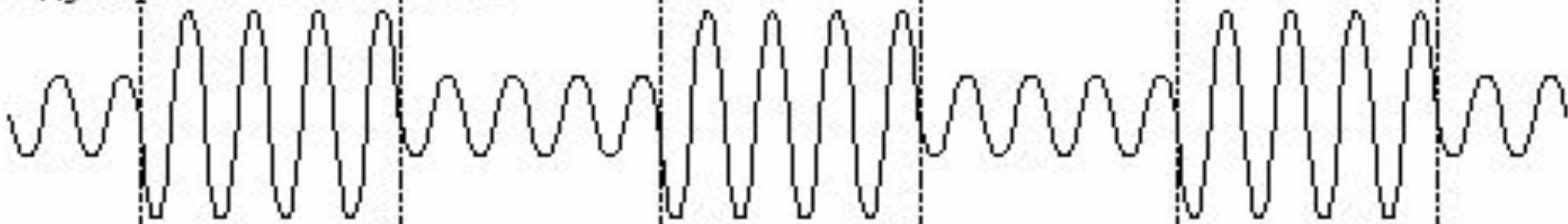
- **В цифровой модуляции** передача в полосе пропускания достигается регулируя сигнал несущей, которая находится в полосе пропускания:
  1. **В ASK (Amplitude Shift Keying, амплитудная манипуляция)**, чтобы представить 0 и 1, используются две различные амплитуды.
  2. **при FSK (Frequency Shift Keying, частотная манипуляция)** используется две или несколько различных частоты.
  3. **при PSK (Phase Shift Keying, фазовая манипуляция)** несущая систематически подворачивается на 0 или 180 градусов через определенные интервалы времени.
  4. **улучшенный вариант, который использует полосу канала более эффективно называют QPSK (Quadrature Phase Shift Keying, квадратурная фазовая манипуляция).**



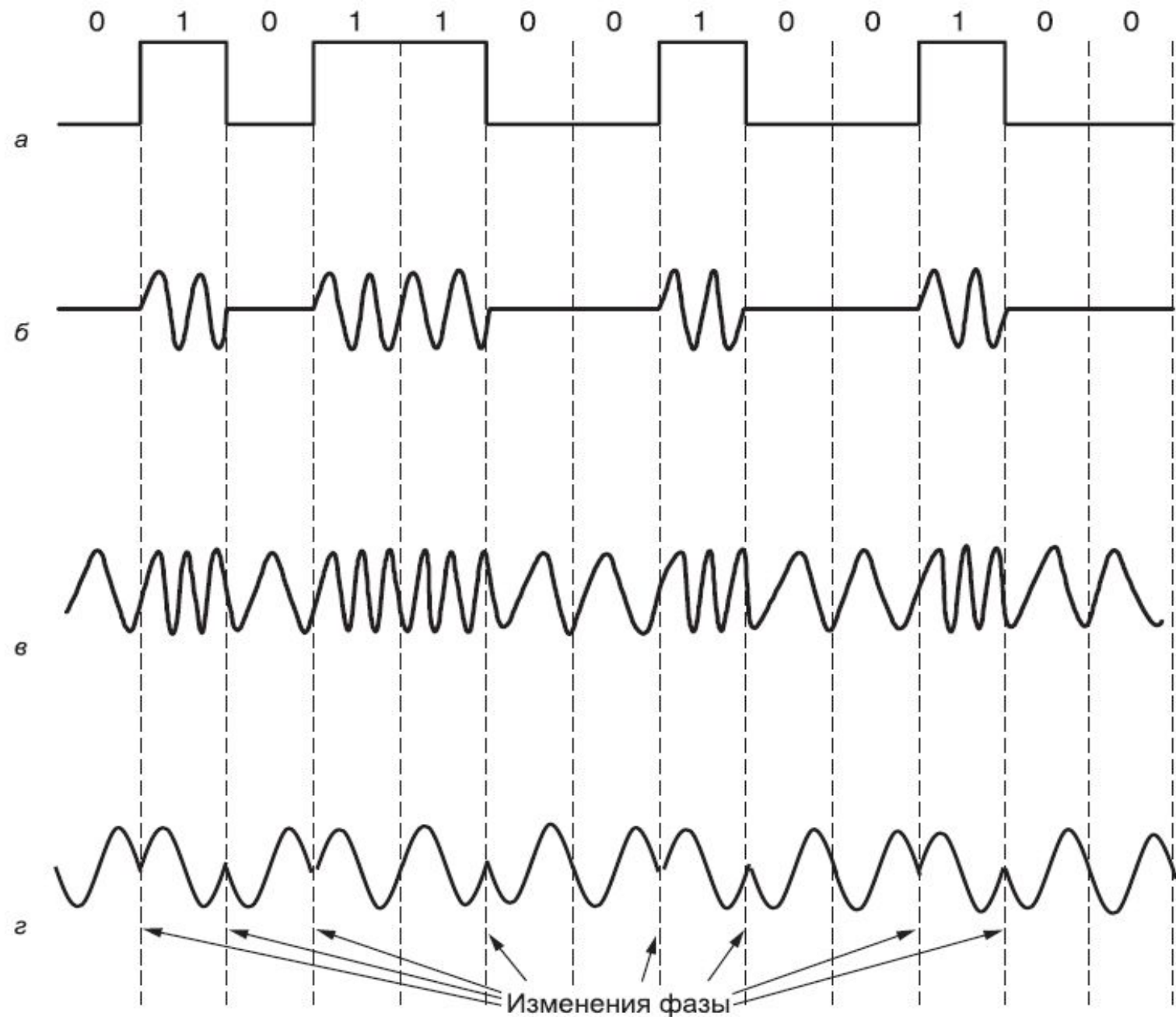
Цифровой сигнал



Модулирование по частоте



Модулирование по амплитуде



**Рис. 2.18.** Сигналы: *а* — бинарные; *б* — амплитудная манипуляция; *в* — *г* — квадратурная фазовая манипуляция

Частотная  
модуляция



# Диаграмма созвездий

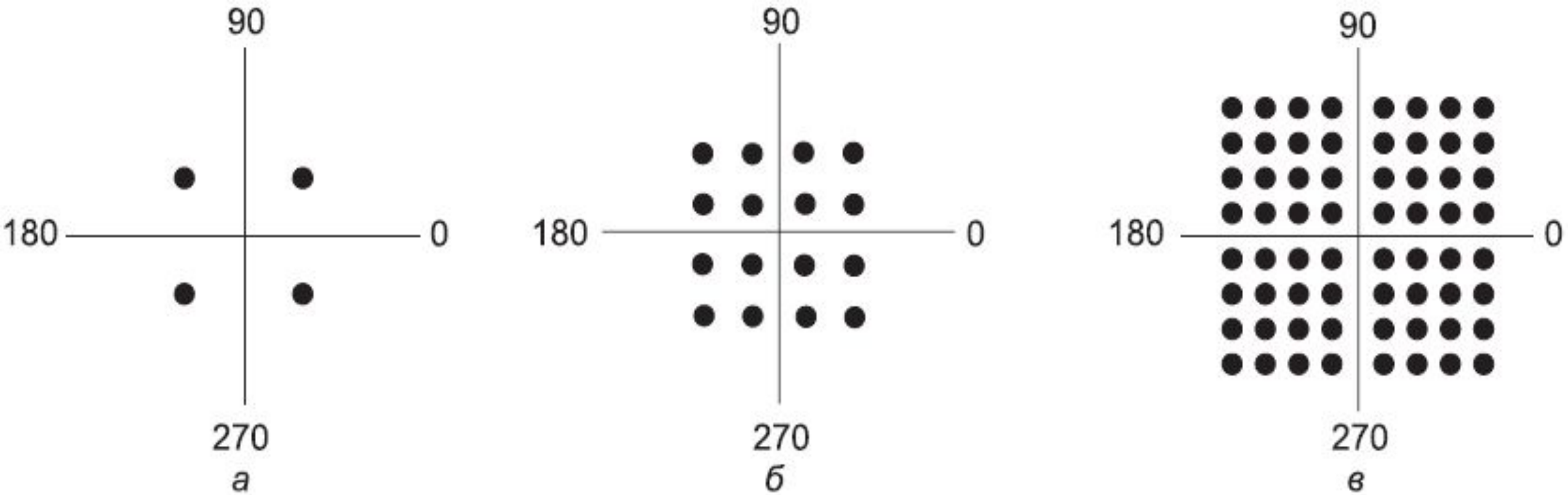
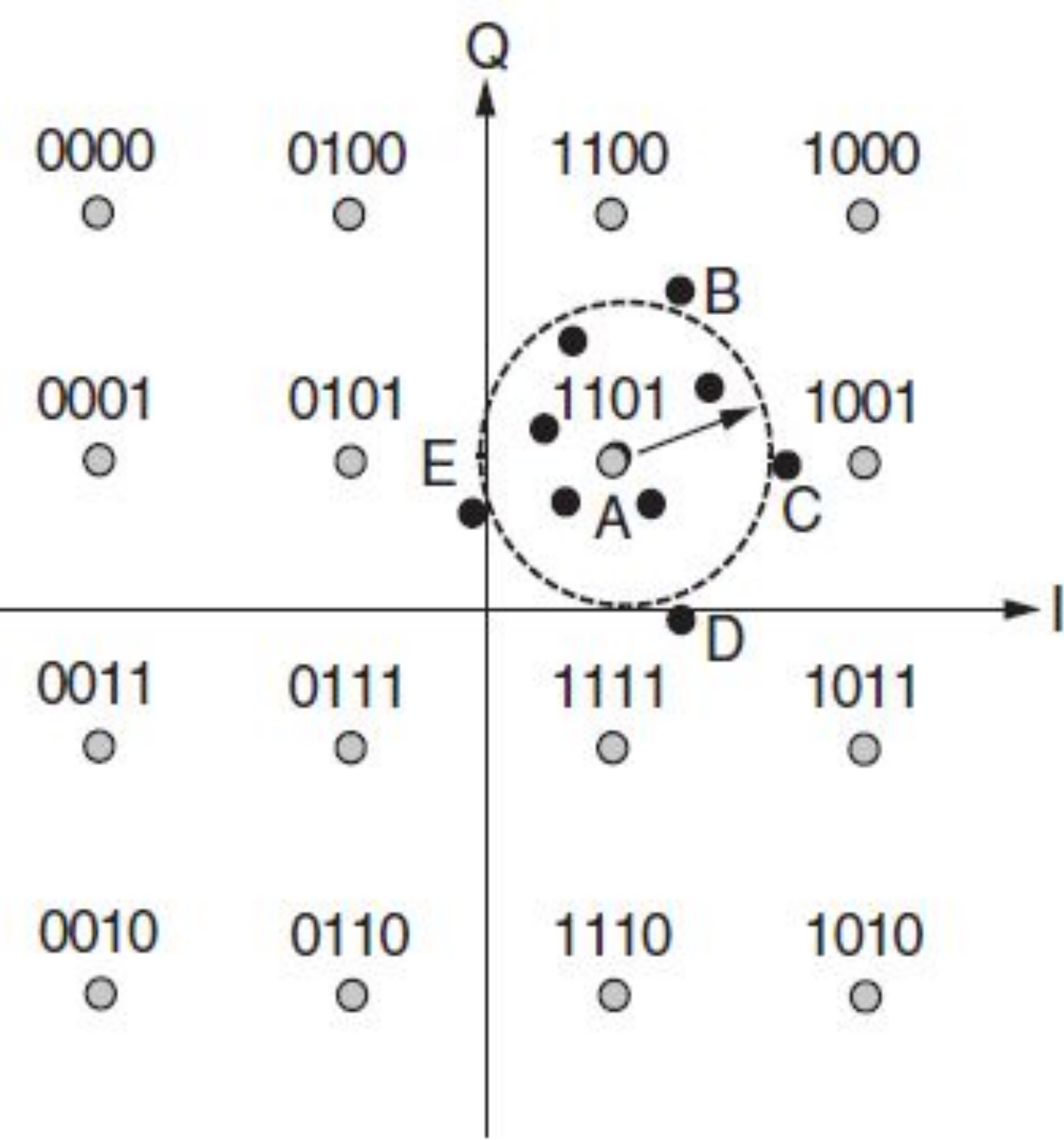


