

# Технологии разделения ресурсов связи

**Ресурс связи (РС)** представляет время и ширину полосы, доступные для передачи сигнала в определенной системе.

Для создания эффективной ТКС необходимо спланировать распределение РС между пользователями системы, чтобы время/частота использовались максимально эффективно. Результатом такого планирования должен быть равноправный доступ пользователей к ресурсу.

Существует три основных способа распределения **РС**:

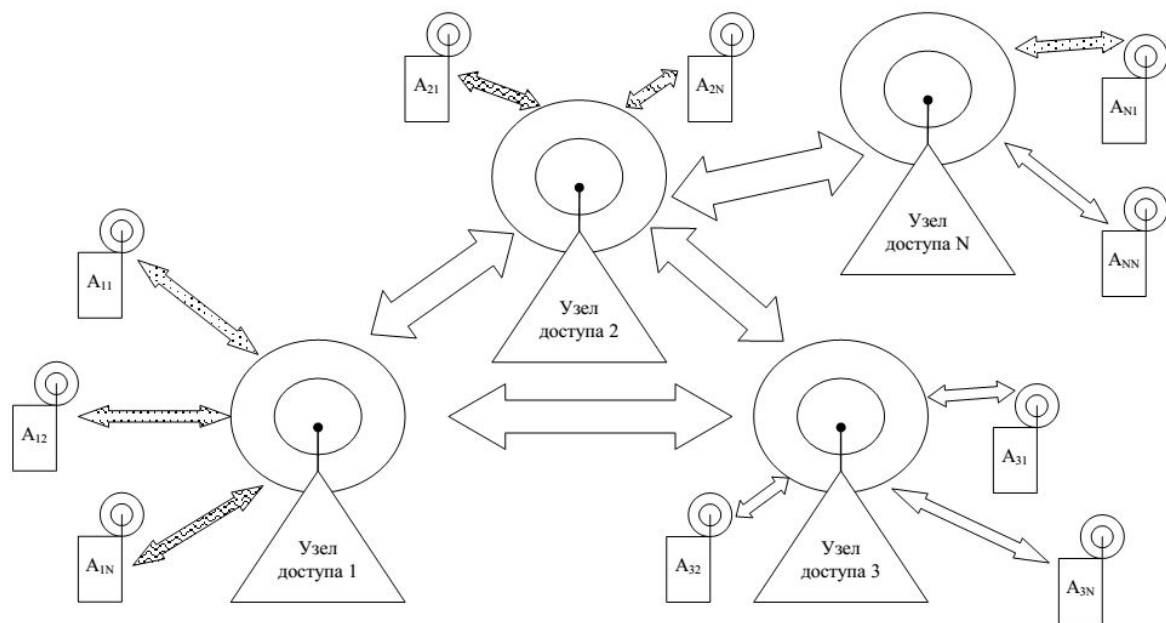
1. **частотное разделение (FD);**
2. **временное разделение (TD);**
3. **кодовое разделение (CD).**

# Уплотнение и множественный доступ

**Уплотнение** – технология, позволяющая одновременно передавать несколько информационных каналов (использовать ресурс связи одновременно группой пользователей).



**Множественный доступ (МД)** - совокупность мер по обеспечению возможности параллельной работы многих пользователей в рамках частотно-временного ресурса, выделенного телекоммуникационной системе.



# Ортогональность сигналов

Ключевой момент для всех схем уплотнения и МД: РС используется различными сигналами, при этом их интерференция не создает неуправляемых взаимных помех. Такая ситуация достигается путем использования **ортогональных сигналов**.

Сигналы  $x_i(t)$ ,  $i=1,2, \dots$ , являются ортогональными, если во временной области выполняется условие:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x_i(t)x_j(t)dt = \begin{cases} K \text{ при } i = j \\ 0 \text{ при } i \neq j \end{cases}$$

где  $K$  – ненулевая константа. Подобным образом сигналы ортогональны, если в частотной области выполняется условие:

$$\int_{-\infty}^{\infty} X_i(f)X_j(f)df = \begin{cases} K \text{ при } i = j \\ 0 \text{ при } i \neq j \end{cases}$$

где функции  $X_i(f)$  являются Фурье-образами сигналов  $x_i(t)$ .



# Множественный доступ с частотным разделением (FDMA)

Распределение по каналам, для которых выполняется ортогональность сигналов в **частотной области** называется **уплотнением сигнала с частотным разделением (FDM, Frequency Division Multiplexing)** или **множественный доступ с частотным разделением (МДЧР, FDMA, Frequency Division Multiple Access)**.

Для данного метода РС можно представить в виде данной частотно-временной зависимости.

РС может одновременно содержать несколько сигналов, разнесенных в спектре по различным полосам частот. Области спектра, находящиеся между используемыми диапазонами, называют **защитными полосами частот (ЗПС)**.

