

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕМОДУЛИРОВАННОЙ НЕСУЩЕЙ
СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ЧАСТОТЫ
С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА КЕЯ

Денис Дмитриевич Привалов
с.н.с. ИРФЭ ОНЦ СО РАН

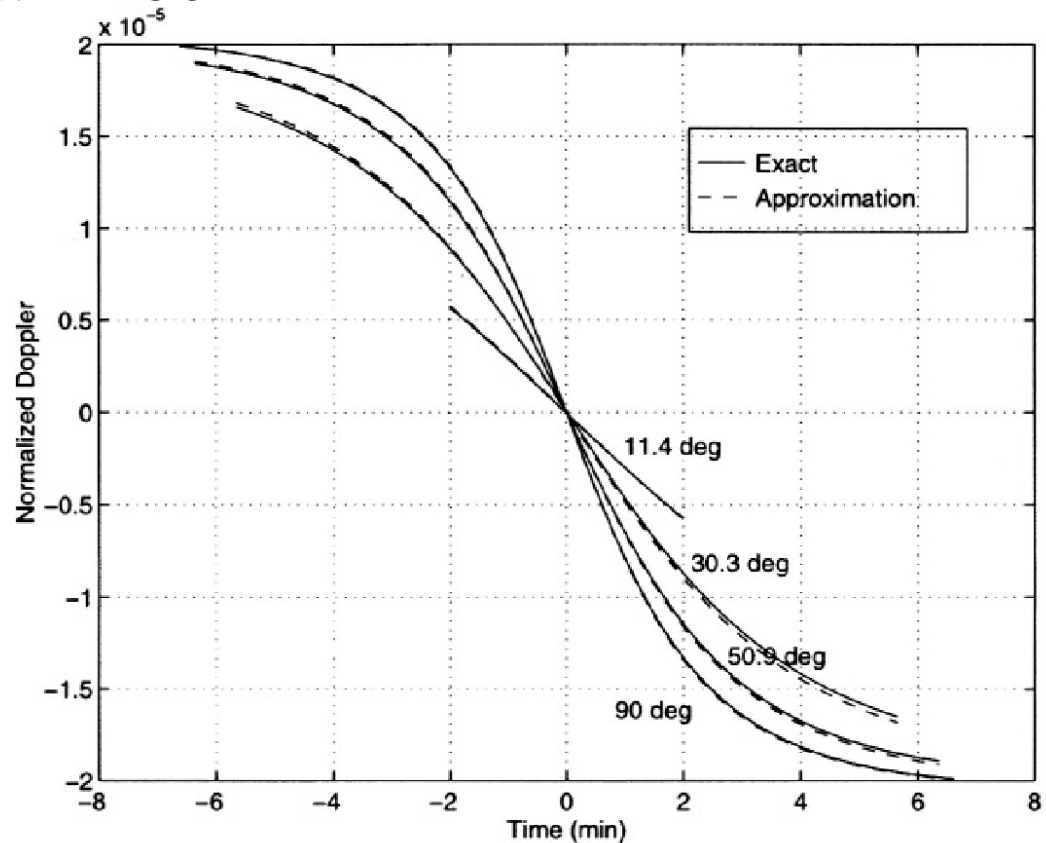
Омск - 2024

Актуальность

В реальных системах связи неизбежно влияние множества дестабилизирующих факторов. К нарушению целостности структуры сигналов приводит наличие аддитивных шумов и помех. Нестабильность опорных генераторов передающих и принимающих устройств вызывает рассогласование их временных шкал и, как следствие, тактовых частот. Эффект Доплера в результате перемещения в пространстве радиотехнических систем требует поиска по частоте и сопровождения по фазе принимаемого сигнала.

Актуальность

Реальные и приближённые доплеровские S-кривые для различных максимальных углов возвышения



Существует множество различных способов определения частоты сигнала. Однако в данной работе будет рассматриваться только алгоритм Кея, как один из наиболее простых способов оценки частоты, особенно по неманипулированной несущей, которая часто используется в пилотных вставках.

Постановка задачи

Принимаемая смесь сигнала и шума:

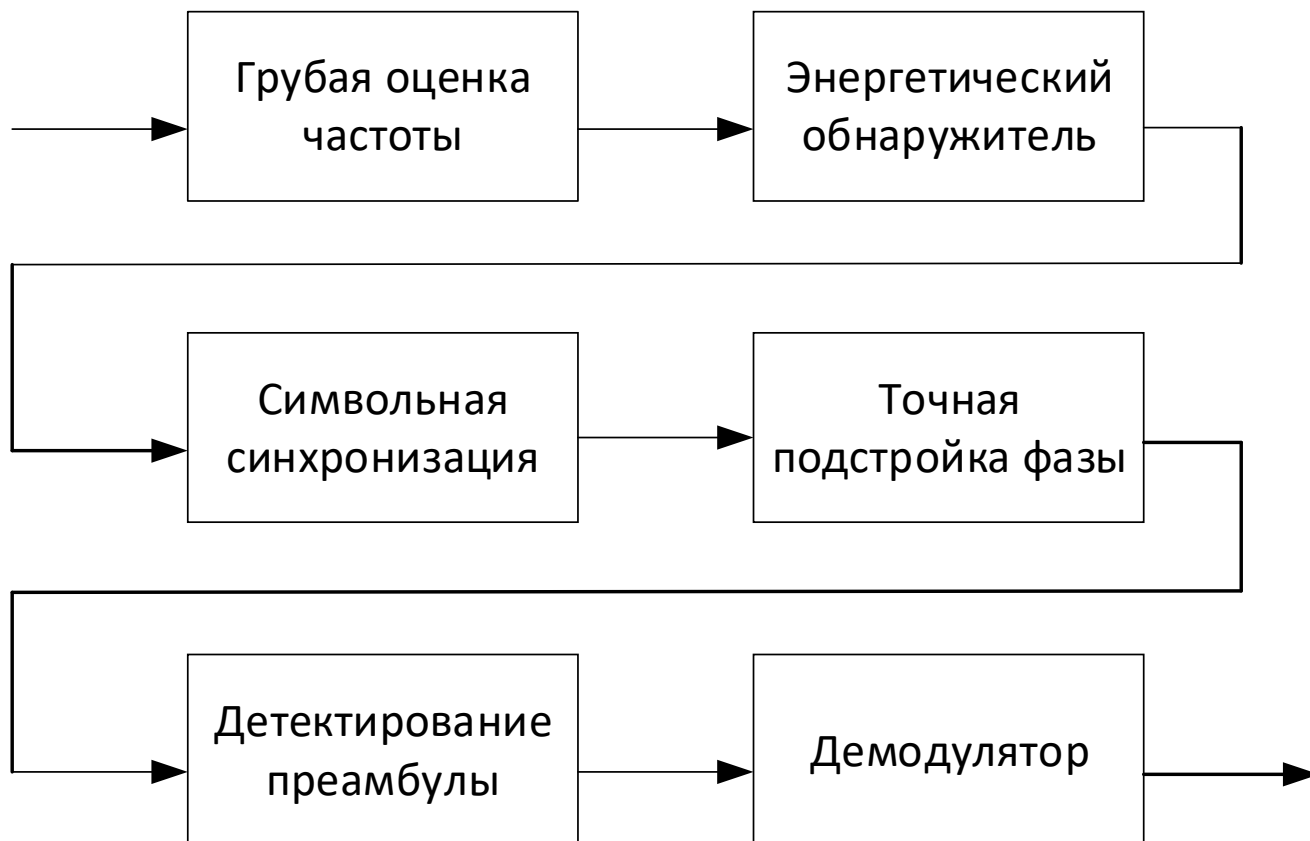
$$r(k) = Ae^{j(2\pi\nu(kT_s + \tau) + \theta)} + n(k)$$

A - амплитуда сигнала τ - временная задержка
 ν - частотный сдвиг θ - фазовый сдвиг
 T_s - период дискретизации $n(k)$ - АБГШ

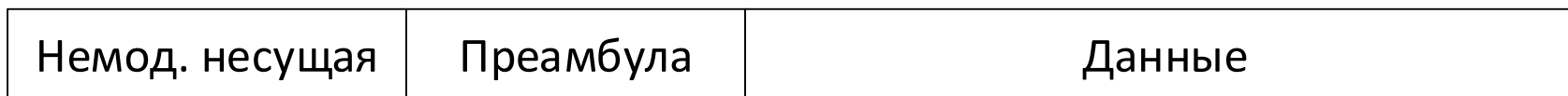
Цель работы – провести исследование возможности применения алгоритма оценки частоты немодулированной несущей сигнала для его обнаружения.

В качестве системы рассматривается система связи, использующая радиосигналы с гауссовой модуляцией с минимальным частотным сдвигом (GMSK) в канале с аддитивным белым гауссовым шумом.

