

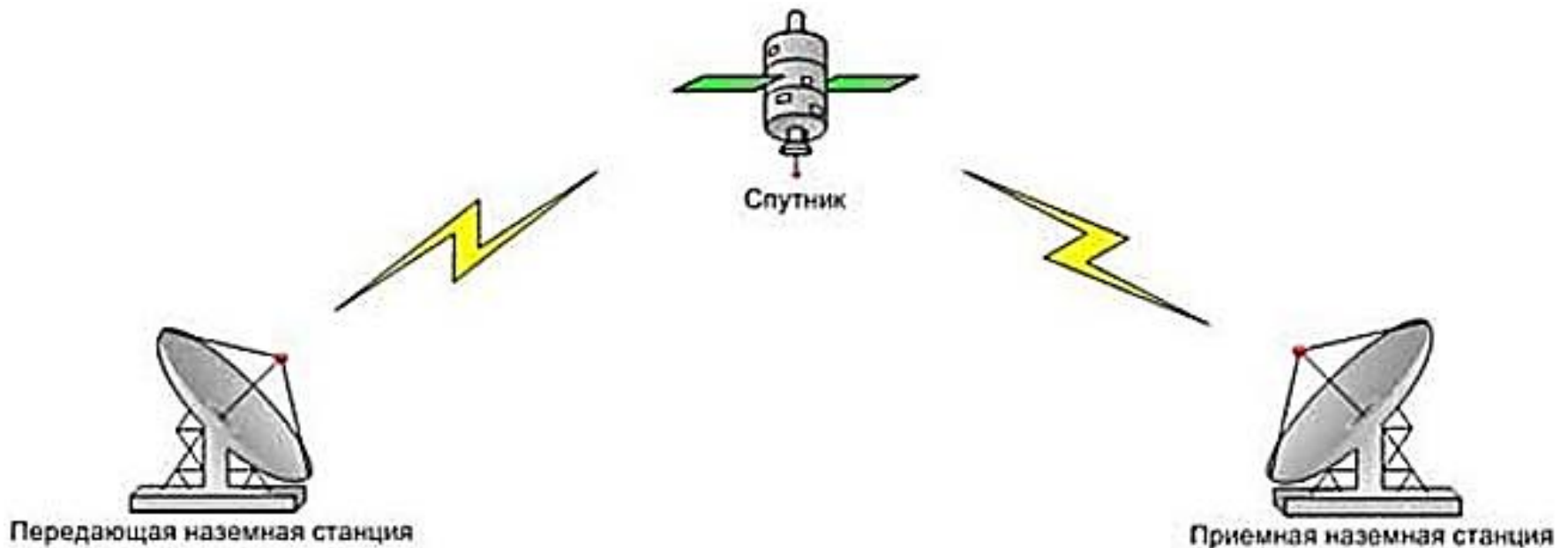
**Исследование алгоритмов синхронизации
несущей сигналов
для систем спутниковой связи**

Евгений Вадимович Дереча
Инженер-программист АО «ОНИИП»

