

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДОСТУПА OFDM И ЕГО МОДЕРНИЗАЦИЯ В ЦИФРОВОМ ТВ

Лохвицкий Михаил Сергеевич

К.т.н., доцент(МТУСИ)

Хромой Борис Петрович

Д.т.н., профессор (МТУСИ)



ЗАЧЕМ НУЖЕН OFDM

Пусть используется одна несущая, а скорость передачи - $V = 100$ Мбит/с, при такой скорости длительность импульса - $T_{\text{и}} = 10^{-8}$ с.

Если время задержки прихода второго луча равно длительности импульса, то этот луч накладывается на следующий импульс. Разность хода лучей равна $S = C \cdot T_{\text{и}} = 3 \cdot 10^8 \cdot \text{м/с} \cdot 10^{-8} \text{ с} = 3 \text{ м}$.
(здесь $C = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ скорость распространения сигнала по радиоканалу)

Такая разность в ходе лучей происходит практически всюду.

Если $T_{\text{и}} = 10^{-6}$ с, то разность хода лучей $S = 300 \text{ м}$.

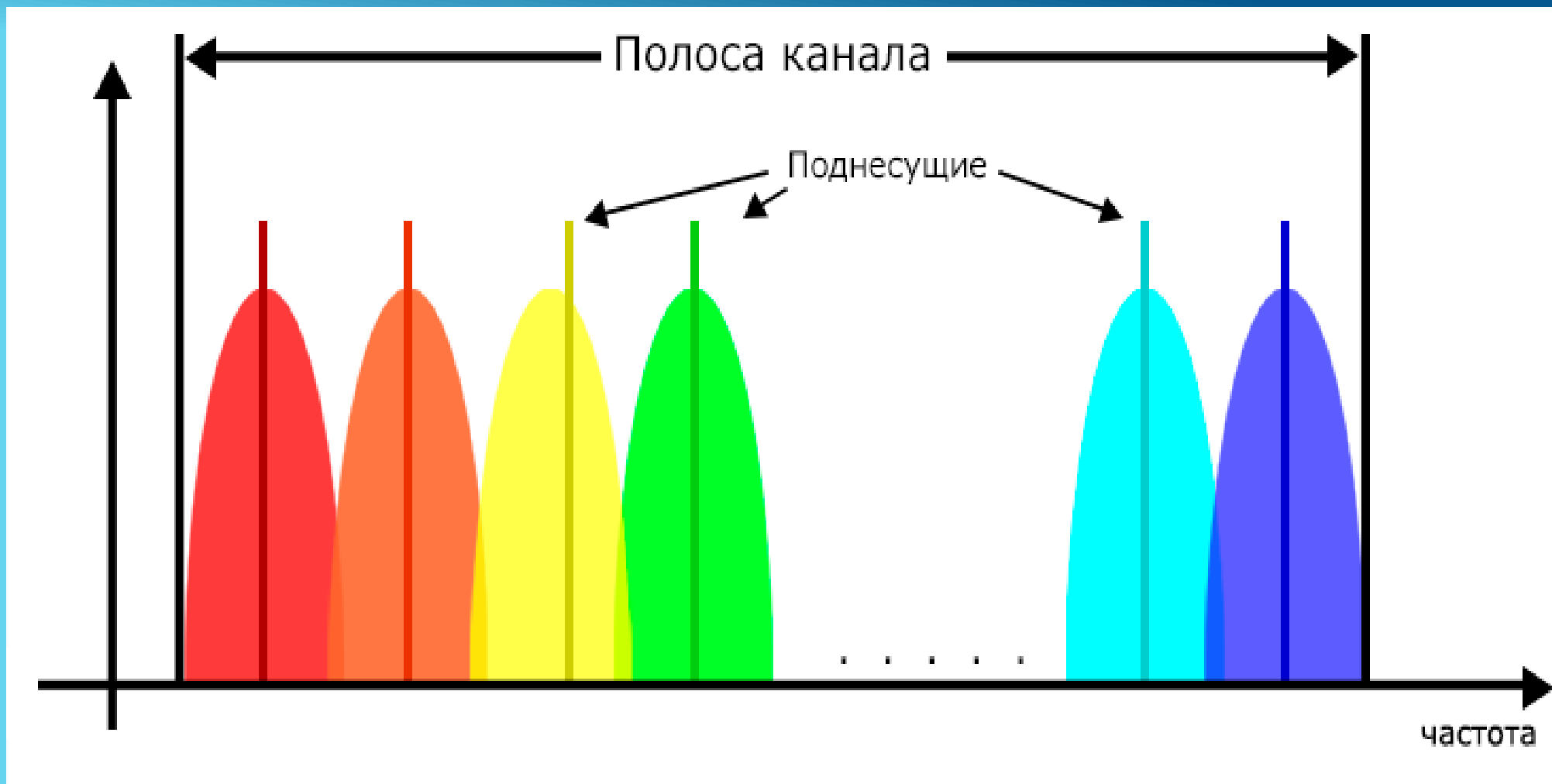
Если $T_{\text{и}} = 10^{-5}$ с, то $S = 3000 \text{ м}$.