ЗПС играют роль буфера, что позволяет снизить интерференцию между соседними (по частоте) каналами.



# FDMA.

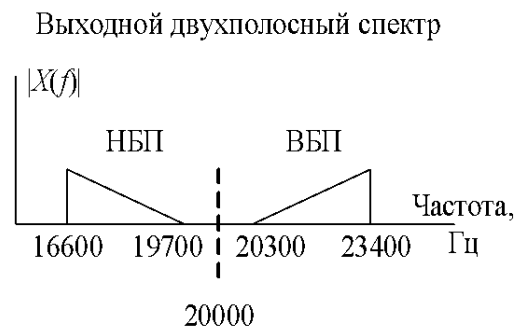
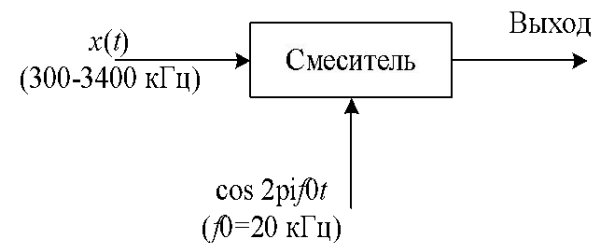
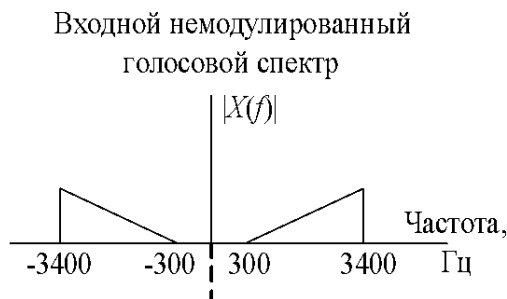
## Модулирование сигнала

Для переноса спектра исходного сигнала в более высокий диапазон частот используется **смешивание (модуляция)** информационного сигнала и гармонического сигнала фиксированной высокой частоты.

Если два входных сигнала описываются синусоидами с частотами  $f_A$  и  $f_B$ , их смесь или перемножение дает частоты  $f_{A+B}$  и  $f_{A-B}$ :

$$\cos A \cos B = \frac{1}{2} [\cos(A+B) + \cos(A-B)]$$

Пример модуляции телефонным сигналом (300-3400 Гц) синусоидального сигнала с частотой 20 кГц.

