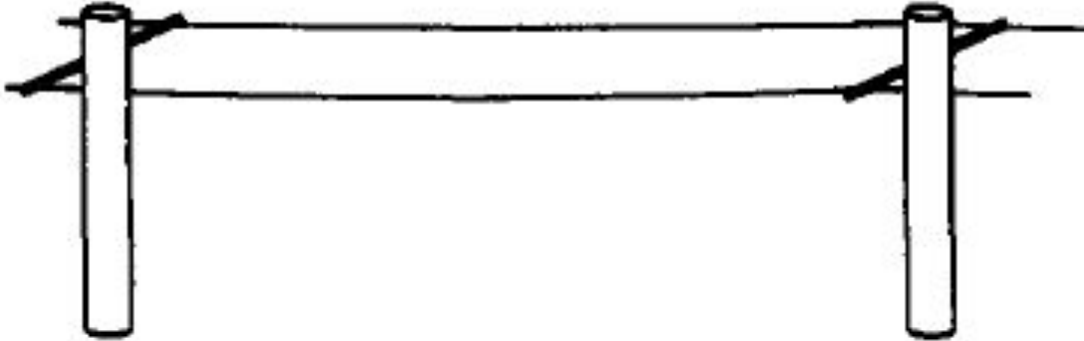


Физический уровень

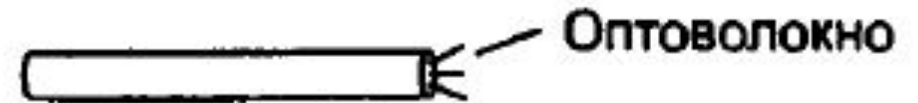
глава 2

Физическая среда передачи данных

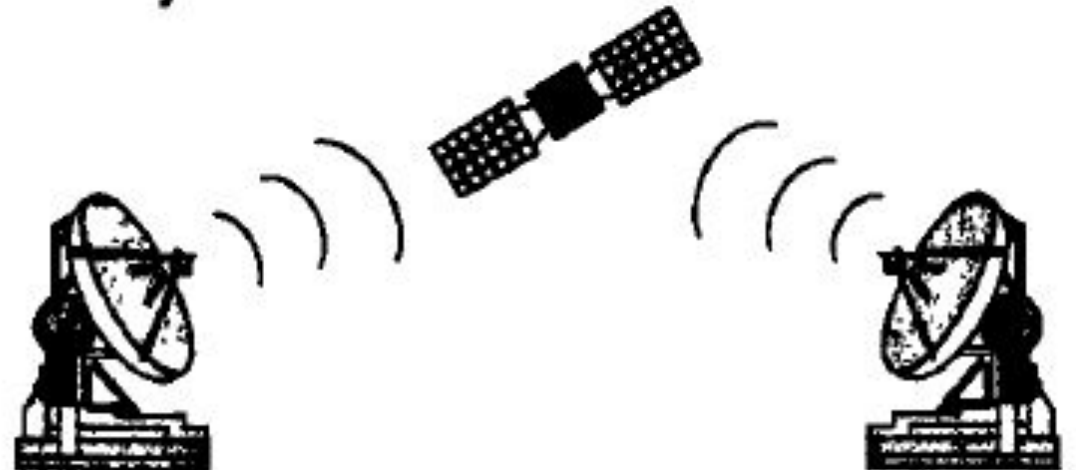
- ▶ Подводные (воздушные) линии связи



- ▶ Волоконно-оптические линии связи



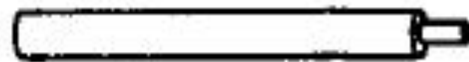
- ▶ Радиоканалы наземной и спутниковой связи



- ▶ Кабельные линии связи (медь)



Витая пара



Коаксиал

Рис. 8.2. Типы сред передачи данных

Физическая среда передачи данных

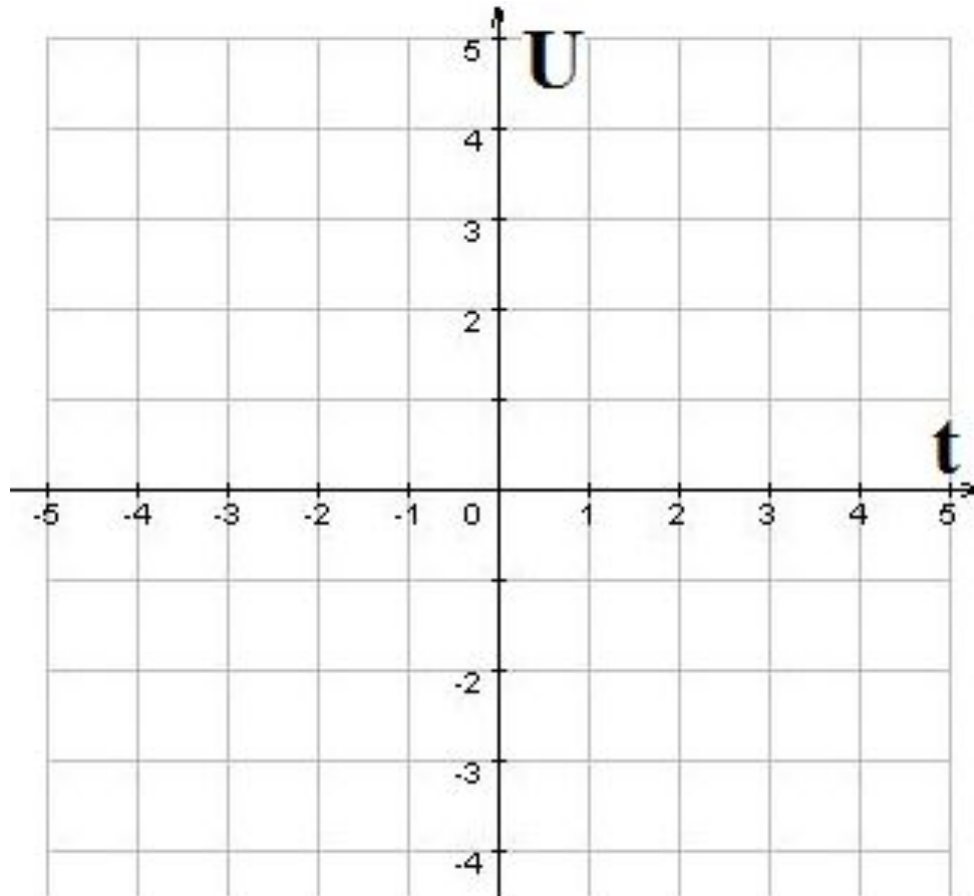
- **Проводные (воздушные) линии связи** представляют собой провода без каких-либо изолирующих или экранирующих оплеток, проложенные между столбами и висящие в воздухе (телефон, телеграф).
- **Кабельные линии** основаны на кабелях, состоящих из проводников, заключенных в несколько слоев изоляции и разъемов,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

Сигнал

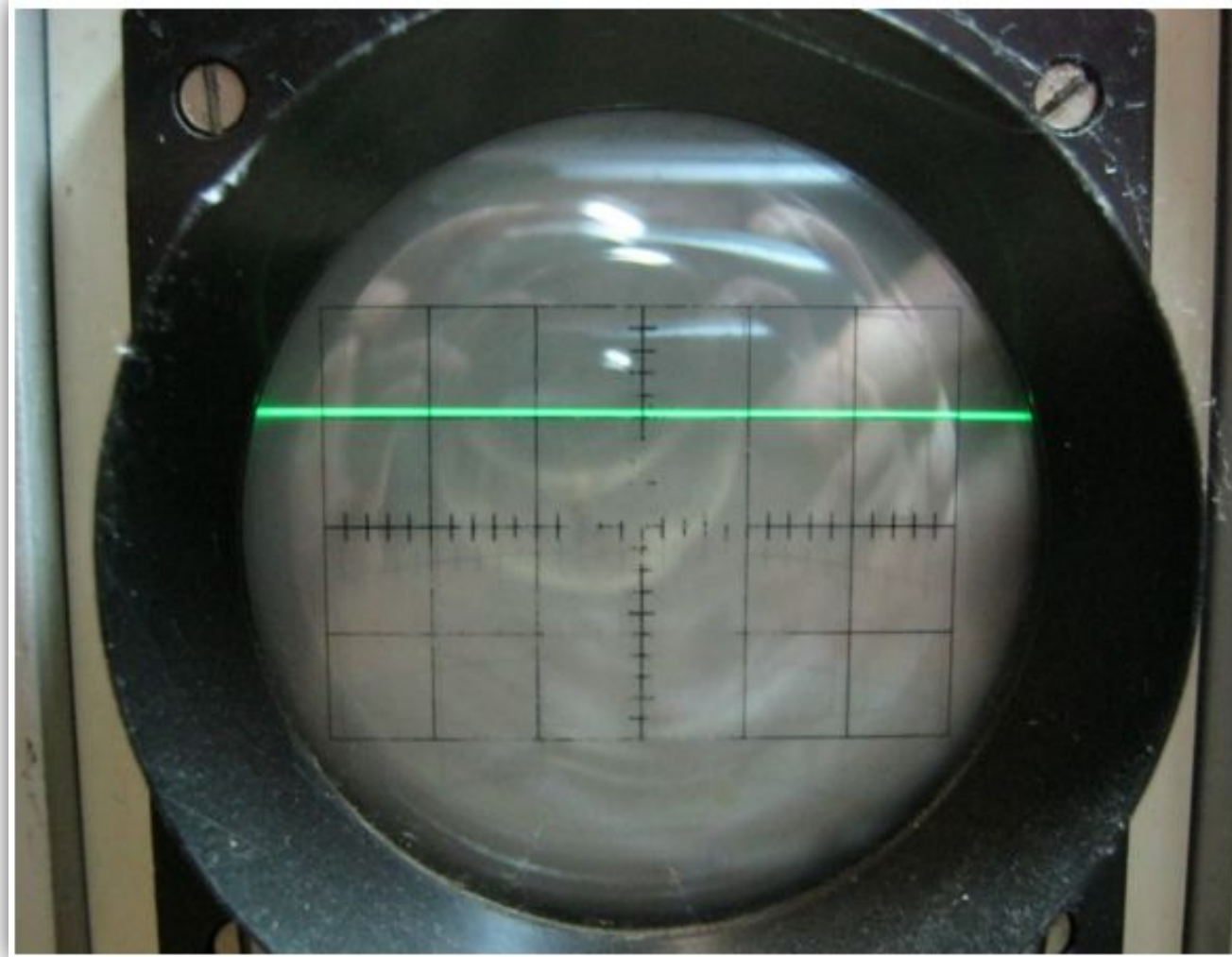
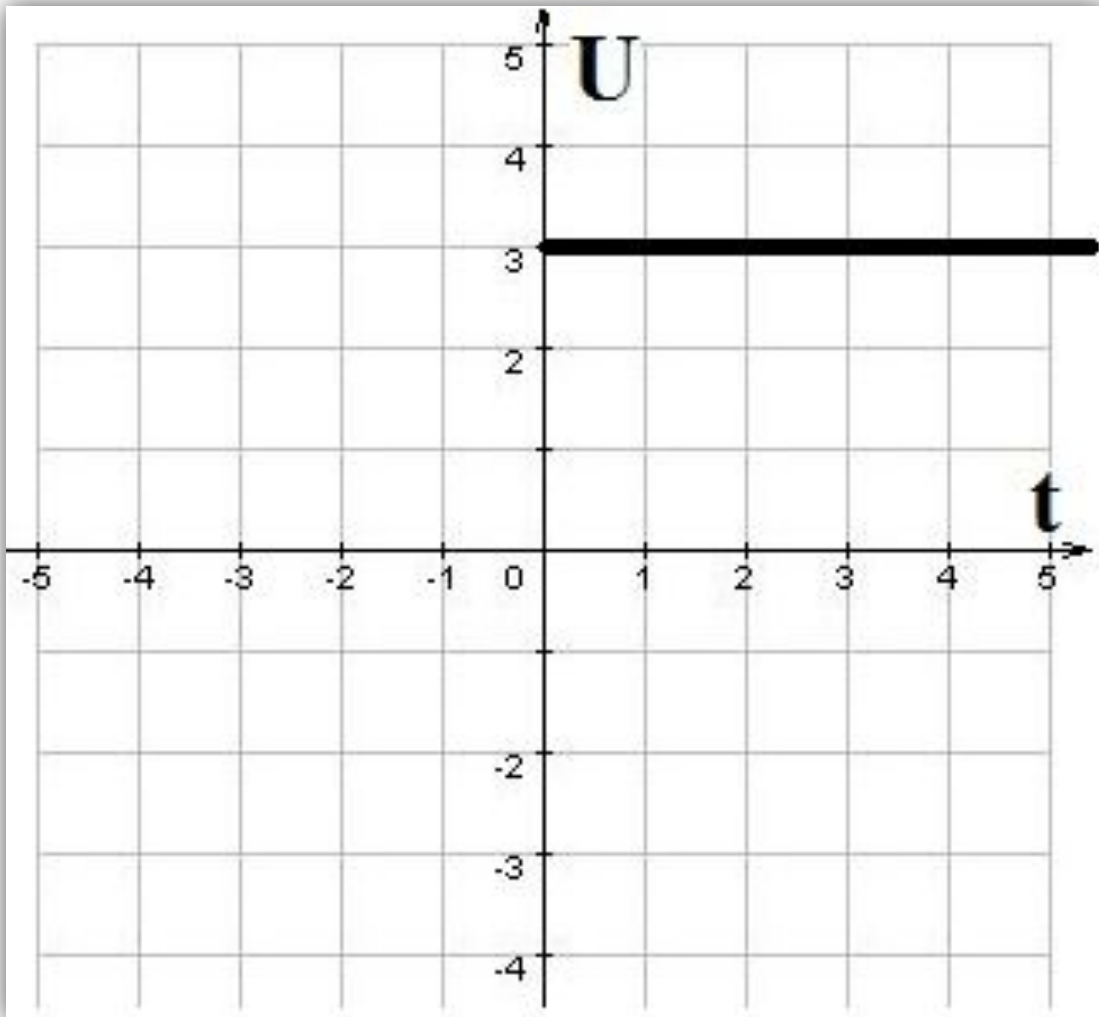
- **Сигнал** — код (символ, знак), созданный и переданный в пространство (по каналу связи) одной системой, либо возникший в процессе взаимодействия нескольких систем. Смысл и значение сигнала проявляются в процессе его регистрации второй (принимающей) системой.
- Сигнал, детерминированный или случайный, 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

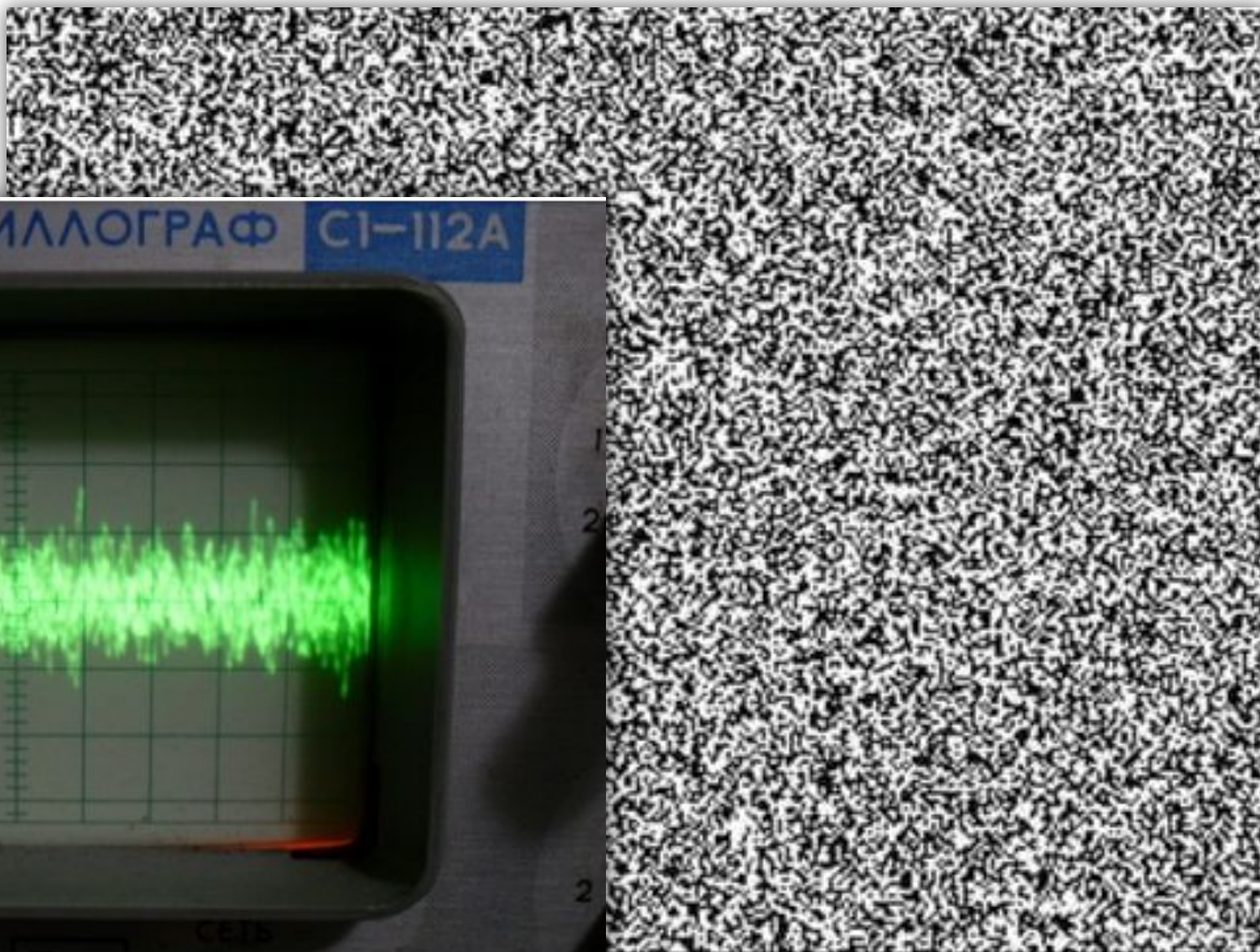
- Для представления сигнала используется **график** с осями координат, показывающий изменение одной характеристики от другой.
- В электронике и электротехнике **по X откладывается время (t)**, а по Y напряжение (U).



Сигнал постоянного тока

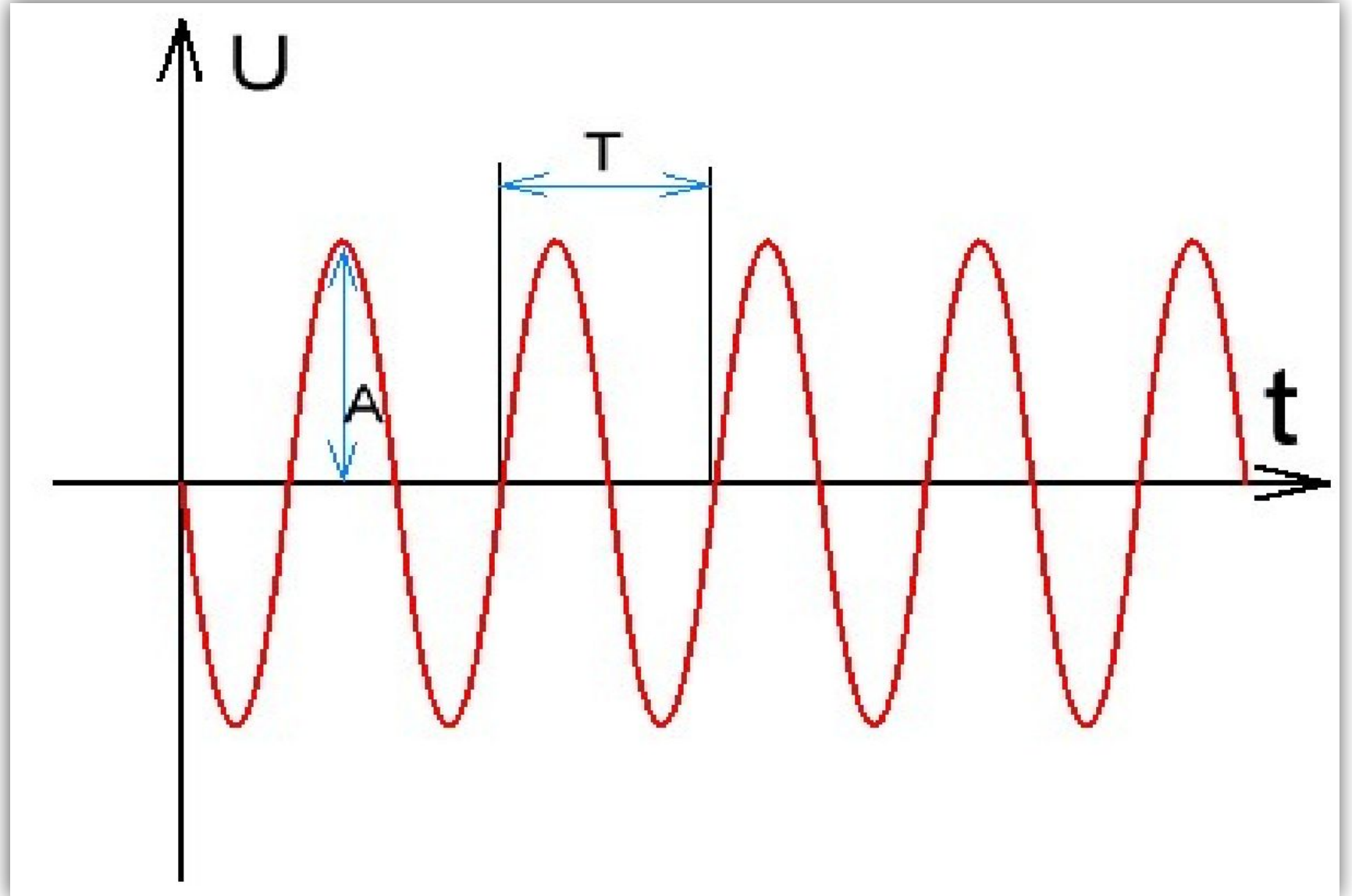


Шум



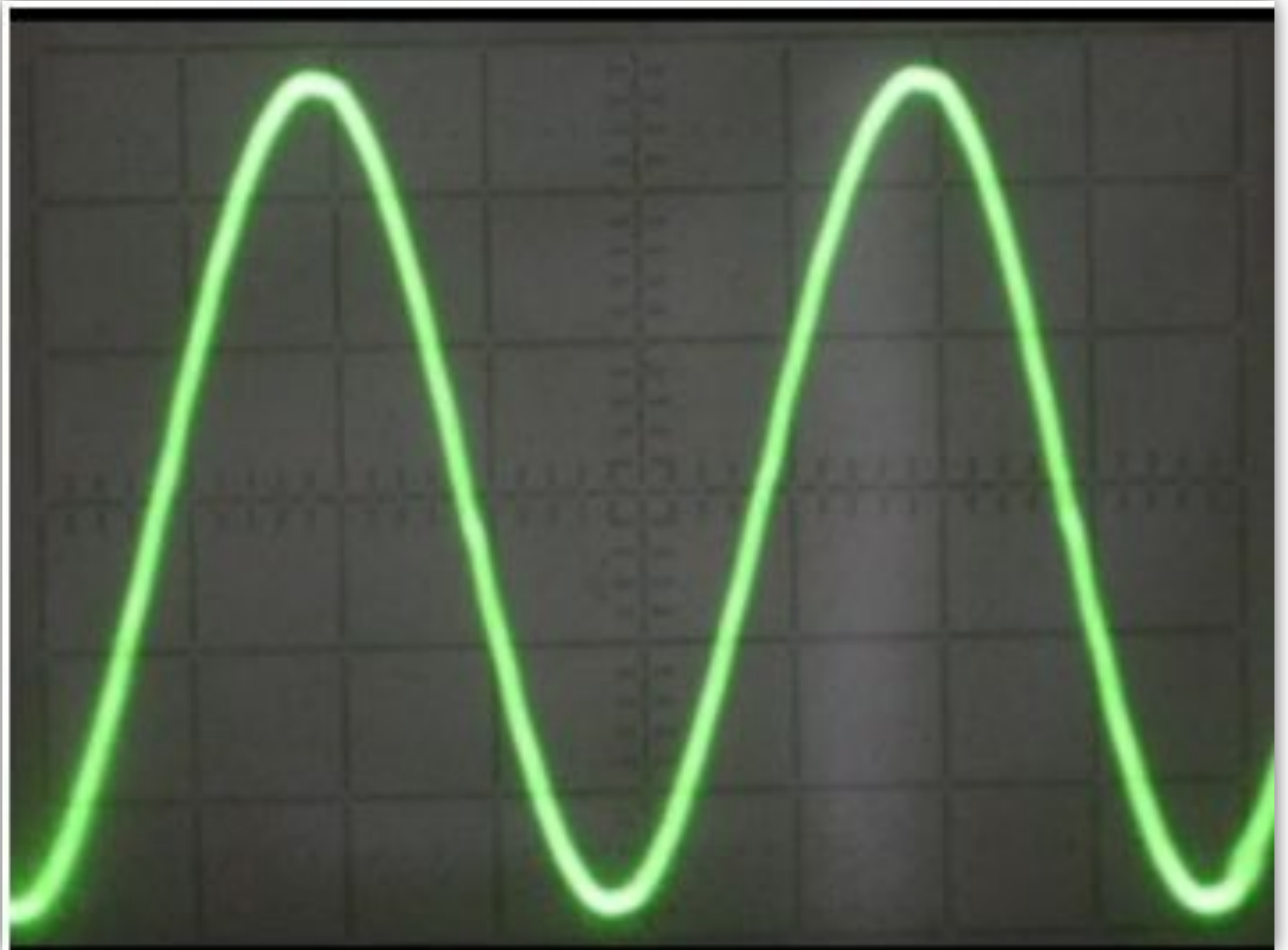
Синусоидальный сигнал

- **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)