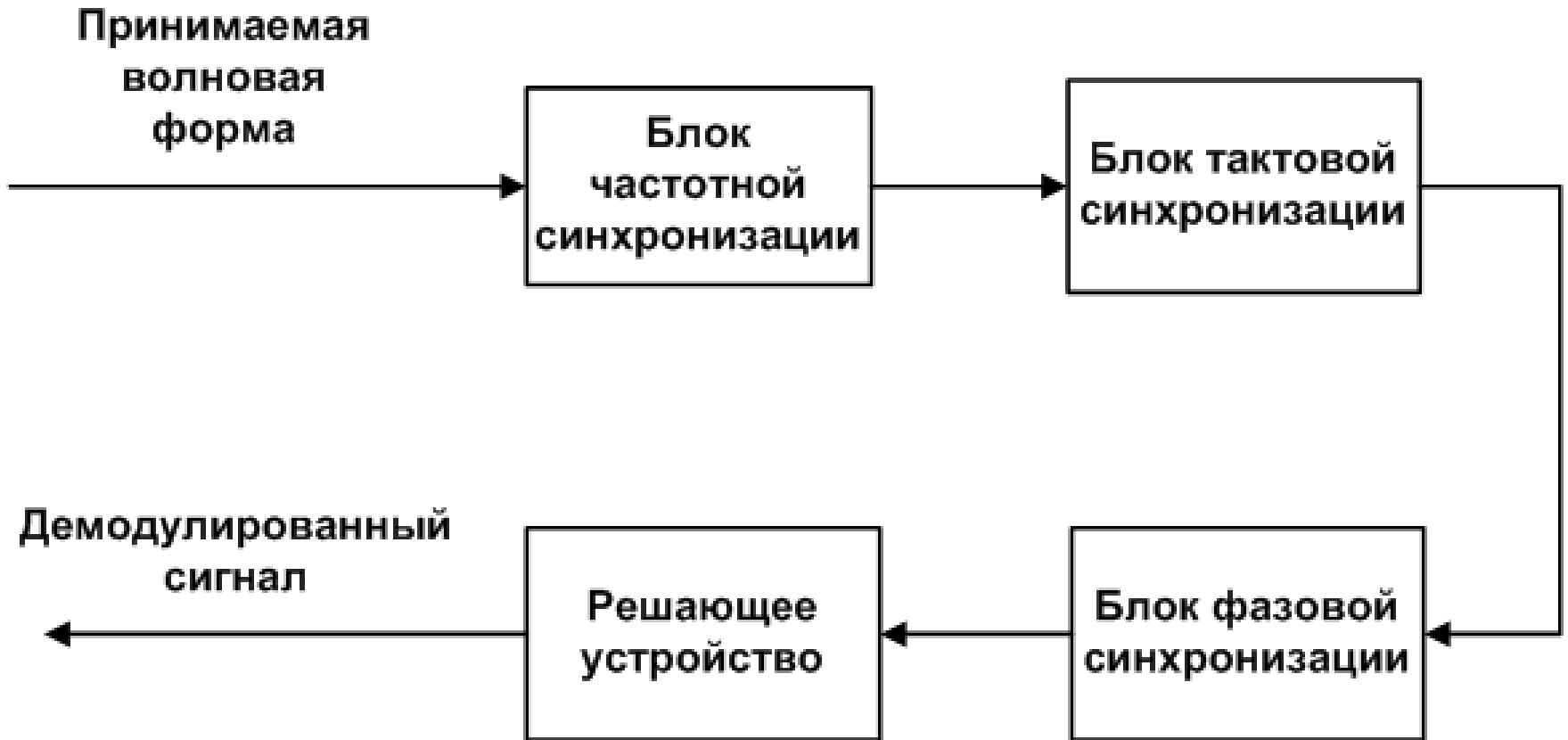
Омск - 2017

Актуальность:

В канале связи сигнал претерпевает частотный и фазовый сдвиг, поэтому необходимо выполнять частотную и фазовую синхронизацию сигнала.



Обобщённая схема когерентного демодулятора



Цель:

разработать алгоритмы синхронизации несущей сигналов для обеспечения работоспособности демодулятора в системах спутниковой связи.

Задачи:

- проведён поиск, анализ и классификация существующих алгоритмов частотной и фазовой синхронизации несущей;
- расширена область применения алгоритмов частотной синхронизации, используемых для линейной модуляции на сигналы с GMSK-модуляцией;
- модернизирован алгоритм Фитца за счёт введения алгоритма развёртывания фазы, направленный на увеличение рабочего диапазона нормированного частотного сдвига;
- модернизирован 2P-степенной алгоритм за счет введения обратной связи, направленный на обеспечение его работоспособности при изменяющемся частотном сдвиге.