Рис. 2.19. Модуляция: а — QPSK; б — QAM-16; в — QAM-64

# Код грея

- Лучшее решение во избежание крупных ошибок состоит в том, чтобы **отобразить биты на символы так, чтобы смежные символы отличались только по одной позиции двоичного разряда (код Грэя)**.
- Если приемник расшифрует символ ошибочно, он сделает **только одну битовую ошибку** в ожидаемом случае, что расшифрованный символ близок к переданному символу.



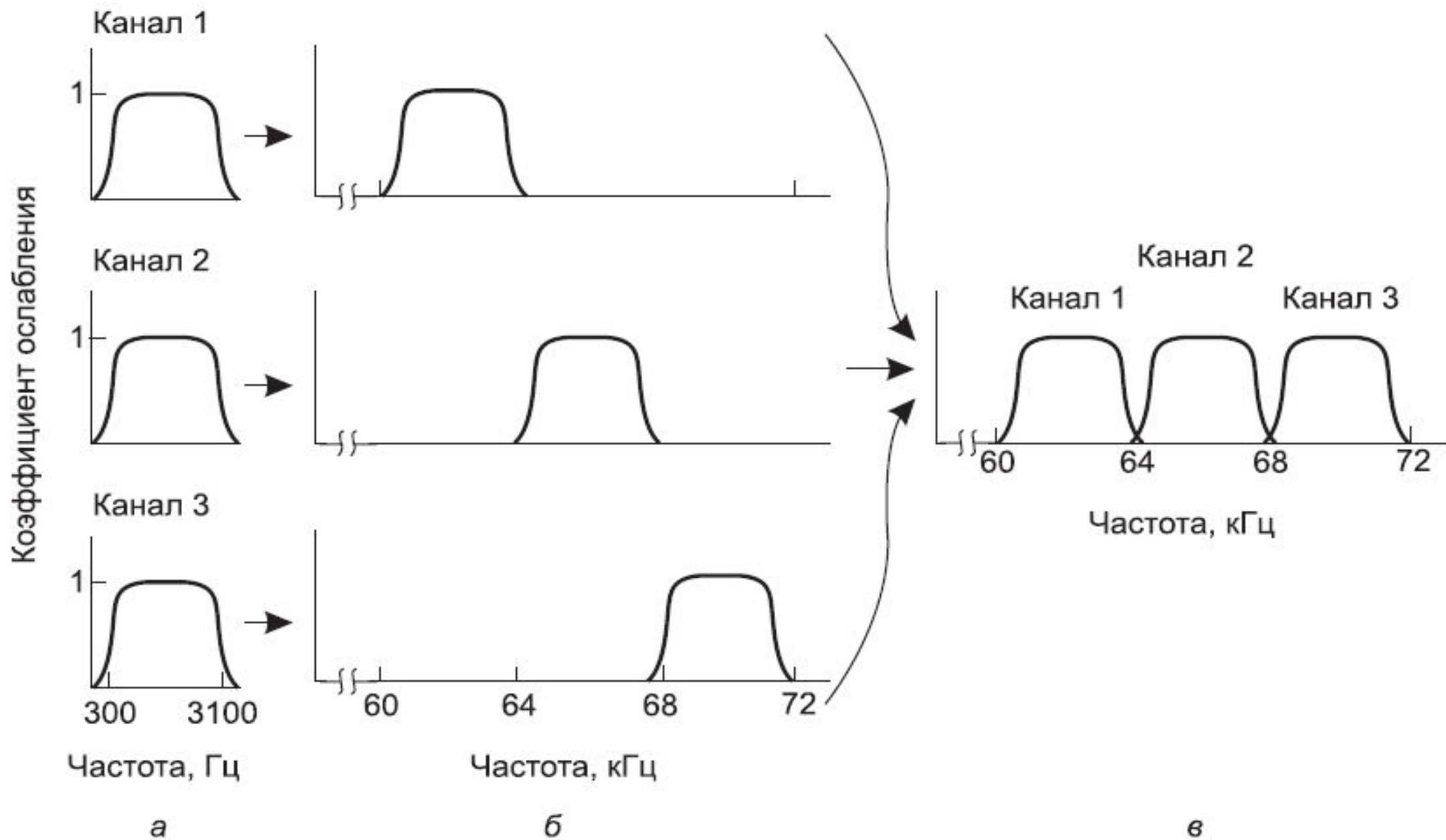
Когда отправлено 1101

| Точка | Расшифровано как | Битовых ошибок |
|-------|------------------|----------------|
| A     | 1101             | 0              |
| B     | 11 <u>00</u>     | 1              |
| C     | <u>1001</u>      | 1              |
| D     | 11 <u>11</u>     | 1              |
| E     | <u>0101</u>      | 1              |

Рис. 2.20. QAM-16 с применением кодирования Грея

# Мультиплексирование

- **Мультиплексирование** (*multiplexing, muxing*) — уплотнение канала, т. е. передача нескольких потоков (каналов) данных с меньшей скоростью (пропускной способностью) по одному каналу.
- **FDM (Frequency Division Multiplexing, мультиплексирование с разделением частоты, частотное уплотнение)** использует передачу в полосе пропускания, чтобы совместно использовать канал, при этом:
  - ✓ весь спектр делится на **диапазоны частот**, каждый пользователь получает исключительное владение некоторой полосой, в которой он может послать свой сигнал.



**Рис. 2.21.** Частотное уплотнение: а — исходные спектры сигналов; б — спектры, сдвинутые по частоте; в — уплотненный канал

# Мультиплексирование цифровой И-ЦИИ.

- В **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением) полоса канала разделена на многие **поднесущие**, которые независимо передают данные.
- Обычно один высокоскоростной поток цифровой информации **разделен на многие потоки** с низкой скоростью, которые передаются на поднесущие параллельно.
- **OFDM** используется в 802.11, кабельных сетях и сетях линии электропередачи, также запланировано ее применение в сотовых системах четвертого поколения.