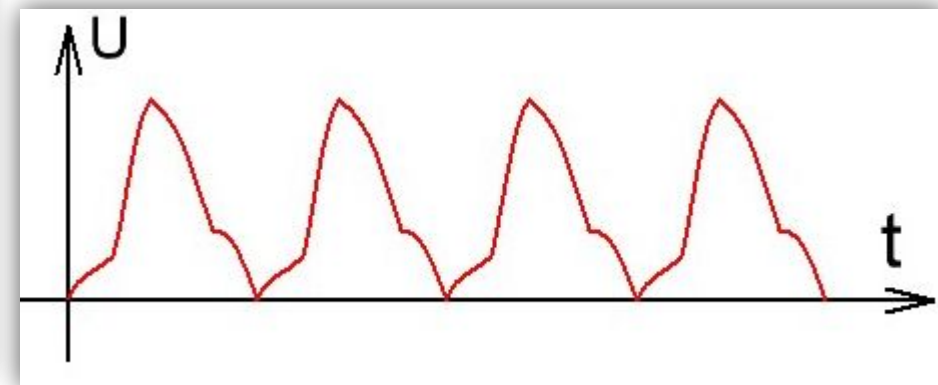
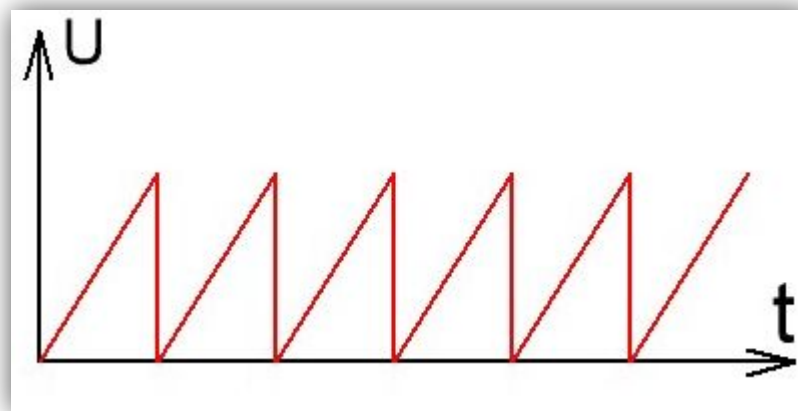
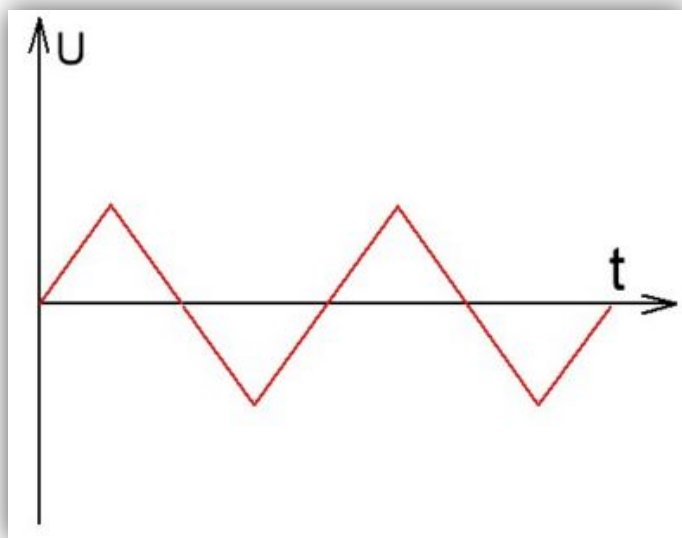
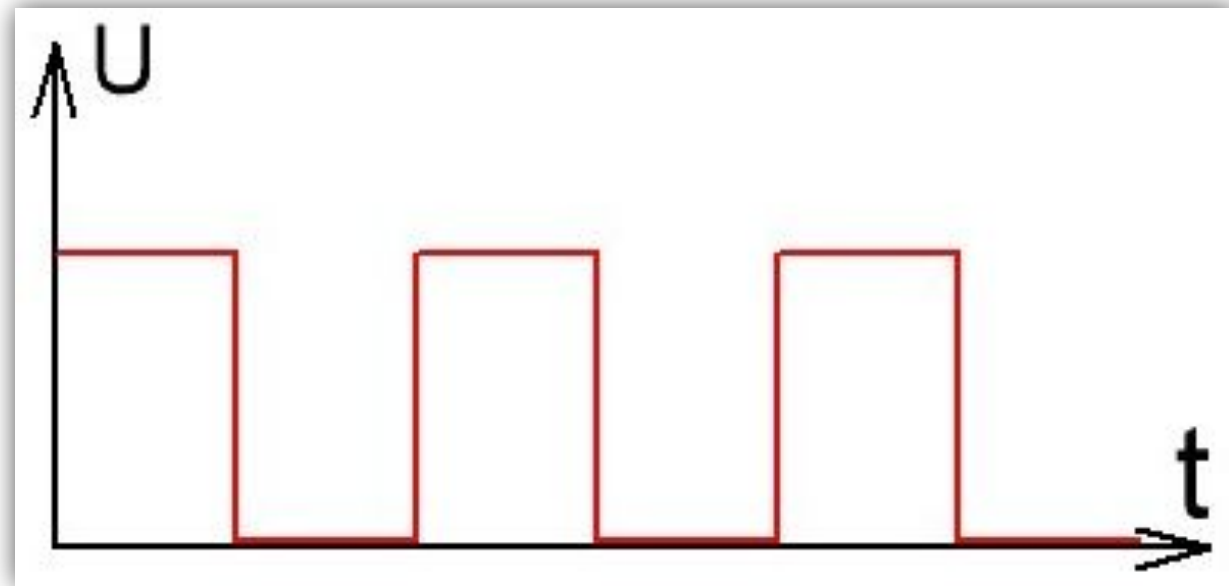
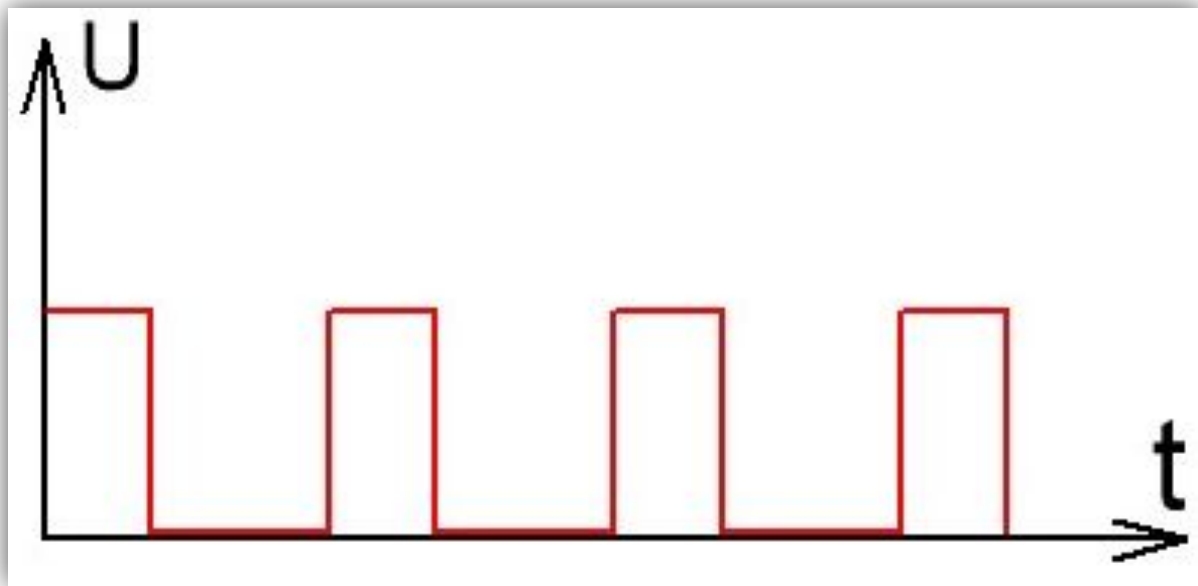


В нашей розетке

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

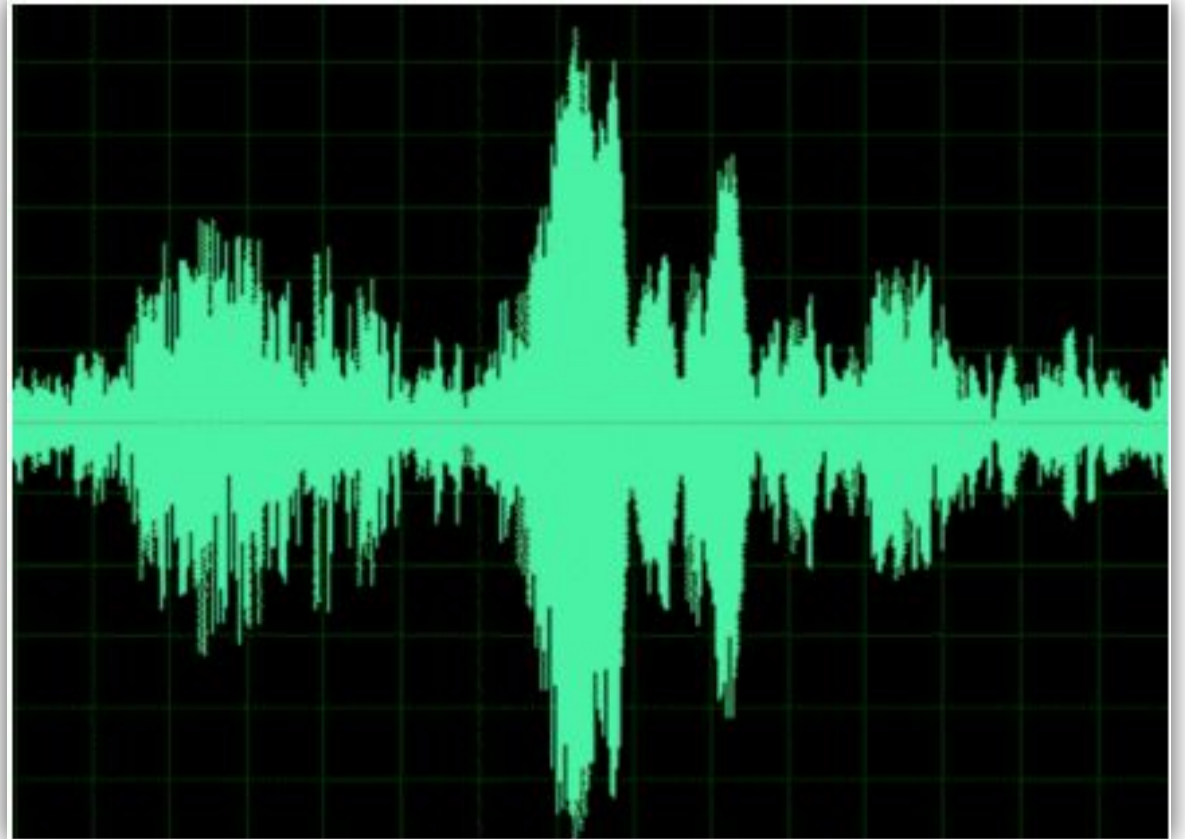
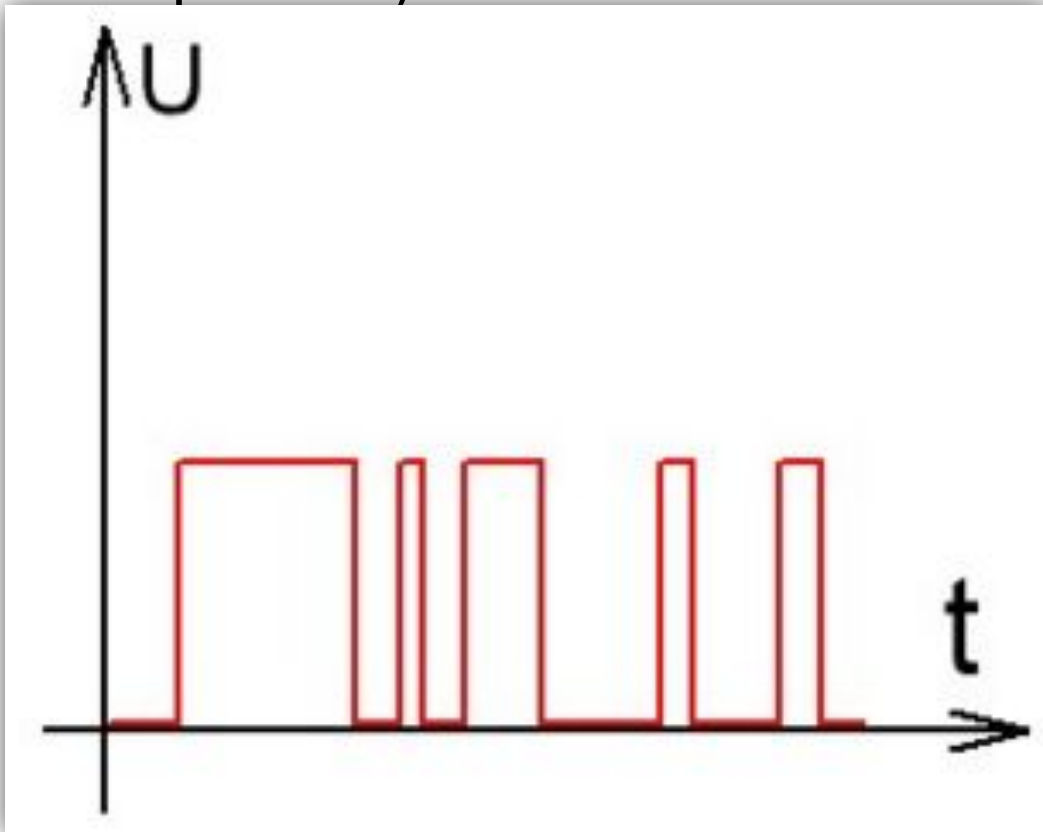


Еще периодические сигналы



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

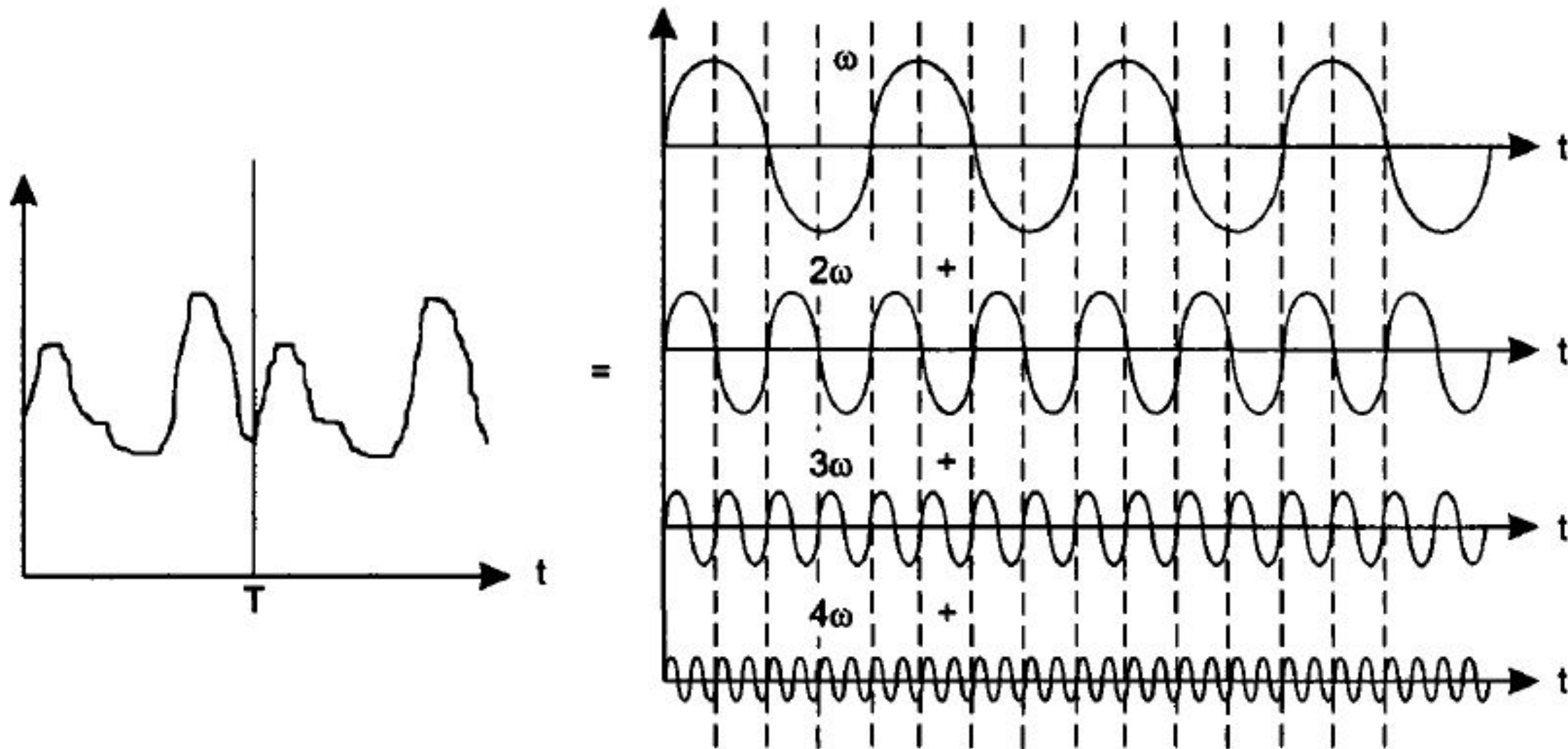


Рис. 8.3. Представление периодического сигнала суммой синусоид

Спектральный анализ сигналов

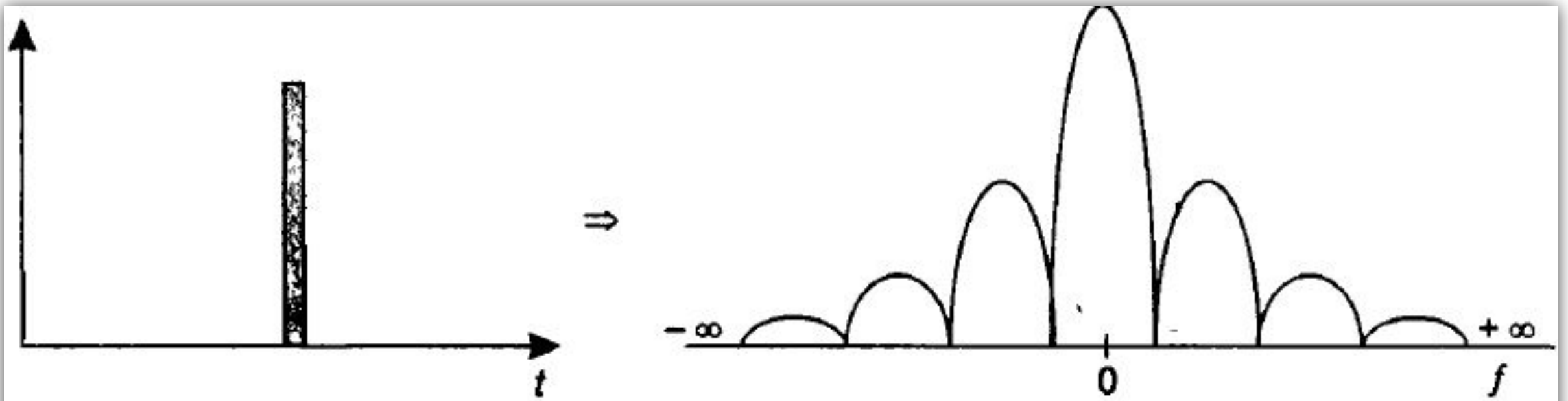


Рис. 8.4. Спектральное разложение идеального импульса

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

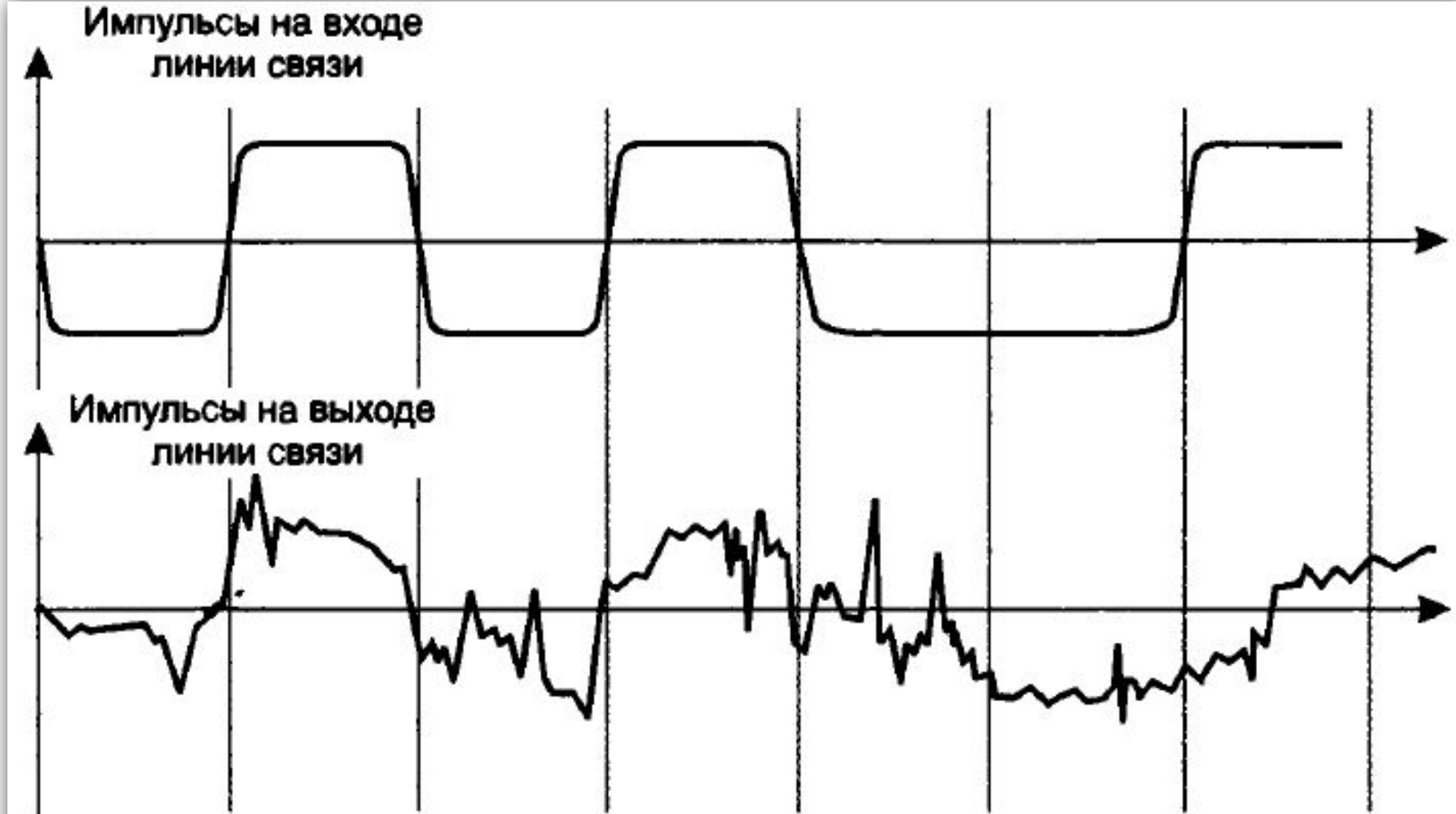


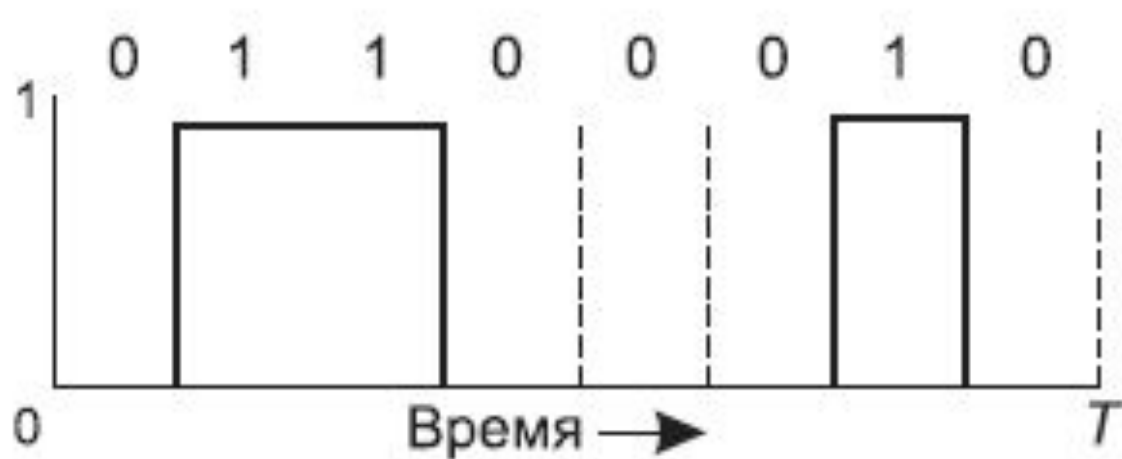
Рис. 8.5. Искажение импульсов в линии связи

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**.



a

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 определ

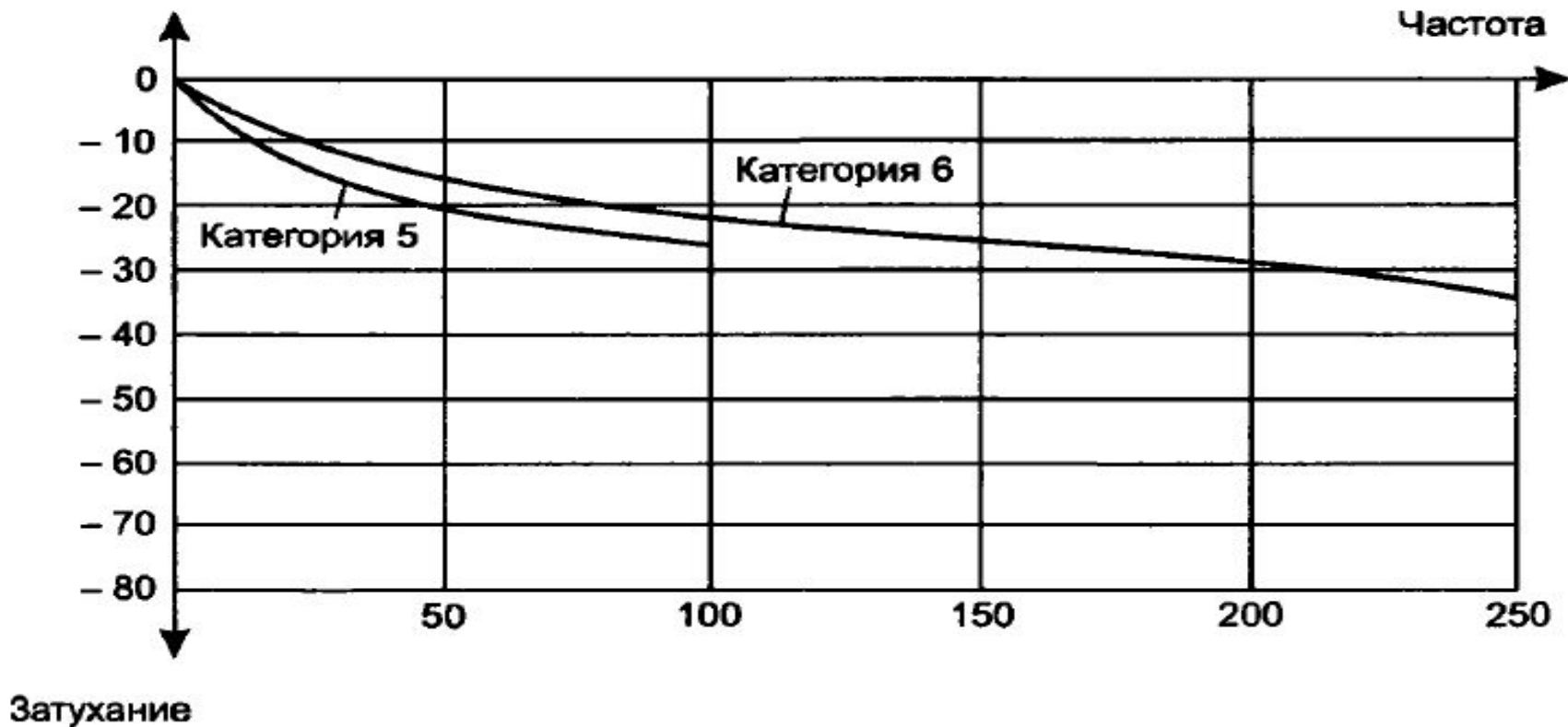


Рис. 8.8. Затухание неэкранированного кабеля на витой паре

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.