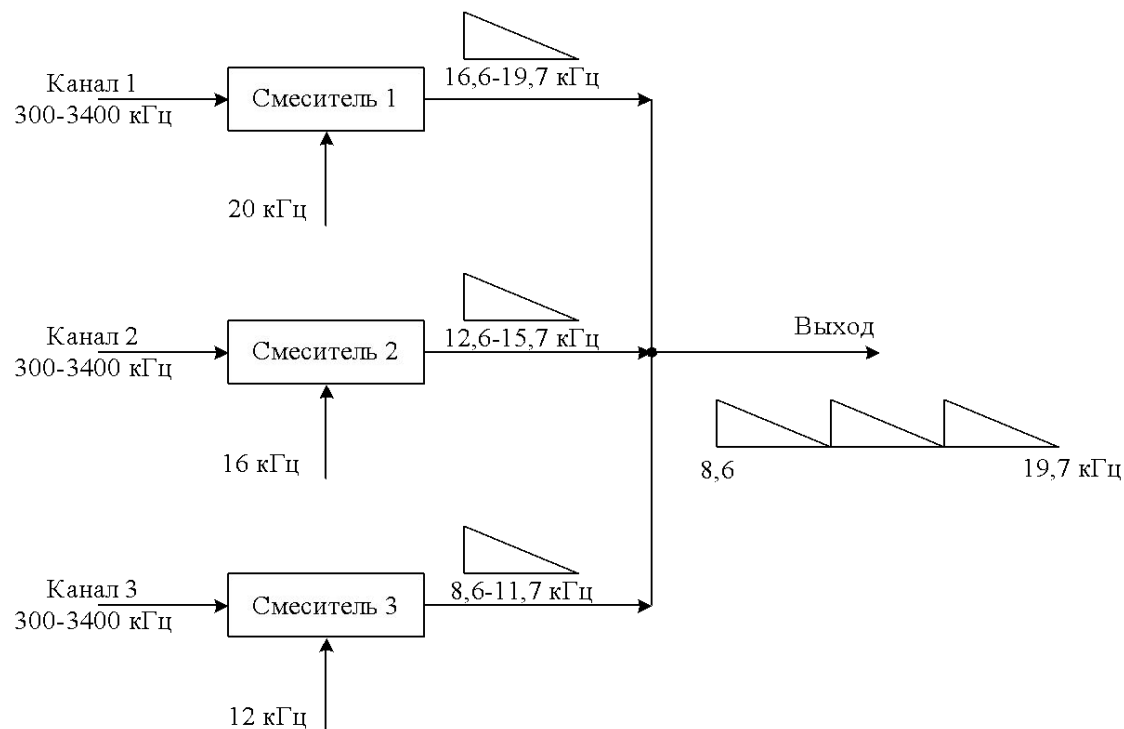


# FDMA.

## Множественный доступ

В результате смешивания спектр смещается в сторону более высоких частот по сравнению с немодулированным спектром. Такой спектр называют **двухполосным**, так как информация находится в двух различных диапазонах частот – **нижней боковой полосе (НБП)** и **верхней БП**. Так как данные в БП одинаковы, то можно использовать только одну из них.

Голосовые каналы модулируют сигналы с различными частотами несущих и сохраняются лишь НБП. Суммарный выходной сигнал представляет собой сумму трех сигналов и находится в диапазоне 8,6-19,7 кГц.



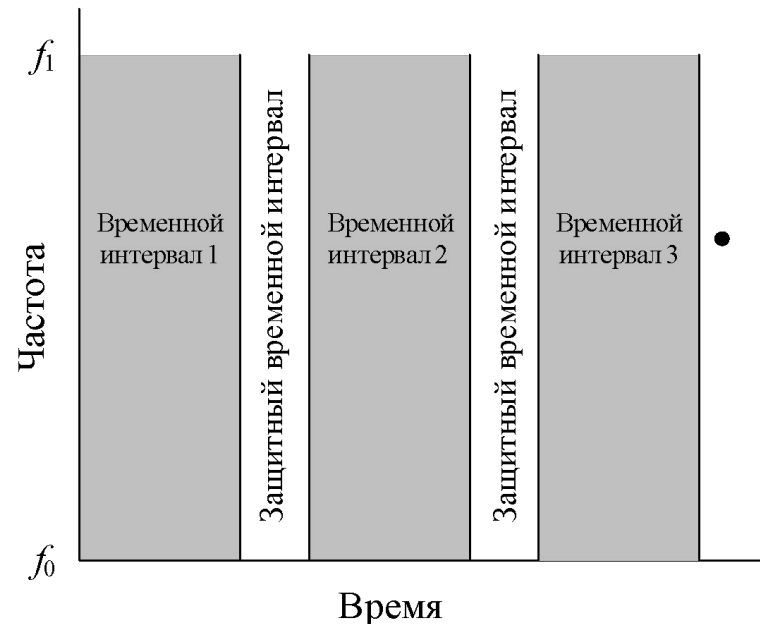
# Множественный доступ с временным разделением (TDMA)

Распределение по каналам, для которых выполняется ортогональность сигналов во временной области называется **уплотнением сигнала с временным разделением (TDM, Time Division Multiplexing)** или **множественный доступ с временным разделением (МДВР, TDMA, Time Division Multiple Access)**.

РС может быть распределен путем предоставления каждому из сигналов (или пользователей) всего спектра в течение небольшого отрезка времени, называемого **временным интервалом**.

Промежутки времени, разделяющие используемые интервалы, называются **защитными интервалами** (буфер между сигналами).

В системах связи весь временной ресурс принято разбивать на интервалы, которые называются **кадрами**. Каждый кадр делится на **временные интервалы**, которые могут быть распределены между пользователями.



# TDMA с фиксированным и динамическим распределением

При использовании **схемы с фиксированным разделением**  $M$  временных интервалов, составляющих кадр, заранее распределены между источниками сигнала на достаточно длительный промежуток времени.