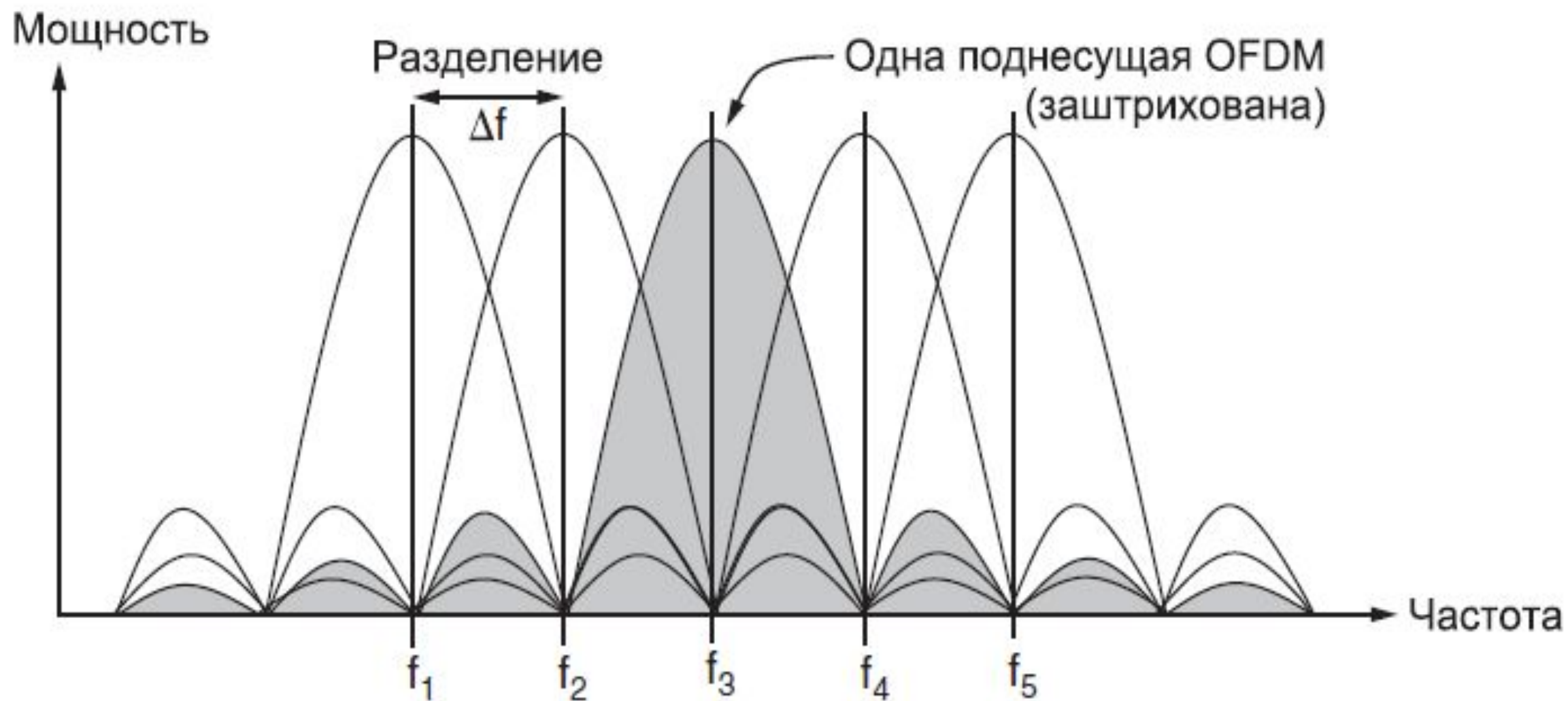


Рис. 2.22. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM)



# Мультиплексирование с разделением времени

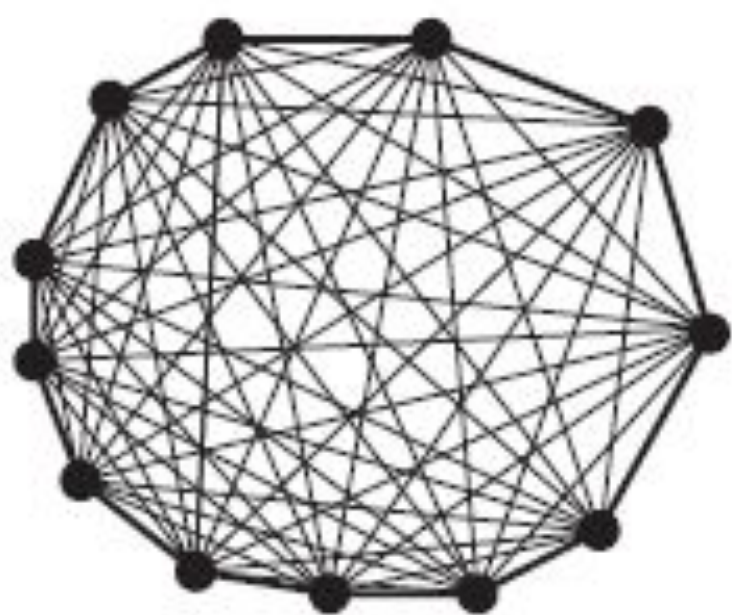
- TDM (Time Division Multiplexing, **Мультиплексирование с разделением времени, временное уплотнение**) – мультиплексирование, при котором пользователи сменяются (по кругу), каждый периодически получая всю полосу пропускания на небольшой отрезок времени.



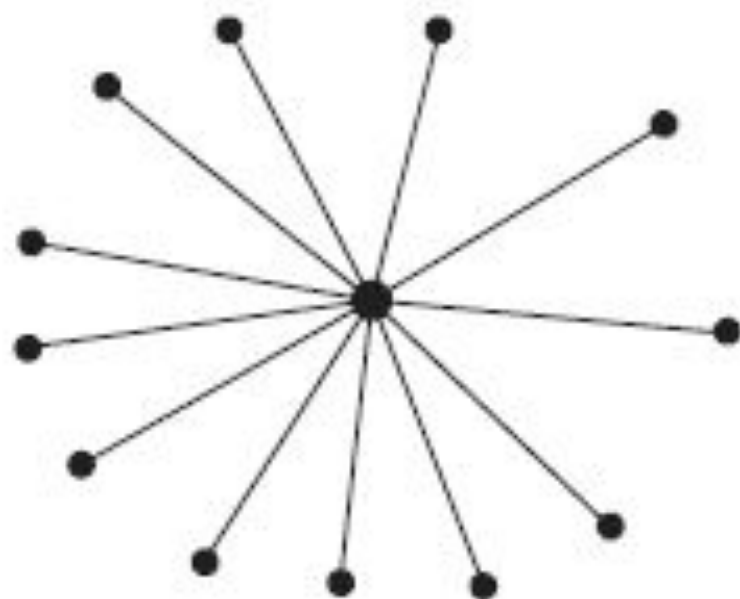
Рис. 2.23. Мультиплексирование с разделением времени (TDM)

# Кодовое мультиплексирование

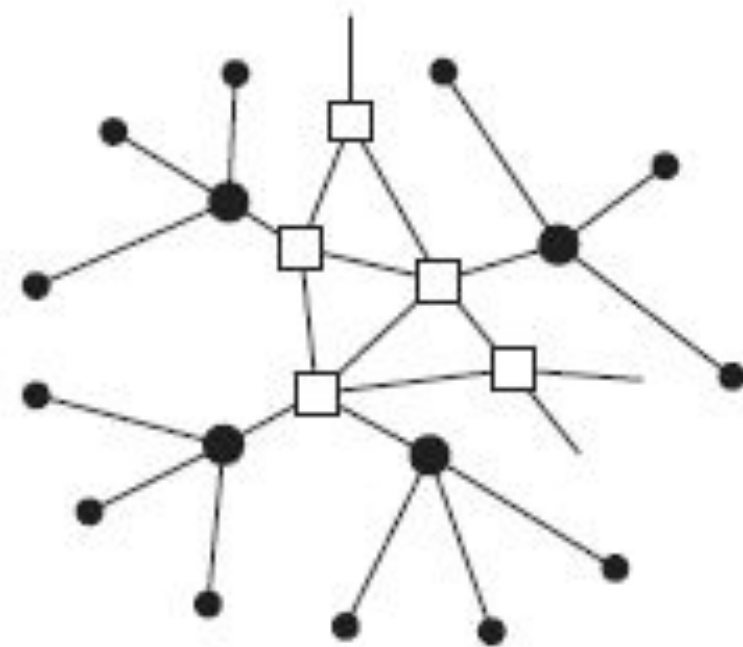
- **CDM (Мультиплексирование с кодовым разделением, кодовое разделение каналов)** – является формой коммуникации распределенного спектра, в которой узкополосный сигнал распределяется по более широкому диапазону частот.
- **CDMA (Code Division Multiple Access, множественный доступ с кодовым разделением)** – тоже самое.
- **Делает сигнал более терпимым к помехам и позволяет нескольким сигналам от различных пользователей совместно использовать общий диапазон частот.**



*а*

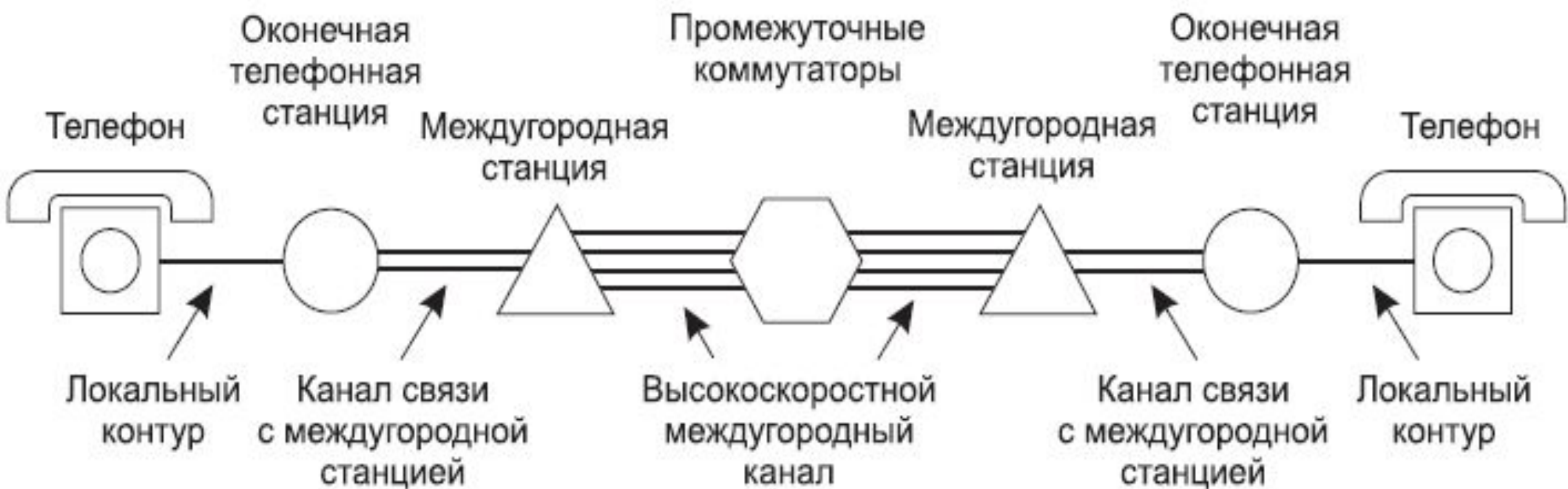


*б*



*в*

**Рис. 2.25.** Сеть «каждый с каждым» (*а*); централизованный коммутатор (*б*); двухуровневая иерархия (*в*)



**Рис. 2.26.** Типичный маршрут связи при большой дистанции между абонентами

# Компоненты телефонной сети

- Современные телефонные сети передают **цифровой сигнал** на всех уровнях кроме местных линий и состоит из **следующих компонентов**:
  1. **Местные линии связи** (аналоговые витые пары, подводящиеся в дома и офисы).
  2. **Магистральные каналы** (цифровая связь на базе оптоволокна между коммутационными станциями).
  3. **Коммутационные станции** (в них вызовы переадресуются с одних магистралей на другие).

