

# Алгоритм частотной синхронизации сигналов с OFDM

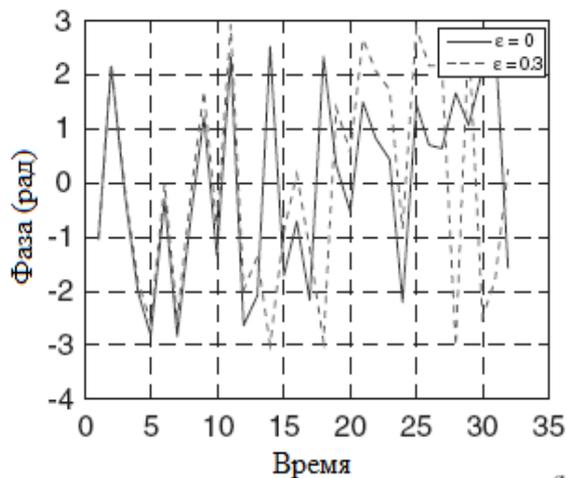
Докладчик - Землянов Иван Сергеевич

Доцанов Е.Х.

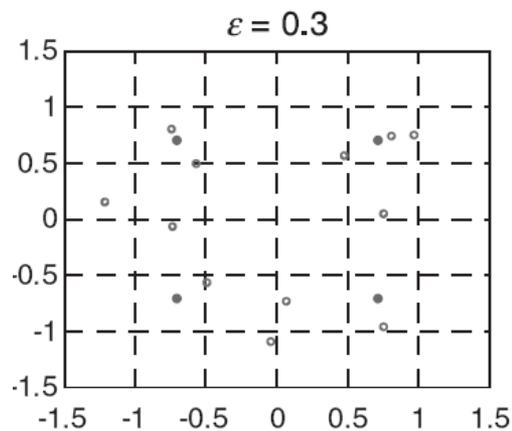
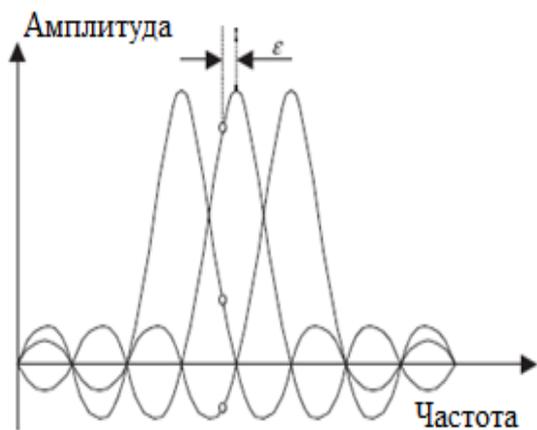
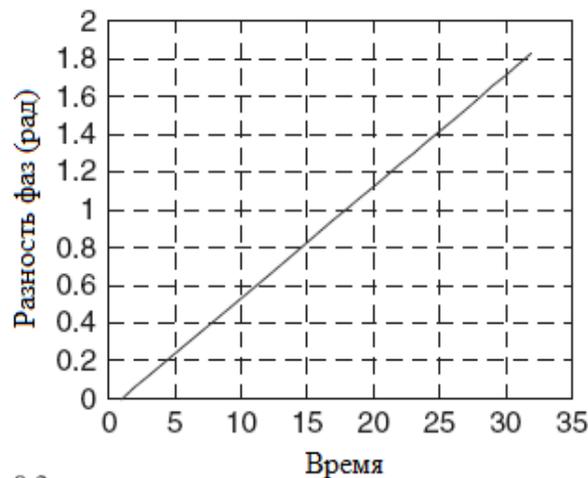
# Проблемы связи OFDM сигналами с быстродвижущимися объектами

- Наличие расстройки по частоте принятого и переданного сигналов и необходимость разработки дополнительных аппаратных и программных средств, призванных компенсировать данную расстройку.
- Большая вычислительная сложность алгоритмов частотной синхронизации
- Необходимость операции частотной синхронизации на этапе вхождения в связь и подсинхронизации на этапе ведения связи
- Низкая помехоустойчивость алгоритмов частотной синхронизации.