Виды модуляции

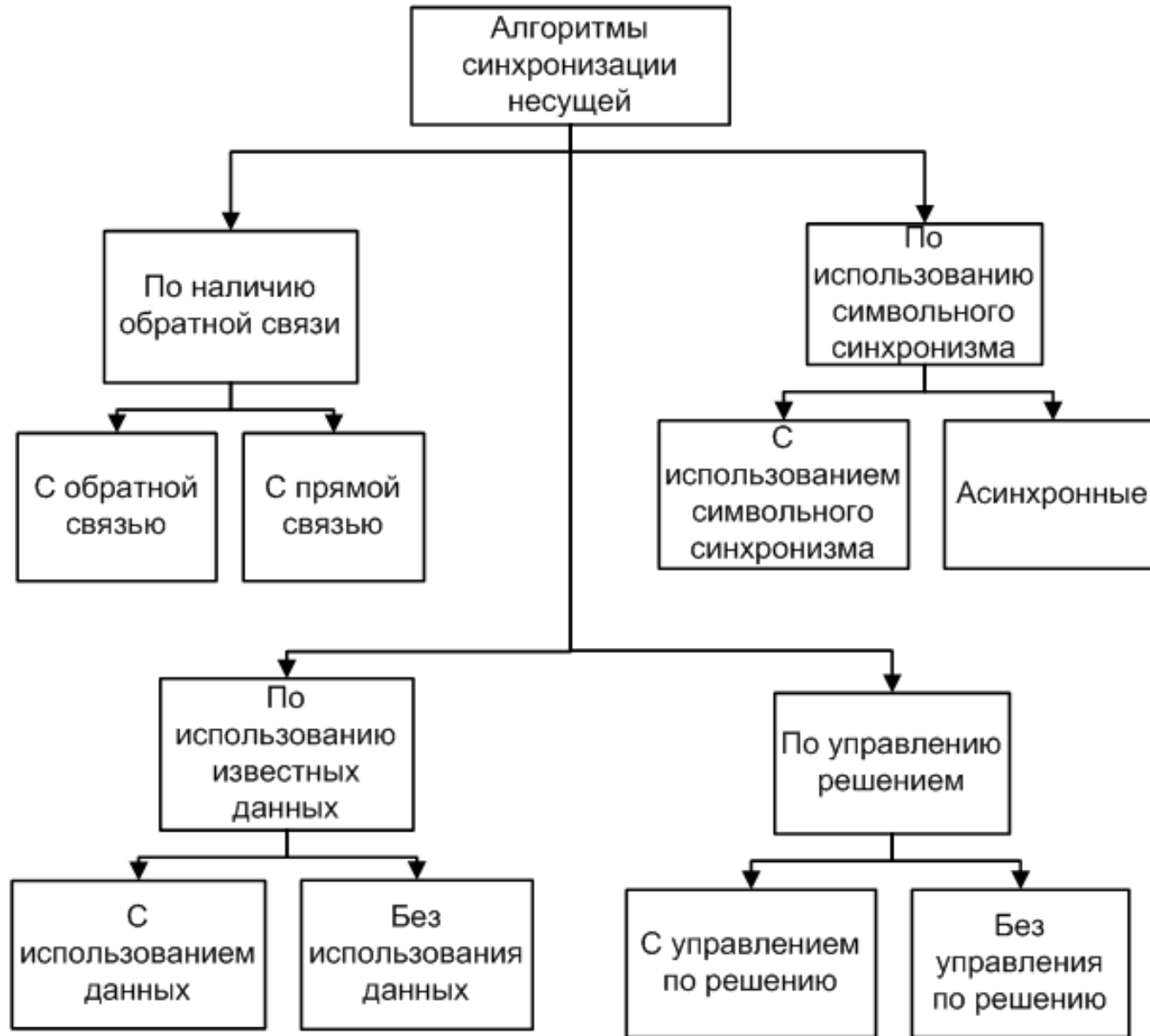
←
Линейная

→
Нелинейная

В случае линейной модуляции сам сигнал или его комплексная огибающая представляет собой линейную комбинацию сдвинутых по времени сигнальных посылок единой формы.

При модуляции нелинейной от передаваемых символов зависит не только масштаб, но и сама форма сигнальной посылки.

Классификация алгоритмов



Частотная синхронизация для линейной и нелинейной модуляции

Кей

$$\hat{\nu} = \frac{1}{2\pi T} \sum_{k=0}^{L_0-2} w_k \arg\{z_k^* z_{k+1}\} \quad (1)$$

Фитц

$$\hat{\nu} = \frac{1}{\pi N(N+1)T} \sum_{m=1}^N \arg\{R(m)\} \quad (2)$$

Луизе и Реджианнини L&R

$$\hat{\nu} = \frac{1}{\pi(N+1)T} \arg\left\{ \sum_{m=1}^N R(m) \right\} \quad (3)$$