# Модем

- Устройство, принимающее последовательный поток битов и **преобразующее** его в выходной сигнал, модулируемый одним или несколькими из способов, а также выполняющий обратное преобразование, называется **МОДЕМОМ** (сокращение от «*модулятор-демодулятор*»).
- Модем, например, используется для пересылки битов между компьютерами **по речевой (аналоговой) телефонной линии**, вместо разговора.
- **Основная трудность** при этом состоит в том, что речевая телефонная линия ограничена 3100 Гц, чего достаточно, чтобы передать разговор.

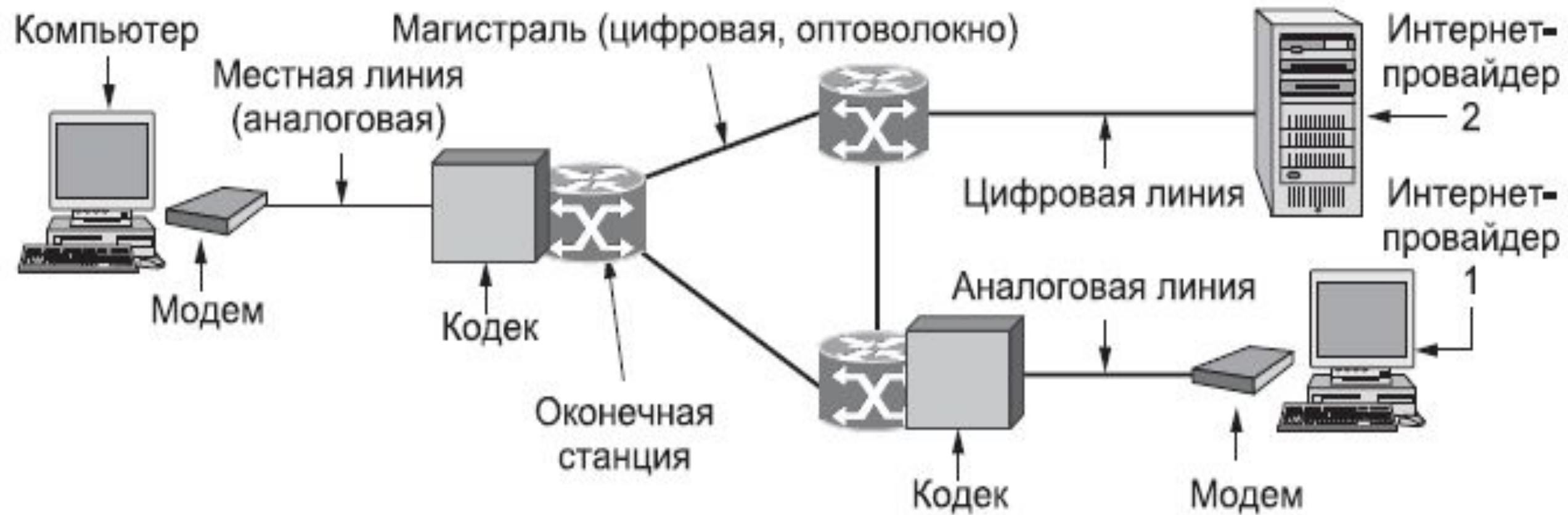
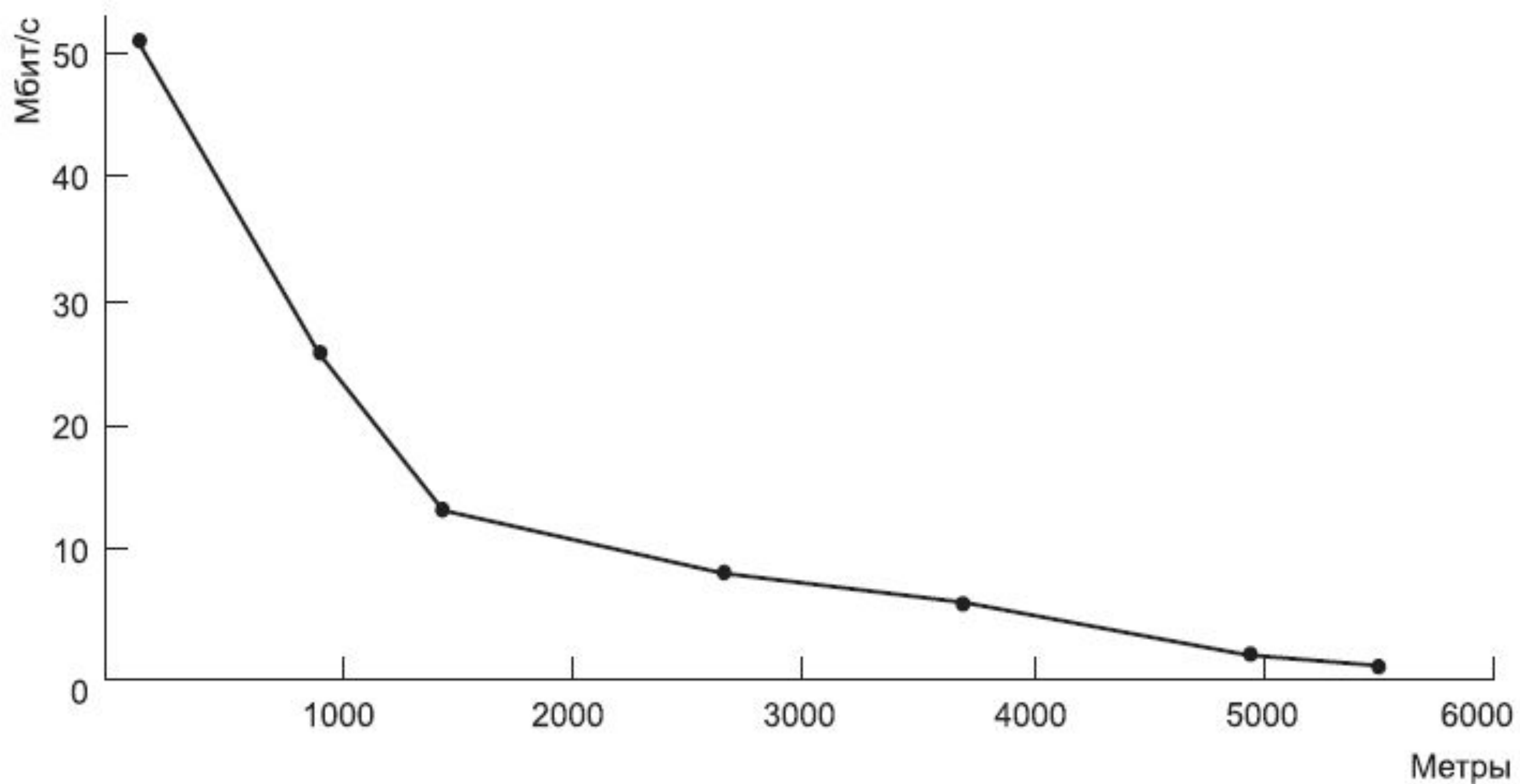


Рис. 2.28. Одновременное использование аналоговой и цифровой связи для соединения компьютеров. Преобразования осуществляются модемами и кодеками



# Развитие модемов

- После того, как скорость связи по телефонным линиям достигла значения **56 Кбит/с**, появилось новые услуги передачи цифровой информации, носящие общее **название xDSL (Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия)**.
- Такие системы, использующие каналы с расширенной пропускной способностью, иногда называют **широкополосными сетями**.



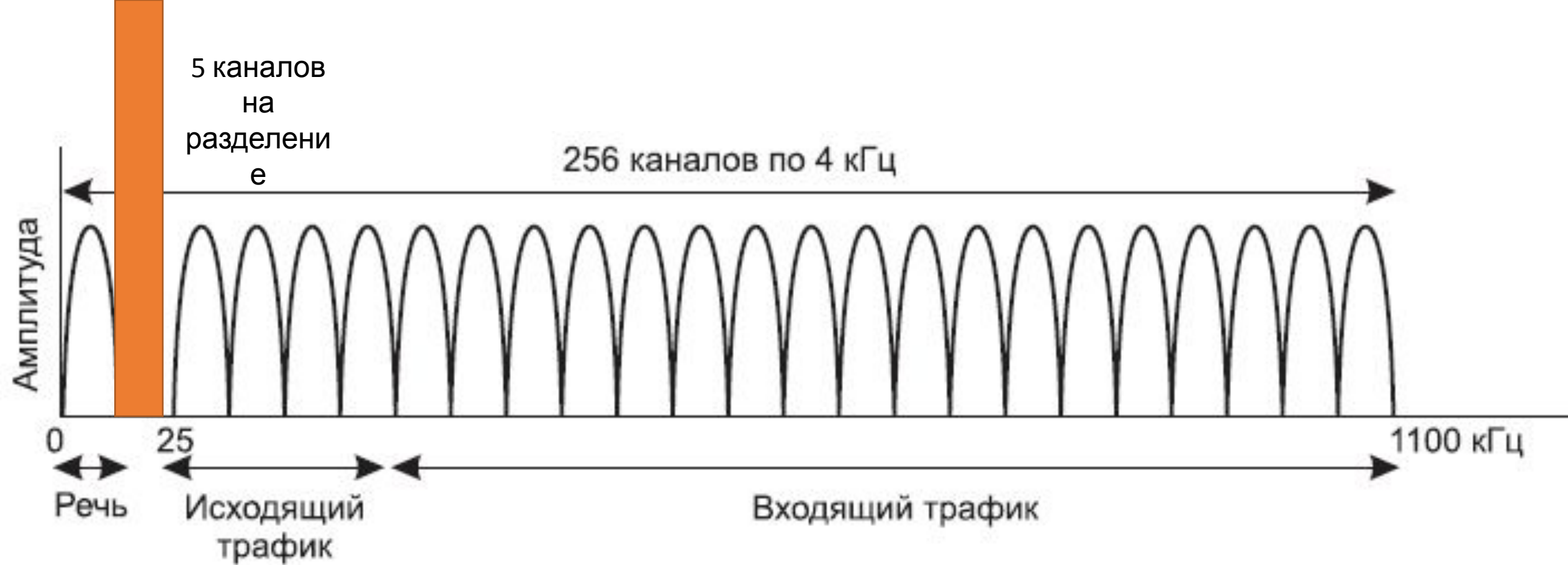
**Рис. 2.29.** Зависимости пропускной способности от расстояния для DSL по UTP категории 3