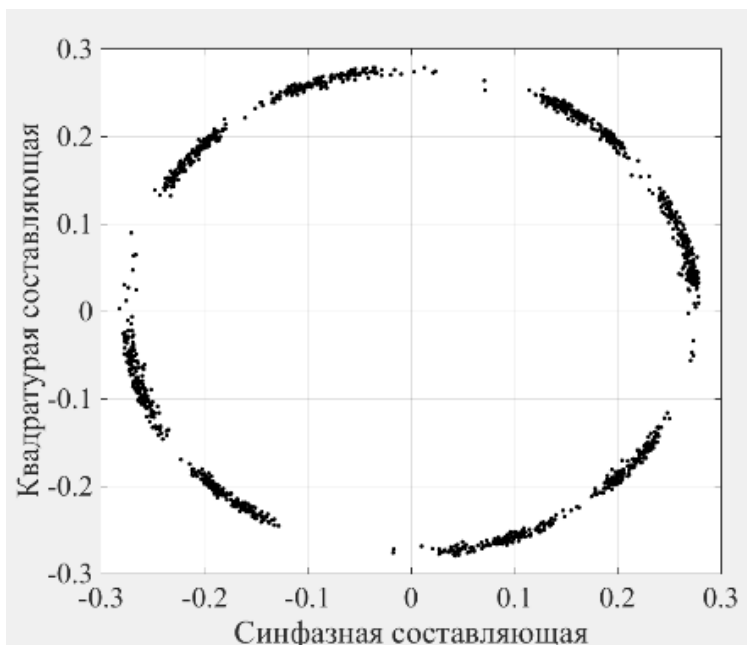
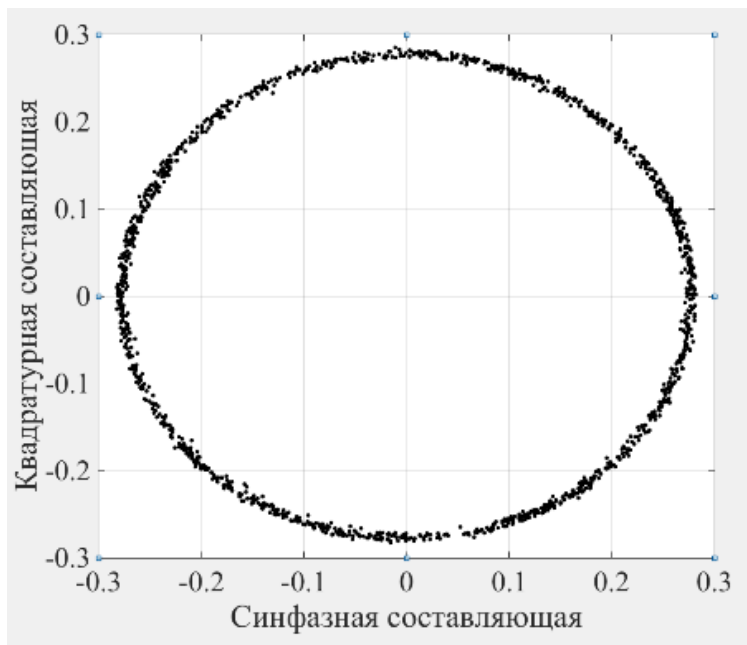
Структурная схема синхронизации и подстройки



Формат сигнала:

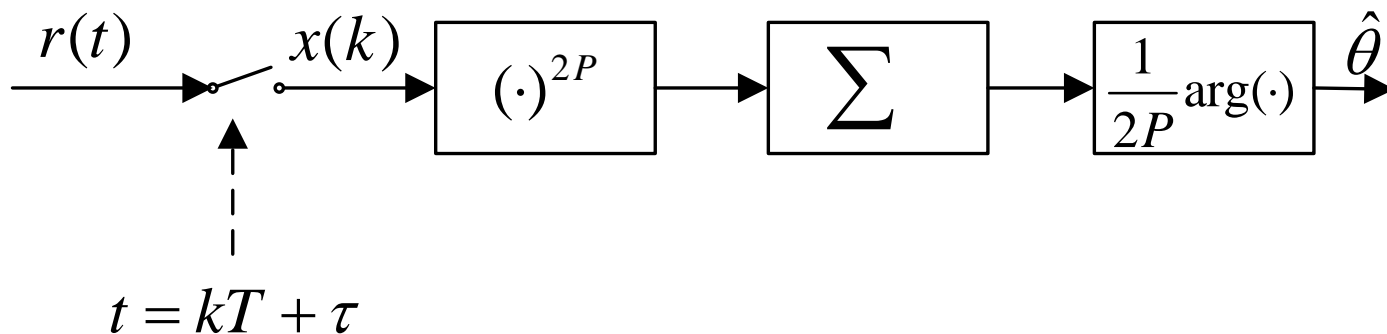


Пример точной оценки фазы

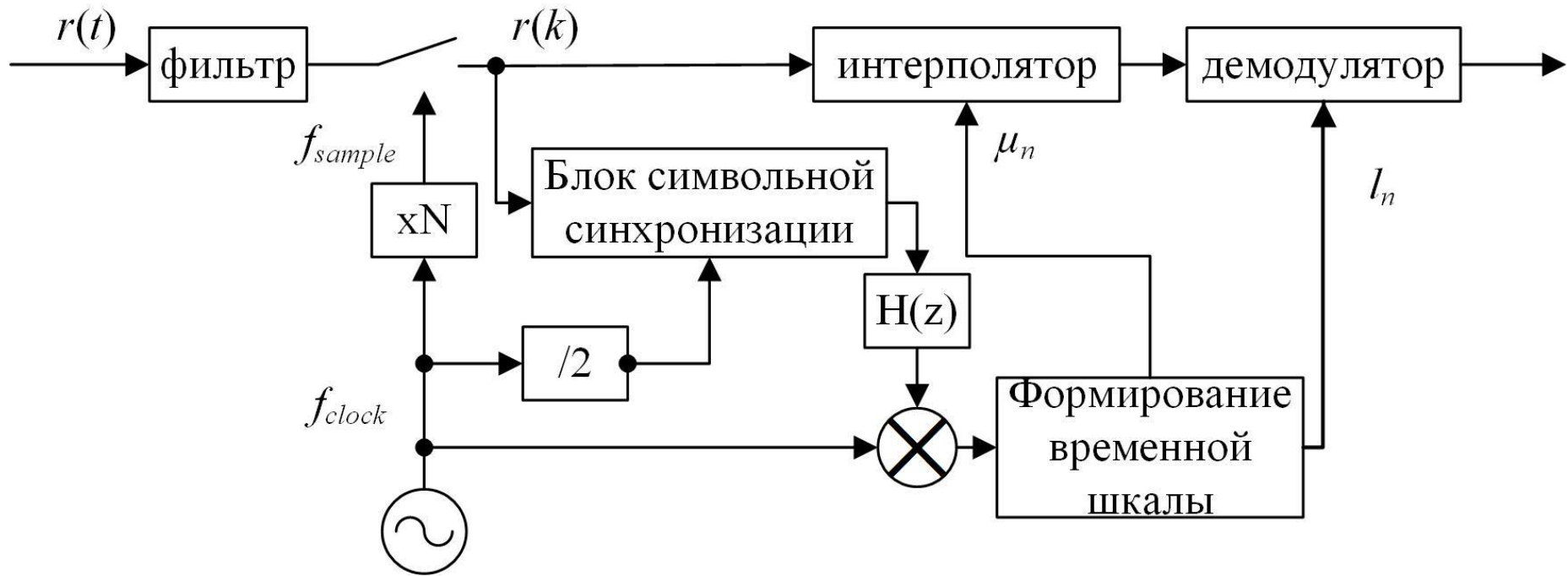


Сигнальное созвездие зашумлённого сигнала
без синхронизации

после оценки фазы



Пример символьной синхронизации

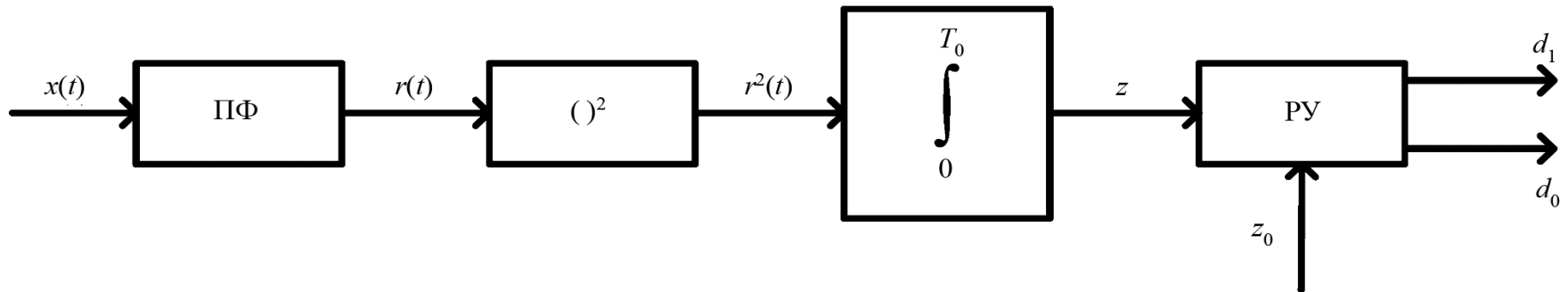


Структурная схема приемного тракта устройства с символьной синхронизацией

Рекурсивный фильтр первого порядка

$$H(z) = \frac{\alpha z}{z - (1 - \alpha)}$$

Схема энергетического обнаружителя



ПФ – полосовой фильтр

РУ – решающее устройство

T_0 – время наблюдения

$$\text{Выход РУ: } z = \int_0^{T_0} r^2(t) dt \begin{cases} \geq z_0 \Rightarrow d_1, \\ < z_0 \Rightarrow d_0. \end{cases}$$

Выражения для вероятностей ложного и верного обнаружений

Вероятности ложного P_F и верного P_D обнаружений для энергетического обнаружителя:

$$P_F = \int_{z_0}^{\infty} p_0(z) dz,$$

$$P_D = \int_{z_0}^{\infty} p_1(z) dz,$$

где $p_0(z)$ и $p_1(z)$ - функции плотности вероятности при отсутствии или наличии полезного сигнала соответственно

Значение порога z_0 определяется, исходя из спектральной плотности мощности шума.

Описание алгоритма Кея

Принимаемая смесь сигнала и шума:

$$r(k) = Ae^{j(2\pi\nu(kT_s + \tau) + \theta)} + n(k) \quad (1)$$

A - амплитуда сигнала τ - временная задержка
 ν - частотный сдвиг θ - фазовый сдвиг
 T_s - период дискретизации $n(k)$ - АБГШ

Оценка частоты:

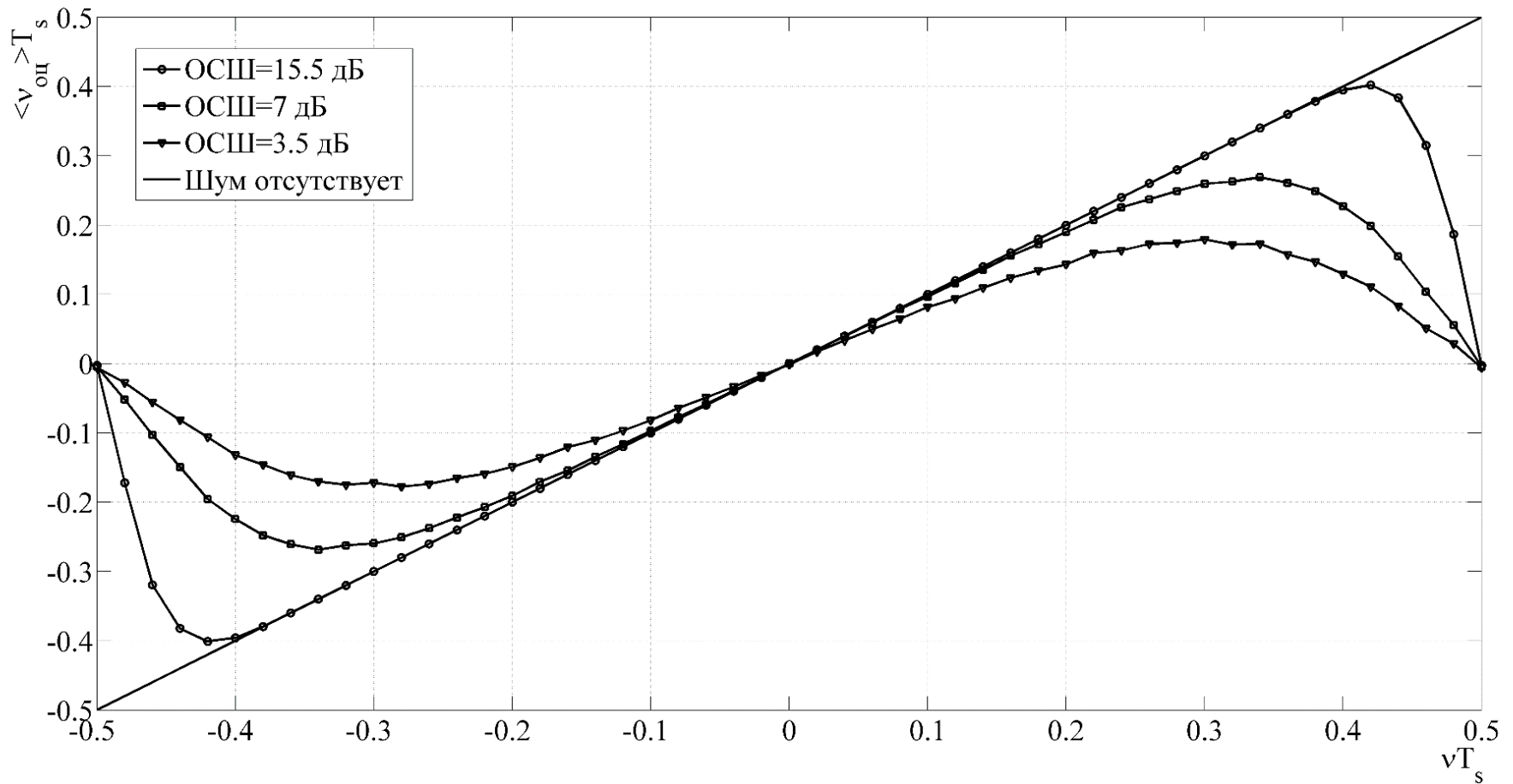
$$\nu_{оц} = \frac{1}{2\pi T_s} \sum_{k=0}^{L_0-2} w_k \arg\{r^*(k)r(k+1)\} \quad (2)$$

L_0 - длина наблюдаемых данных

Оконная функция:

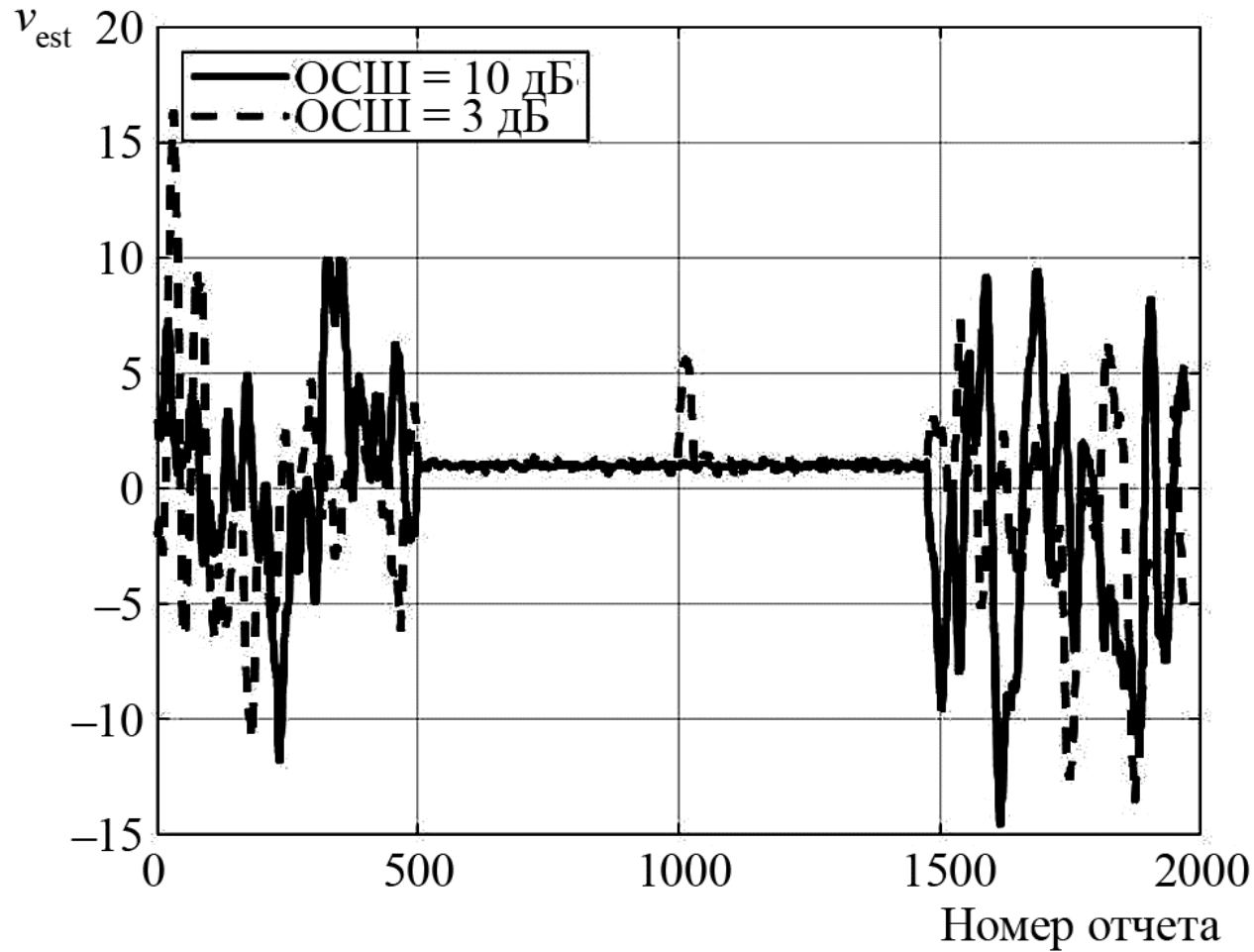
$$w_k = \frac{3}{2} \frac{L_0}{L_0^2 - 1} \left[1 - \left(\frac{2k - L_0}{L_0} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Характеристики алгоритма Кея