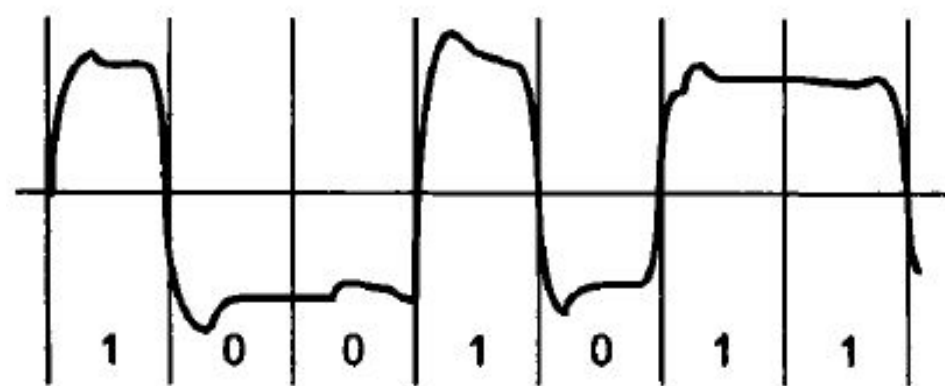
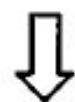
Полоса пропускания

- **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.

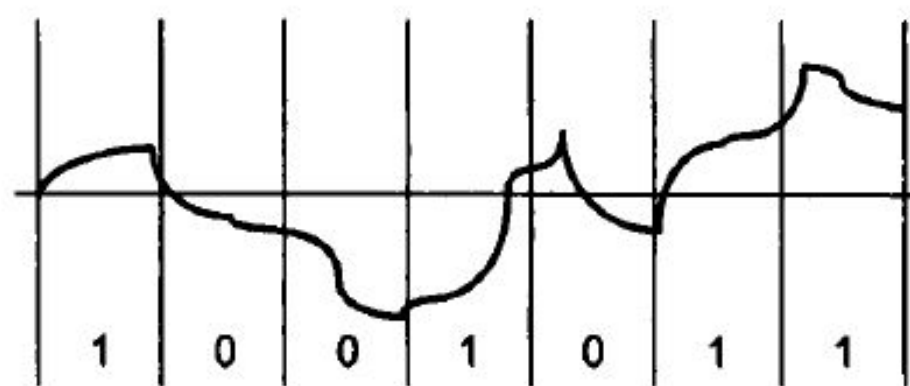
Пропускная способность

- **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



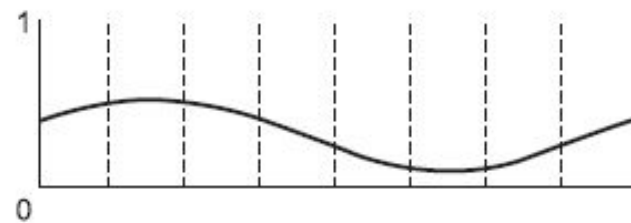
а



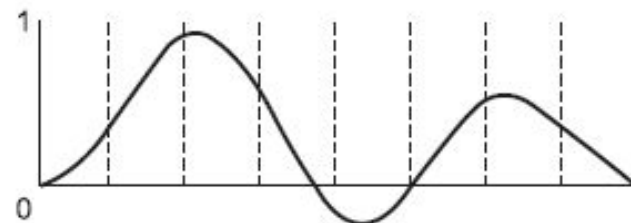
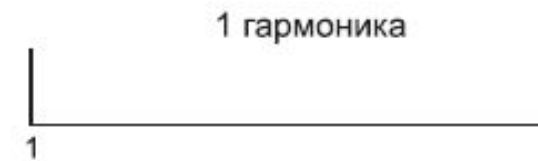
б

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

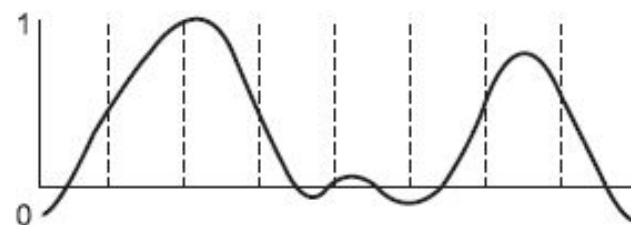
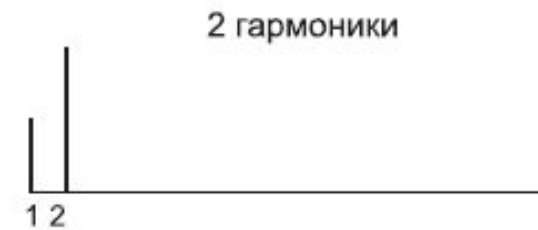
Так будет выглядеть сигнал (рис. 2.1, а), если полоса пропускания канала будет такой, что через него будут проходить только некоторые гармоники.



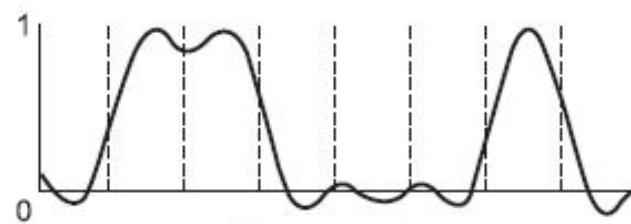
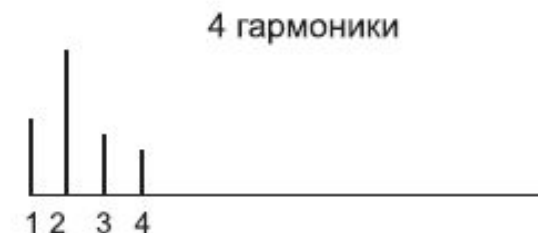
б



в



г



д

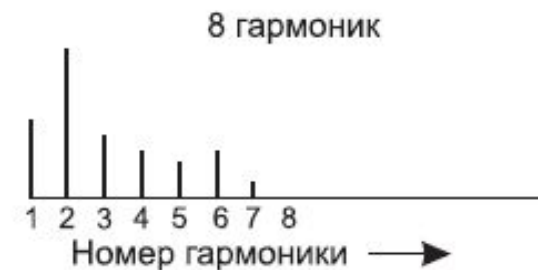


Рис. 2.1. Двоичный сигнал и его среднеквадратичные гармоники Фурье (а); последовательные приближения к оригинальному сигналу (б–д)

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

Бит/с	T, мс	1-я гармоника, Гц	Количество пропускаемых гармоник
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.

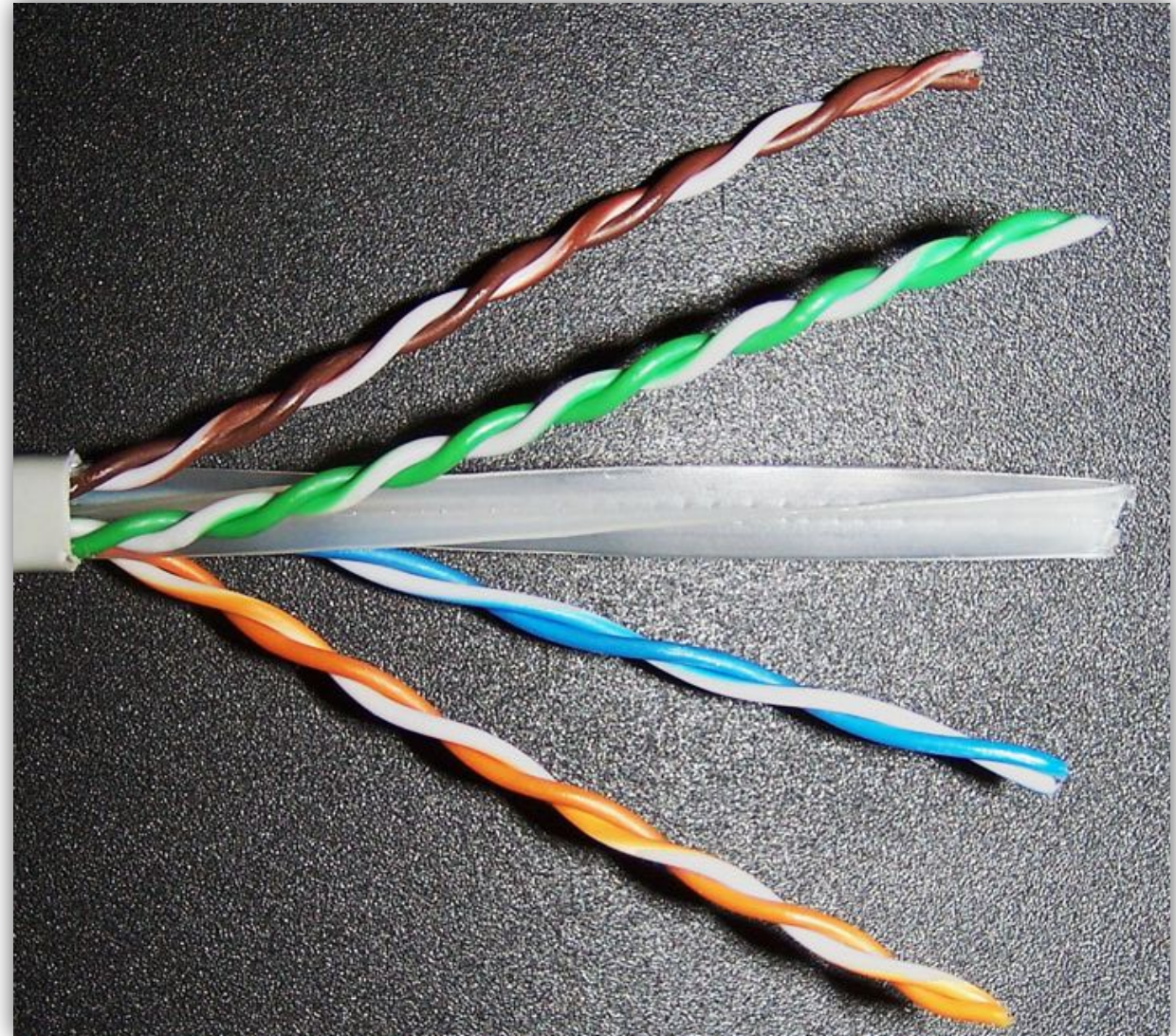
- В 1948 году К. Шеннон продолжил его работу и расширил ее для случая канала со **случайным шумом**:

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).

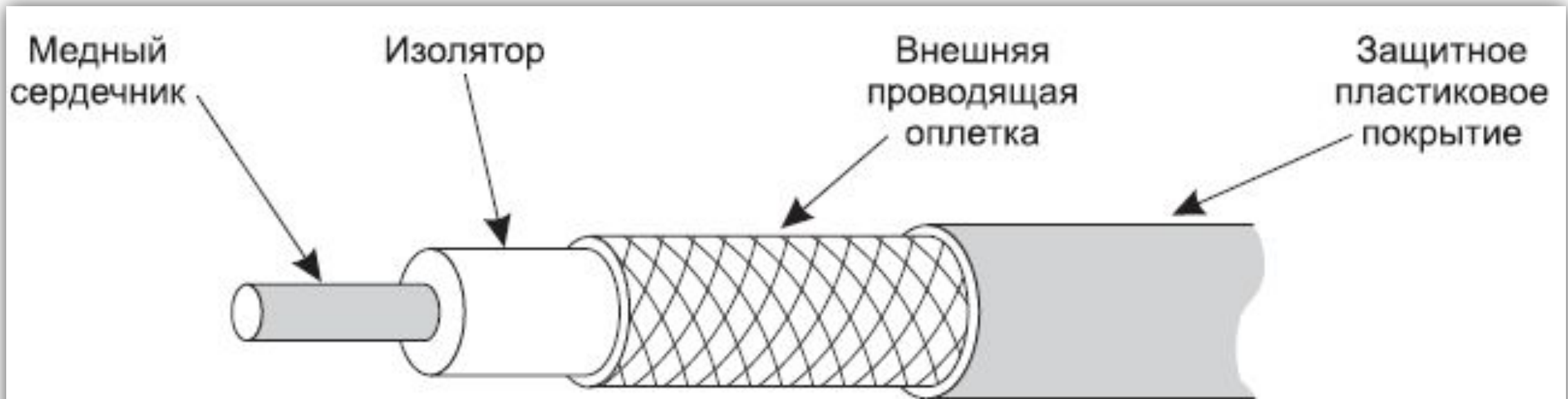
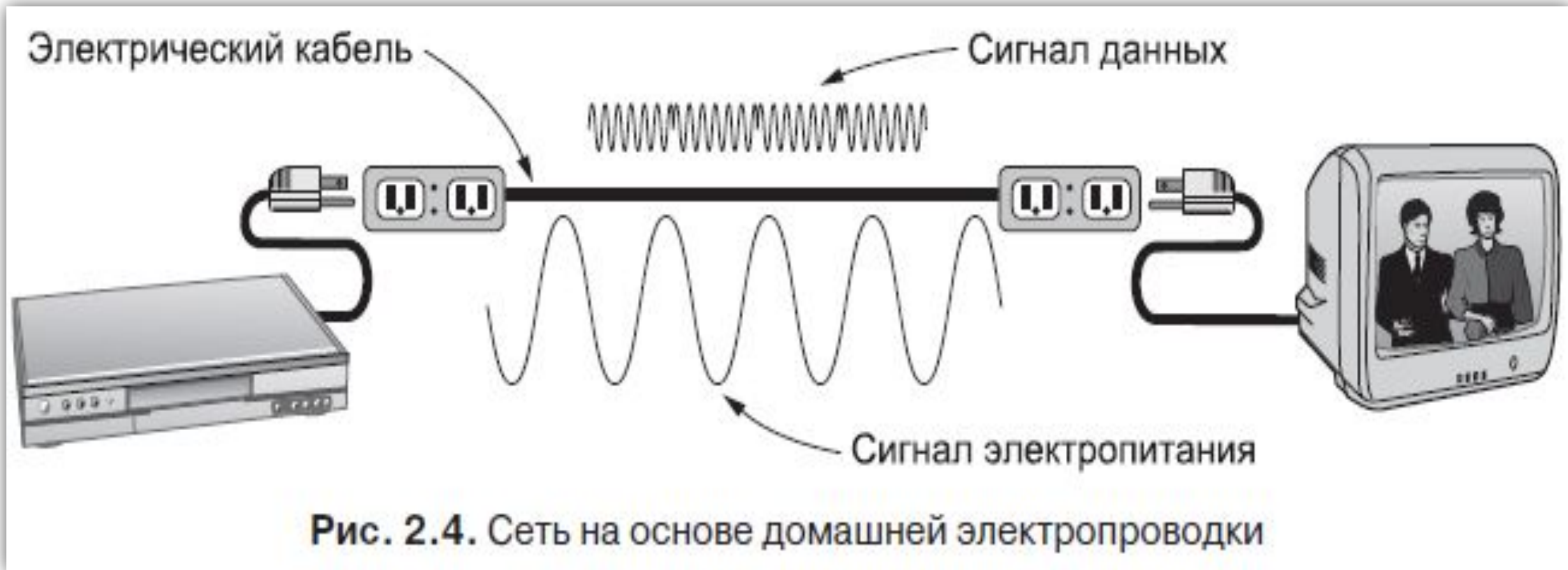


Рис. 2.3. Коаксиальный кабель

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.

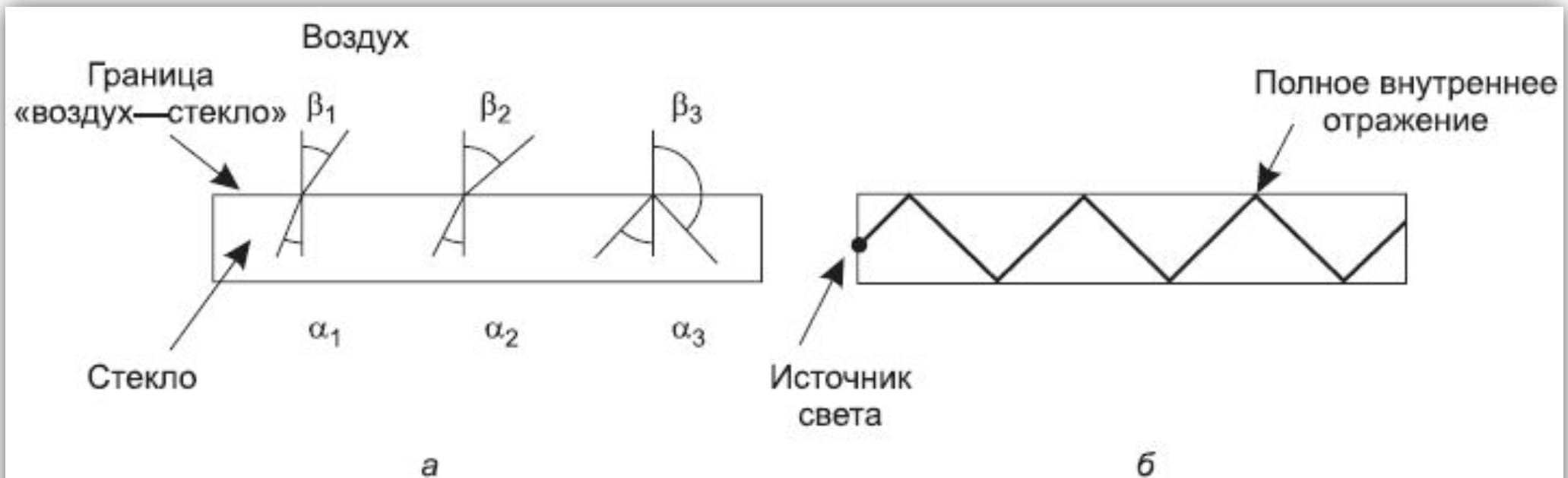


Рис. 2.5. Три примера преломления луча света, падающего под разными углами, на границе кварцевого волокна и воздуха (а); луч света, пойманный полным внутренним отражением (б)

Прохождение света по волокну

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

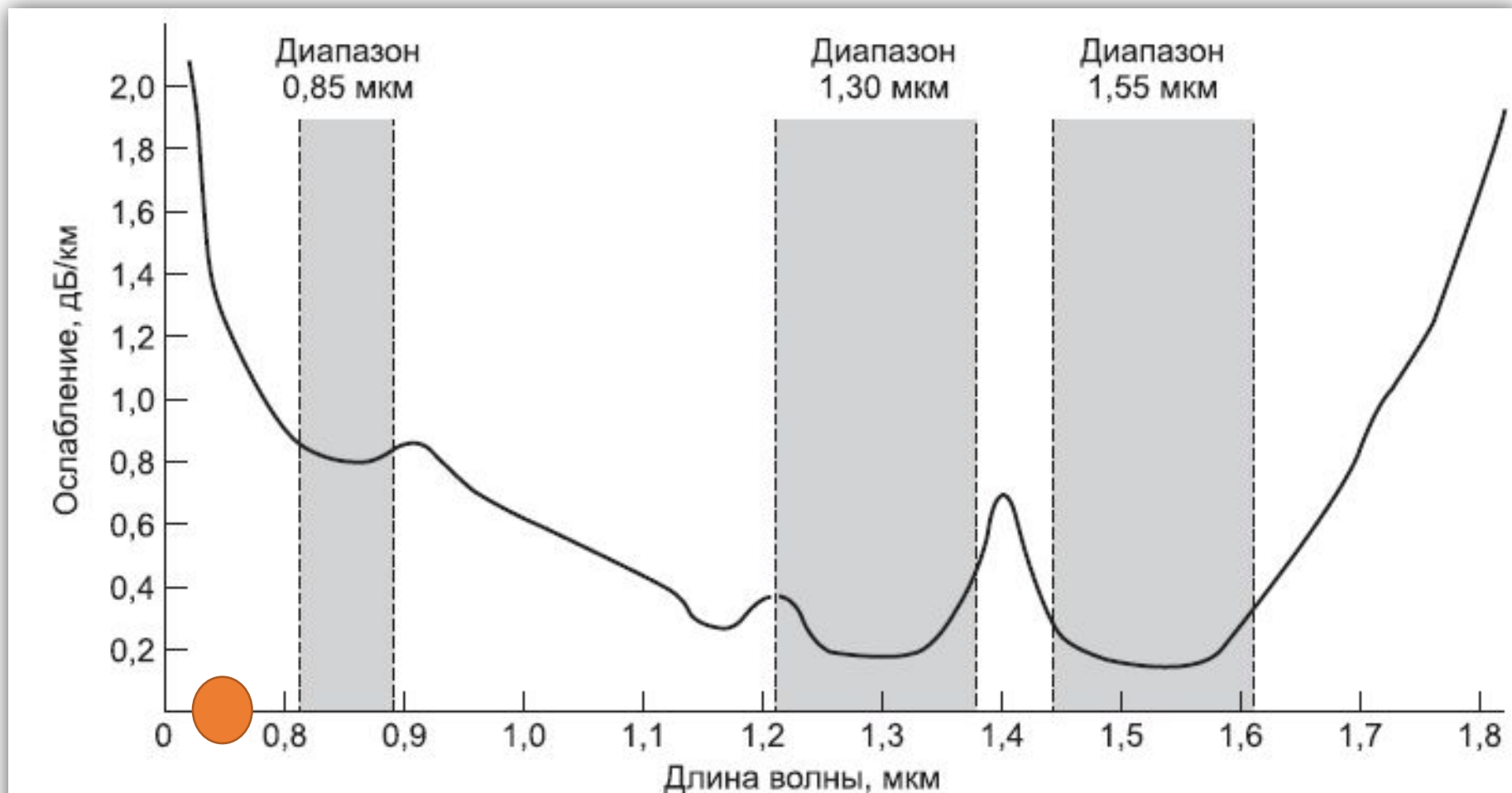
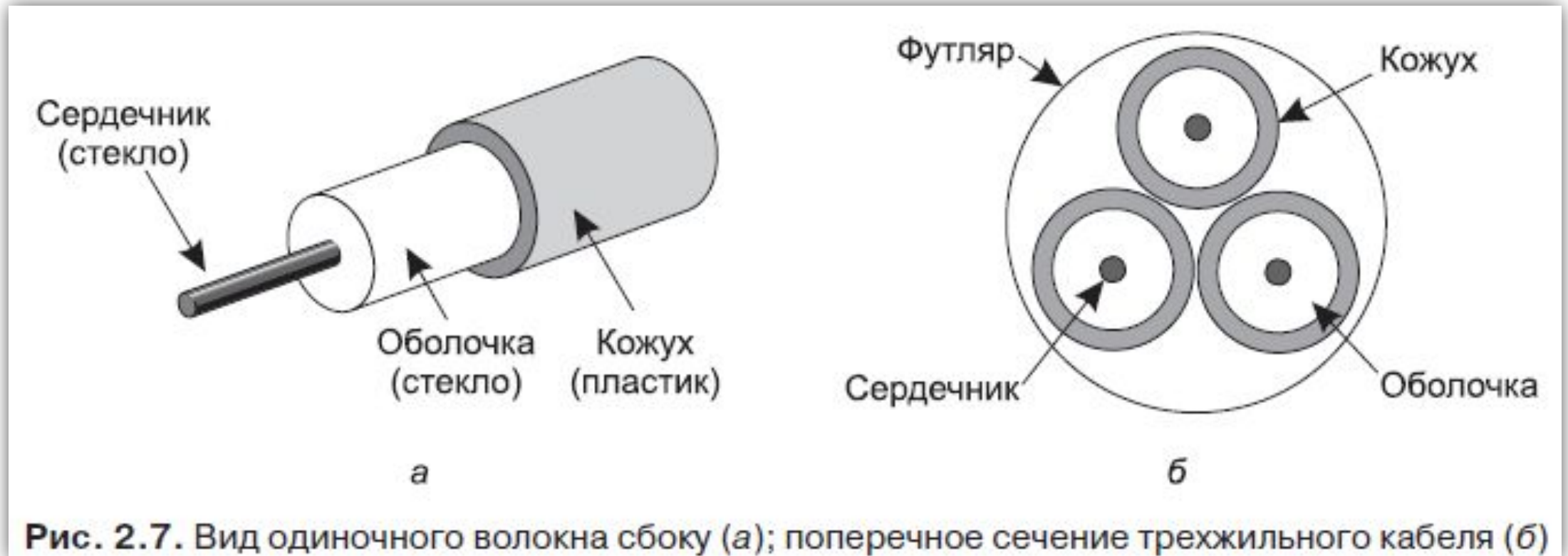


Рис. 2.6. Ослабление света в инфракрасной области спектра при прохождении через оптическое волокно

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

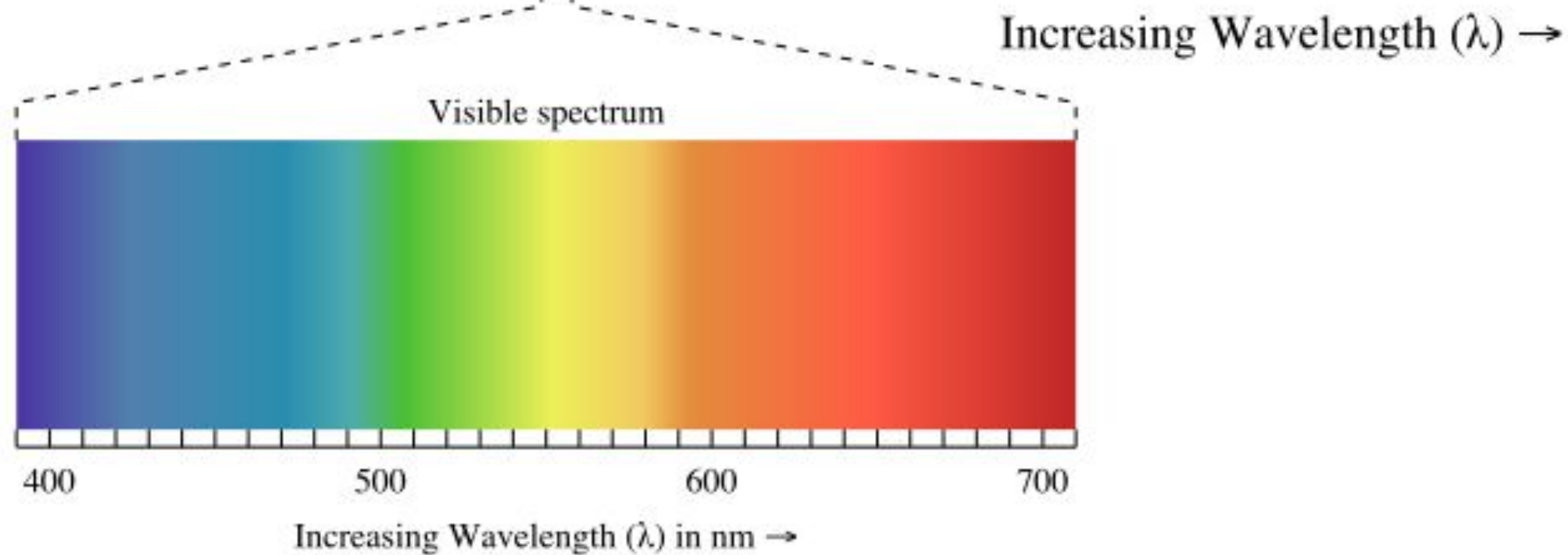
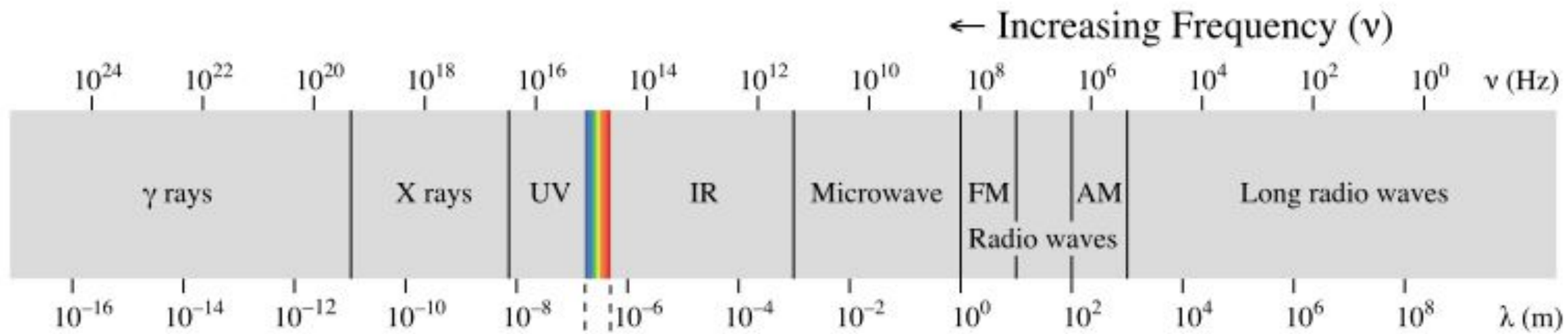
- Оптическое волокно обладает рядом преимуществ:
 - ✓ оно **обеспечивает** значительно **более высокие скорости** передачи, чем медный провод;
 - ✓ **имеет меньший коэффициент** ослабления сигнала;
 - ✓ **не подвержено** внешним электромагнитным возмущениям;
 - ✓ **стекло не подвержено коррозии**, так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

Сравнение оптоволоконна и меди

- Оптическое волокно обладает **рядом недостатков:**
 - ✓ для работы с оптоволоконном **требуются 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 в пространстве 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).