Следовательно, нужно увеличить длительность импульса, что, соответственно, уменьшит скорость передачи по каналу, а нам не подходит.

Вывод: использовать метод OFDM.

OFDM (*ORTHOGONAL FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING — МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ*)

В методе мультиплексирования *OFDMA* входящий поток данных делится на множество параллельных подпотоков с более низкой скоростью передачи (что приводит к увеличению длительности символа), а каждый подпоток модулируется и передается на своей ортогональной поднесущей.



Количество поднесущих в цифровом телевидении выбрано 1705 или 6817.

Ортогональность поднесущих позволяет на приёме выделить каждую поднесущую из суммарного сигнала даже в случае частичного перекрытия полос их спектров. Условием ортогональности поднесущих является равенство (1):

$$\Delta f = f_i - f_{i-1} = 1/T_u \quad (1)$$

$\Delta f = 4,464$ Гц при 1705 поднесущих (режим 2K);

$\Delta f = 1,116$ Гц при 6817 поднесущих (режим 8K).

Ширина спектра OFDM сигнала для двух режимов равна:

$$1704 \times 4464 \text{ Гц} = 6816 \times 1116 \text{ Гц} \approx 7,61 \text{ МГц}$$

ЗАЩИТНЫЙ ИНТЕРВАЛ

Для повышения устойчивости сигнала к разбросу задержки в каждой поднесущей вводится защитный интервал Δ (за счёт уменьшения длительности символа OFDM)