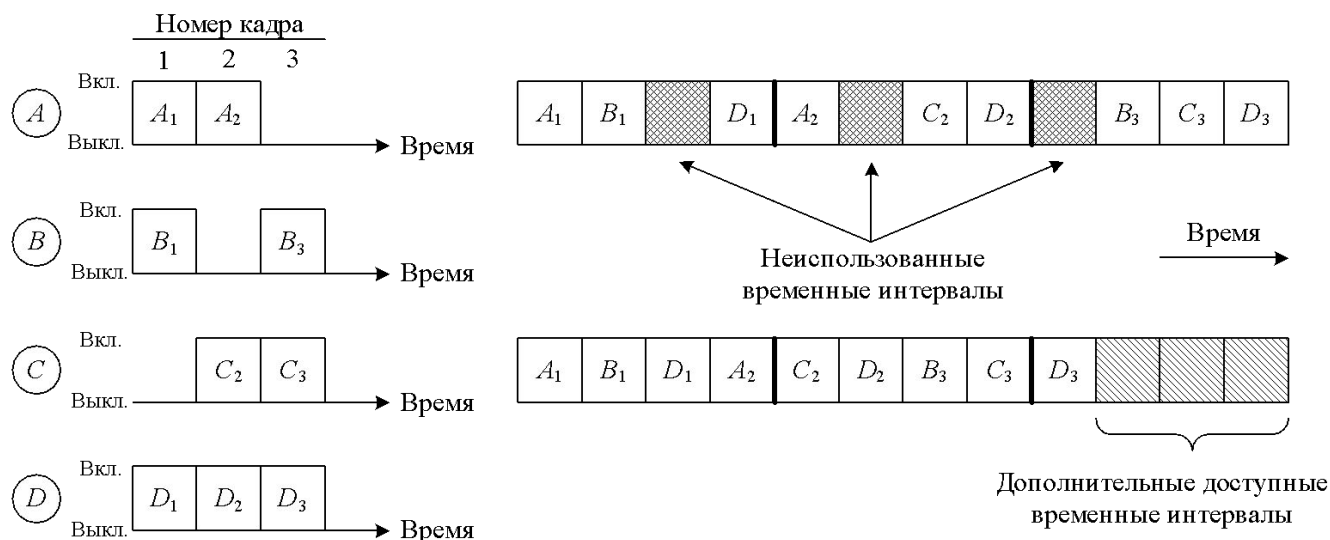
## Состав сообщения:

- начальная комбинация битов (преамбула), обычно состоит из элементов, которые отвечают за синхронизацию, адресацию и защиту от ошибок;
- информационная часть.



# TDMA с фиксированным и динамическим распределением

Схема TDMA с фиксированным разделением является чрезвычайно эффективной, когда требования пользователя можно предвидеть, а поток данных значителен (т.е. временные интервалы практически всегда заполнены), но не оправдывает себя в случае случайного потока данных.



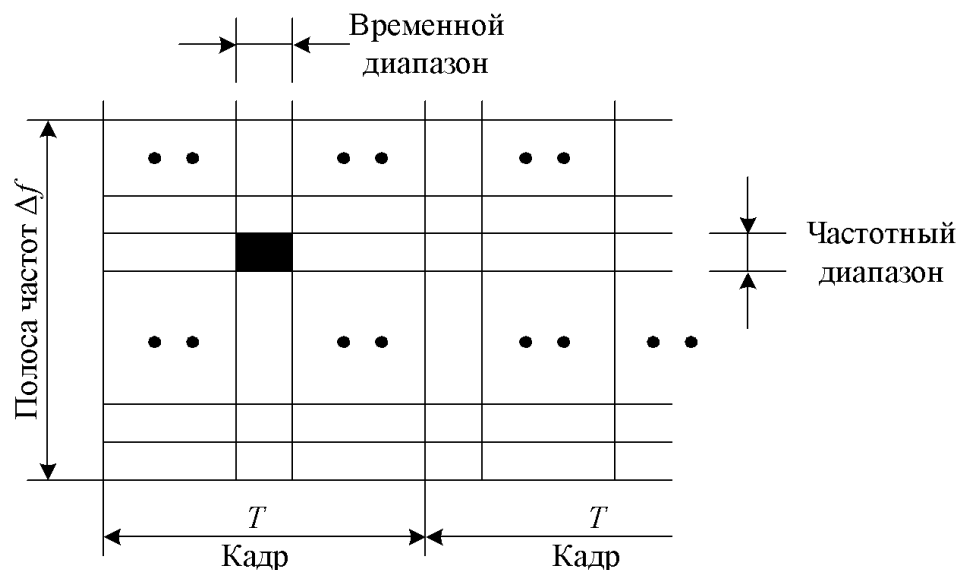
Если требования пользователей непредсказуемы, то применяются методы с использованием **динамического распределения** интервалов, которые позволяют задействовать все доступные временные интервалы.

Существует несколько методов: системы с коммутацией пакетов, статистические мультиплексоры или концентраторы.

## Комбинированный FDMA/TDMA

Комбинированный множественный доступ (FDMA/TDMA) - более общий способ управления РС, позволяющий распределять частотные диапазоны на заранее определенный период времени.

- Полоса частот  $\Delta f$  равномерно распределяется на  $M$  частей.
- Ось времени делится на кадры продолжительностью  $T$ .
- Каждый из кадров разбивается на  $N$  интервалов длительностью  $T/N$ .
- Каждый пользователь может передавать данные, когда начинается его интервал времени, на протяжении которого он может использовать выделенную полосу частот.