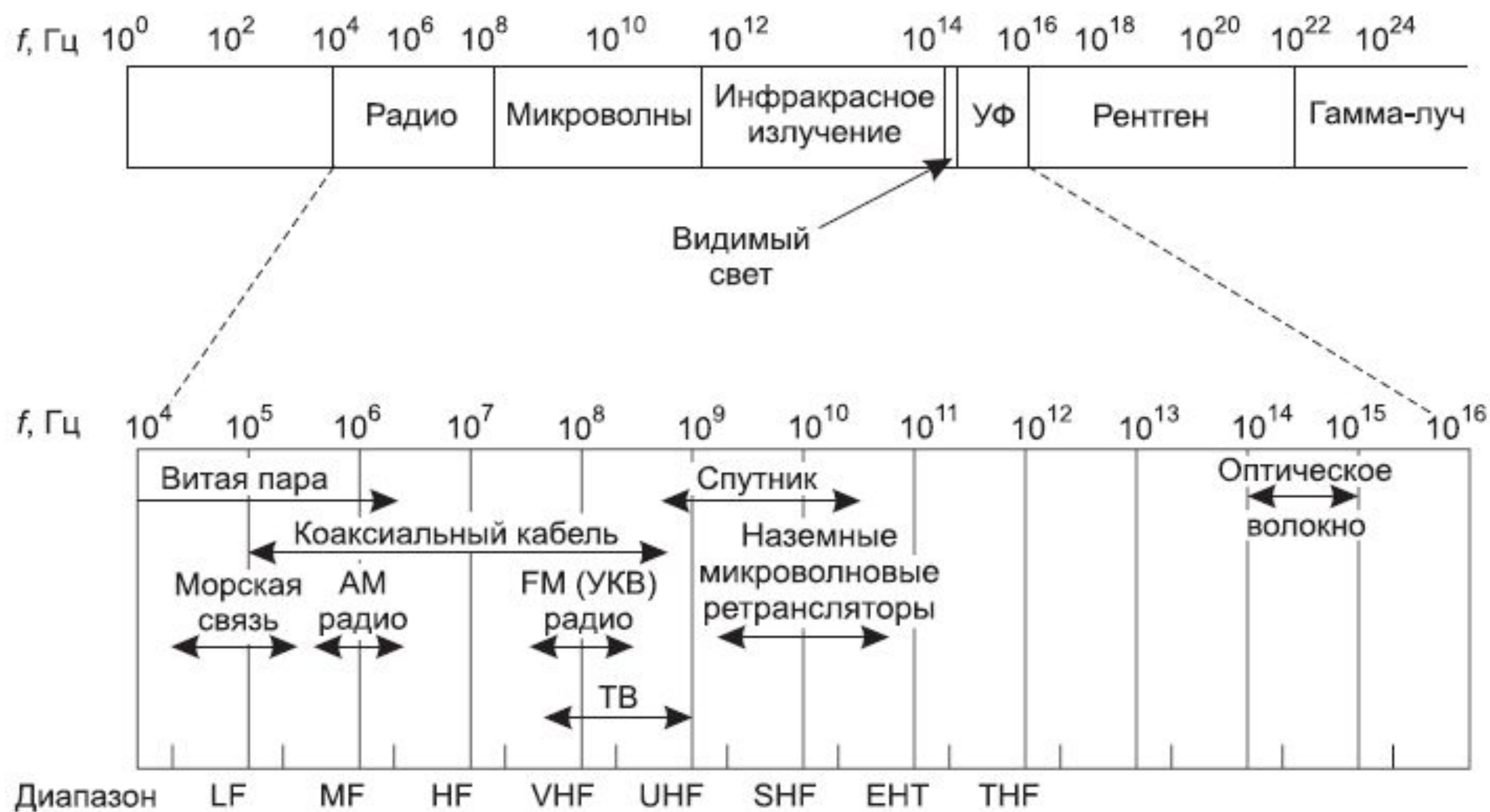


Рис. 2.8. Электромагнитный спектр и его применение в связи

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.

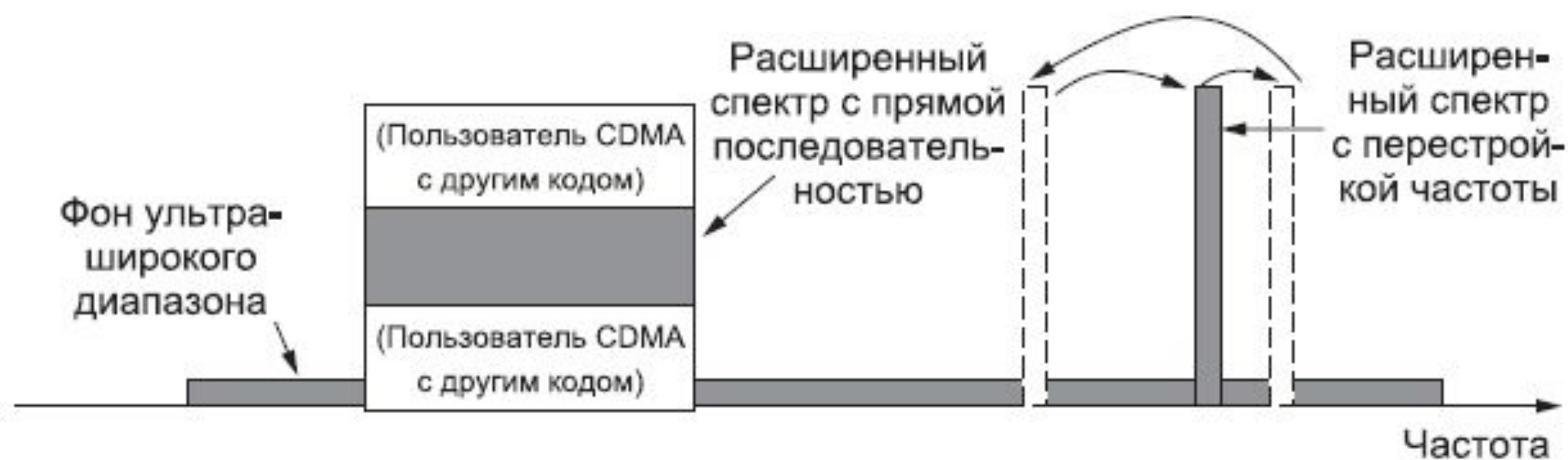


Рис. 2.9. Расширенный спектр и передача данных по сверхширокой полосе пропускания

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.

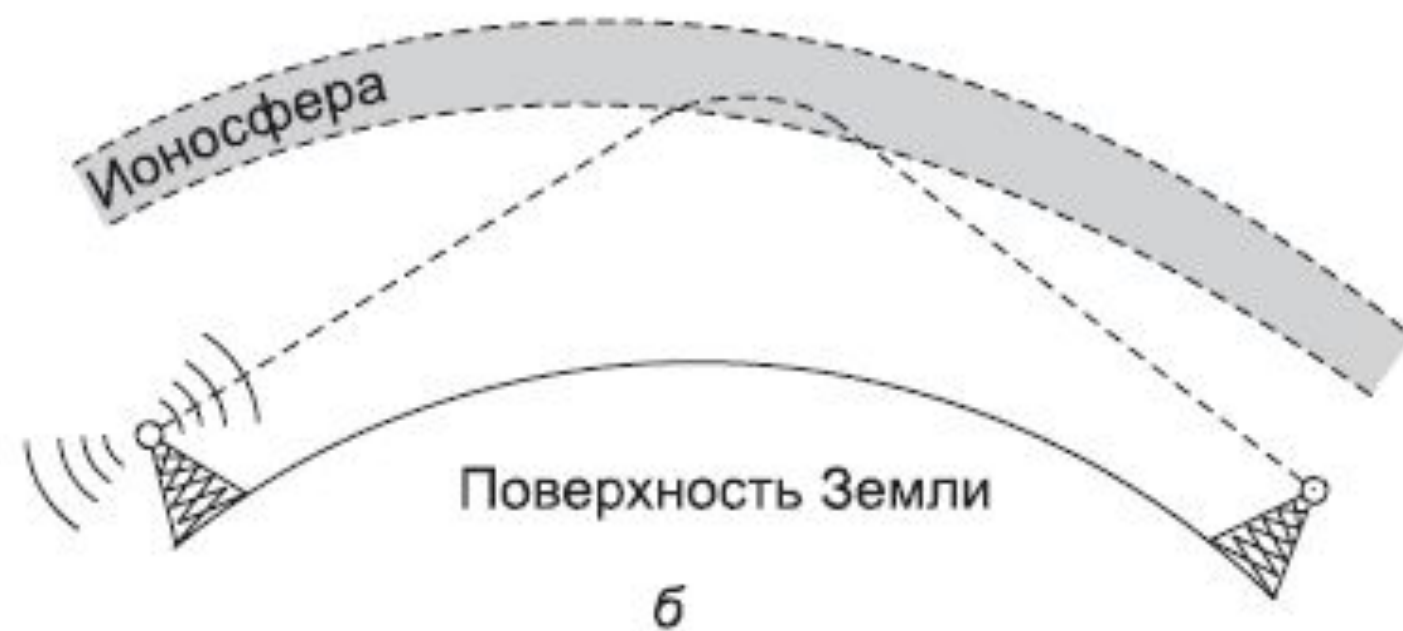


Рис. 2.10. Волны диапазонов VLF, LF и MF огибают неровности поверхности земли (а); волны диапазона HF отражаются от ионосферы (б)

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 оптоволоком

- В отличие от оптоволокну **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** АМ- 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).**

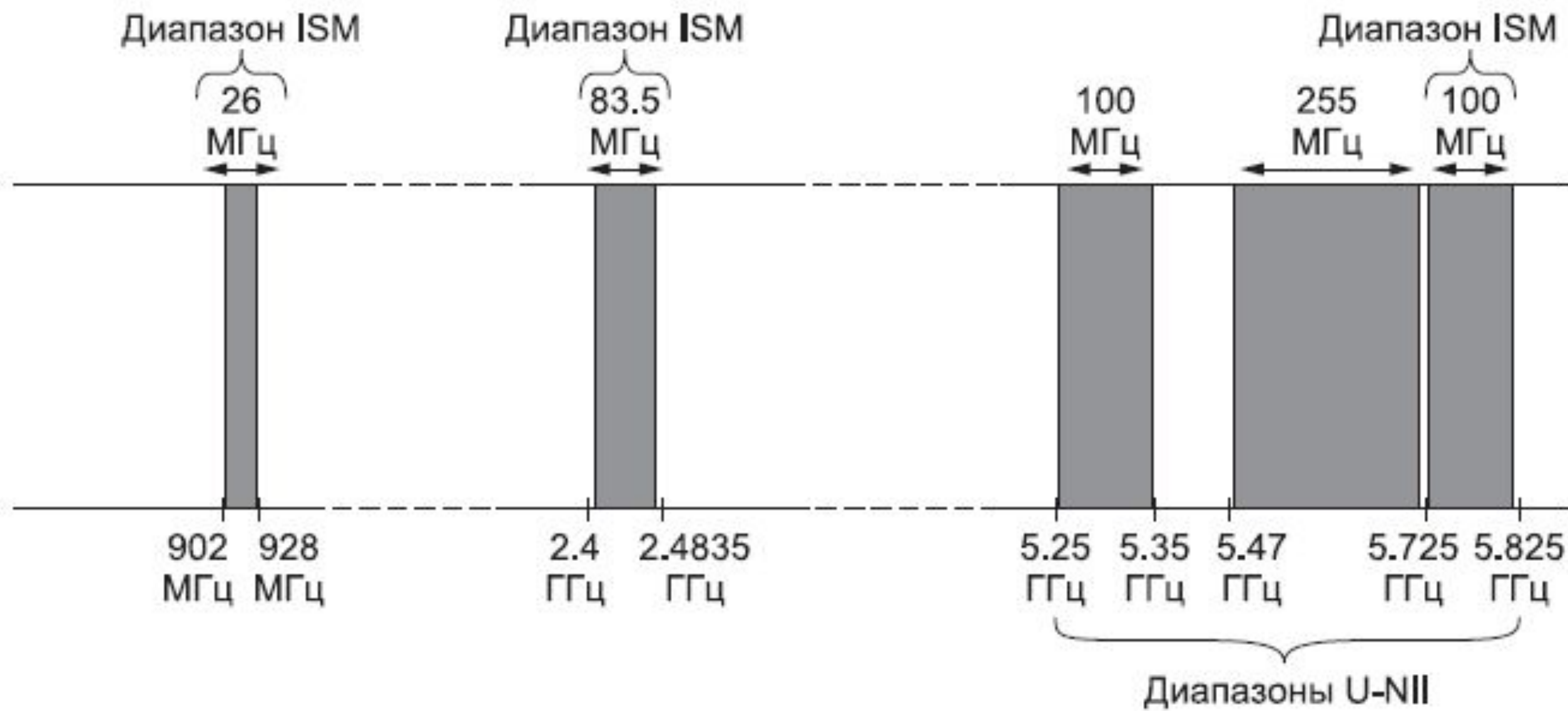


Рис. 2.11. Диапазоны ISM и U-NII, используемые в США беспроводными устройствами

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 ($\lambda \sim 1\text{—}2$ 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**.

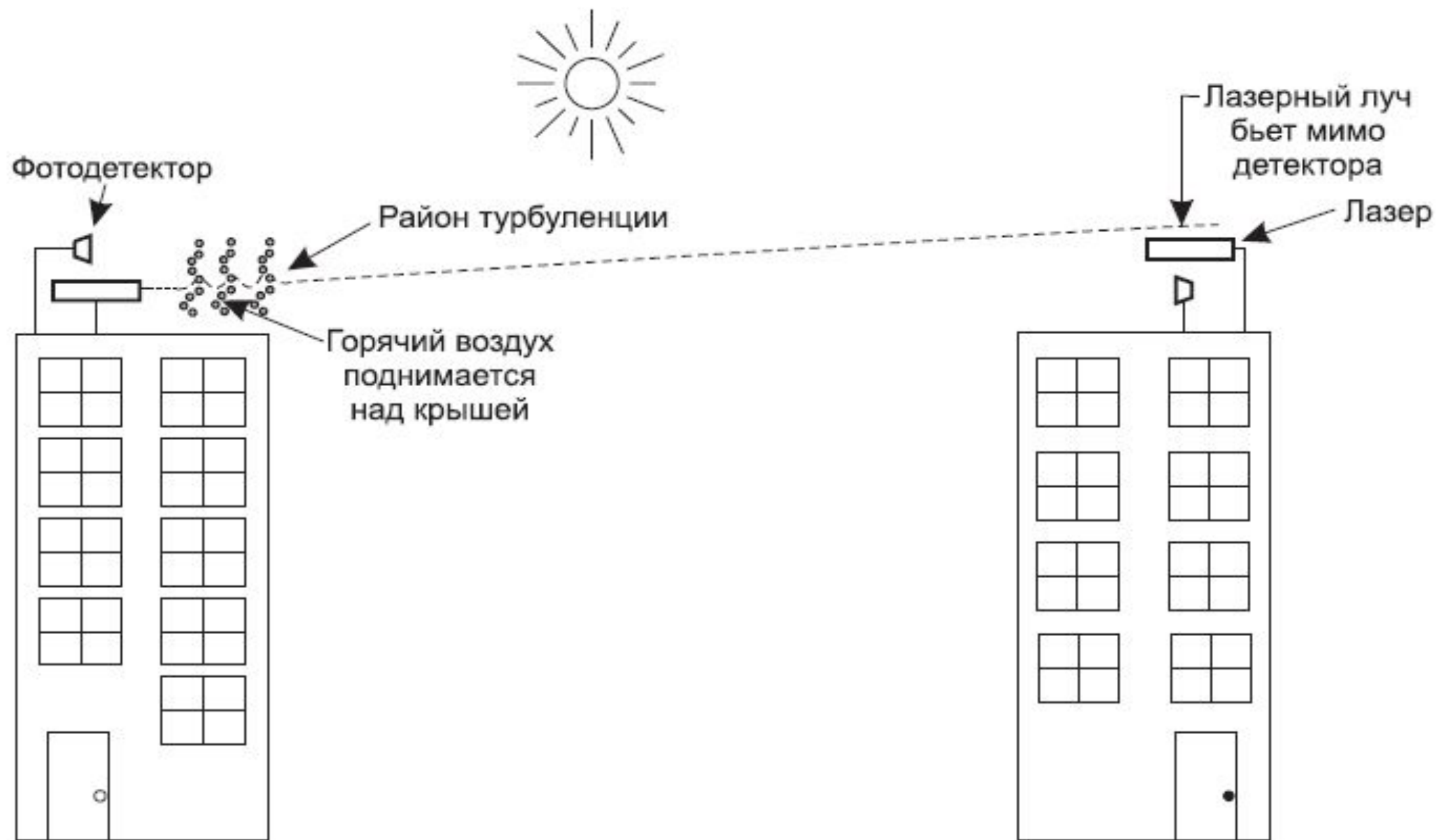


Рис. 2.12. Конвекционные потоки мешают работать лазерной системе связи.
На рисунке изображена двунаправленная система с двумя лазерами

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).

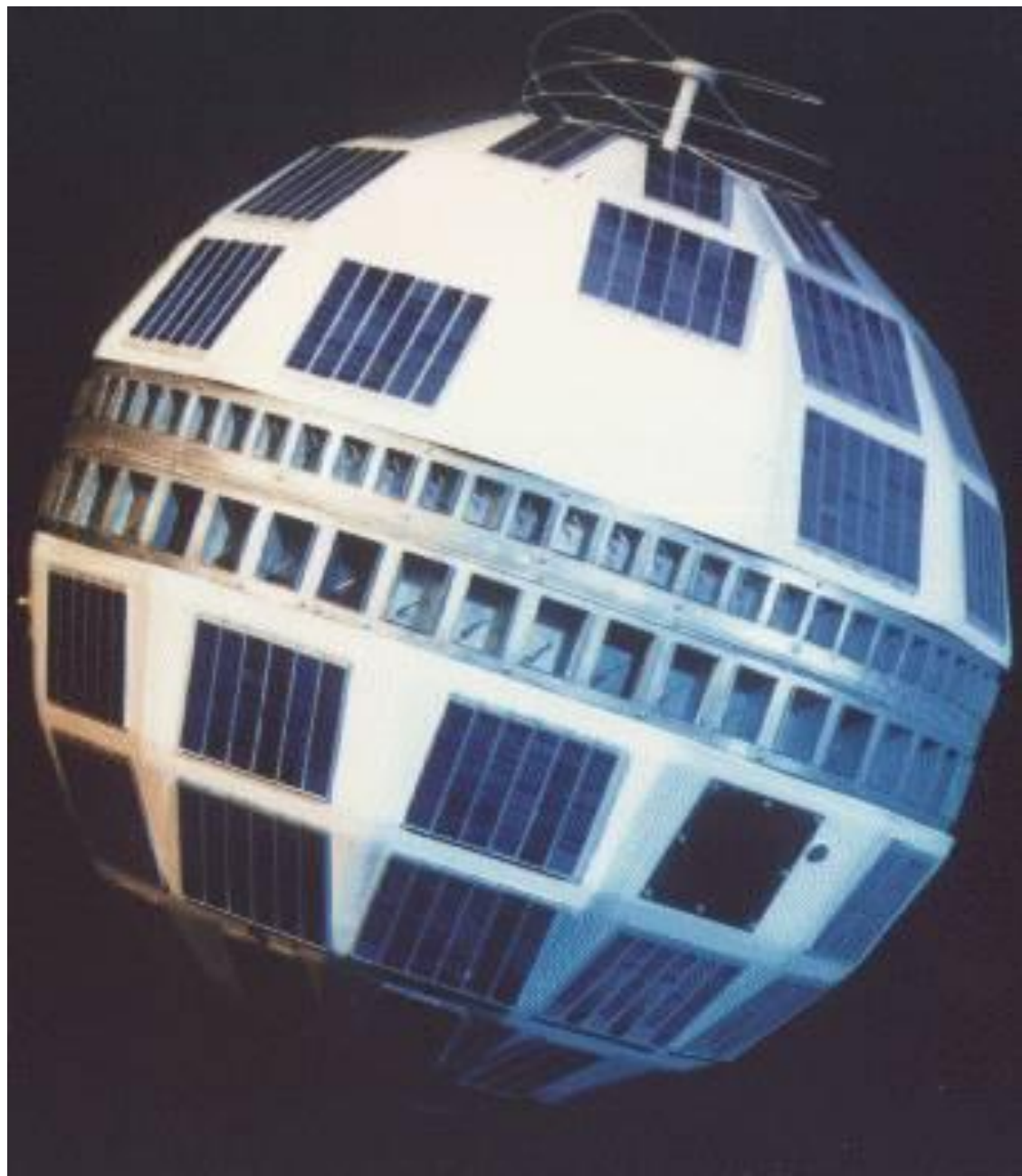


Таблица 2.3. Основные частотные диапазоны спутников связи

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.

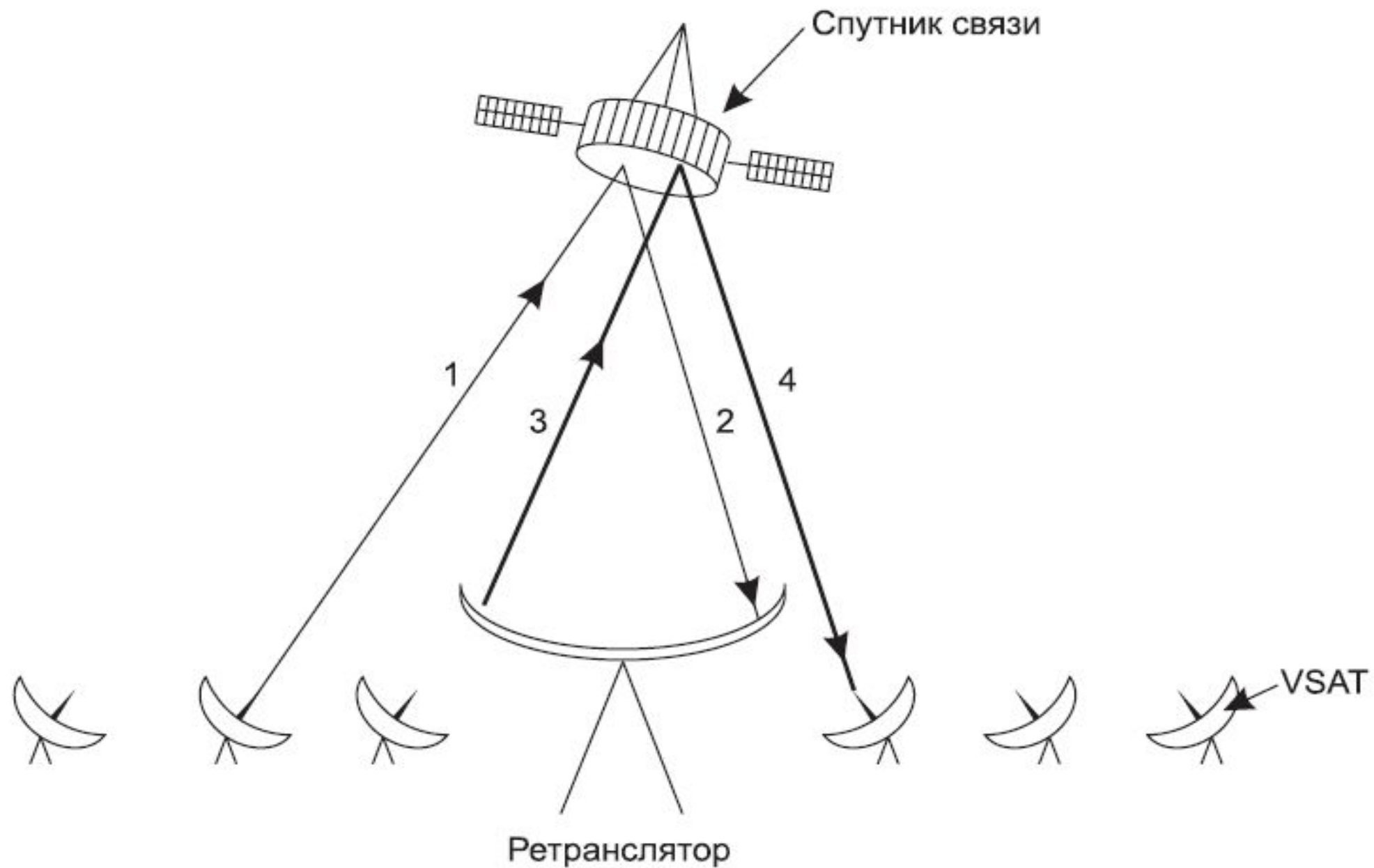
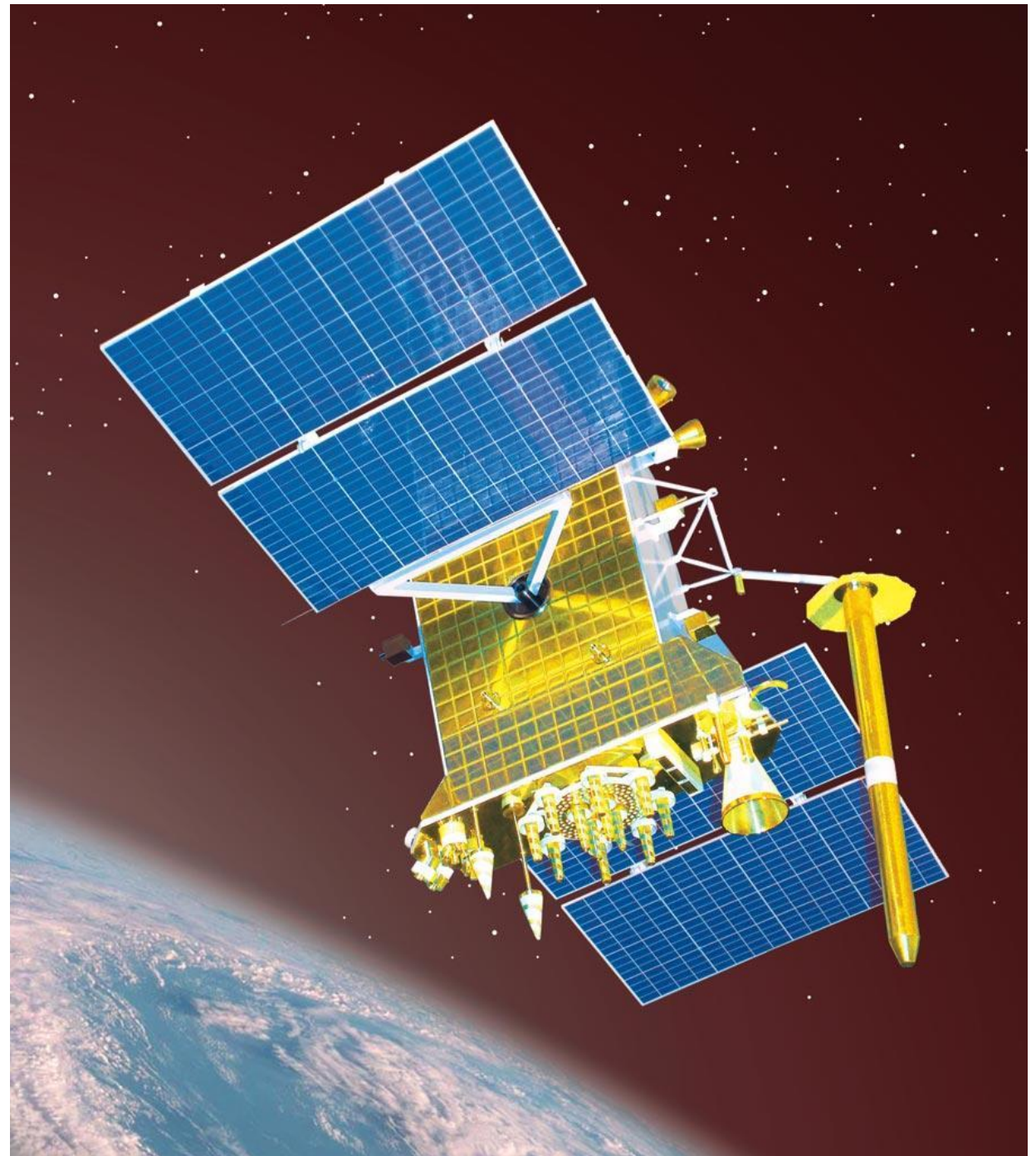