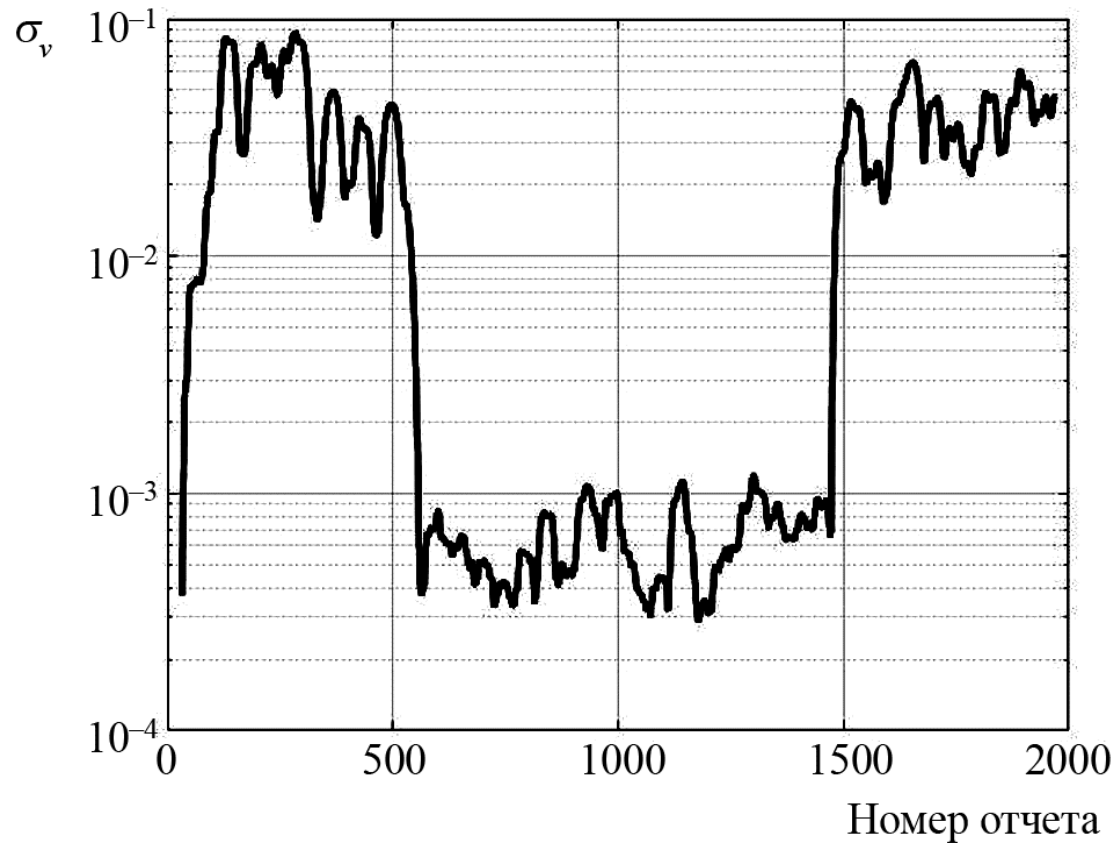


S-кривые для алгоритма Кея

Оценка частоты алгоритмом Кея от времени

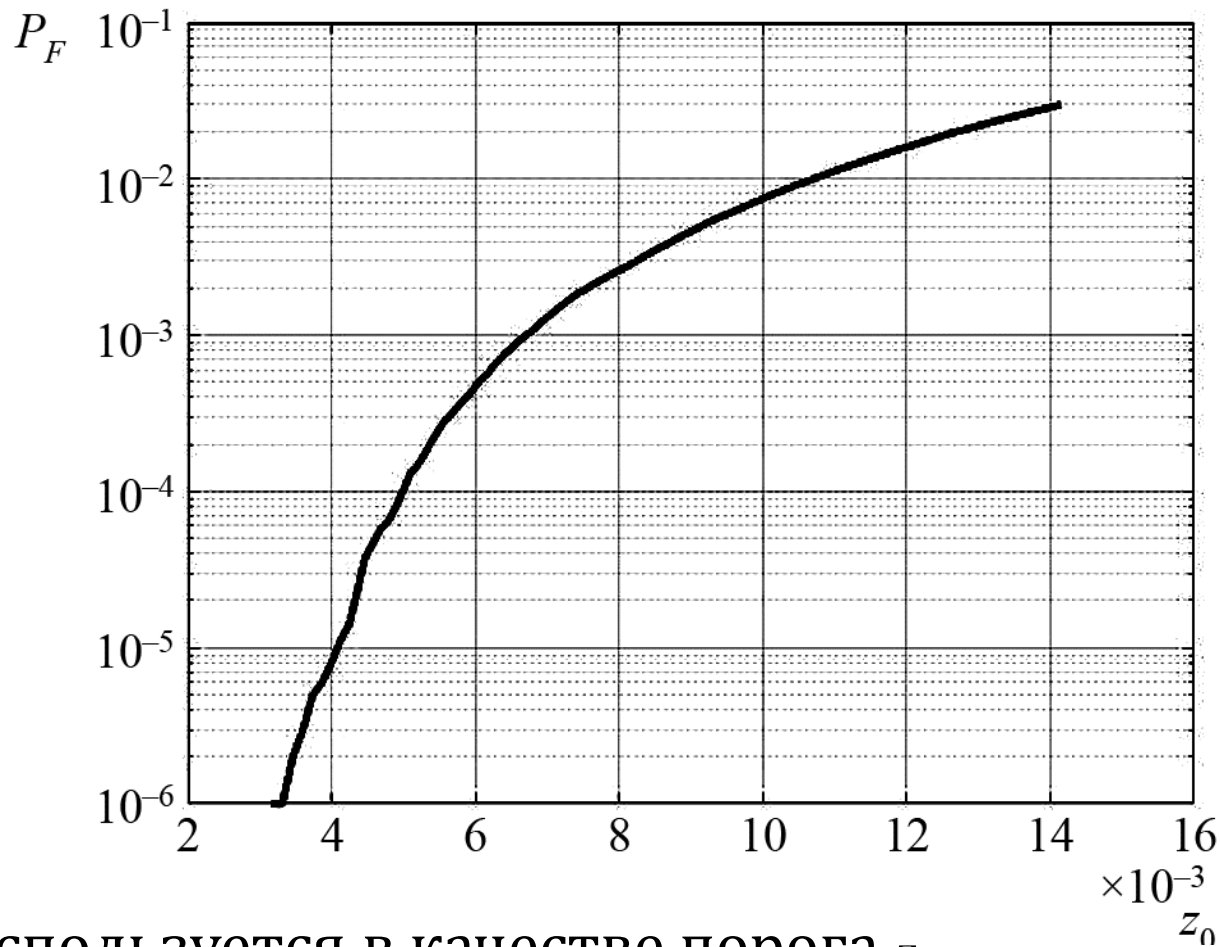


СКО оценки нормированной частоты



$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (v_{\text{est}}(n)T_s - \langle v_{\text{est}}(n) \rangle T_s)^2}{N}}$$