# Множественный доступ в стандарте GSM

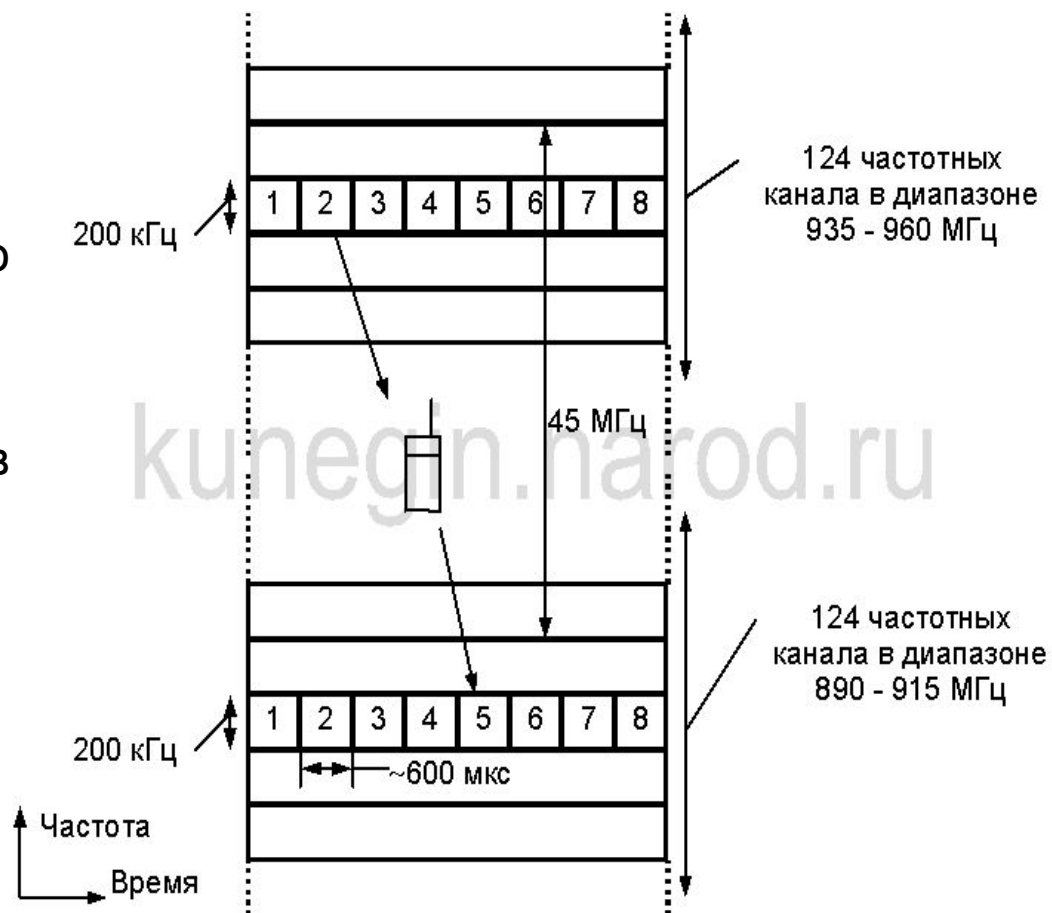
Системы GSM работают в диапазоне около 900 МГц, разбитом на два поддиапазона шириной по 25 МГц : 890..915 МГц (от АС к БС) и 935..960 МГц (от БС к АС) - используется организация дуплексной связи с частотным разделением (FDD).

Каждый частотный поддиапазон разбит на 124 частотных канала.

Ширина полосы каждого частотного канала - 200 кГц.

Речевой канал системы GSM использует пару частотных каналов с результирующим разносом 45 МГц.

Наличие разноса препятствует появлению переходных помех между направлениями приема и передачи.



# Множественный доступ в стандарте GSM

В каждом частотном канале данные передаются в 8 канальных интервалах (КИ), т.е. используется временное разделение каналов.

Восемь КИ объединяются в цикл, а 26 циклов - в повторяющийся циклически сверхцикл длительностью 120 мс.

Длительность КИ составляет около 600 мкс.

Конкретное портативное устройство ведет передачу сигнала базовой станции в одном из КИ.

В течении остальных КИ передача не ведется (передатчик "молчит").



# Множественный доступ с кодовым разделением (CDMA)

CDMA (МДКР) является практическим применением **методов расширения спектра**, которые можно разделить на две основные категории:

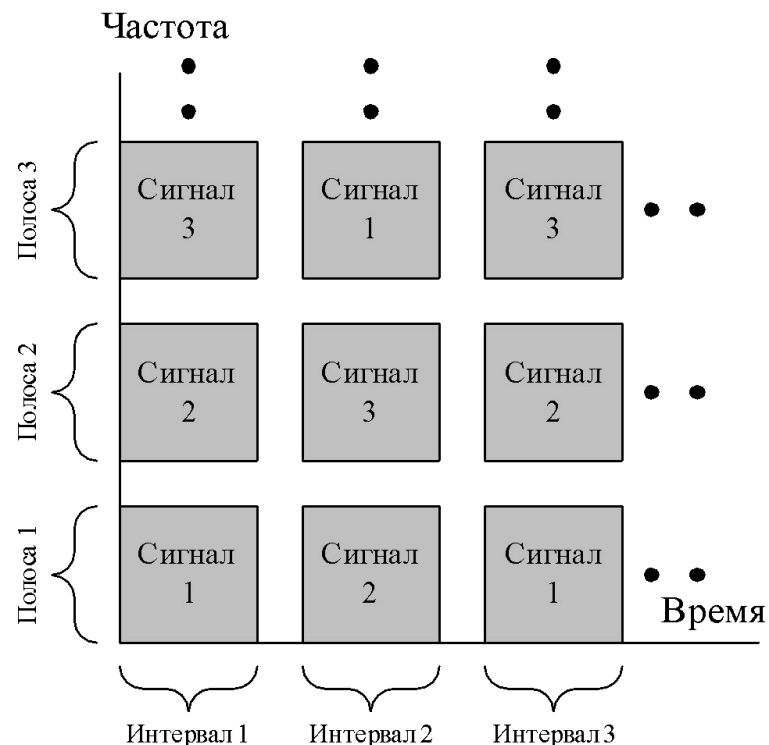
- Расширение спектра методом скачкообразной перестройки частоты (на рис.).
- Расширение спектра методом прямой последовательности (ПП).

В методах расширения спектра полоса частот, используемая для передачи сигнала, намного шире минимальной, необходимой для передачи данных.

Методы расширения спектра актуальны при передаче информации через канал с сильными линейными искажениями (за счет расширения спектра, приводящего к увеличению **базы сигнала**).

**База сигнала** - это произведение эффективного значения длительности сигнала и ширины его спектра:

$$B = \Delta t \cdot \Delta f$$



# Множественный доступ с кодовым разделением (CDMA)



- Система связи называется системой с расширением спектра в случаях, если:
- 1.используемая полоса частот значительно шире минимальной, необходимой для передачи данных;
  - 2.расширение спектра производится с помощью так называемого расширяющего (или кодового) сигнала, который не зависит от передаваемой информации;
  - 3.восстановление исходных данных приемником осуществляется путем сопоставления полученного сигнала и синхронизированной копии расширяющего сигнала («сужение спектра»).

# CDMA. Расширение спектра на основе прямой последовательности

В данном **методе** исходная битовая последовательность передаваемого сигнала перемножается с импульсами псевдослучайной последовательности (ПСП).

Импульсы ПСП имеют вид прямоугольных импульсов одинаковой амплитуды и длительностью, много меньшей длительности бита передаваемого сообщения.

Импульсы ПСП короче битовых, поэтому их спектр много шире спектра битовых посылок. В результате перемножения получается импульсный сигнал с широким спектром.

Моменты появления импульсов ПСП определяются псевдослучайным законом, известным и на передающей, и на приемной сторонах.

Далее этим сигналом модулируют гармонический сигнал несущей частоты и получают радиосигнал с расширенным спектром.