Рис. 2.14. Микростанция VSAT и наземный концентратор

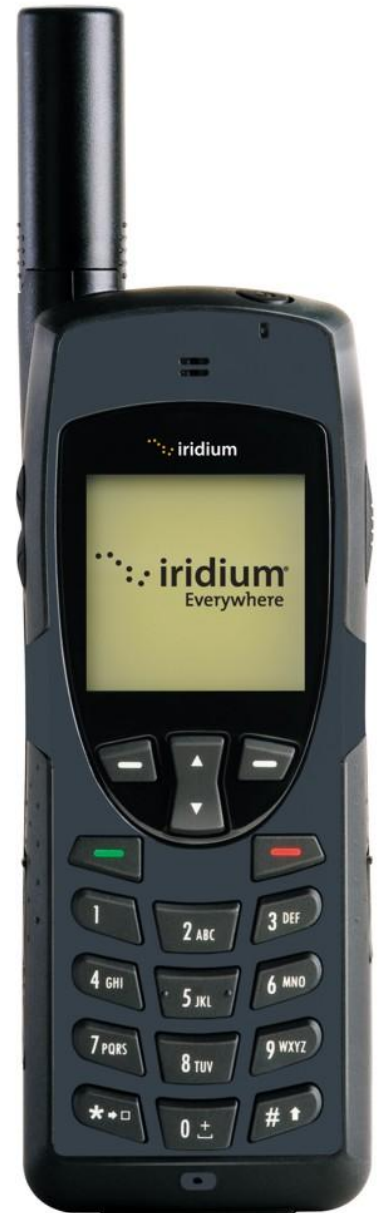
Средневысотные спутники

- **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**.



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.

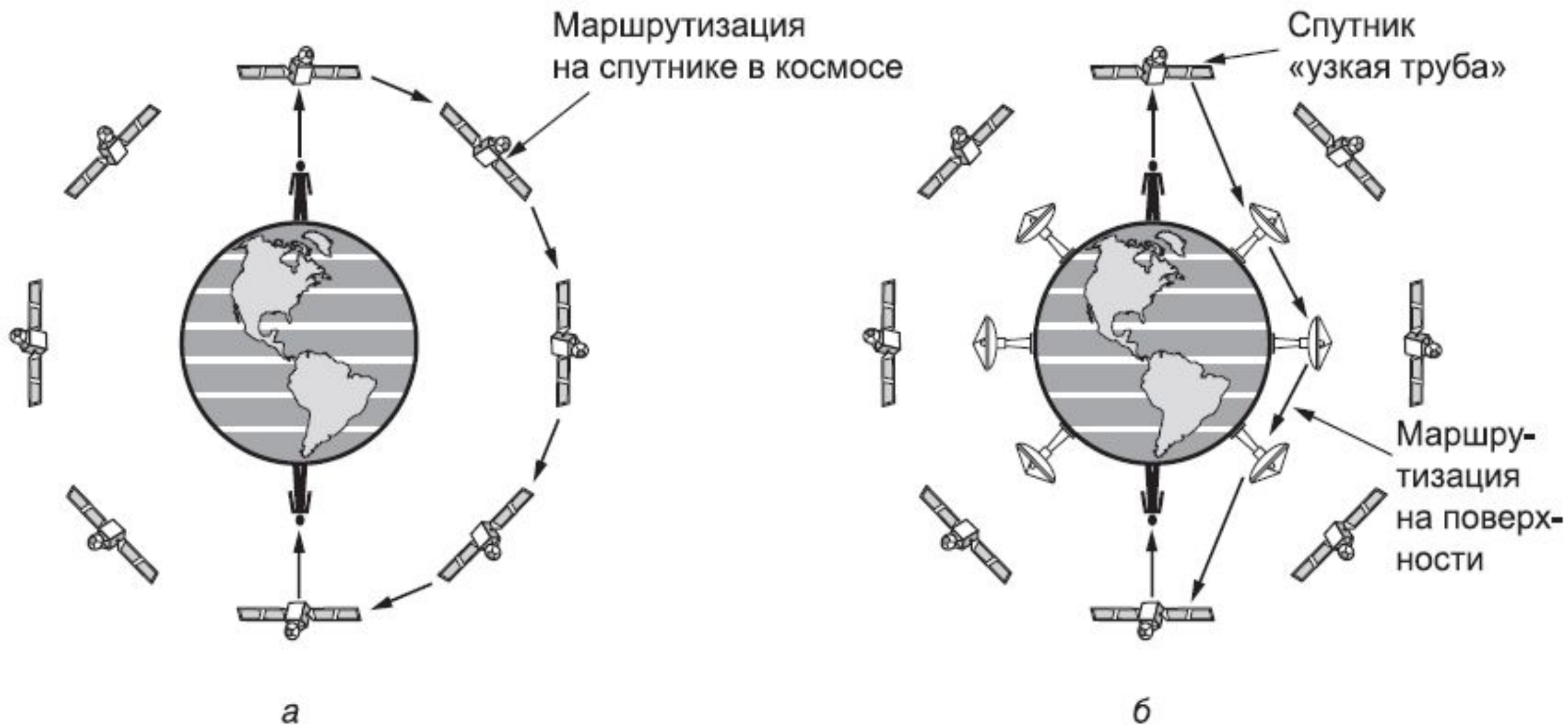
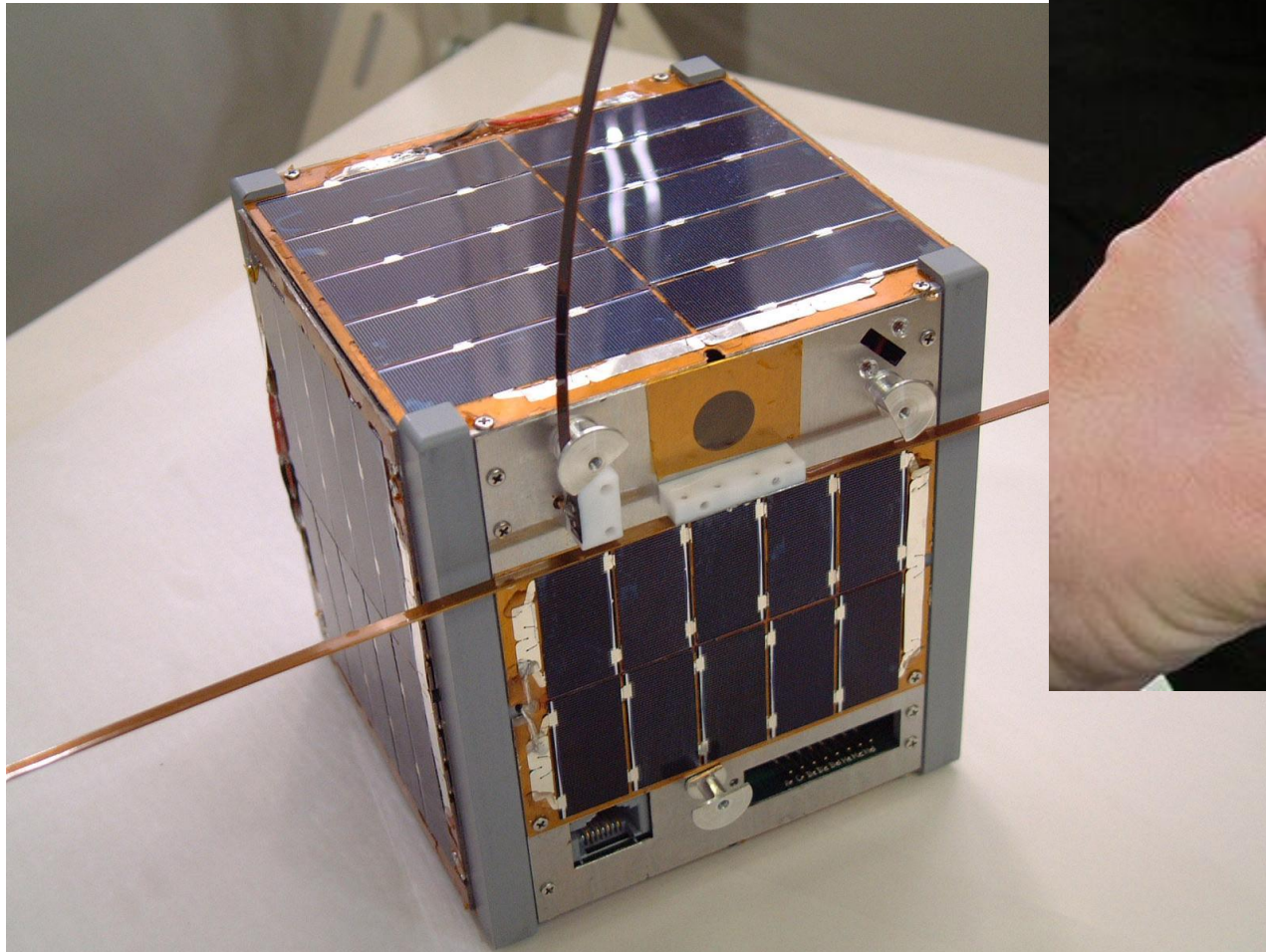


Рис. 2.16. Пересылка данных в космосе (а); пересылка данных наземными станциями (б)

CubSat

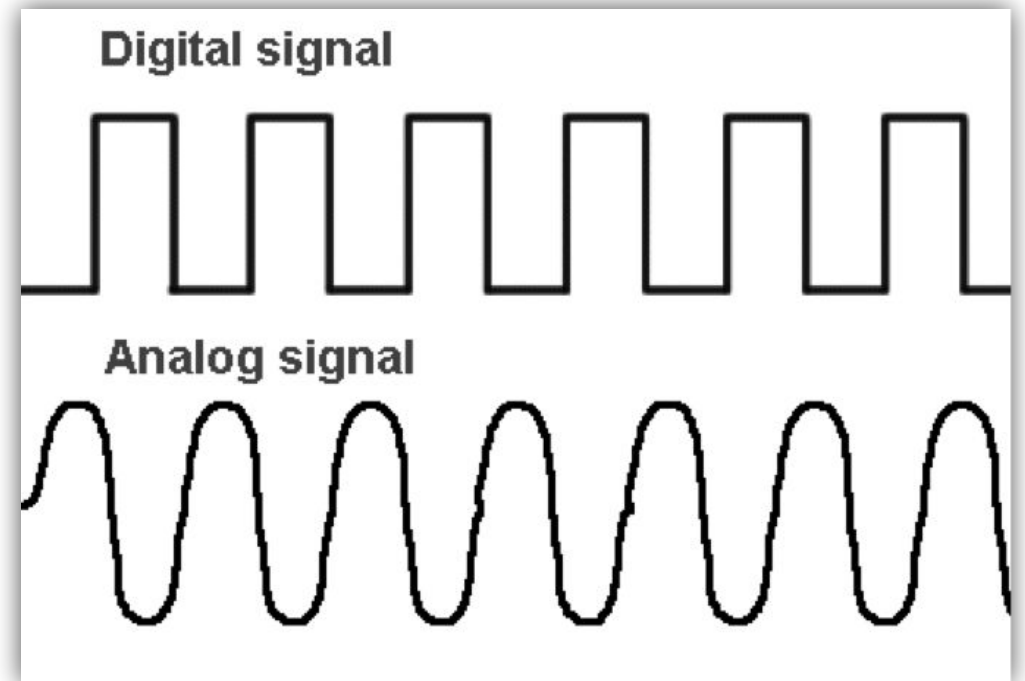
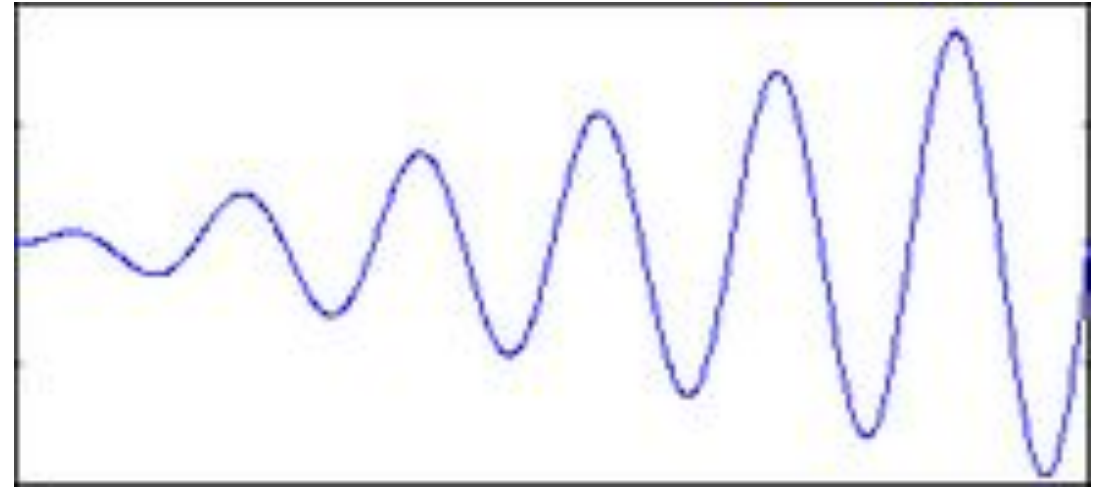


Преимущества спутников

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.

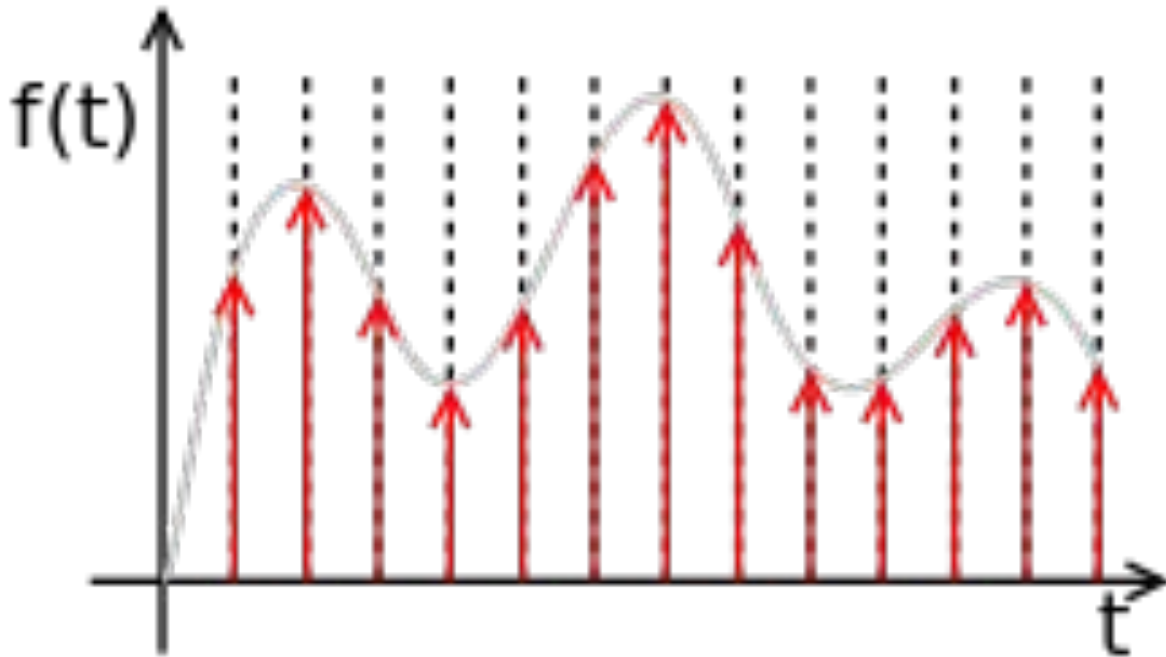
Аналоговые сигналы

- 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 технике.

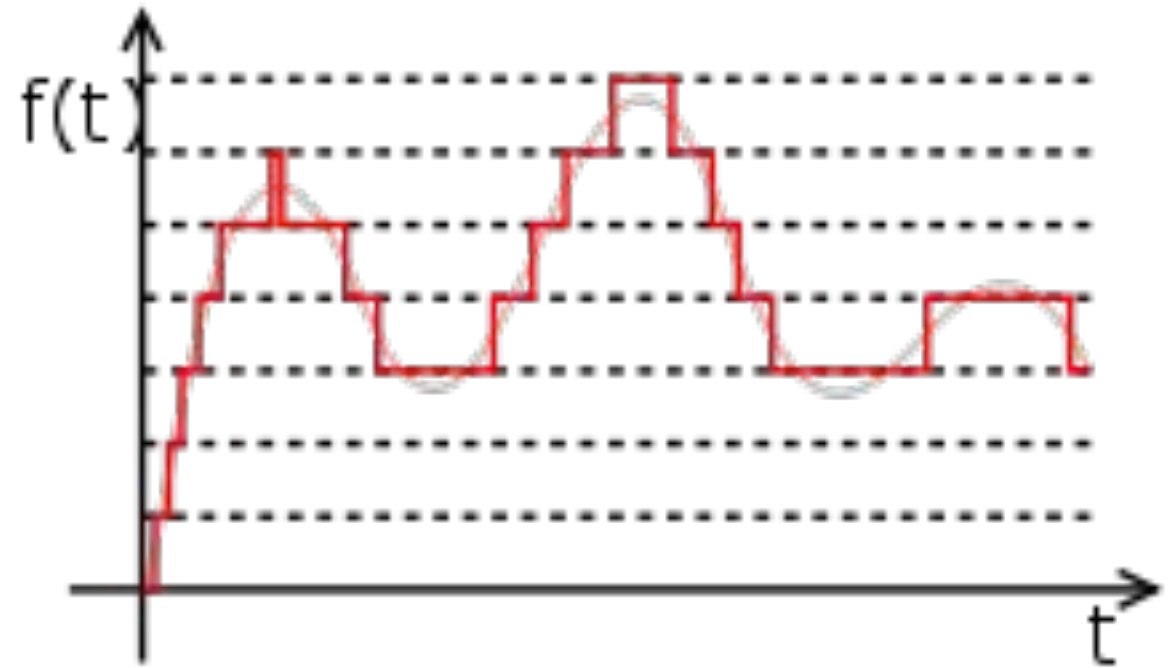


Дискретизация и квантование

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

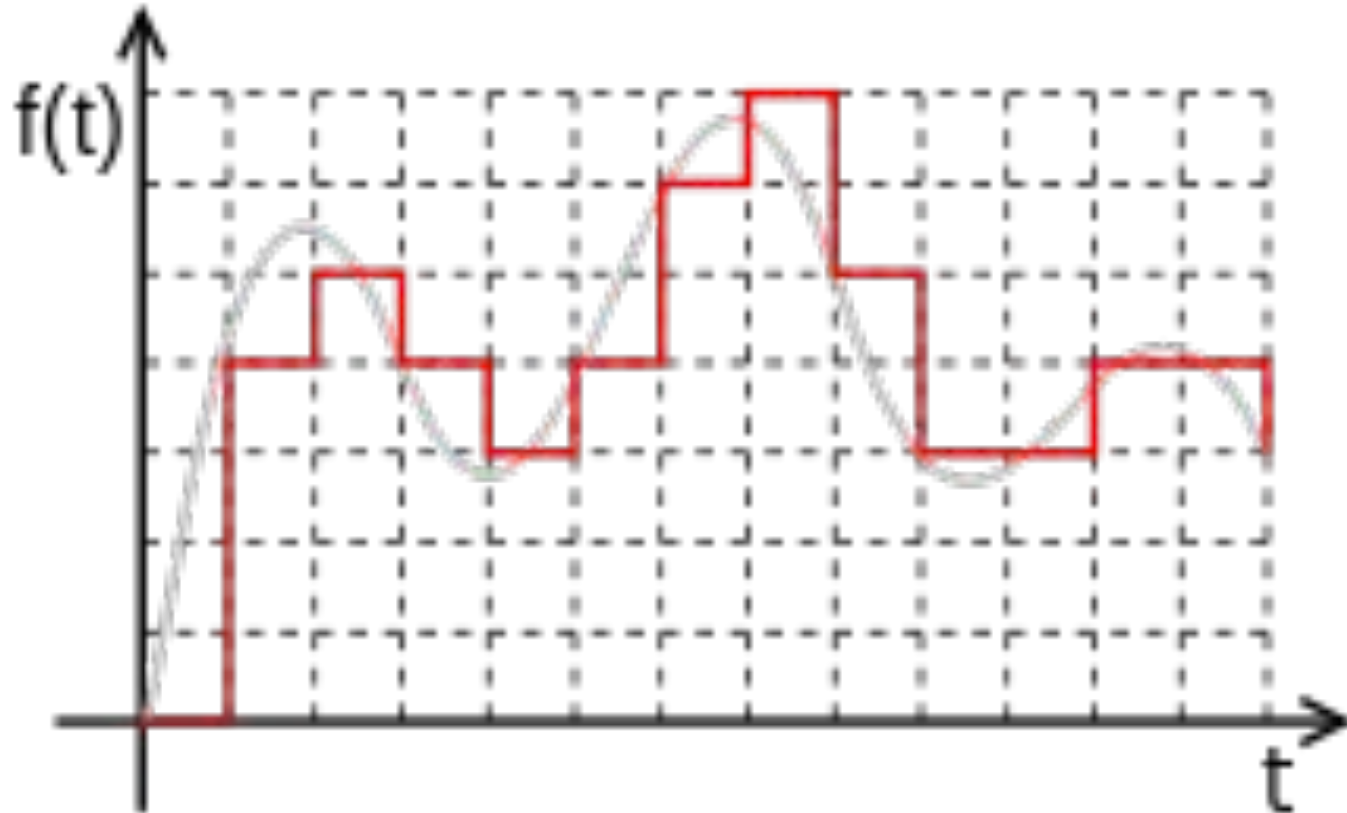


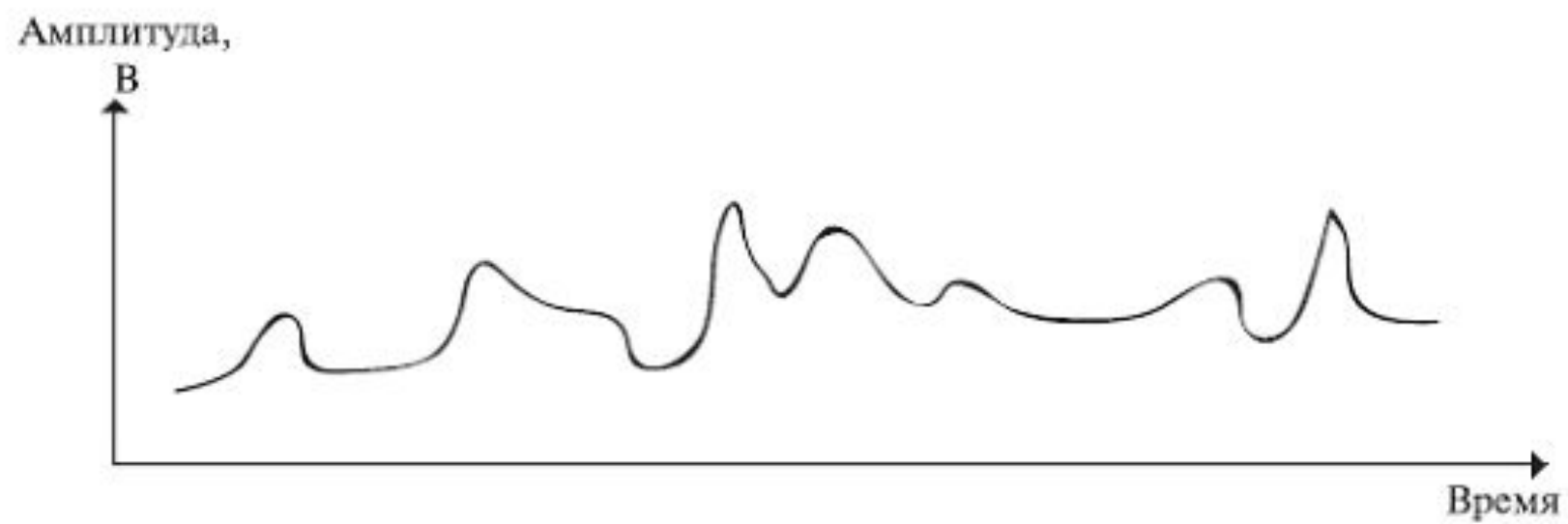
- При квантовании вся область значений сигнала разбивается на уровни, каждому из которых присваивается некоторое число. Отсчёты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается это число.