# ADSL

- **xDSL (digital subscriber line, цифровая абонентская линия)** — семейство технологий 1990-х годов, позволяющих повысить пропускную способность телефонной линии:

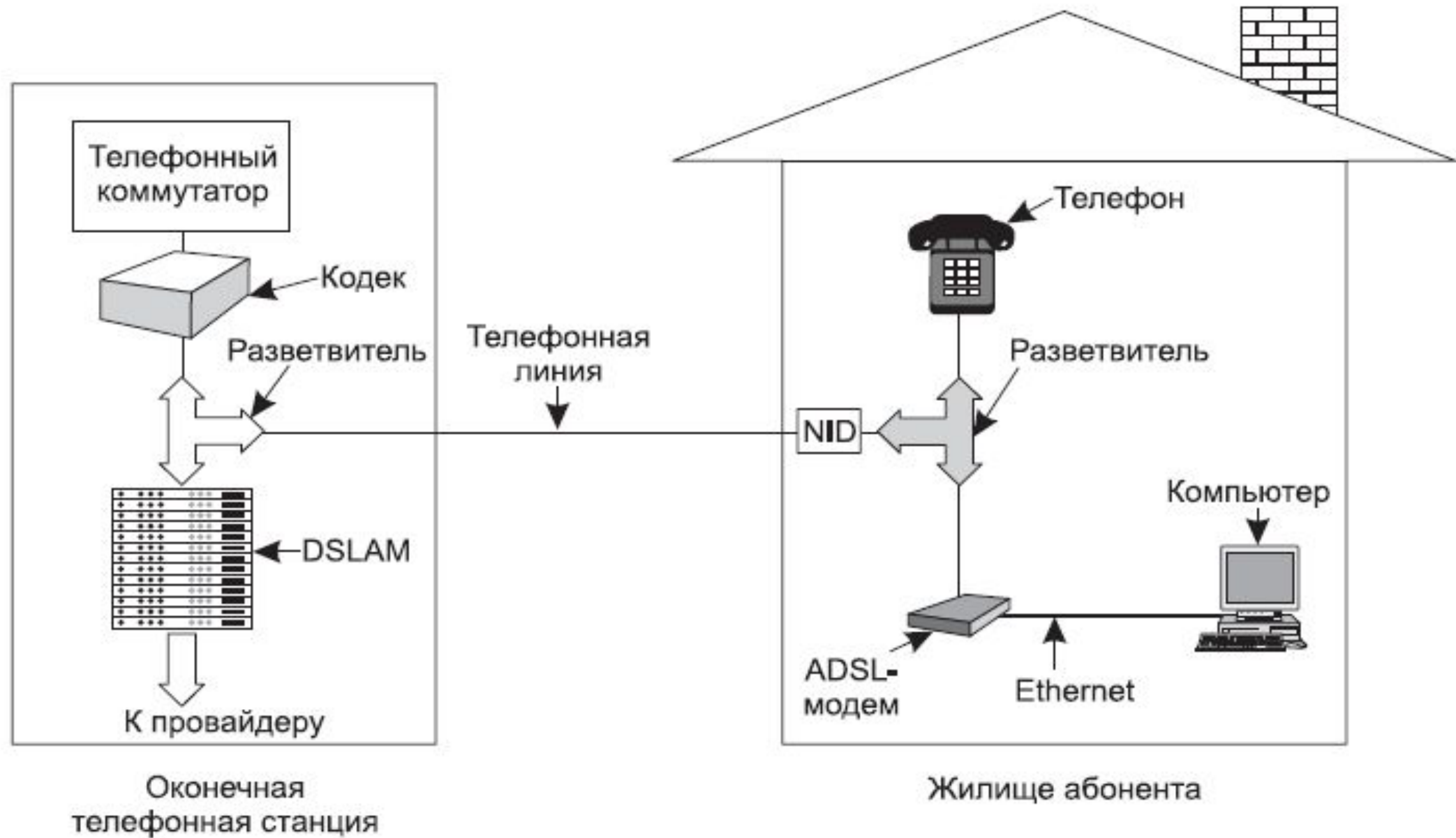
- **ADSL (англ. asymmetric DSL) — асимметричный + DSL)** — модемная технология, в которой доступная полоса пропускания канала распределена между исходящим и входящим трафиком асимметрично.





**Рис. 2.30.** Работа ADSL с использованием дискретной мультитональной модуляции

Как правило, провайдеры предлагают по ADSL связь приблизительно **1 Мбит/с к клиенту и 256 Кбит/с от клиента** (стандартный сервис), соответственно **4 Мбит/с и 1 Мбит/с** (улучшенный сервис) и **8 Мбит/с и 2 Мбит/с** (премиум-сервис).

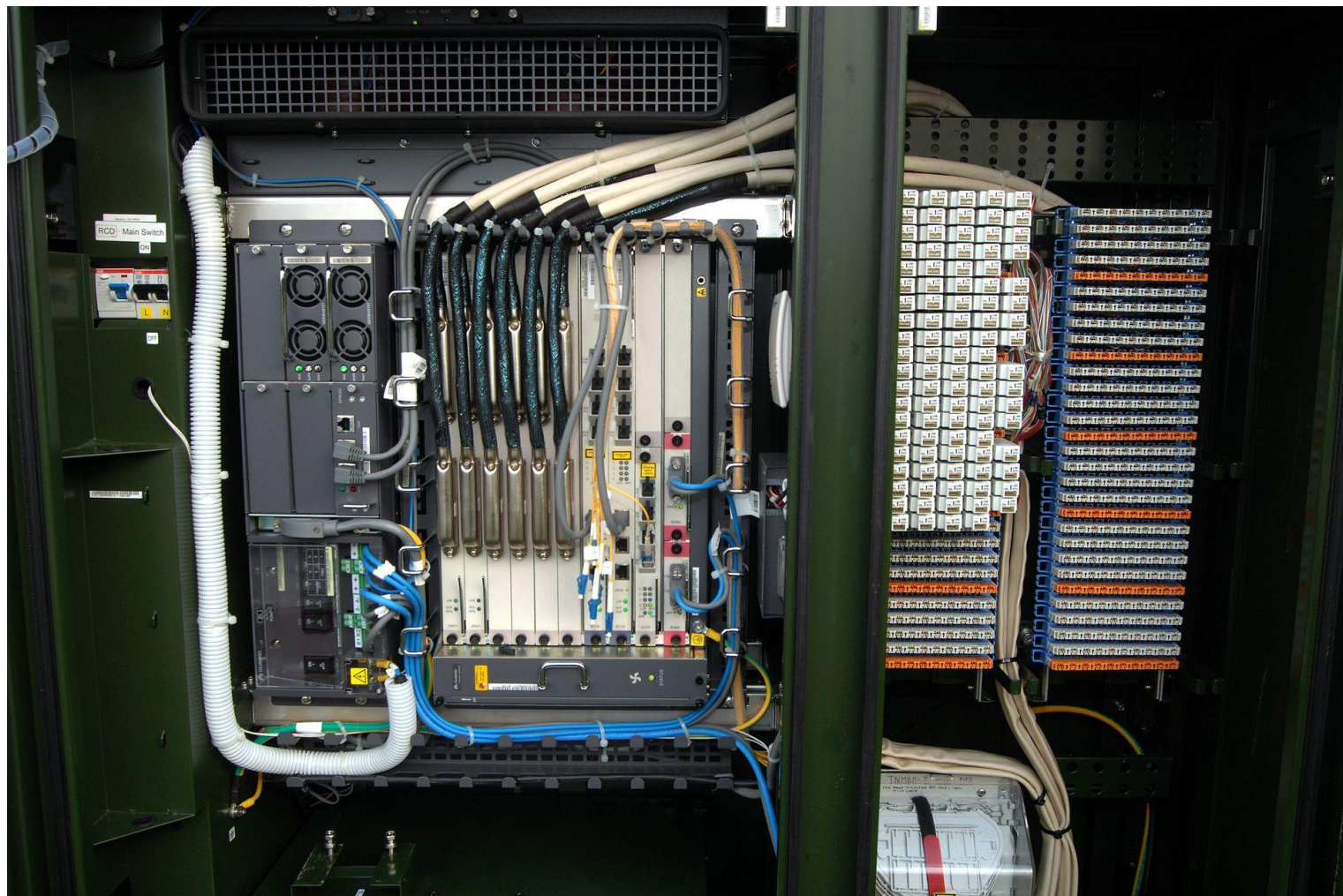


**Рис. 2.31.** Типичная конфигурация оборудования ADSL



# FTTH

- **Fiber To The X** или **FTTx** (*fiber to the x* — оптическое волокно до точки X) — это общий термин для любой широкополосной телекоммуникационной сети передачи данных, использующей в своей архитектуре волоконно-оптический кабель в качестве последней мили для обеспечения всей или части абонентской линии.
- **FTTH (Fiber to the Home)** — волокно до дома, квартиры или отдельного коттеджа. Кабель доводится до границы жилой площади, например, коммуникационной коробки на стене жилья. Далее абоненту услуги оператора предоставляются посредством технологии PON и PPPoE.