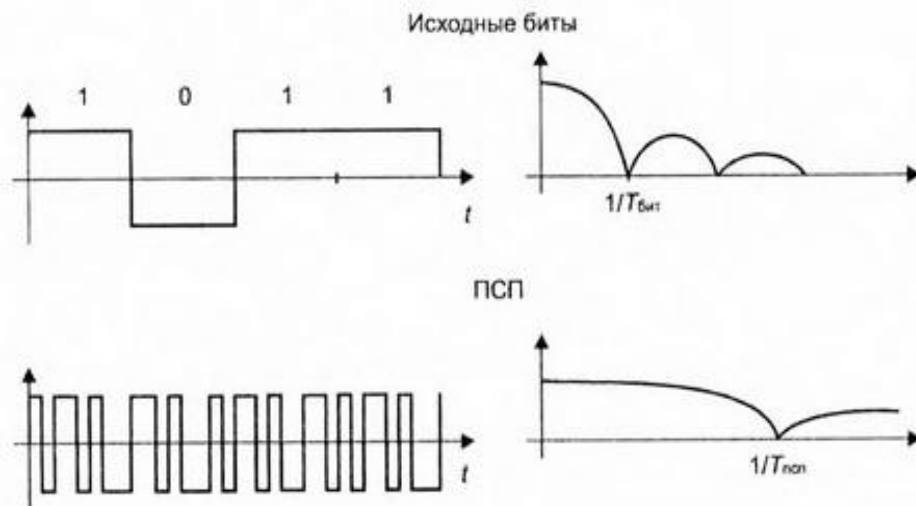
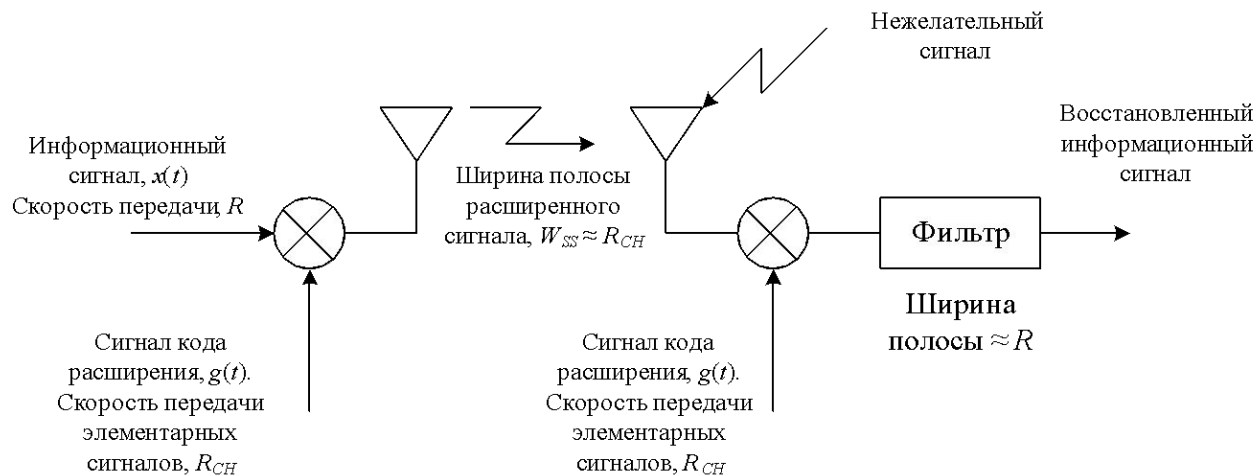


Рис. Примерный вид соотношения битовой последовательности и ПСП

# CDMA. Расширение спектра на основе прямой последовательности



В основе метода расширения спектра на основе ПП лежит **операция свертки** в частотной области, которая соответствует перемножению функций во временной области.

$$x(t)g(t) \leftrightarrow X(\omega) * G(\omega)$$

$$X(\omega) * G(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega_1)G(\omega - \omega_1)d\omega_1$$

Если информационный сигнал является узкополосным (по сравнению с расширяющим сигналом), произведение  $x(t)g(t)$  будет приблизительно равно ширине полосы расширяющего сигнала.

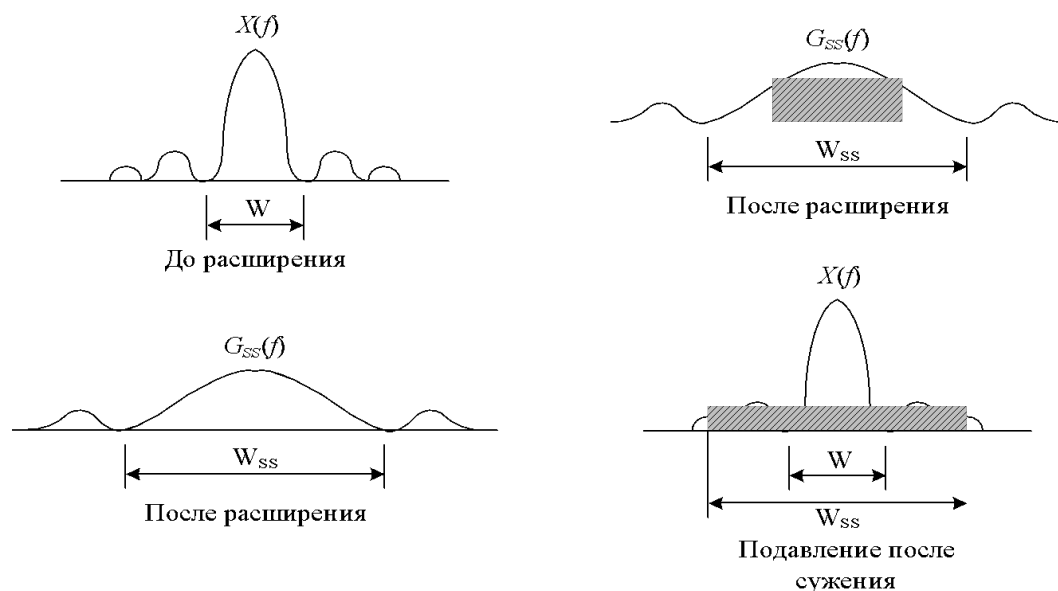


# CDMA. Расширение спектра на основе прямой последовательности

В демодуляторе полученный сигнал умножается на синхронизированную копию расширяющего сигнала  $g(t)$ , в результате чего получается суженный сигнал. Для отсеивания побочных высокочастотных компонентов используется фильтр с шириной полосы  $R$ . Любой нежелательный сигнал, полученный приемником, будет расширен путем умножения на  $g(t)$ , также как передатчик расширяет исходный сигнал.