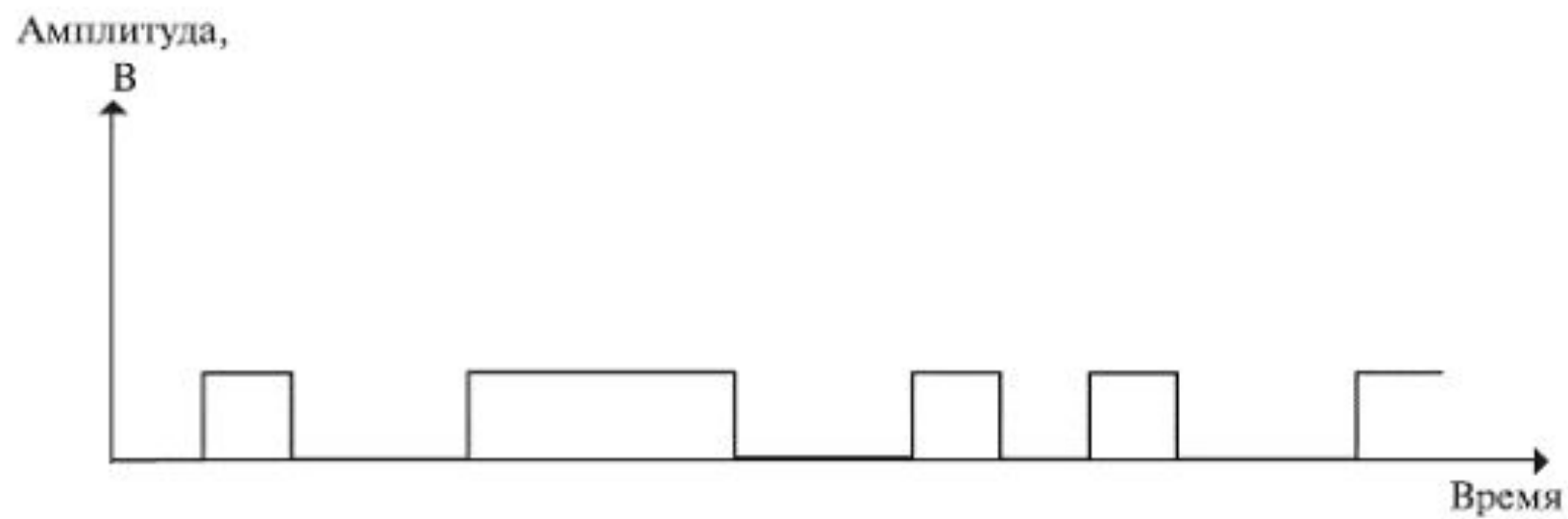
Цифровой сигнал

- 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

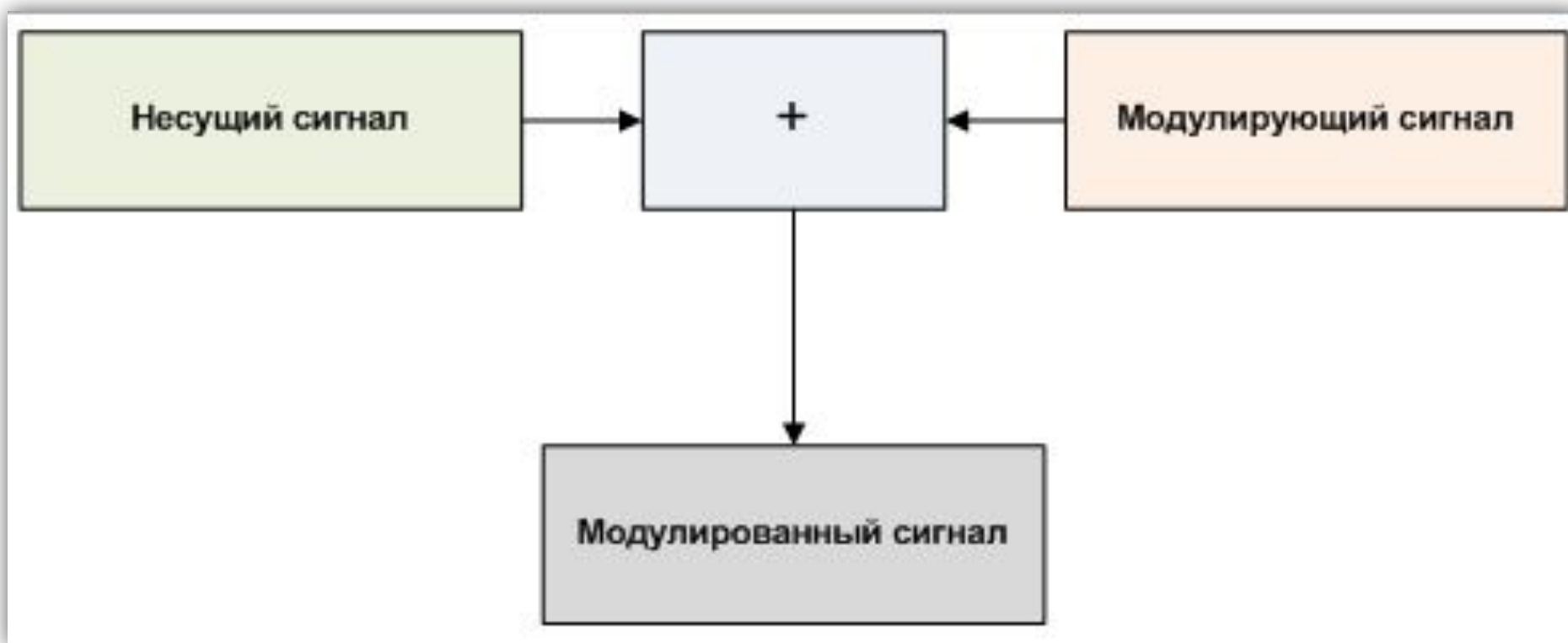
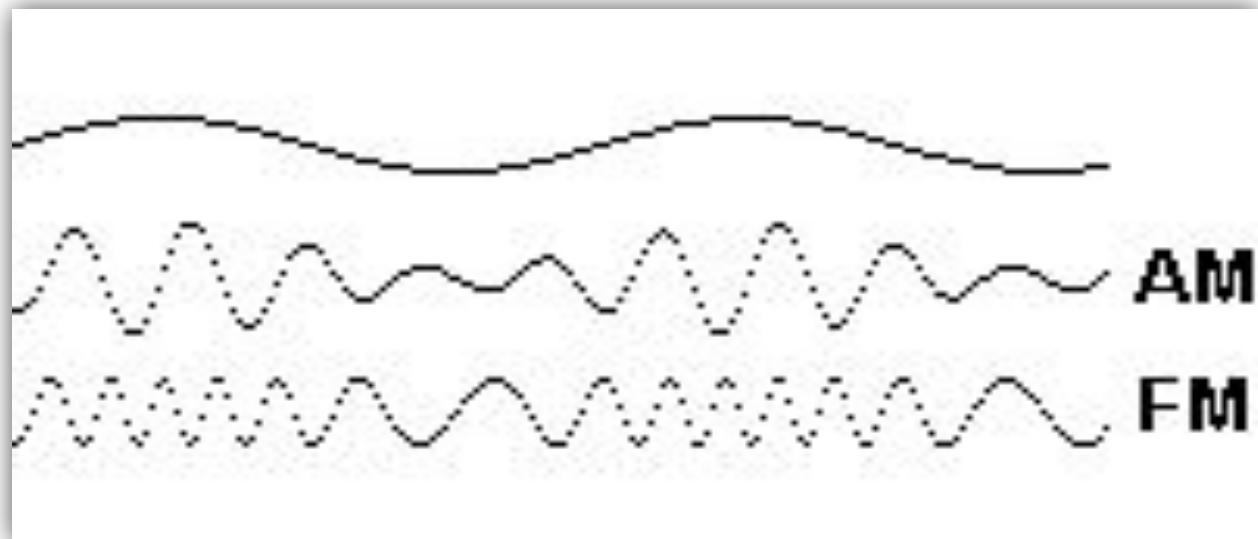


б) Цифровой сигнал

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



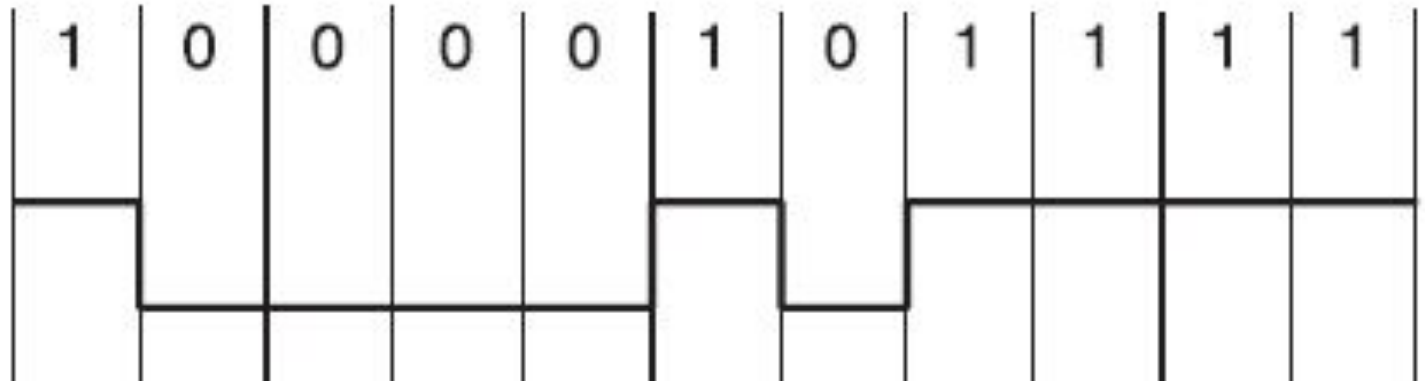
- Амплитудная модуляция (АМ)
- Угловая модуляция
 - Частотная модуляция (ЧМ)
 - Фазовая модуляция (ФМ)

- 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**.

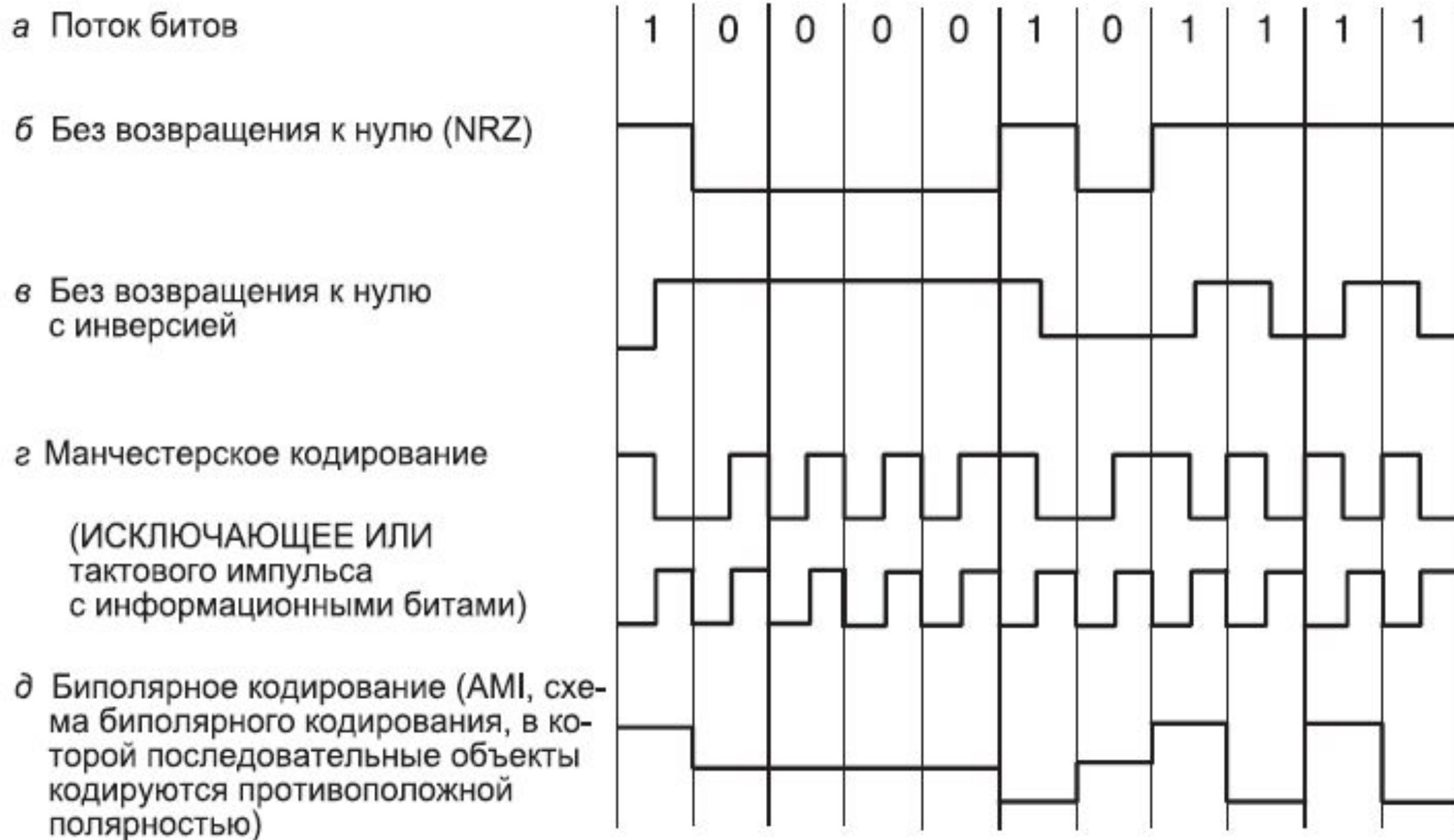


Рис. 2.17. Линейные коды (коды для линии связи): а — биты, б — NRZ; в — NRZI; г — Манчестер; д — биполярный или AMI

Таблица 2.4. Отображение 4В/5В

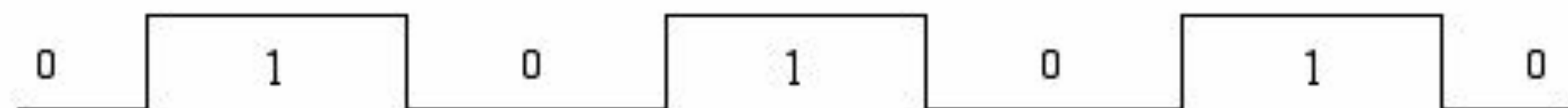
Данные (4В)	Ключевое слово (5В)	Данные (4В)	Ключевое слово (5В)
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Симметричные сигналы

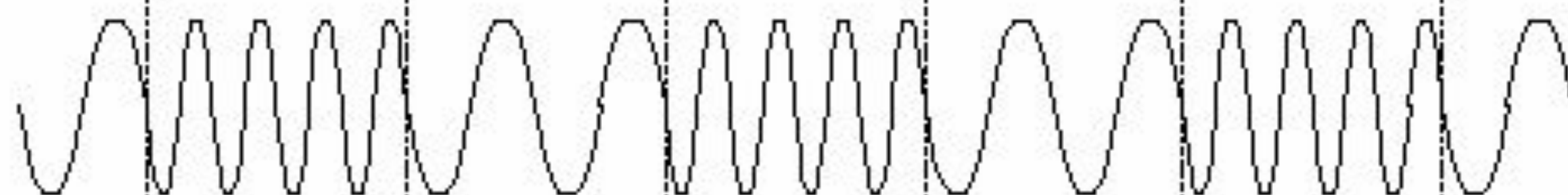
- Сигналы, у которых есть столько же положительного напряжения, сколько и отрицательного напряжения даже за короткие периоды времени, называют **симметричными сигналами**.
- Простейший **способ создать симметричный код** состоит в том, чтобы использовать **два уровня напряжения** для представления логической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

Передача в полосе пропускания

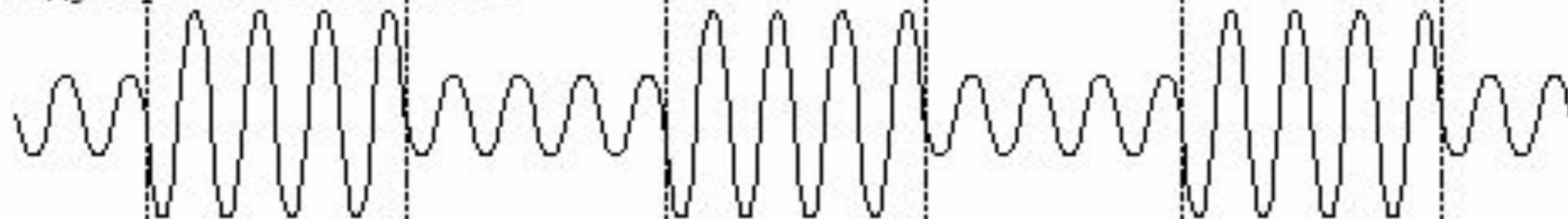
- **В цифровой модуляции** передача в полосе пропускания достигается регулируя сигнал несущей, которая находится в полосе пропускания:
 1. **В ASK (Amplitude Shift Keying, амплитудная манипуляция)**, чтобы представить 0 и 1, используются две различные амплитуды.
 2. **при FSK (Frequency Shift Keying, 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

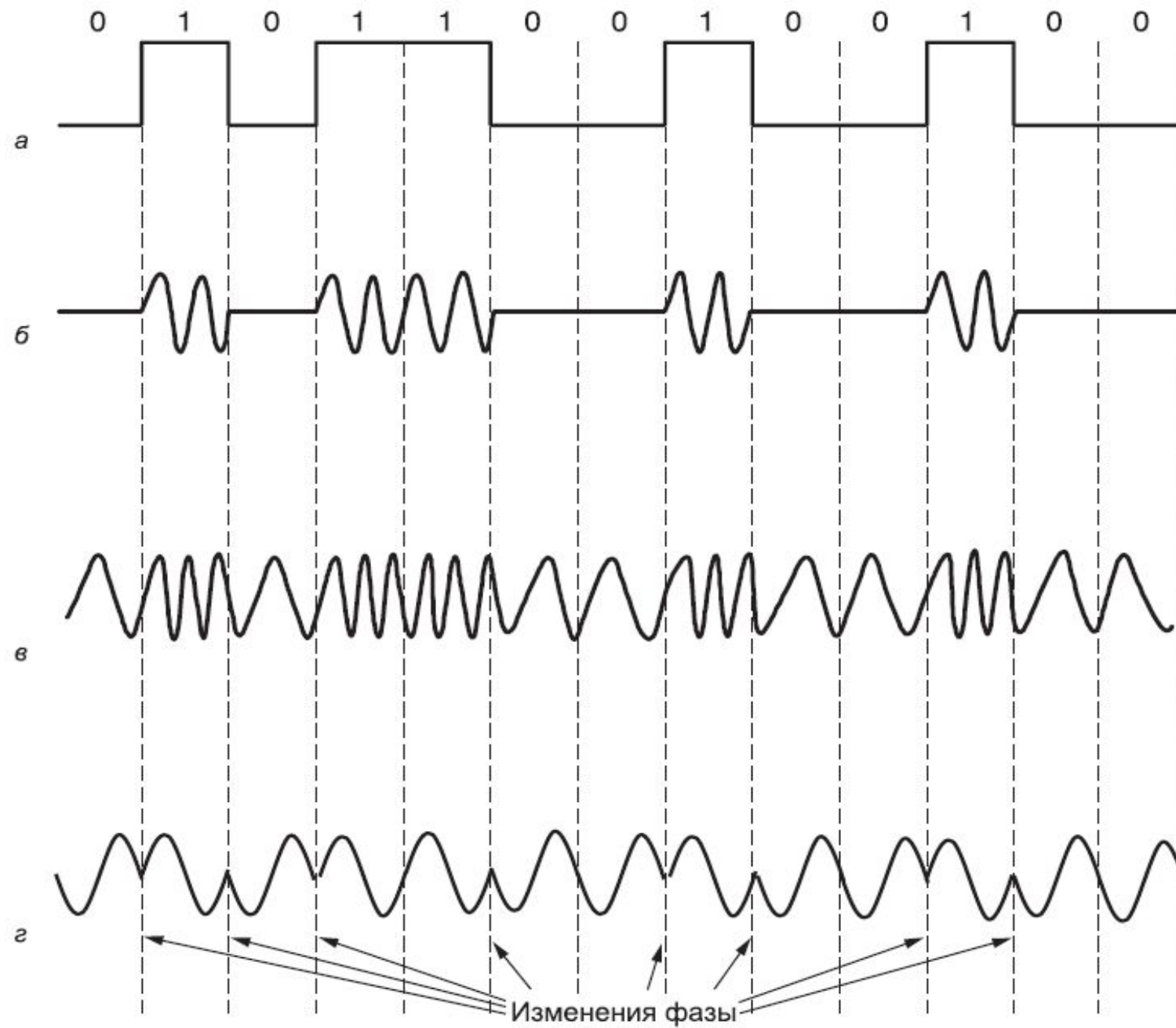


Рис. 2.18. Сигналы: а — бинарные; б — амплитудная манипуляция; в —
г — квадратурная фазовая манипуляция

Частотная
модуляция

Диаграмма созвездий

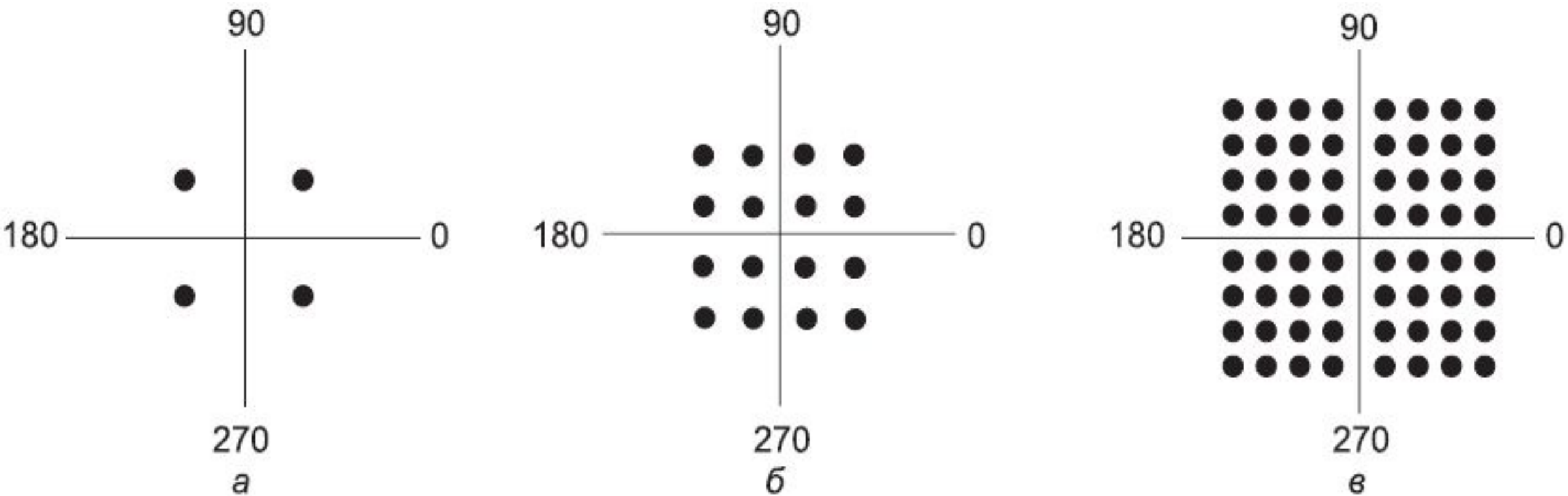
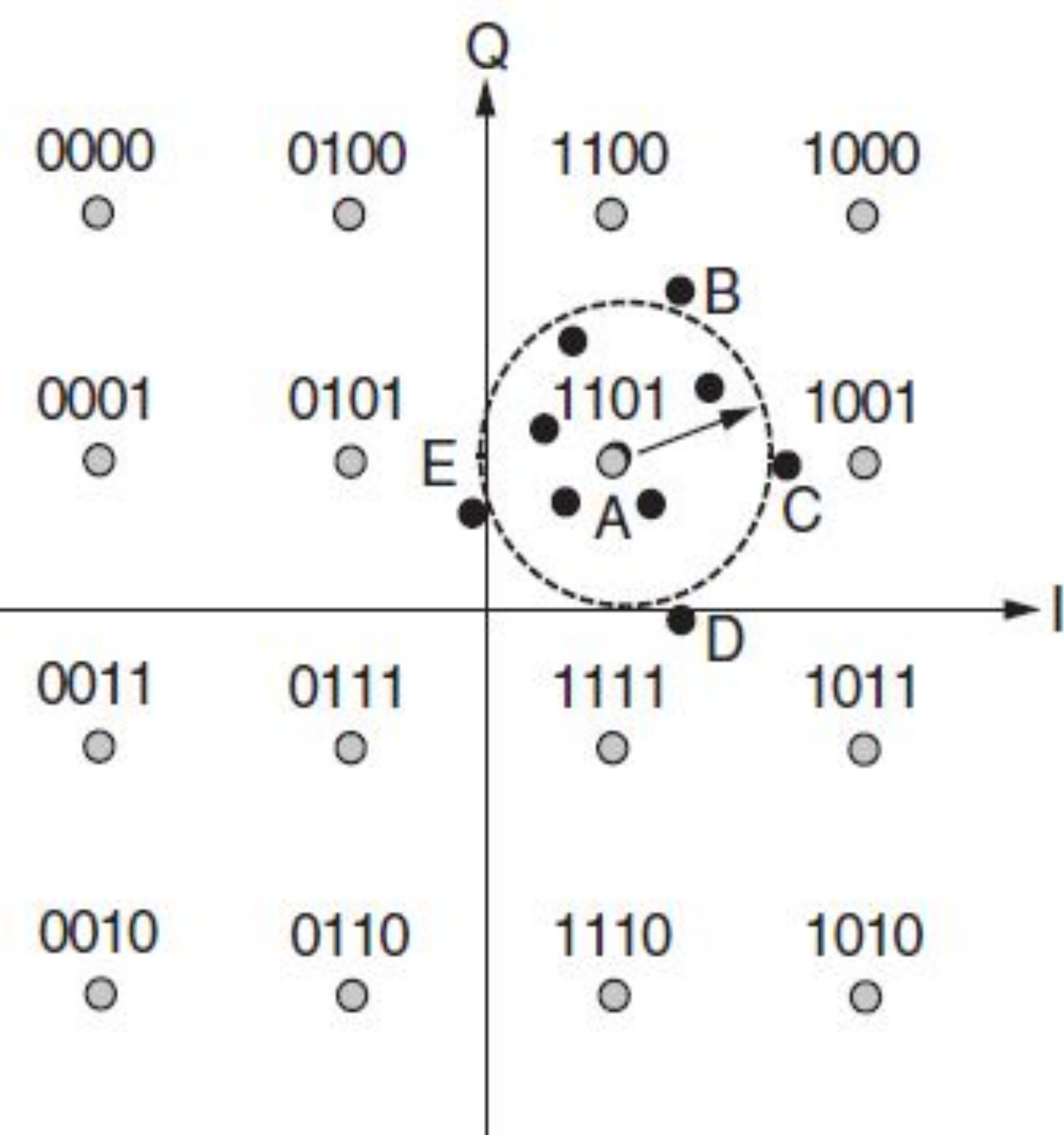


Рис. 2.19. Модуляция: а — QPSK; б — QAM-16; в — QAM-64

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	110 <u>0</u>	1
C	<u>1</u> 001	1
D	11 <u>1</u> 1	1
E	<u>0</u> 101	1

Рис. 2.20. QAM-16 с применением кодирования Грея

Мультиплексирование

- **Мультиплексировани** (*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.