# PON (Passive Optical Network — пассивная оптическая сеть)

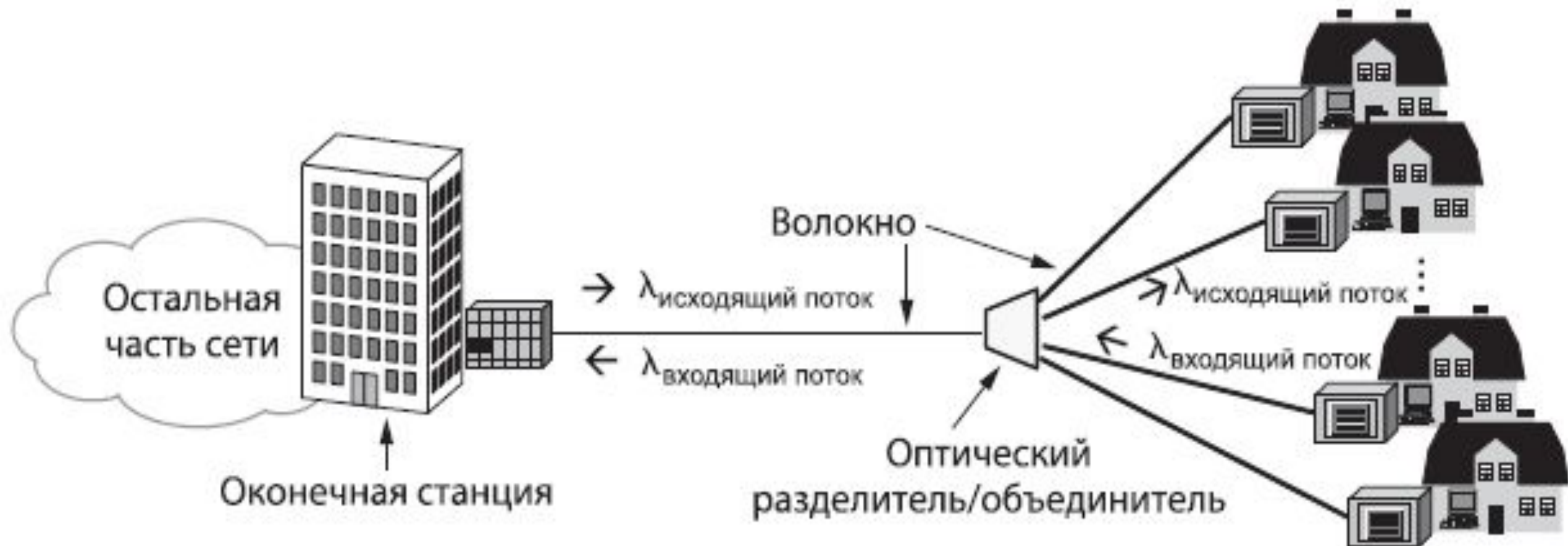


Рис. 2.32. Пассивная оптическая сеть для Волокна до дома



# Спектральное уплотнение

- В оптоволоконных каналах используется особый вариант частотного уплотнения – **спектральное уплотнение (WDM, Wavelength-Division Multiplexing)**.

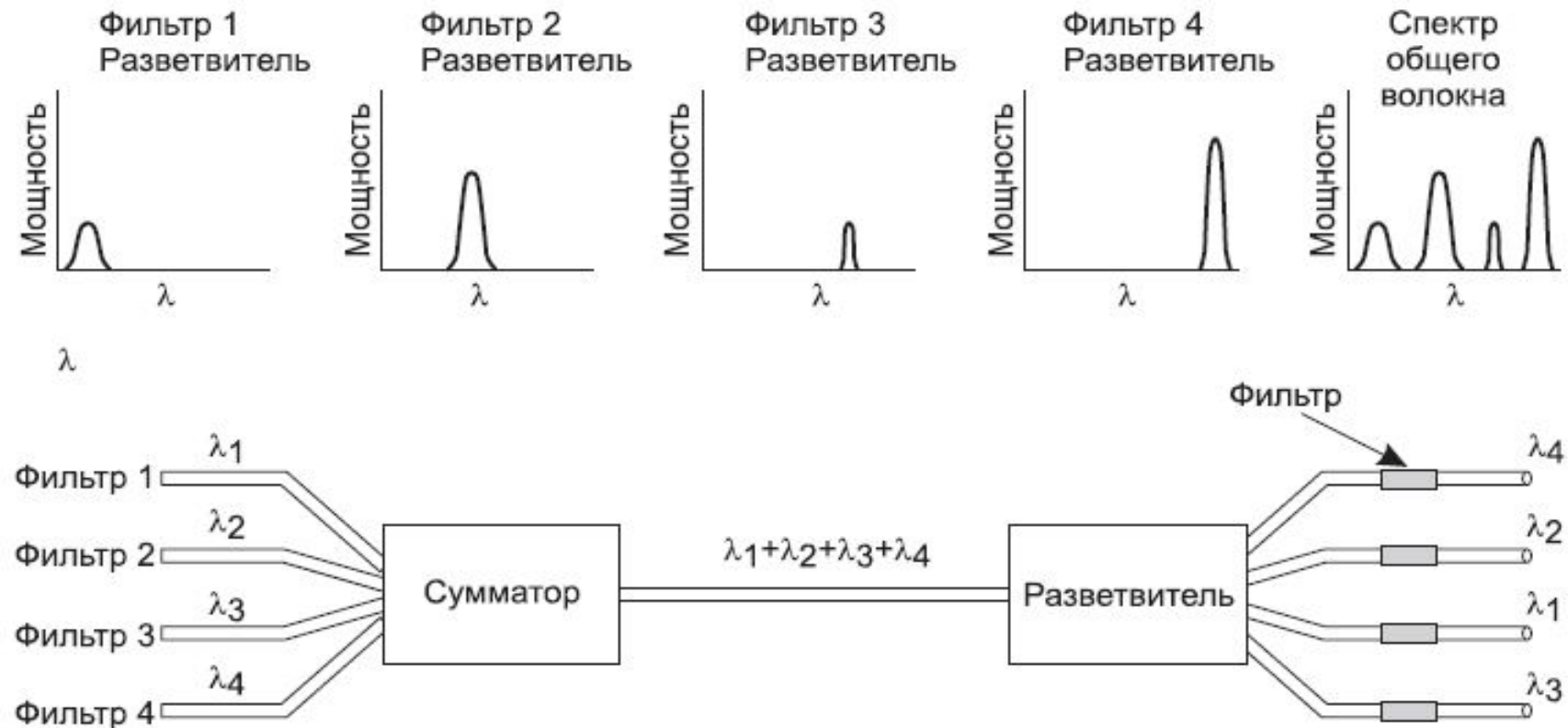
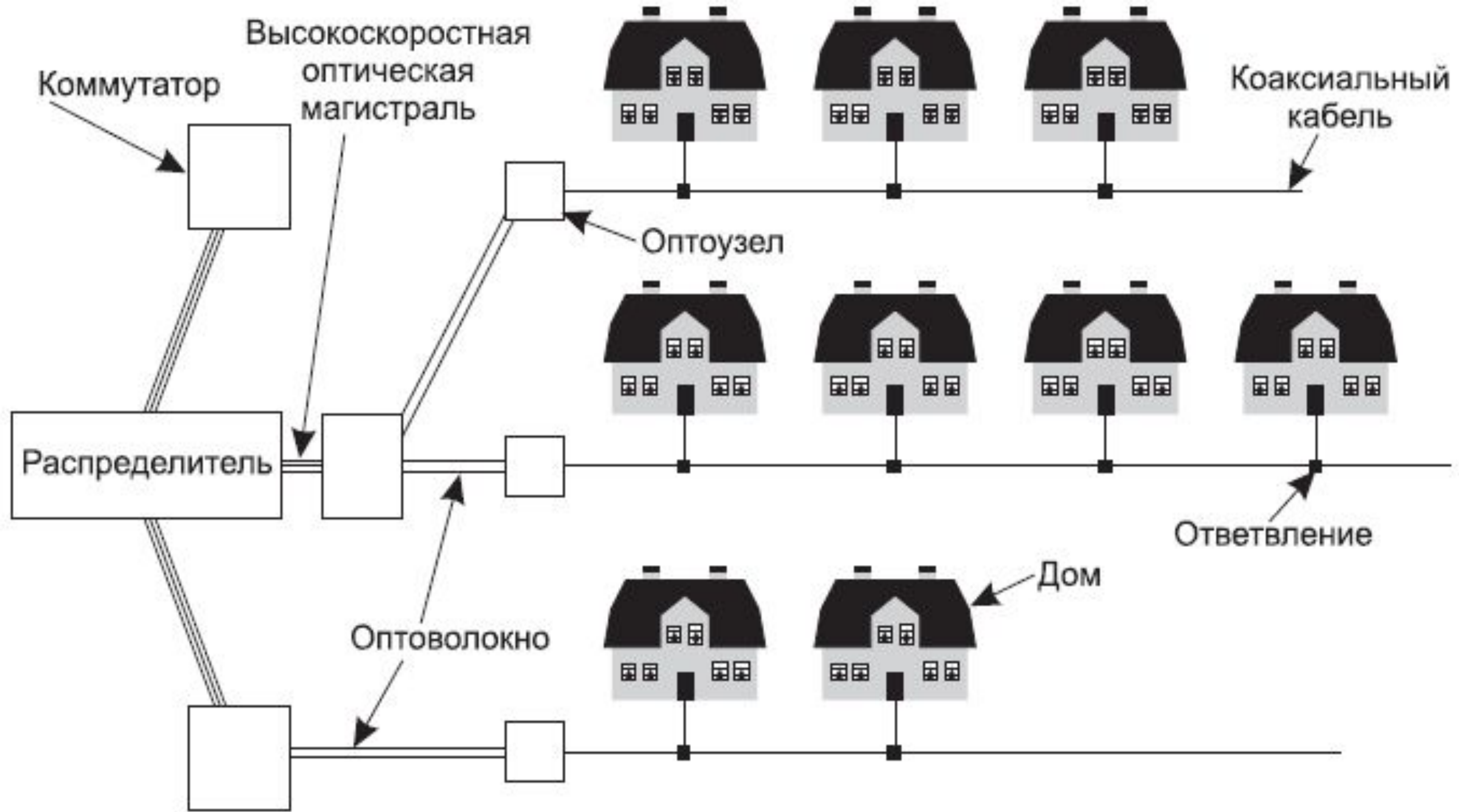
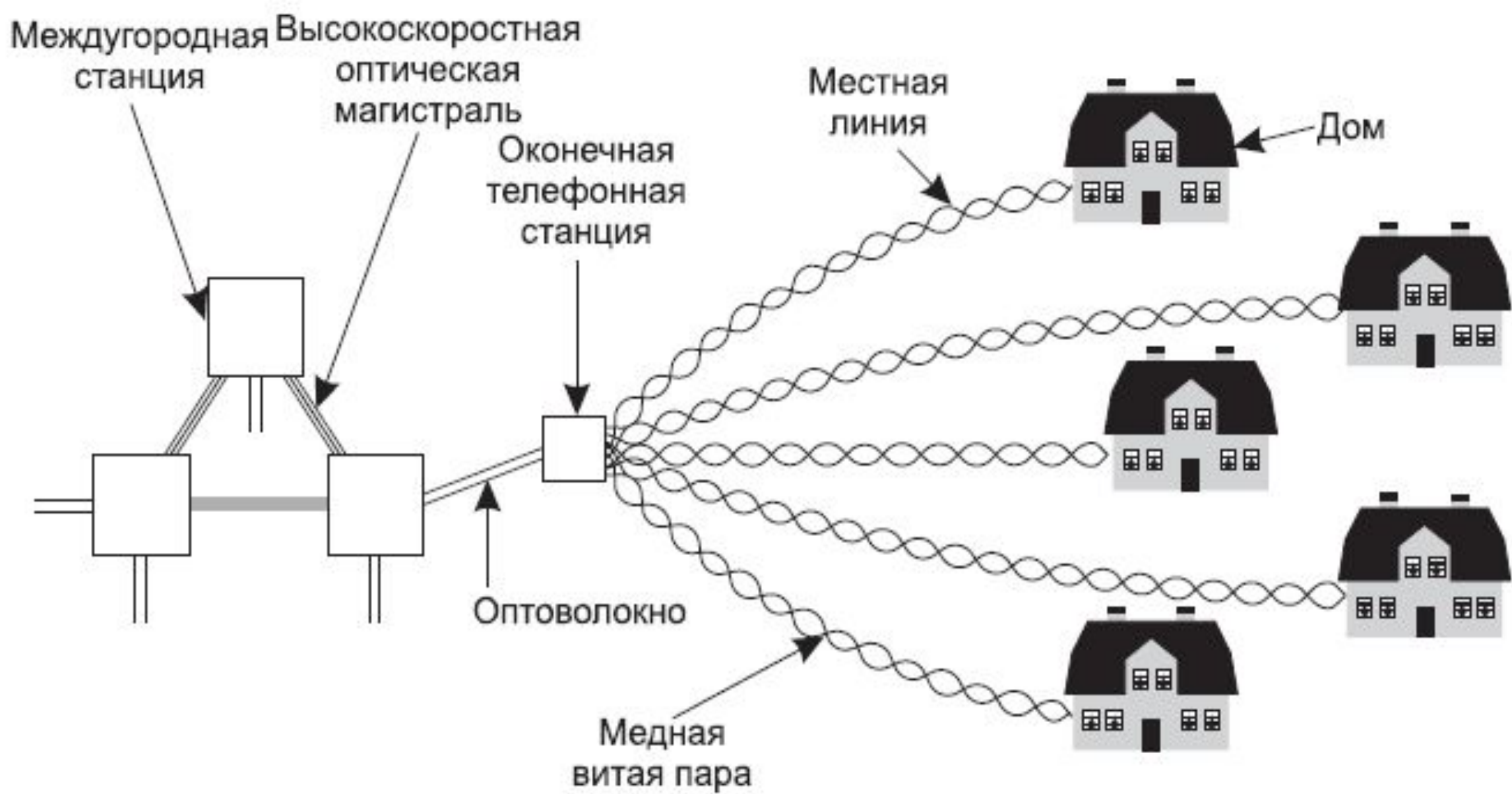