# Влияние расстройки частоты на OFDM сигнал



(b)  $\epsilon = 0.3$



$$I_l[k] = e^{j\pi\epsilon_f(N-1)/N} \sum_{m=0, m \neq k}^{N-1} \left\{ \frac{\sin(\pi(m-k + \epsilon_f))}{N \sin(\pi(m-k + \epsilon_f)/N)} \right\} H[m] X_l[m] e^{j\pi(m-k)(N-1)/N}$$

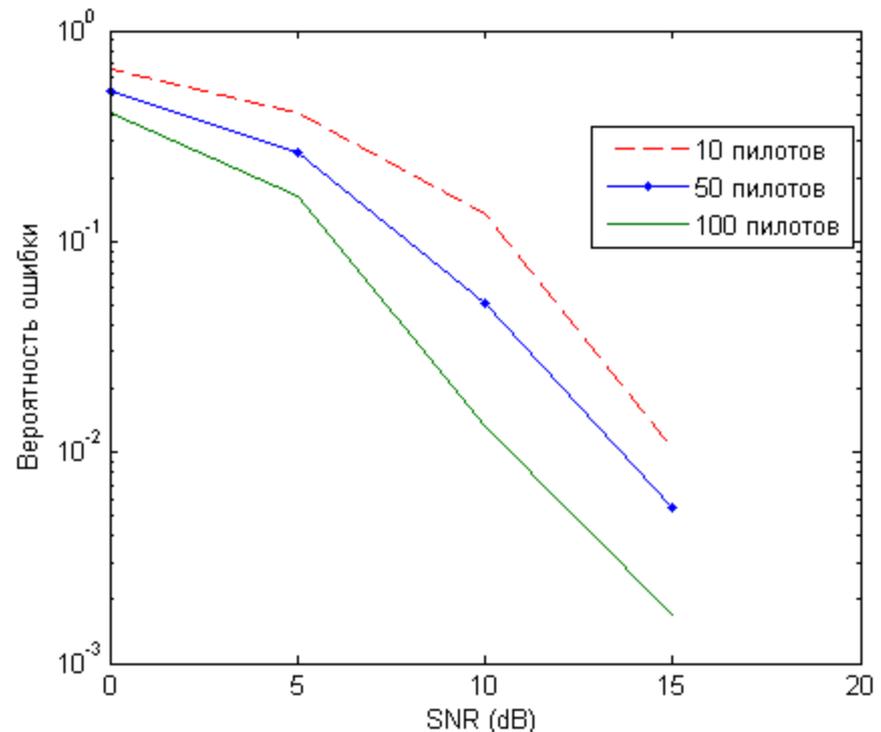
# Метод частотной синхронизации на основе апостериорной информации, передаваемой пилот-сигналами

- Суть: частотная расстройка определяется по минимуму суммарной ошибки между принятой и передаваемой последовательностями
- Число операций необходимых для выявления числа ошибок при данном частотном сдвиге:

$$N_2 = N_{\text{модуляция}} + N_{\text{сравнение}}$$

$$N_{\text{модуляция}} = N_{\text{FFT}} \cdot \log_2(N_{\text{FFT}});$$

$$N_{\text{сравнение}} = N_{\text{FFT}} \cdot 2$$



# Преимущества и недостатки

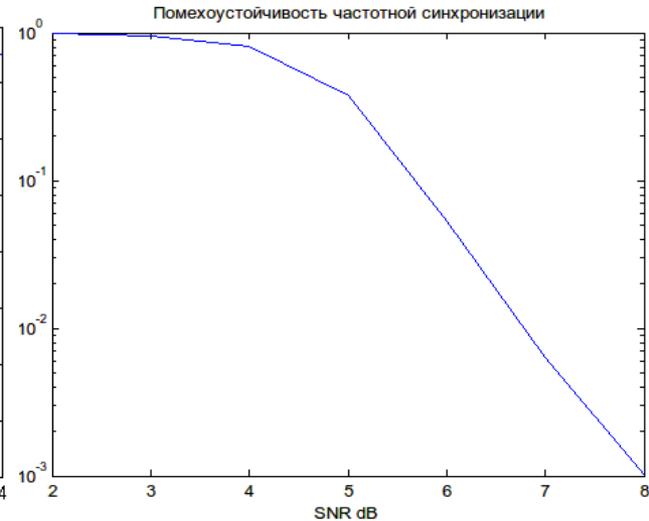
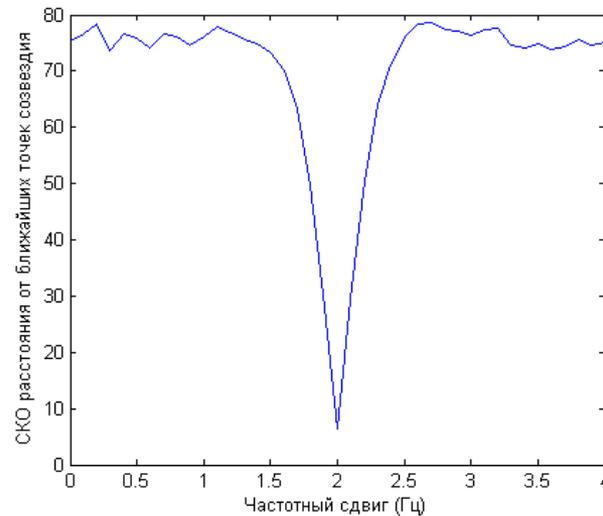
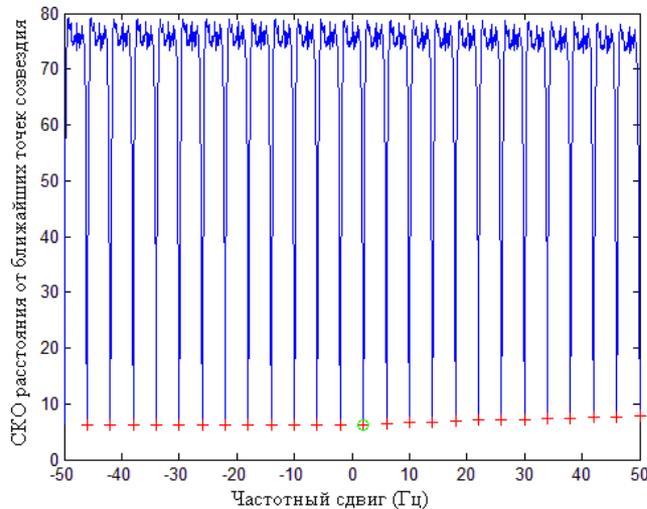
## Плюсы:

- Большая граница определения частотной рассинхронизации
- Простота реализации алгоритма

## Минусы:

- Помехоустойчивость зависит от числа пилот-сигналов участвующих в анализе
- Низкая помехоустойчивость
- Высокие требования к производительности ПК

# Метод частотной синхронизации по минимуму среднеквадратичного отклонения от ближайших точек созвездия



Суть: Для каждой поднесущей ищется расстояние до ближайшей точки созвездия. А затем для всех поднесущих находится СКО расстояния от точек созвездия при данном частотном сдвиге. Частотный сдвиг при котором наблюдается минимум СКО считается истинным

# Преимущества и недостатки

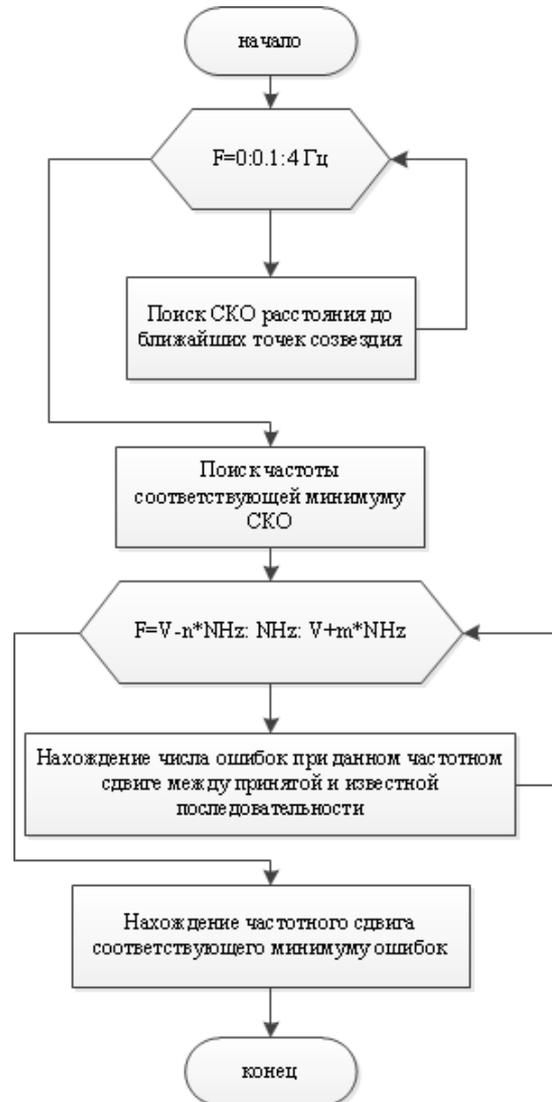
## Плюсы:

- Простота реализации алгоритма
- Низкие требования к производительности ПК
- Высокая помехоустойчивость