## Особенности схемы:

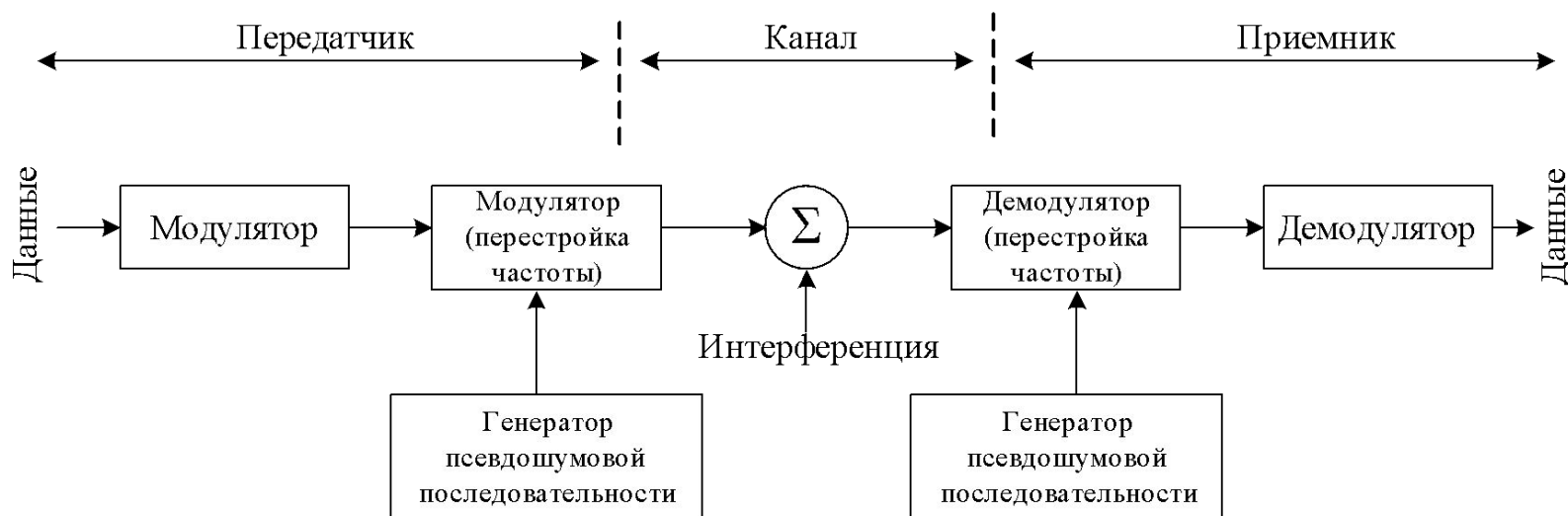
1. однократное умножение на  $g(t)$  приводит к расширению диапазона сигнала;
2. повторное умножение и последующее фильтрование восстанавливают исходный сигнал;
3. исходный сигнал умножается дважды, тогда как помеха умножается только один раз.



# CDMA. Расширение спектра методом скачкообразной перестройки частоты

В методе расширения спектра скачками по частоте спектр одного канала узкополосный, но его положение в пределах выделенного диапазона частот меняется по псевдослучайному закону путем скачкообразного изменения частоты несущей.

При использовании диапазона многими пользователями каждый ведет передачу/прием в пределах узкополосного канала, но в разные моменты времени на разных частотах несущей. Смена частот несущих у всех пользователей производится синхронно. В результате по псевдослучайному закону окажется заполненным весь выделенный диапазон.



# CDMA. Расширение спектра методом скачкообразной перестройки частоты



Систему можно рассматривать как **двухэтапный процесс модуляции**:

1. Модуляция информацией
2. Модуляция перестройкой частоты.

Частота несущей является псевдослучайной (псевдослучайные коды ортогональны друг другу).

При каждом скачке генератор псевдослучайного сигнала передает синтезатору частот частотное слово (последовательность элементарных сигналов).

## **Минусы:**

- Системы с медленной перестройкой частоты – это вероятность случайного появления мощных пакетов ошибок;
- с быстрой перестройкой частоты - дорогие высокоскоростные синтезаторы;
- с ПП - все хорошо, только существуют ограничения на расширение спектра, а также порой значительная цена.

**Плюсы:** Преимущества МДКР перед МДЧР и МДВР – конфиденциальность, отсутствие каналов с замираниями, сопротивление подавлению.