Рис. 2.36. Спектральное уплотнение





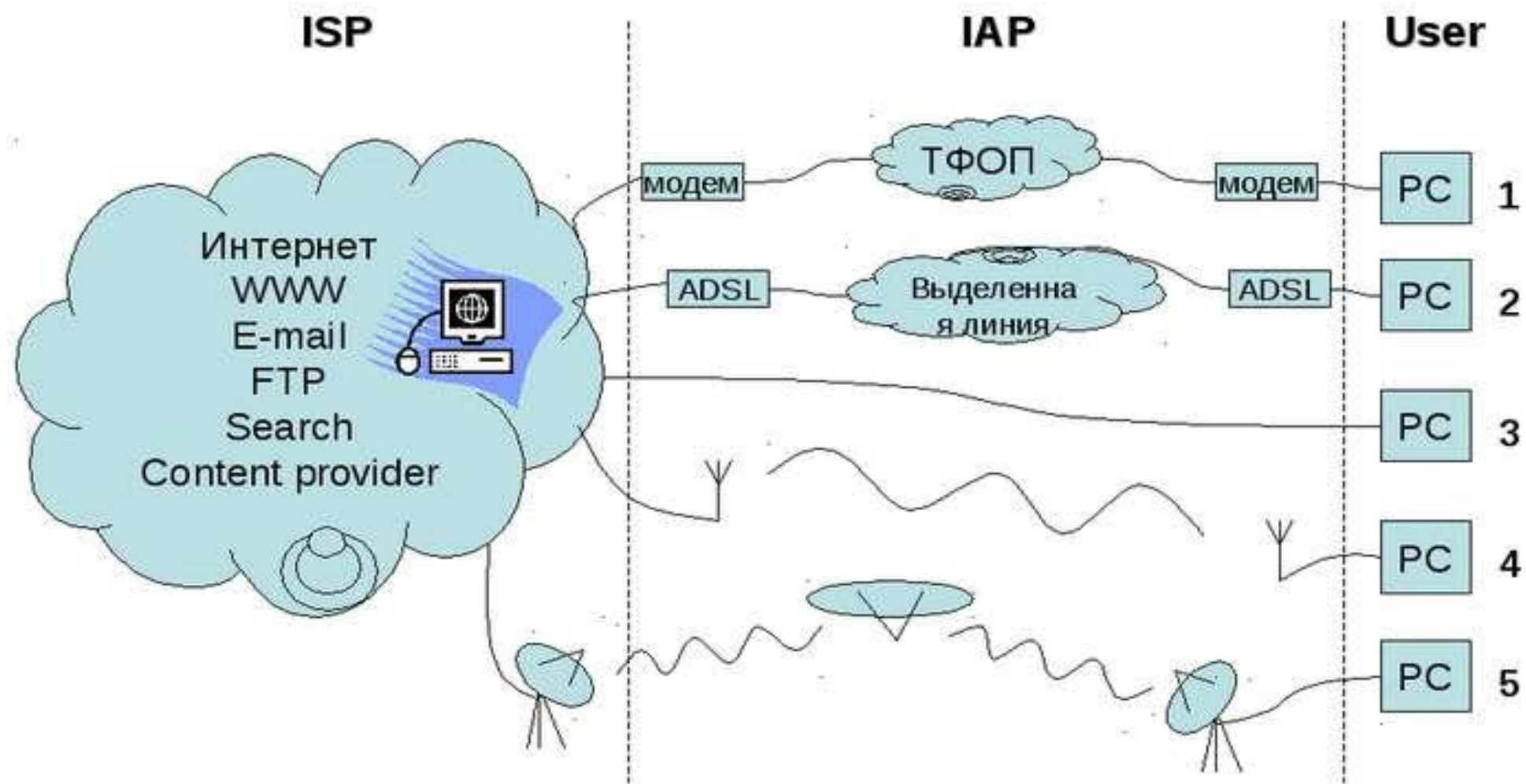
б

Рис. 2.45. Кабельное телевидение (а); стационарная телефонная система (б)

# Интернет-провайдеры

- **Интернет-провайдер** (иногда просто **провайдер**; *internet service provider*, сокр. *ISP* — поставщик интернет-услуги) — организация, предоставляющая услуги доступа к сети Интернет и иные связанные с Интернетом услуги.
- **К основным услугам** интернет-провайдеров относят:
  - ✓ широкополосный доступ в Интернет,
  - ✓ коммутируемый доступ в Интернет,
  - ✓ беспроводной доступ в Интернет,
  - ✓ выделение дискового пространства для хранения и обеспечения работы сайтов (хостинг),
  - ✓ поддержка электронных почтовых ящиков или виртуального почтового сервера,
  - ✓ размещение оборудования клиента на площадке провайдера (колокация),
  - ✓ аренда выделенных и виртуальных серверов (VPS, VDS),
  - ✓ резервирование данных.