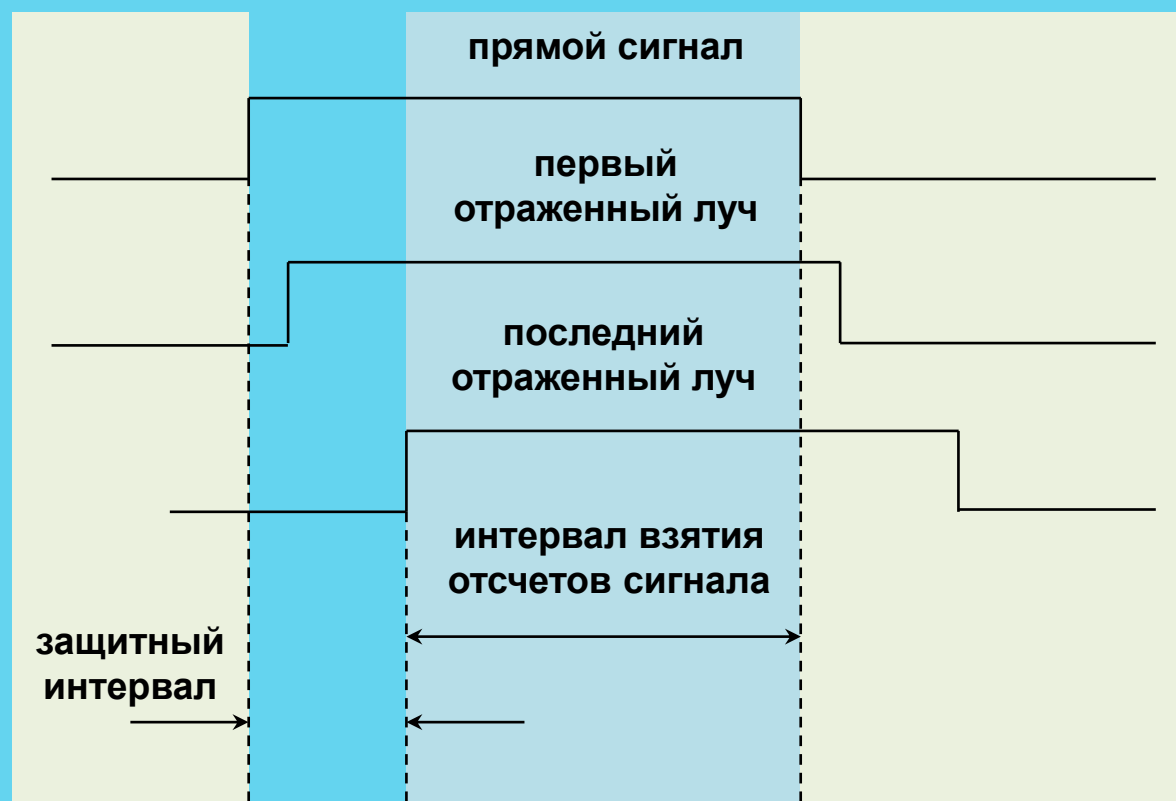


Рис. 2. Выбор величины защитного интервала Δ .

ЦИКЛИЧЕСКИЙ ПРЕФИКС

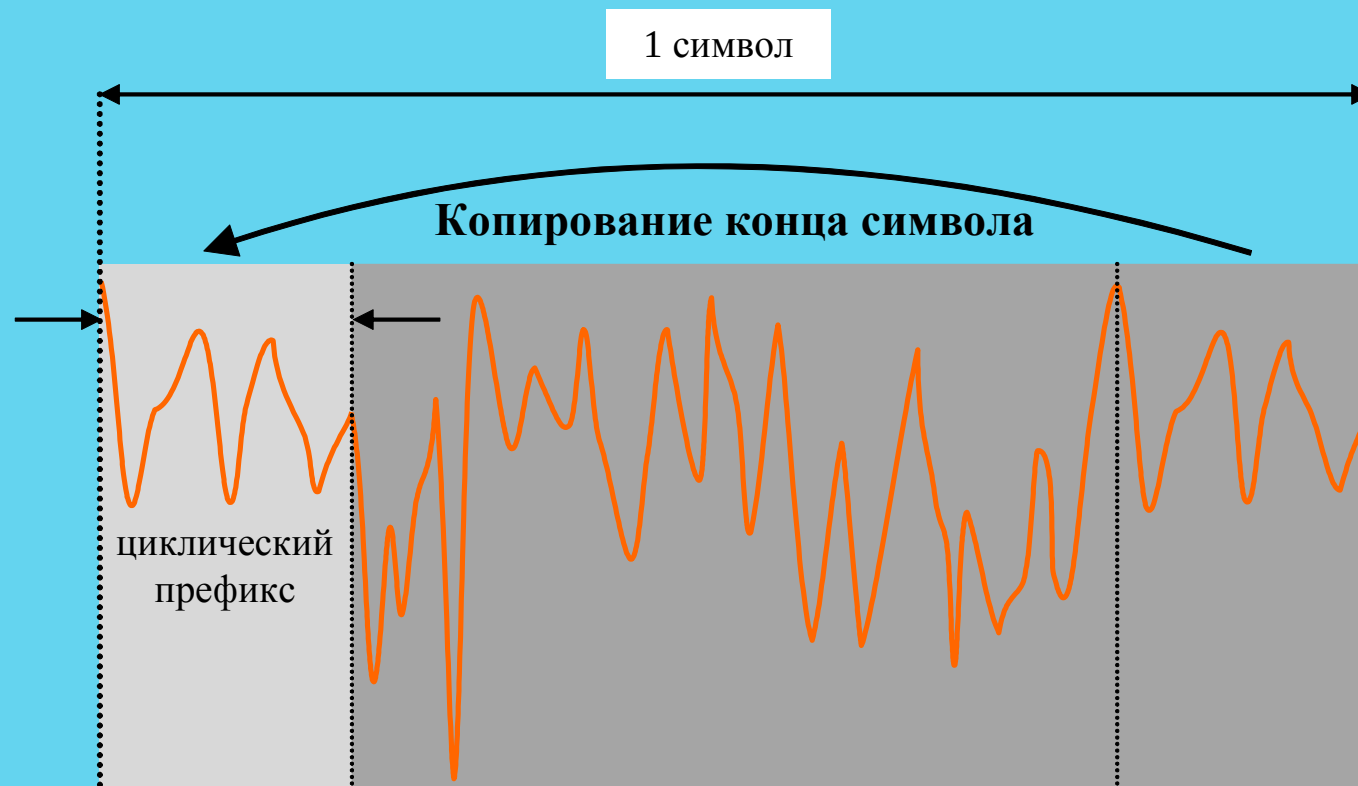


Рис.3. Циклический префикс представляет собой конец символа.