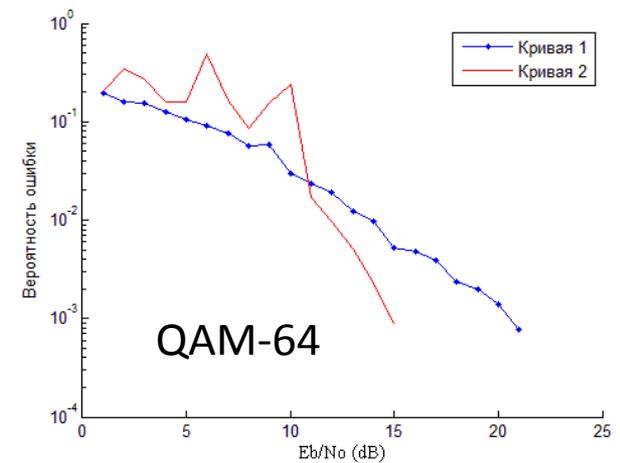
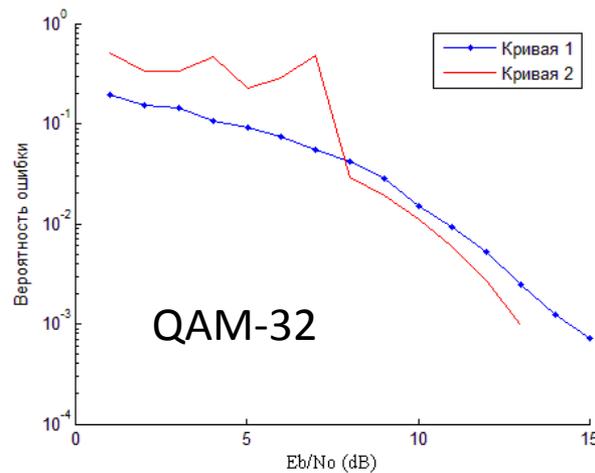
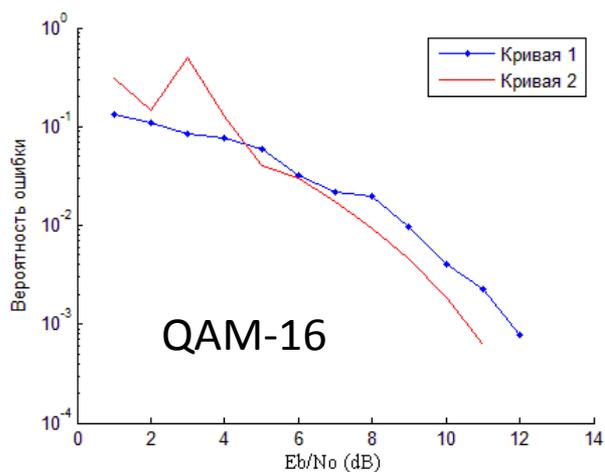
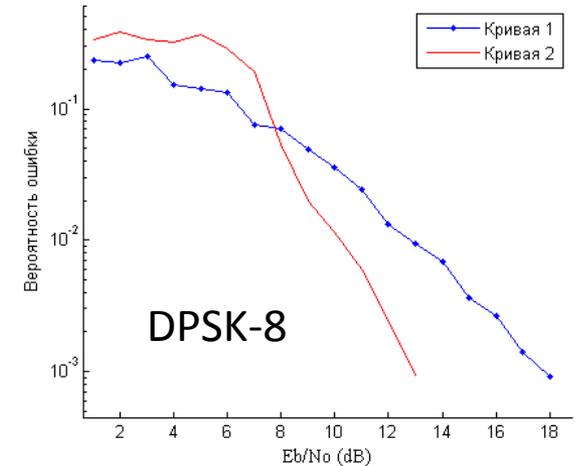
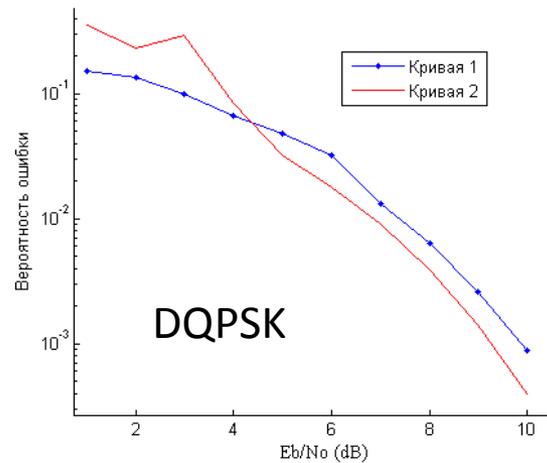
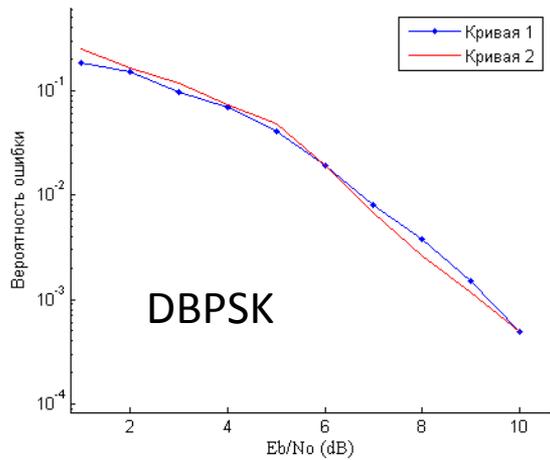
## Минусы:

- Граница определения частотной рассинхронизации  $f \in (-dF/2 ; dF/2)$ ,  $dF$  - расстояние между поднесущими

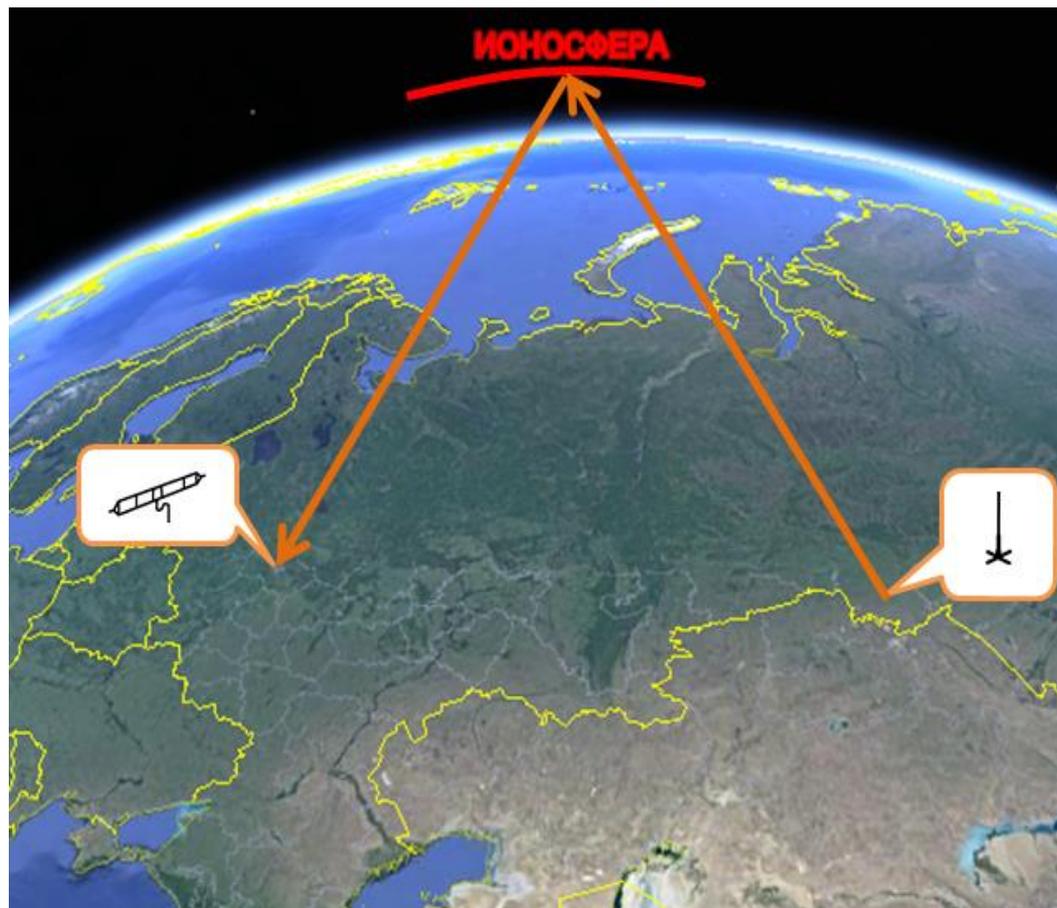
# Интегрированный метод частотной синхронизации



# Сравнение помехоустойчивостей OFDM модема с использованием различных алгоритмов частотной синхронизации



# Результаты трассовых испытаний с имитацией доплеровского сдвига частоты



Доплеровский сдвиг	0 Гц		+40 Гц		-40 Гц	
Полоса сигнала, Гц	500	1800	500	1800	500	1800
Скорость, бит/с	232	832	232	832	232	832
Вероятность ошибки, турбо-код	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$6.1 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-3}$