# Интернет провайдеры



# Коммутация

- Когда вы (или ваш компьютер) снимаете телефонную трубку и набираете номер, коммутирующее оборудование телефонной системы отыскивает физический путь, состоящий из кабелей и ведущий от вашего телефона к телефону того, с кем вы связываетесь (**коммутация каналов**).
- Альтернативой является **коммутация пакетов**, при которой отдельные пакеты пересылаются по мере готовности, без установления соединения между абонентами до начала связи.



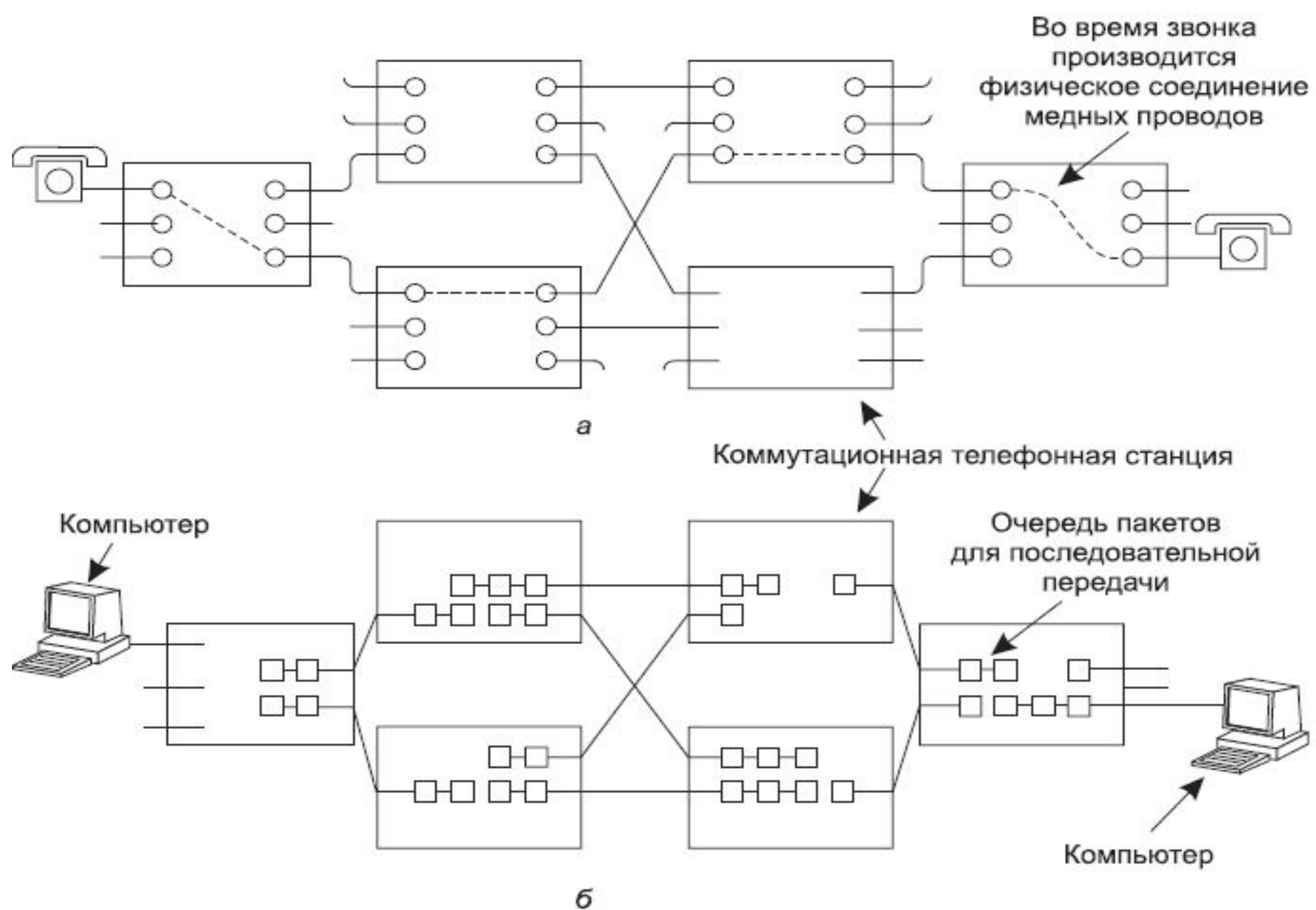


Рис. 2.37. Коммутация: а — каналов; б — пакетов



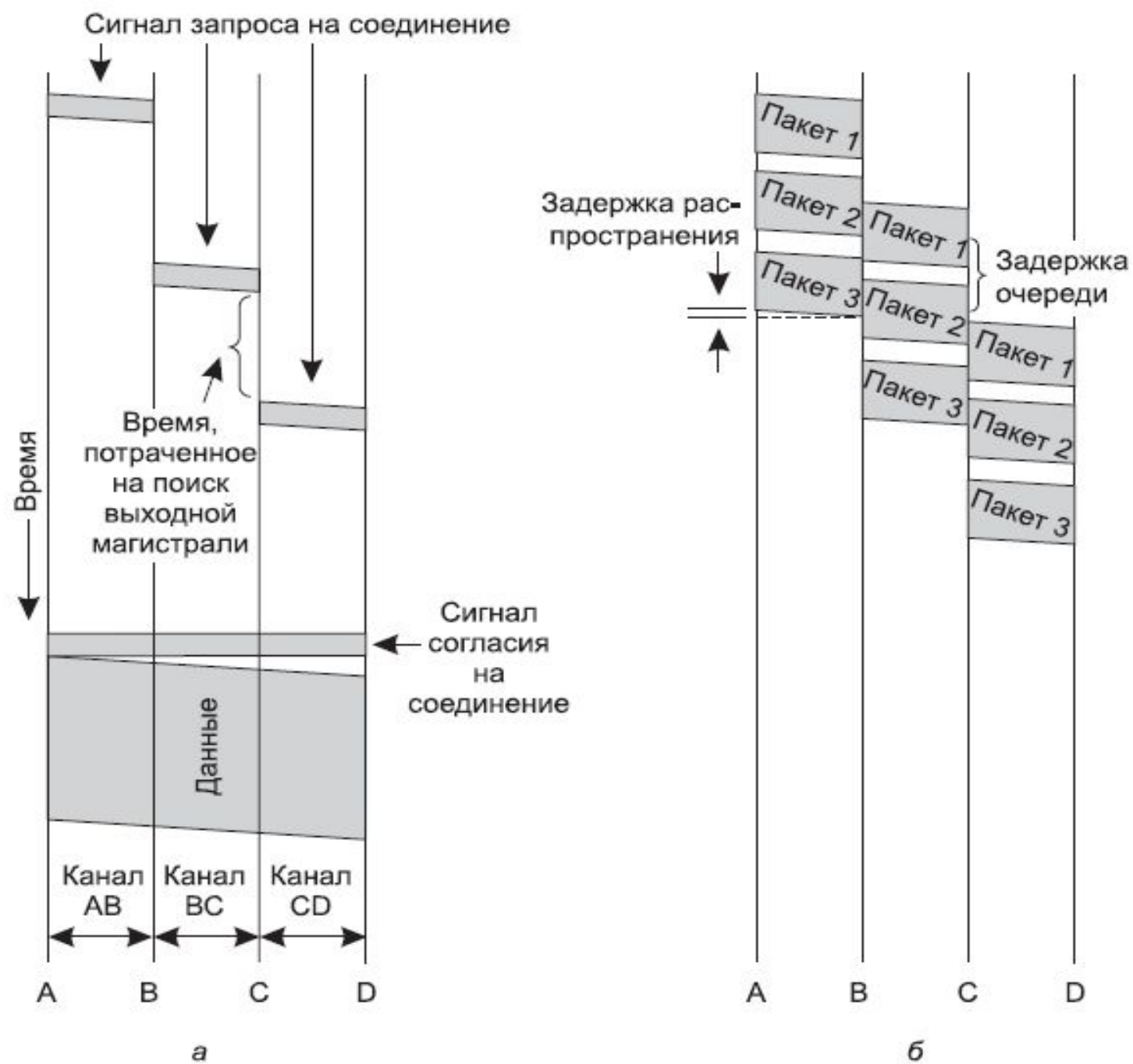


Рис. 2.38. Затраты времени при коммутации каналов (а) и коммутации пакетов (б)

**Таблица 2.6.** Сравнительные характеристики коммутации каналов и коммутации пакетов

| Параметр   | Коммутация каналов            | Коммутация пакетов |
|--|-------------------------------|--------------------|
| Установка соединения                               | Требуется                     | Не требуется       |
| Выделенный «медный» путь                           | Да                            | Нет                |
| Каждый пакет перемещается по одному и тому же пути | Да                            | Нет                |
| Пакеты приходят в правильном порядке               | Да                            | Нет                |
| Критичность выхода из строя коммутатора            | Да                            | Нет                |
| Доступная пропускная способность                   | Фиксированная                 | Динамическая       |
| Возможность занятости линии                        | Во время установки соединения | Для каждого пакета |
| Возможность простоя линии                          | Да                            | Нет                |
| Передача с промежуточным хранением                 | Нет                           | Да                 |
| Оплата   | За время на линии             | За трафик          |

# Краткое резюме по теме

- Понятие о сигнале. Линиях связи и их характеристиках.
- Проводные и беспроводные среды передачи информации. Частотный диапазон. Спутники связи.
- Модуляция и ее виды. Синхронизация.
- Мультиплексирование и его виды.
- Телефонные сети и Интернет.

# Полезные ссылки

- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сигнал>
- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Полоса\\_пропускания](https://ru.wikipedia.org/wiki/Полоса_пропускания)
- <http://www.ruselectronic.com/news/elektricheskie-signal-y-i-ikh-vidy/>
- <http://www.ruselectronic.com/news/parametry-peremennogo-napryazheniya/>
- <http://pandia.ru/text/78/173/73187-9.php>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/LTO>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/VSAT>
- <https://ru.wikipedia.org/wiki/Мультиплексирование>