Вероятность ложного обнаружения P_F от значения порога z_0

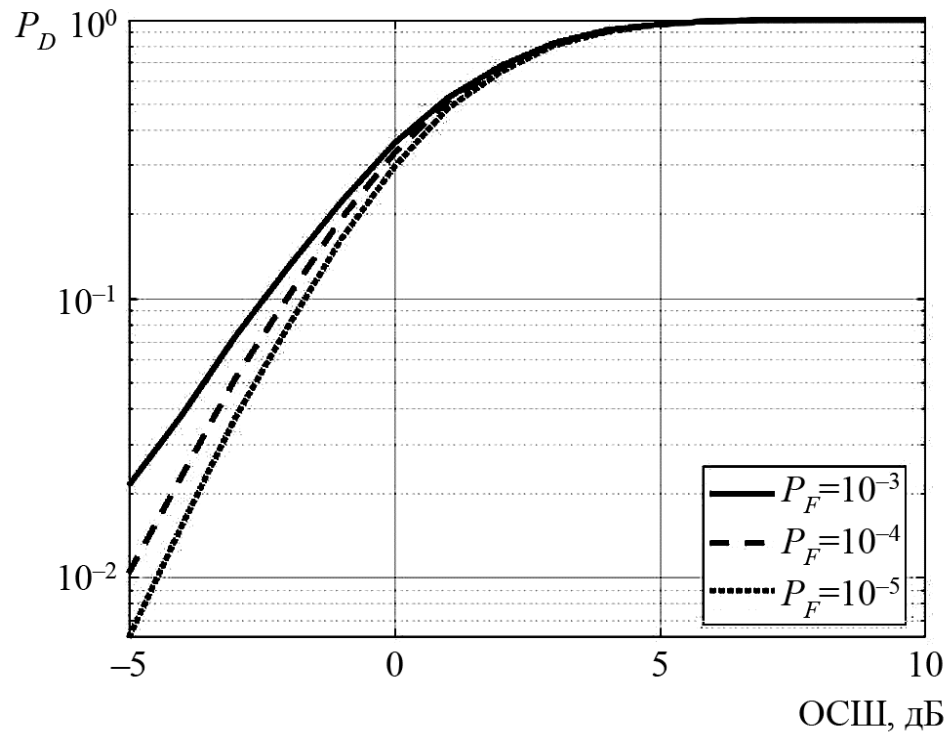


СКО используется в качестве порога z_0

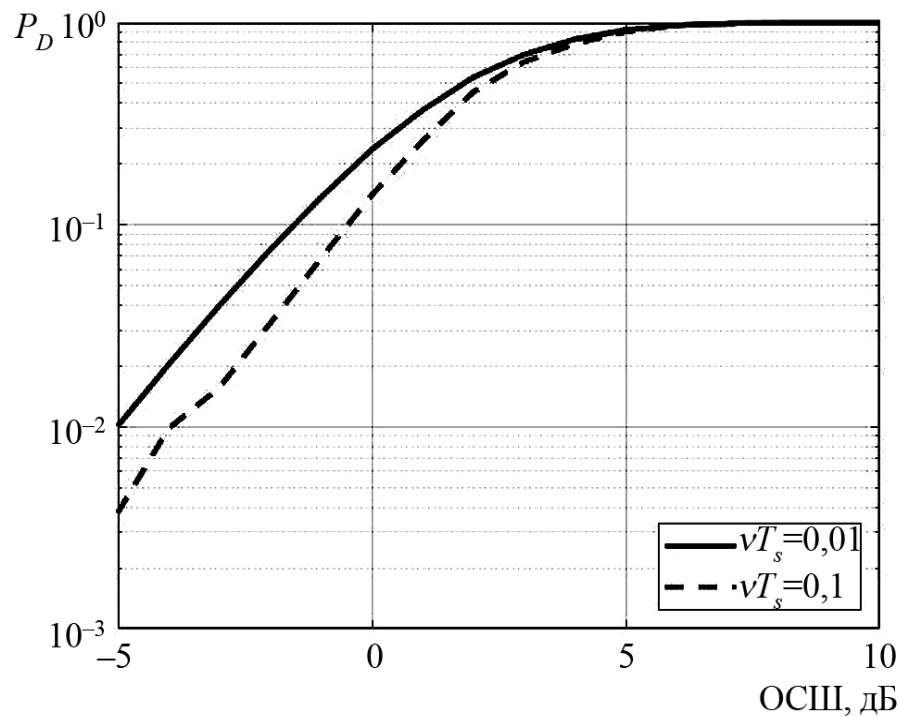
ОСШ = 15 дБ

Нормированное значение частоты сигнала 0,01

Вероятность обнаружения сигнала P_D от ОСШ



для различных P_F



для различной
нормированной частоты
сигнала

Выводы

Результаты проведенных исследований подтвердили возможность использования алгоритма Кея для обнаружения сигналов, в которых используется немодулированная несущая в качестве пилотной вставки. Однако при использовании данного подхода необходимо учитывать следующее:

- 1) СКО оценки частоты на выходе алгоритма Кея ухудшается при увеличении частотного сдвига и, как следствие, вероятность правильного обнаружения P_D при низком ОСШ также будет снижаться;
- 2) в случае предъявления более жестких требований к вероятности ложного обнаружения P_F вероятность правильного обнаружения P_D уменьшается, что аналогично поведению классического энергетического обнаружителя.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!