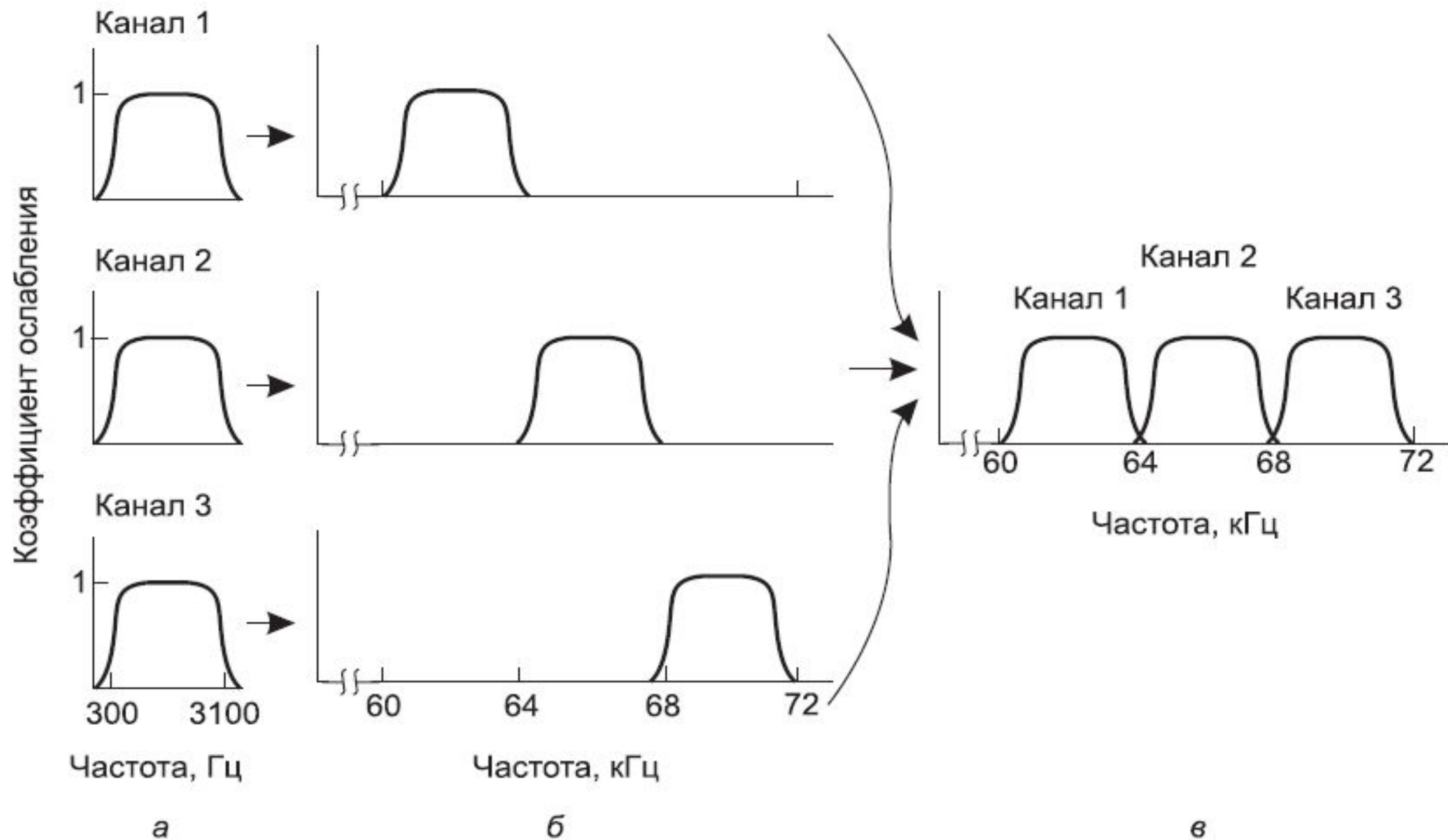


Рис. 2.21. Частотное уплотнение: *а* — исходные спектры сигналов; *б* — спектры, сдвинутые по частоте; *в* — уплотненный канал

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.

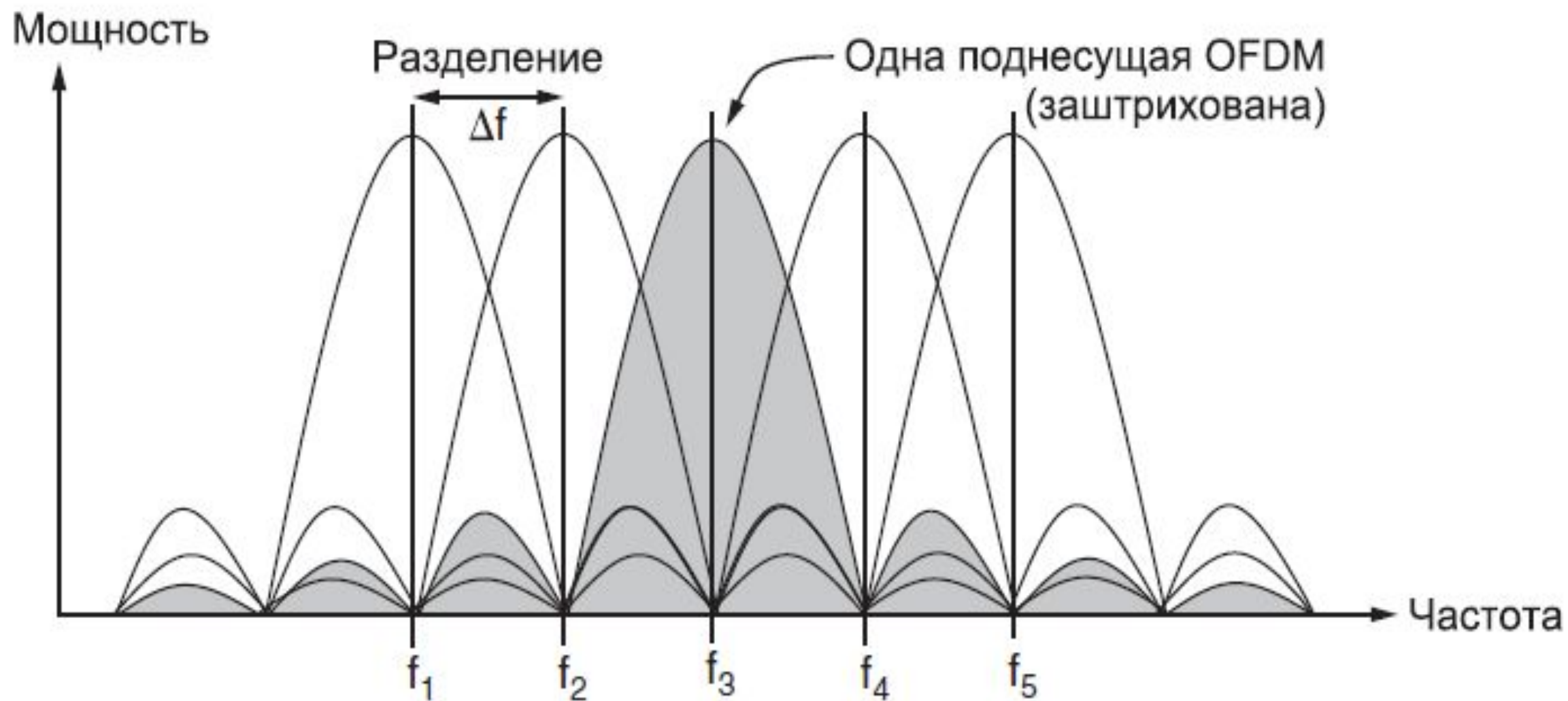


Рис. 2.22. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM)

Мультиплексирование с разделением времени

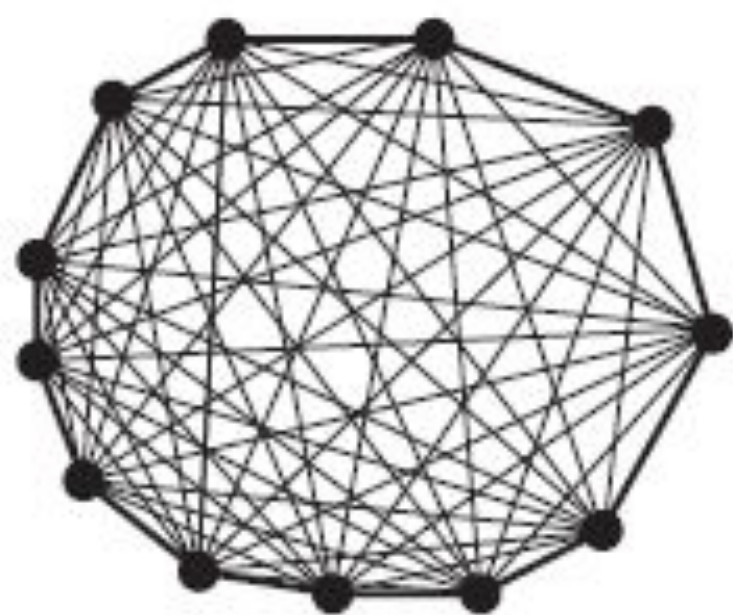
- TDM (Time Division Multiplexing, **Мультиплексирование с разделением времени, временное уплотнение**) – мультиплексирование, при котором пользователи сменяются (по кругу), каждый периодически получая всю полосу пропускания на небольшой отрезок времени.



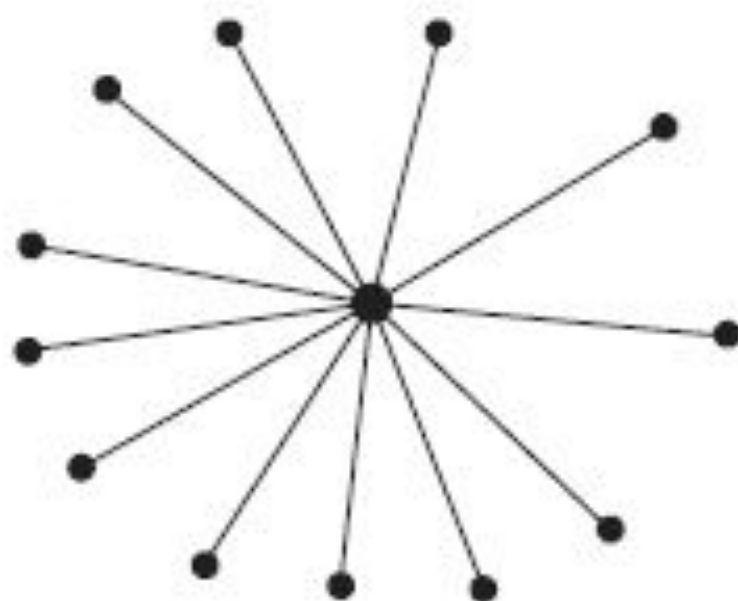
Рис. 2.23. Мультиплексирование с разделением времени (TDM)

Кодовое мультиплексирование

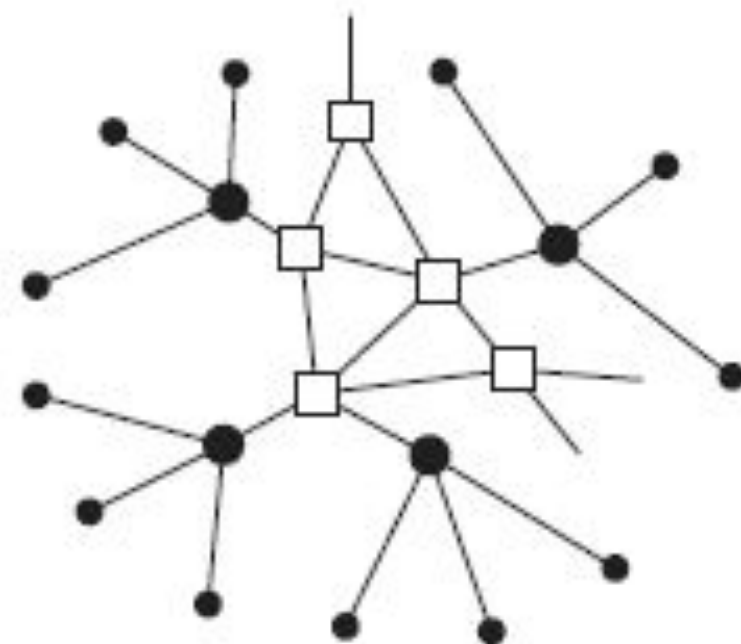
- **CDM (Мультиплексирование с кодовым разделением, кодовое разделение каналов)** – является формой коммуникации распределенного спектра, в которой узкополосный сигнал распределяется по более широкому диапазону частот.
- **CDMA (Code Division Multiple Access, множественный доступ с кодовым разделением)**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



a



б



в

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

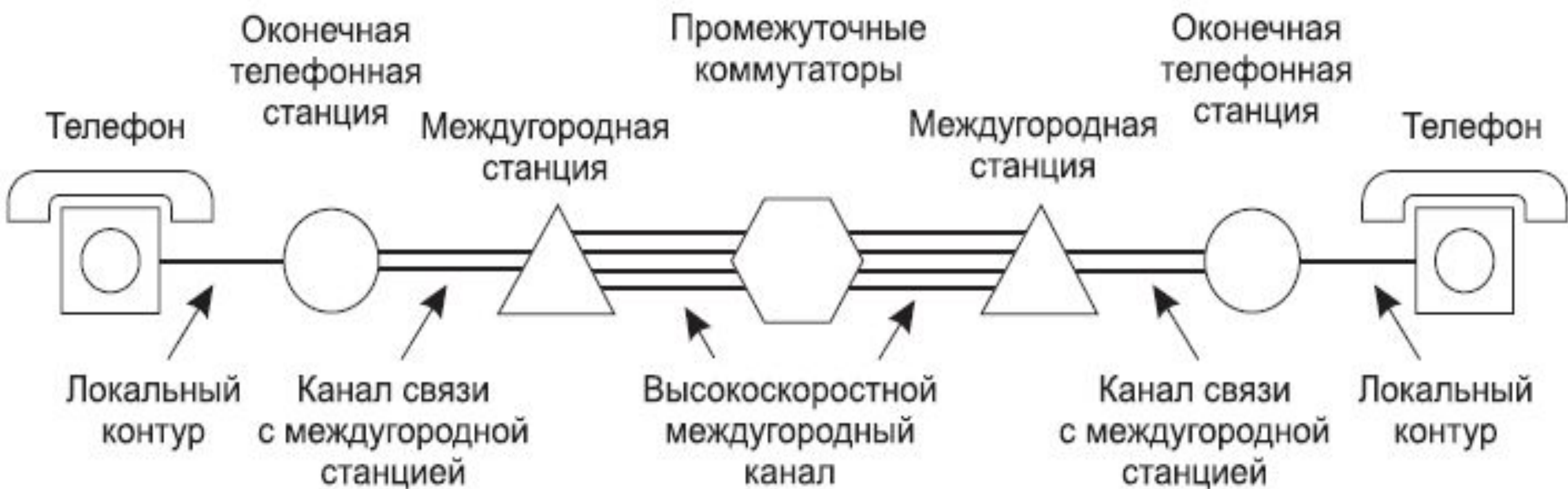


Рис. 2.26. Типичный маршрут связи при большой дистанции между абонентами

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.

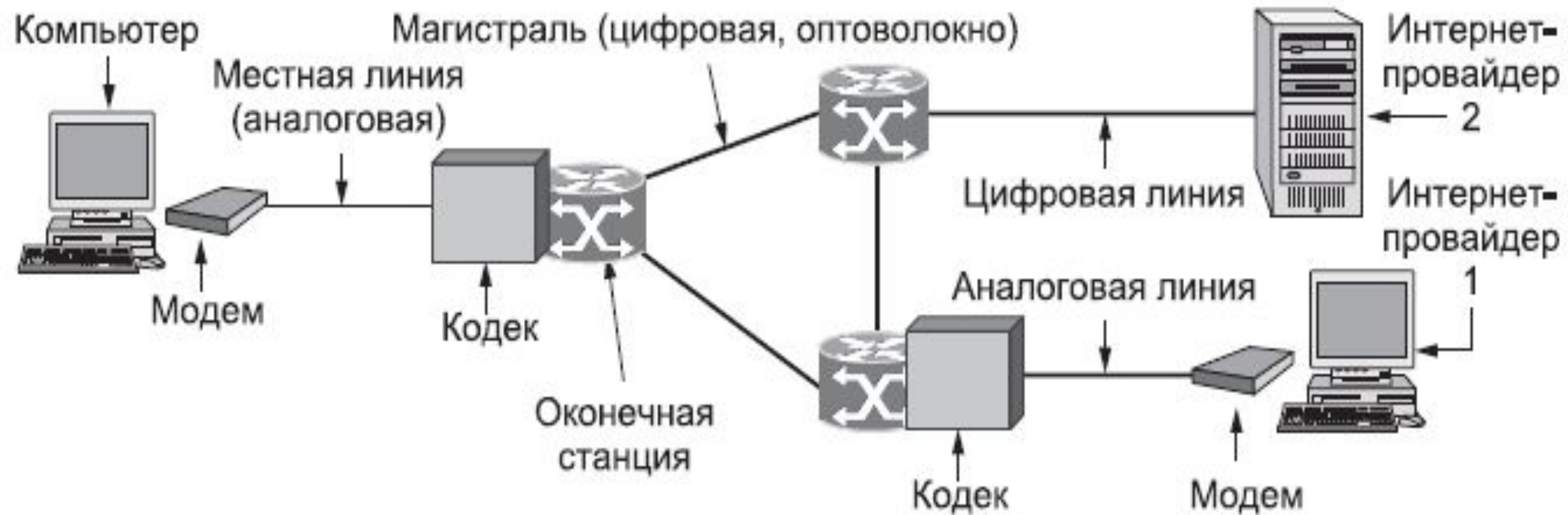


Рис. 2.28. Одновременное использование аналоговой и цифровой связи для соединения компьютеров. Преобразования осуществляются модемами и кодеками

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**.

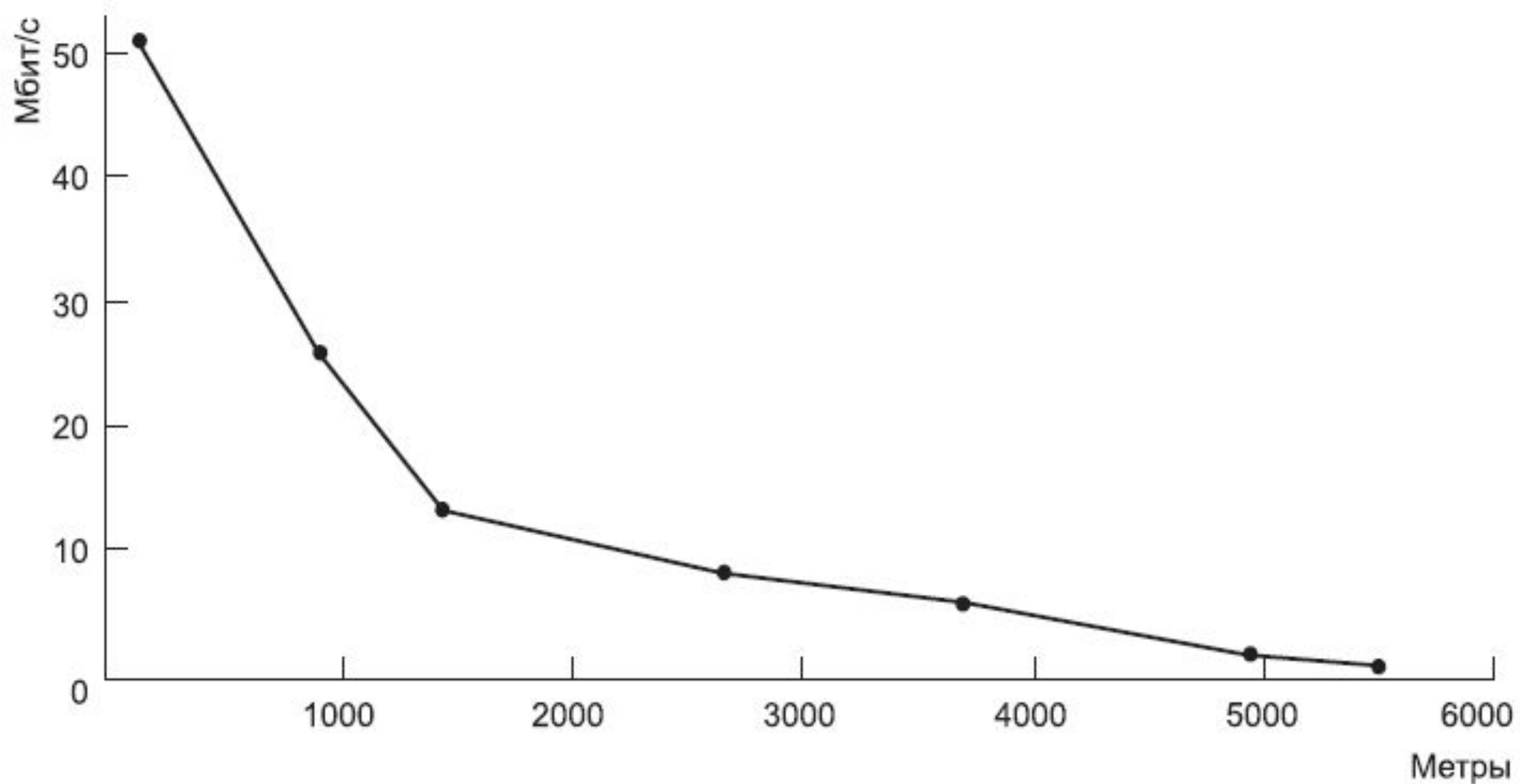


Рис. 2.29. Зависимости пропускной способности от расстояния для DSL по UTP категории 3

ADSL

- **xDSL** (digital subscriber line, цифровая абонентская линия) — семейство технологий 1990-х годов, позволяющих повысить пропускную способность телефонной линии:
- **ADSL** (англ. asymmetric + DSL) — модемная технология, в которой доступная полоса пропускания канала распределена между исходящим и входящим трафиком асимметрично.



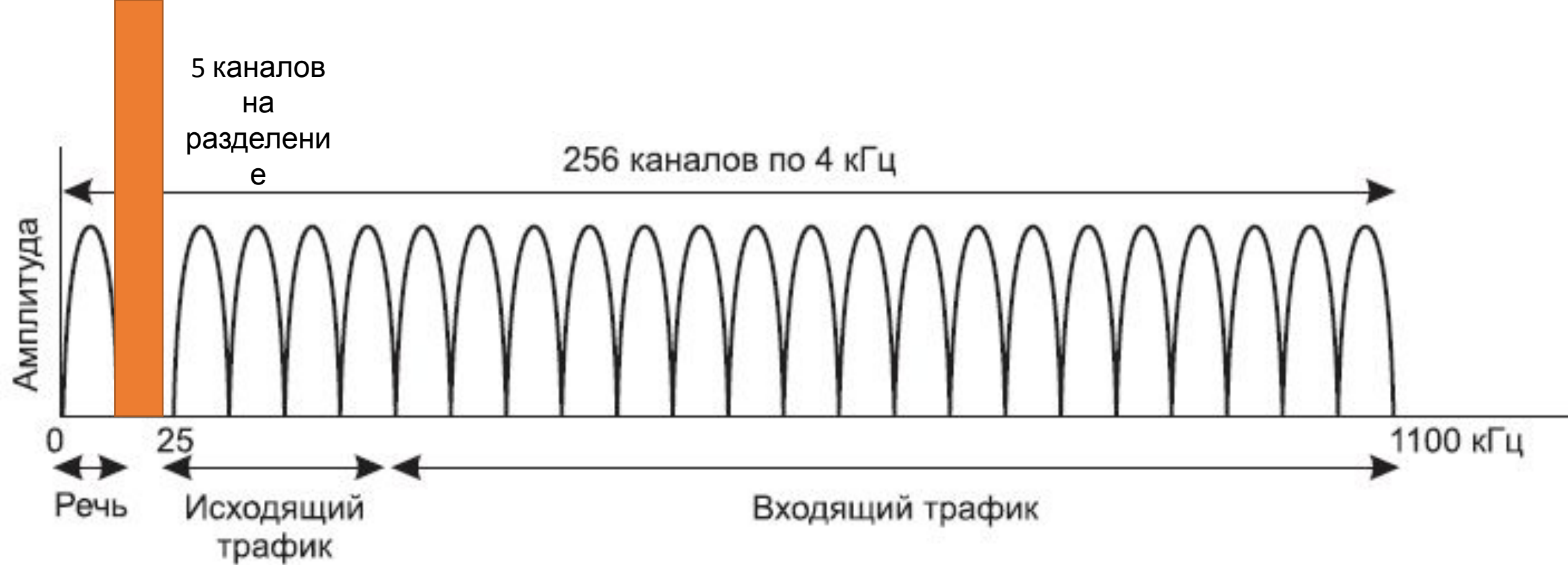


Рис. 2.30. Работа ADSL с использованием дискретной мультитональной модуляции

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).