ЗНАЧЕНИЯ T_u , T_s , Δ ДЛЯ РАЗНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

ТАБЛИЦА 1.

Режим 2К				
Δ / T_u	1/4	1/8	1/16	1/32
T_u	2048 T_0 = 224 мкс			
Δ	512 T_0 = 56 мкс	256 T_0 = 28 мкс	128 T_0 = 14 мкс	64 T_0 = 7 мкс
Режим 8К				
Δ / T_u	1/4	1/8	1/16	1/32
T_u	8192 T_0 = 896 мкс			
Δ	2048 T_0 = 224 мкс	1024 T_0 = 112 мкс	512 T_0 = 56 мкс	256 T_0 = 28 мкс

ЗДЕСЬ T_0 ВРЕМЕННАЯ ЕДИНИЦА ТАКТИРОВАНИЯ $T_0 = 7/64$ МКС $\approx 11 \times 10^{-8}$ С.

ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА OFDM

- ▶ -способность противостоять сложным условиям в радиоканале, в первую очередь устранять межсимвольную интерференцию и бороться с узкополосными помехами;
- ▶ -простая реализация методами цифровой обработки;
- ▶ -возможность использования различных схем модуляции для разных поднесущих, что позволяет адаптироваться к условиям распространения сигнала и к различным требованиям к качеству принимаемого сигнала.

НЕДОСТАТКИ МЕТОДА OFDM

- ▶ - необходима высокоточная синхронизация и по времени и по частоте;
- ▶ - использование защитных интервалов снижает эффективность метода;
- ▶ - метод чувствителен к эффекту Доплера (для стационарных абонентов ТВ это не важно);
- ▶ - технология характеризуется высоким уровнем пик-фактора, в линии вверх, что приводит к чрезмерным энергетическим затратам, поэтому там используется C-FDMA (для абонентов ТВ при отсутствии обратной связи это не принципиально).

СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА OFDM (ТЕОРИЯ)