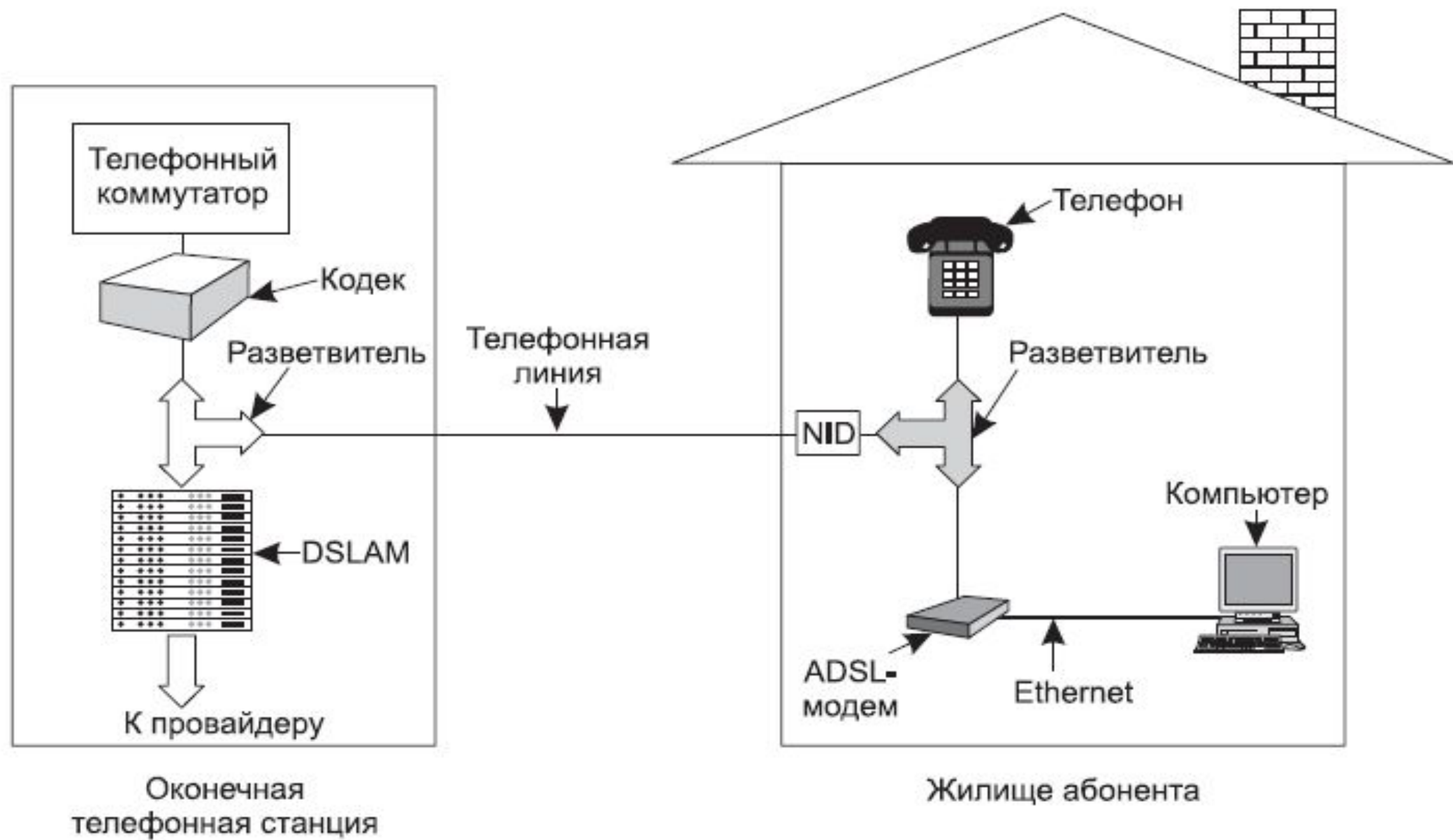
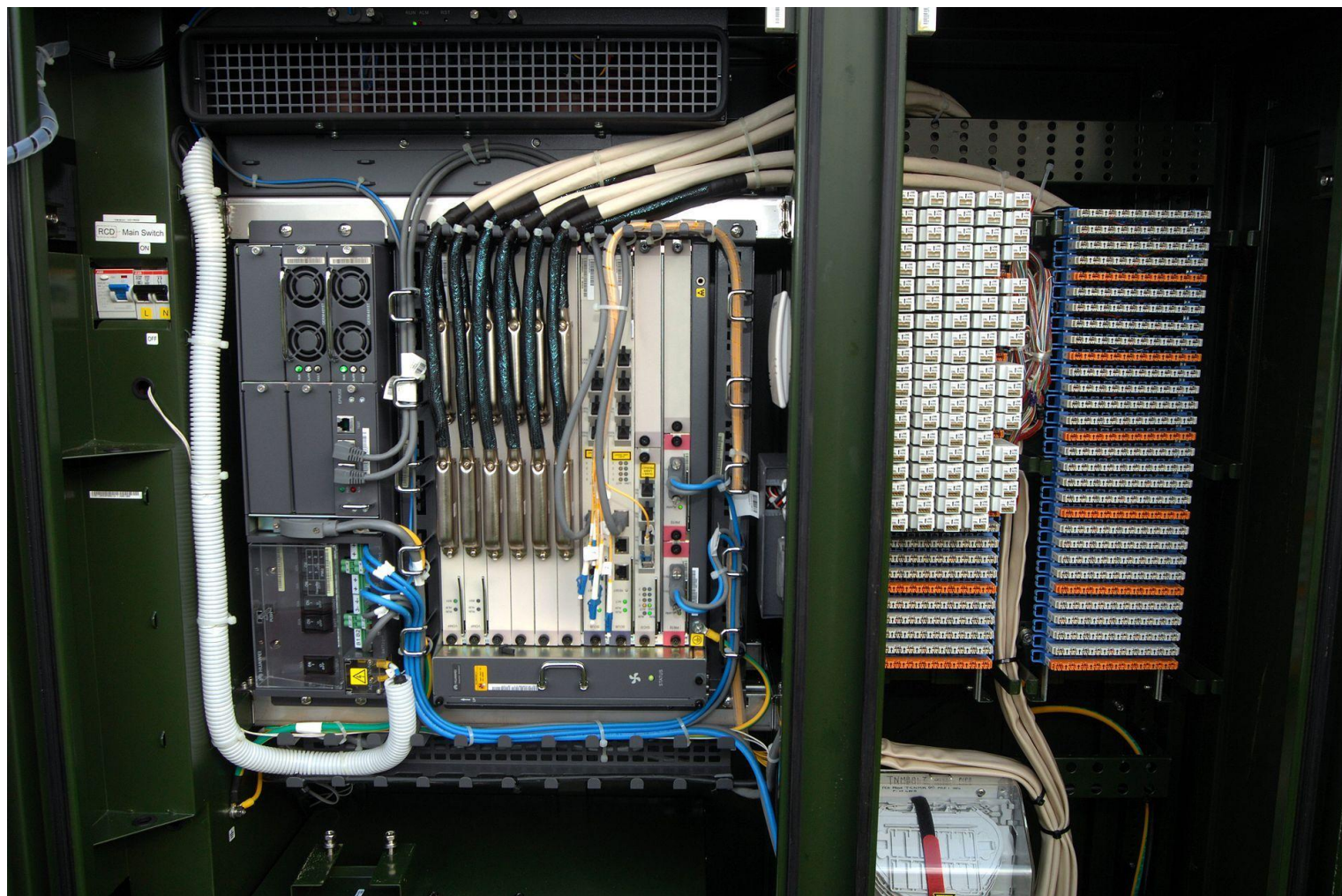


Рис. 2.31. Типичная конфигурация оборудования ADSL

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)

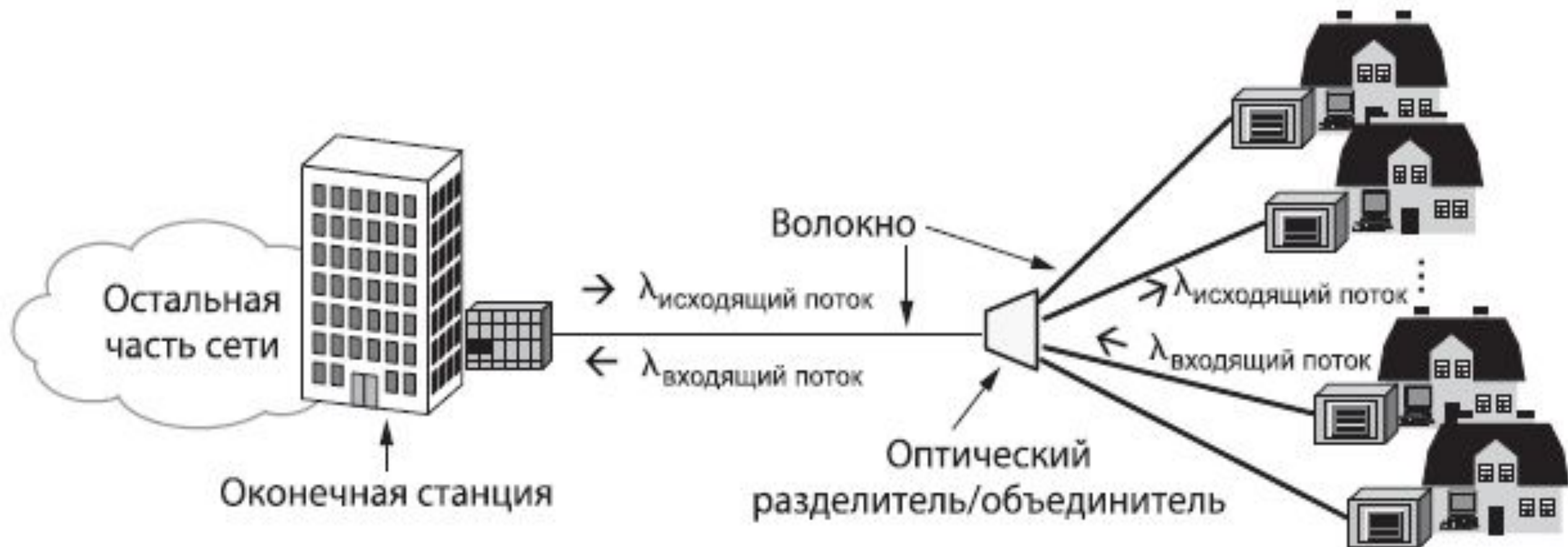


Рис. 2.32. Пассивная оптическая сеть для Волокна до дома

Спектральное уплотнение

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

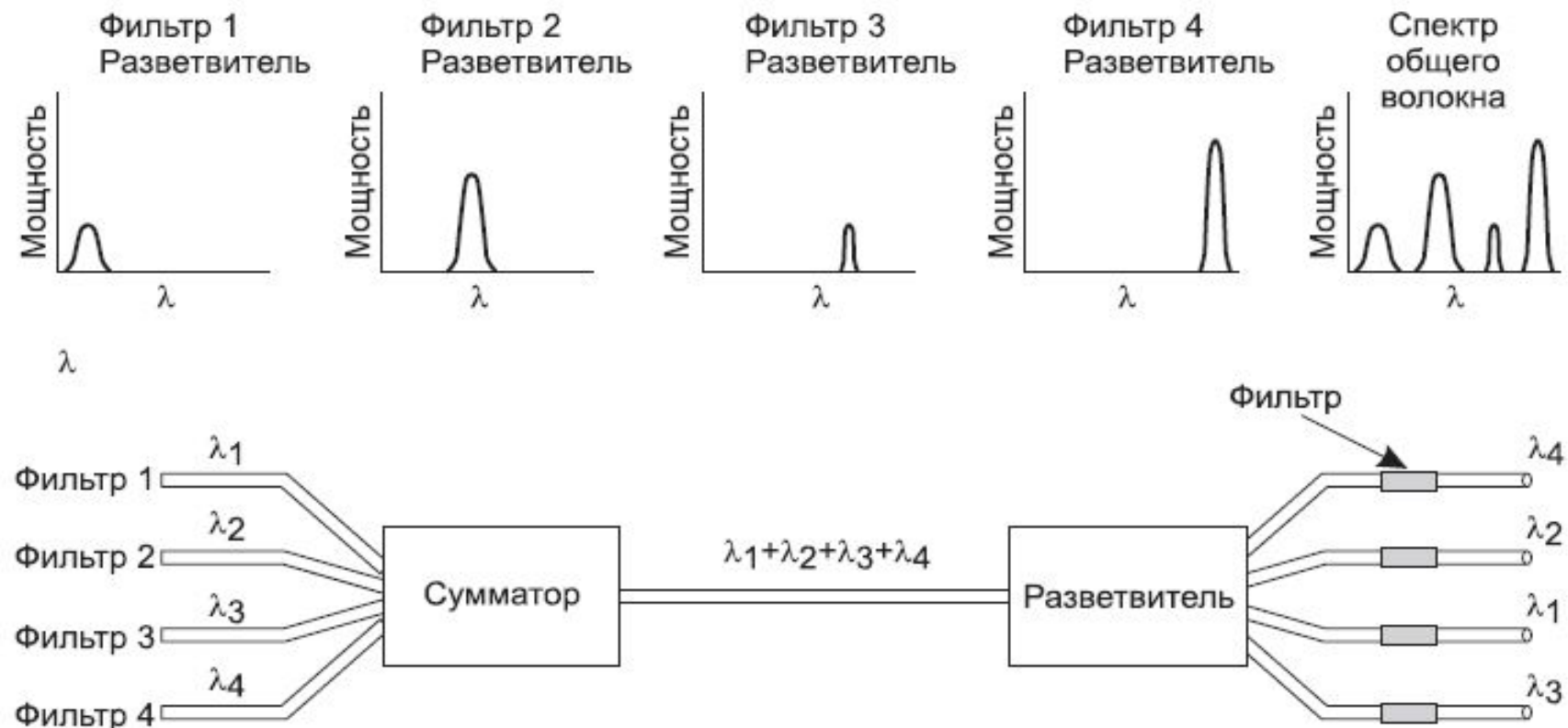
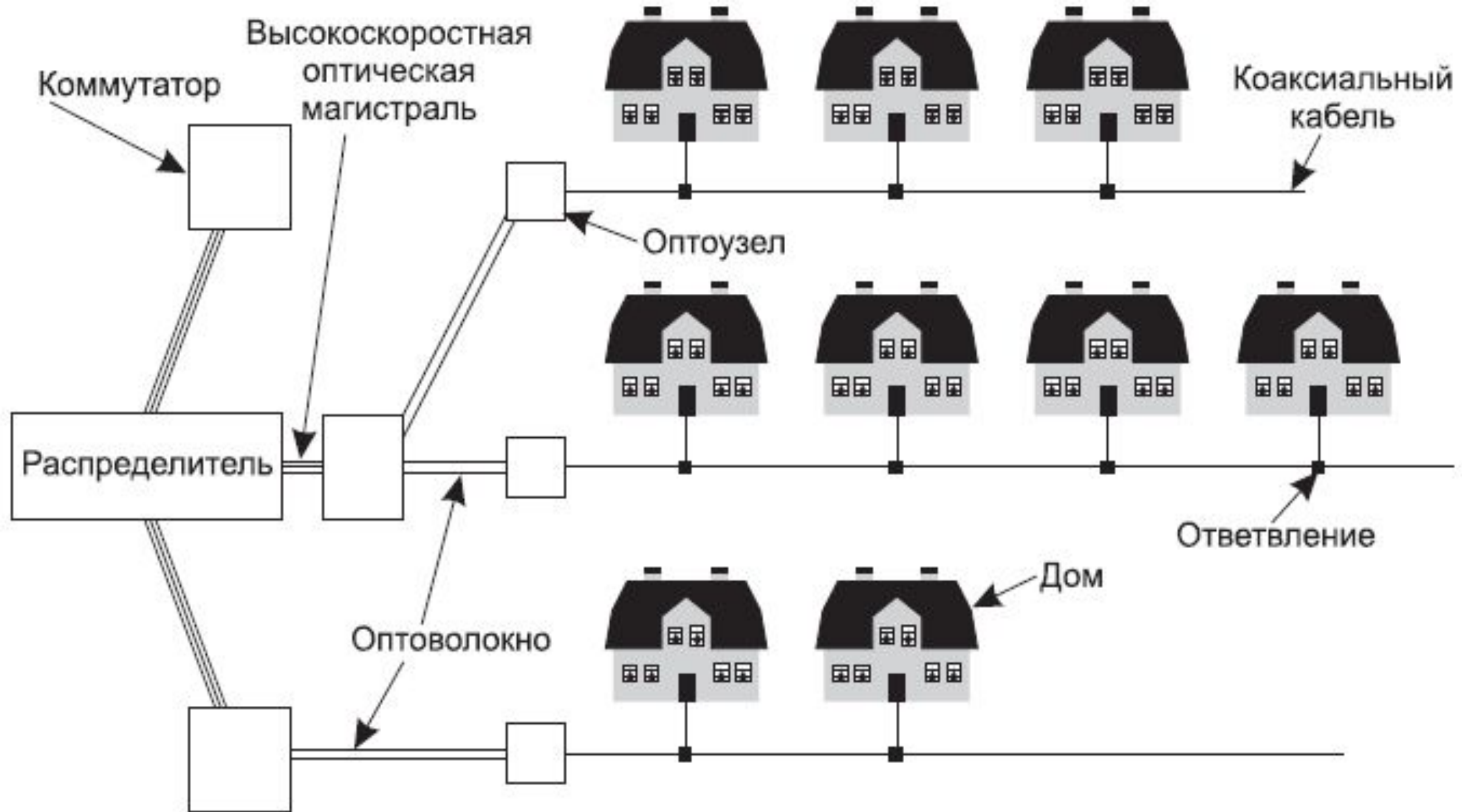
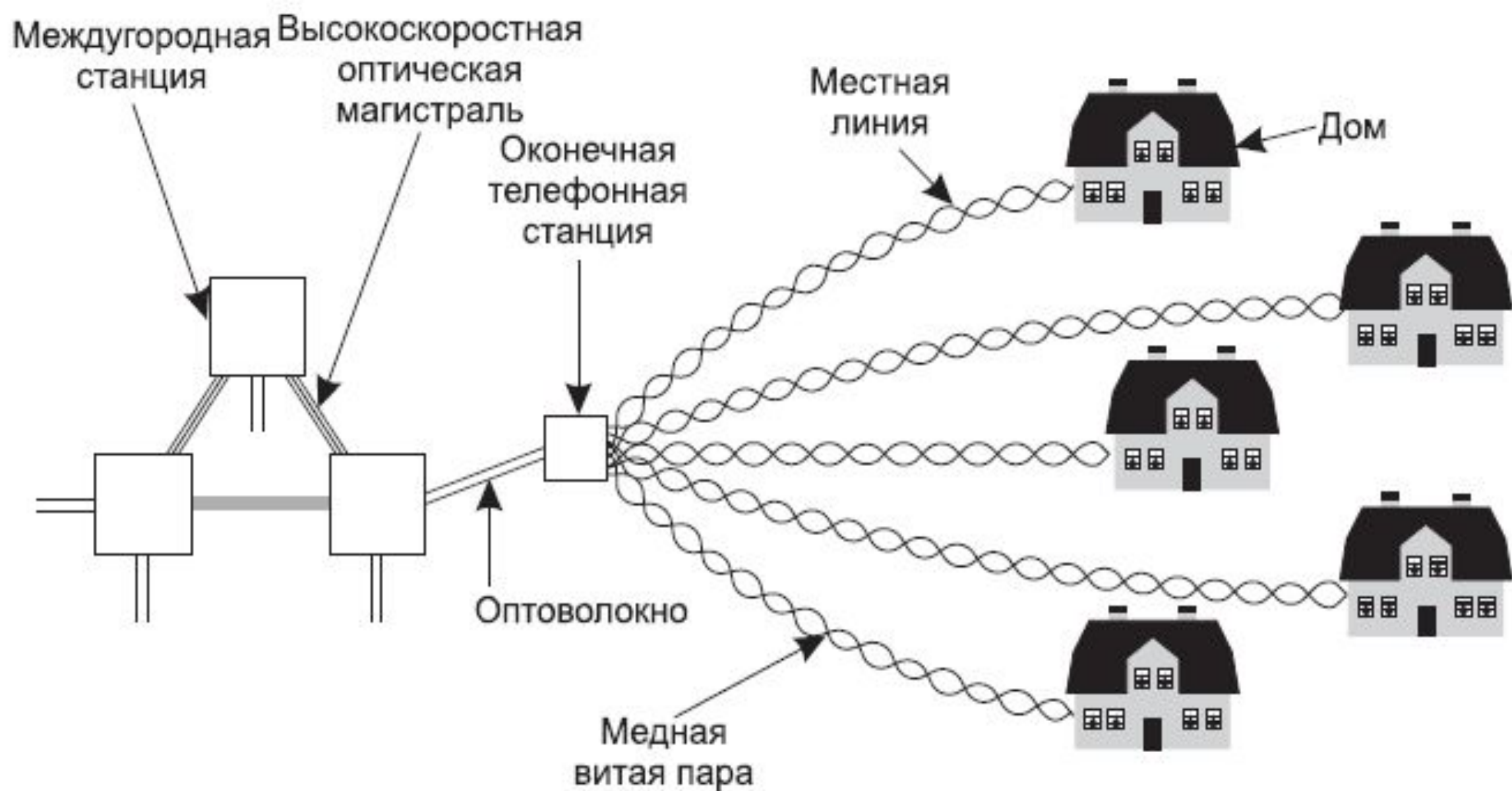


Рис. 2.36. Спектральное уплотнение





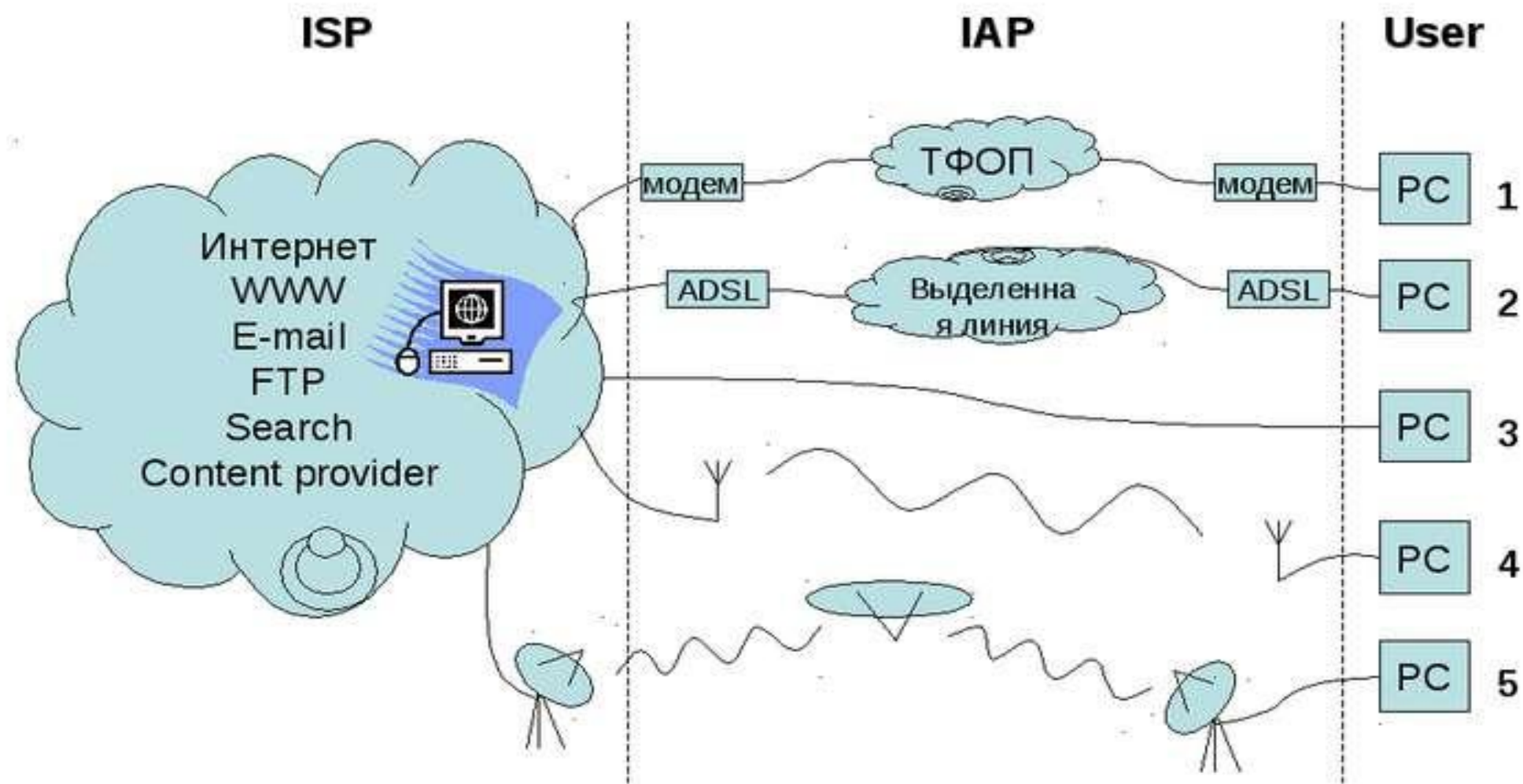
б

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.

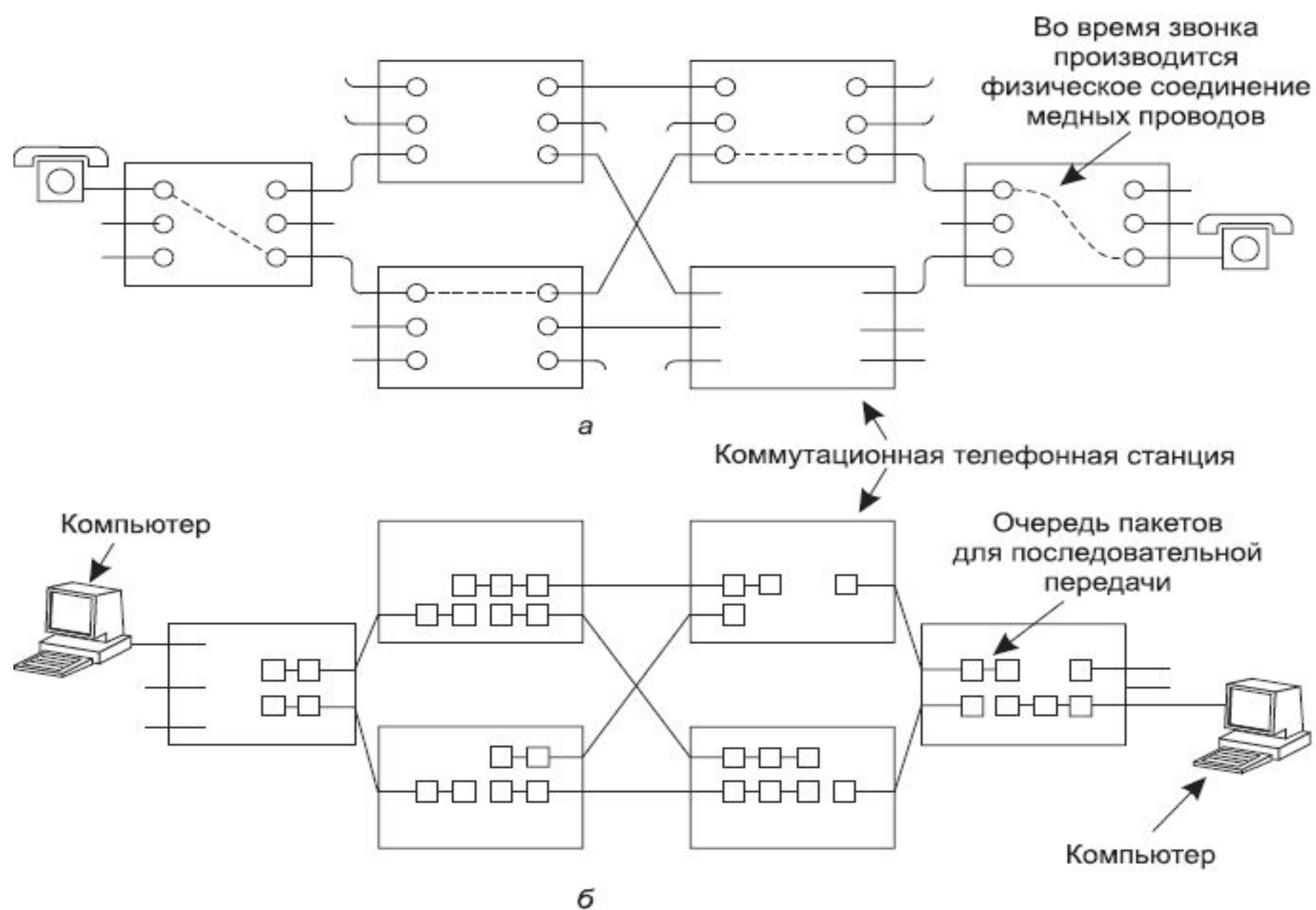


Рис. 2.37. Коммутация: а — каналов; б — пакетов

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
- <http://www.ruselectronic.com/news/elektricheskie-signaly-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>