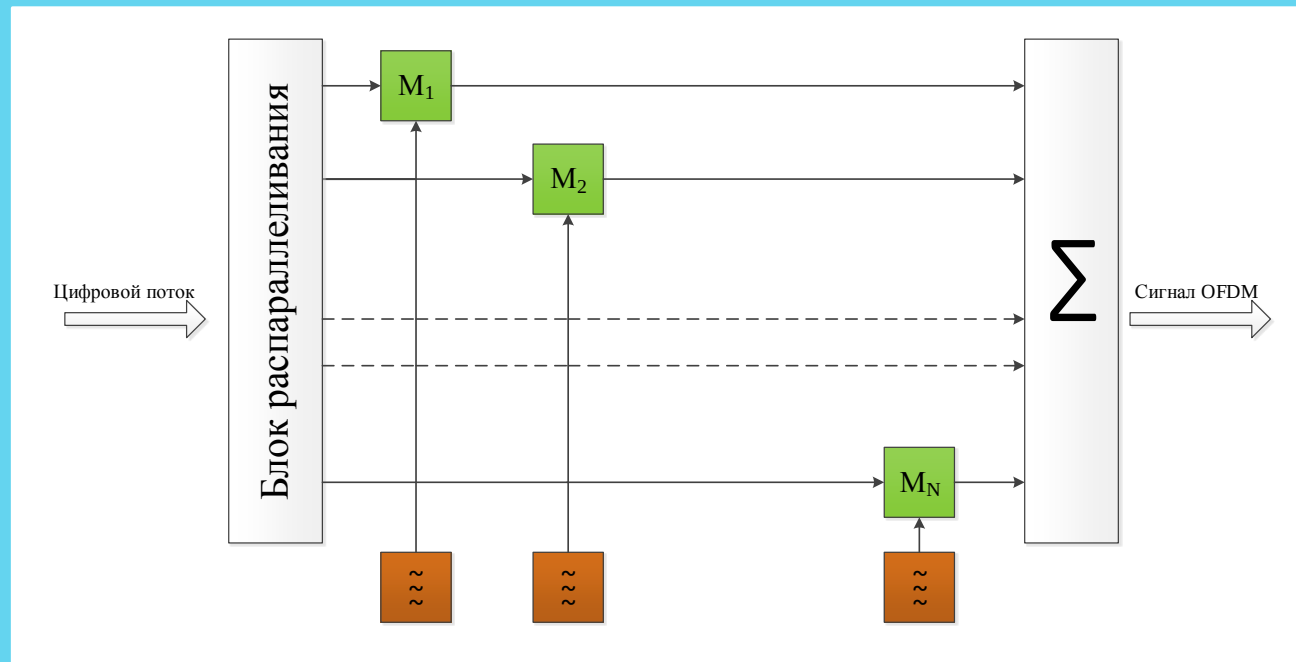


Рис. 4. Функциональная схема устройства модуляции OFDM.

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОБРАТНОГО (1) И ПРЯМОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФУРЬЕ (2).

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{\frac{-2\pi i k n}{N}} \quad k = 0, 1, \dots, N-1; \quad (1)$$

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{2\pi i k n}{N}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1. \quad (2)$$

Для дискретного преобразования Фурье необходимо в реальном времени произвести N^2 вычислений, что затруднительно. Поэтому используют методы вычислительной математики, а именно быстрое преобразование Фурье. Это преобразование позволяет резко снизить объём вычислений (это особенно заметно при больших N) в случае, когда $N = 2^k$. В стандартах телевидения $N=K$, или $N=2K$, или $N=4K$. или $N=8K$, или $N=16K$, или $N=32K$. Здесь $K = 2^{10}$.

СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА OFDM

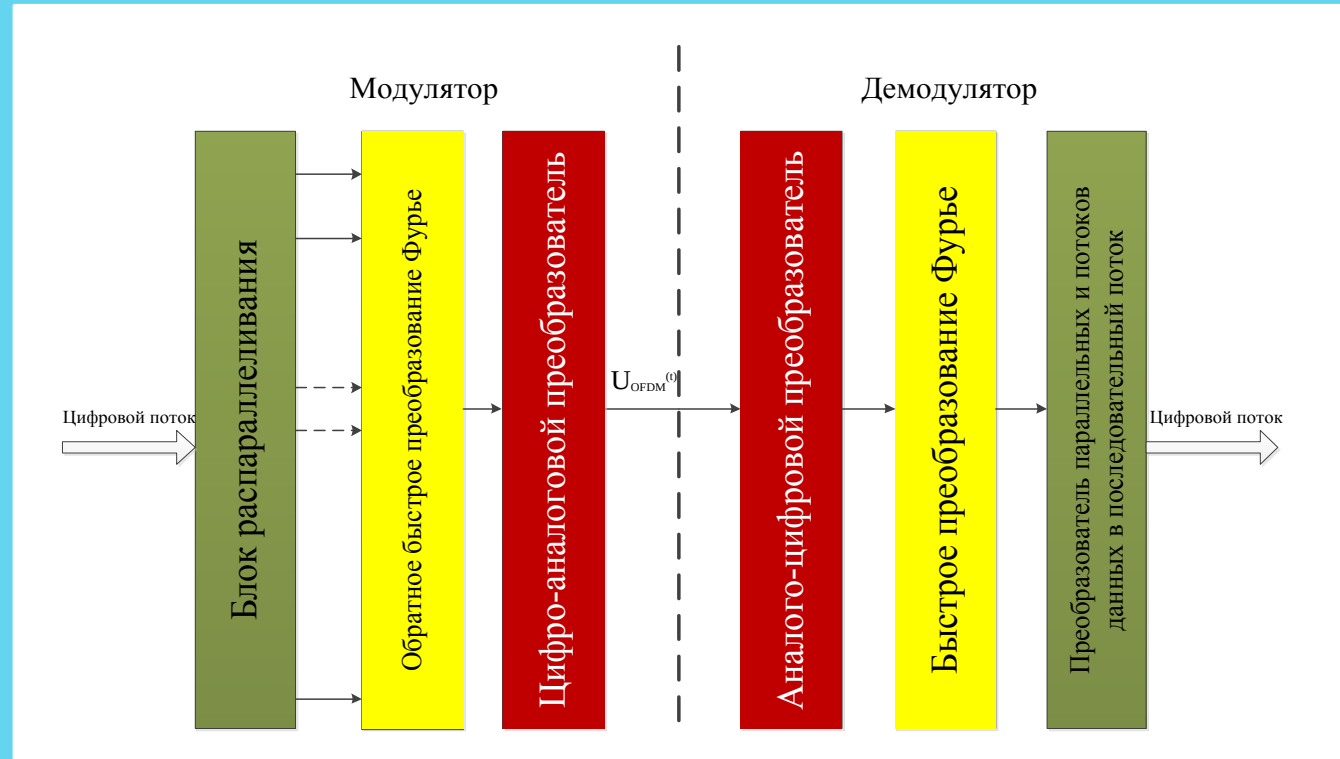


Рис.5. Функциональная схема OFDM с использованием обратного и прямого преобразований Фурье.

АЛГОРИТМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЁМА СИГНАЛА В КАНАЛАХ С МНОГОЛУЧЕВОСТЬЮ

С многолучевостью нужно не «бороться», а её использовать!
Для этого нужно оценивать импульсный отклик канала

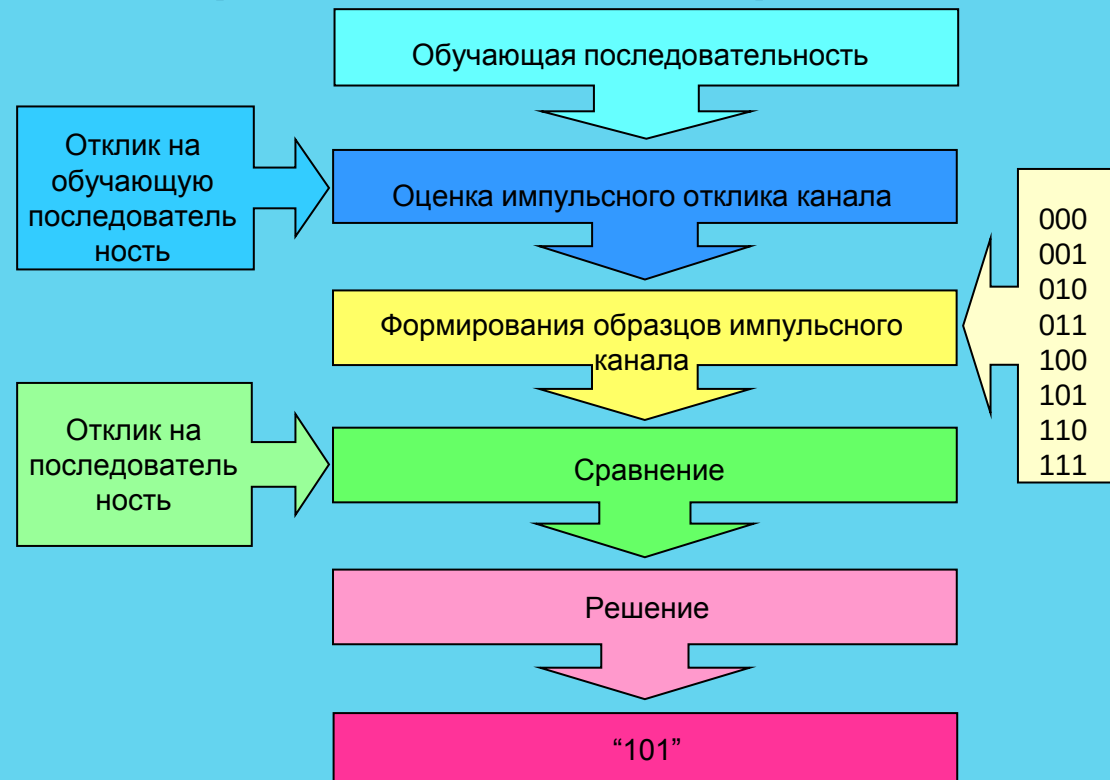


Рис. 6. Структурная схема оптимального приёма .

ВЫВОДЫ

1. При обработке больших массивов входных данных (N) необходимо провести сравнение с 2^N образцов откликов сигналов.

Можно сократить количество сравнений, используя алгоритм Витерби.

2. Использование импульсного отклика канала позволяет в части символов не применять защитные интервалы, что позволяет повысить скорость передачи информации, а следовательно и её количество

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Several thin, parallel white lines of varying lengths and angles are positioned in the bottom right corner of the slide, creating a modern, geometric design element.