Менгали и Морелли M&M

$$\hat{\nu} = \frac{1}{2\pi T} \sum_{k=1}^N l_k \arg\{R(k)R^*(k-1)\} \quad (4)$$

Частотная синхронизация для линейной модуляции

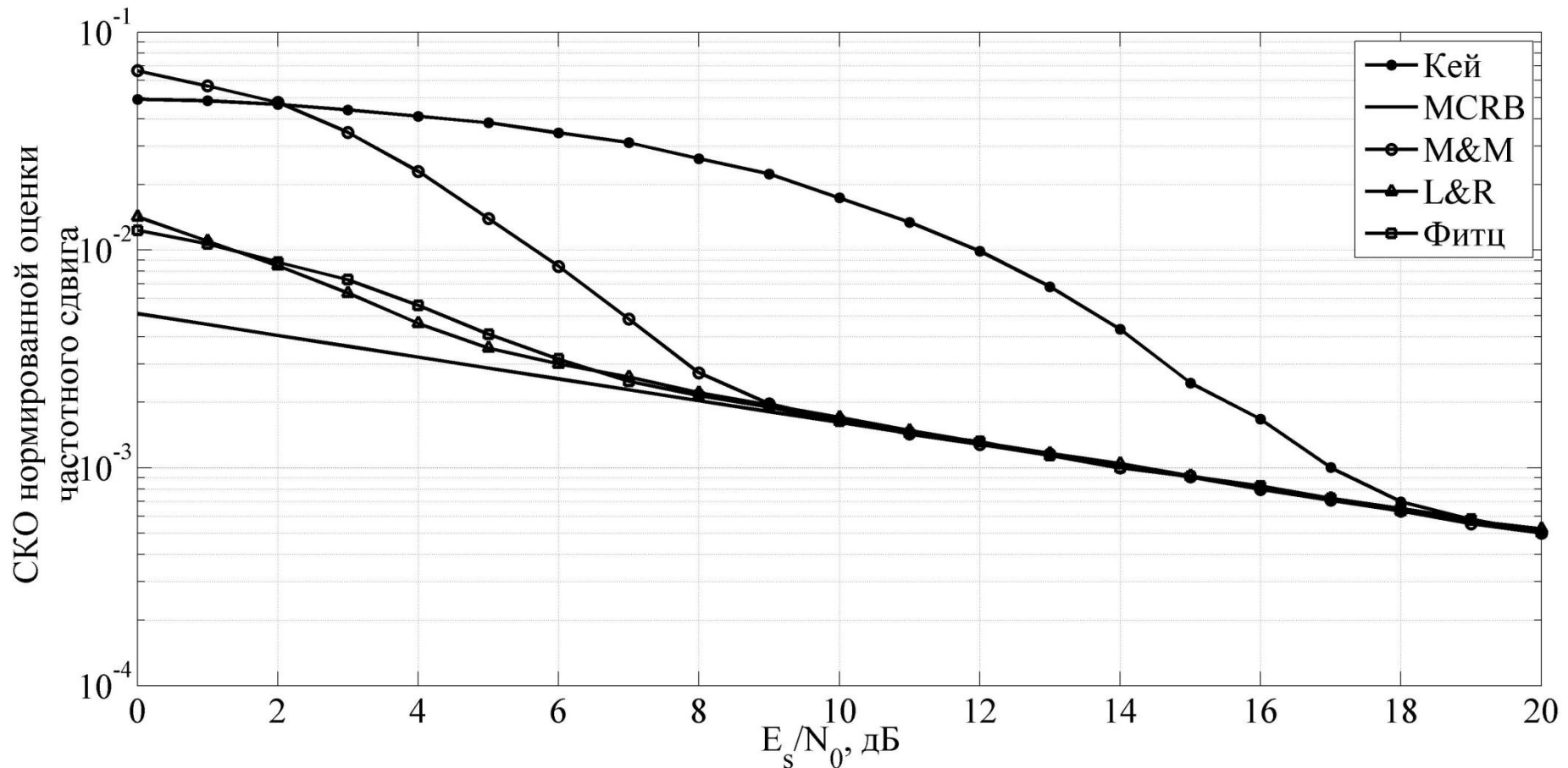


Рис. 1. Зависимость СКО нормированной оценки частотного сдвига от отношения E_s/N_0 , полученной с помощью различных алгоритмов

Частотная синхронизация для нелинейной модуляции

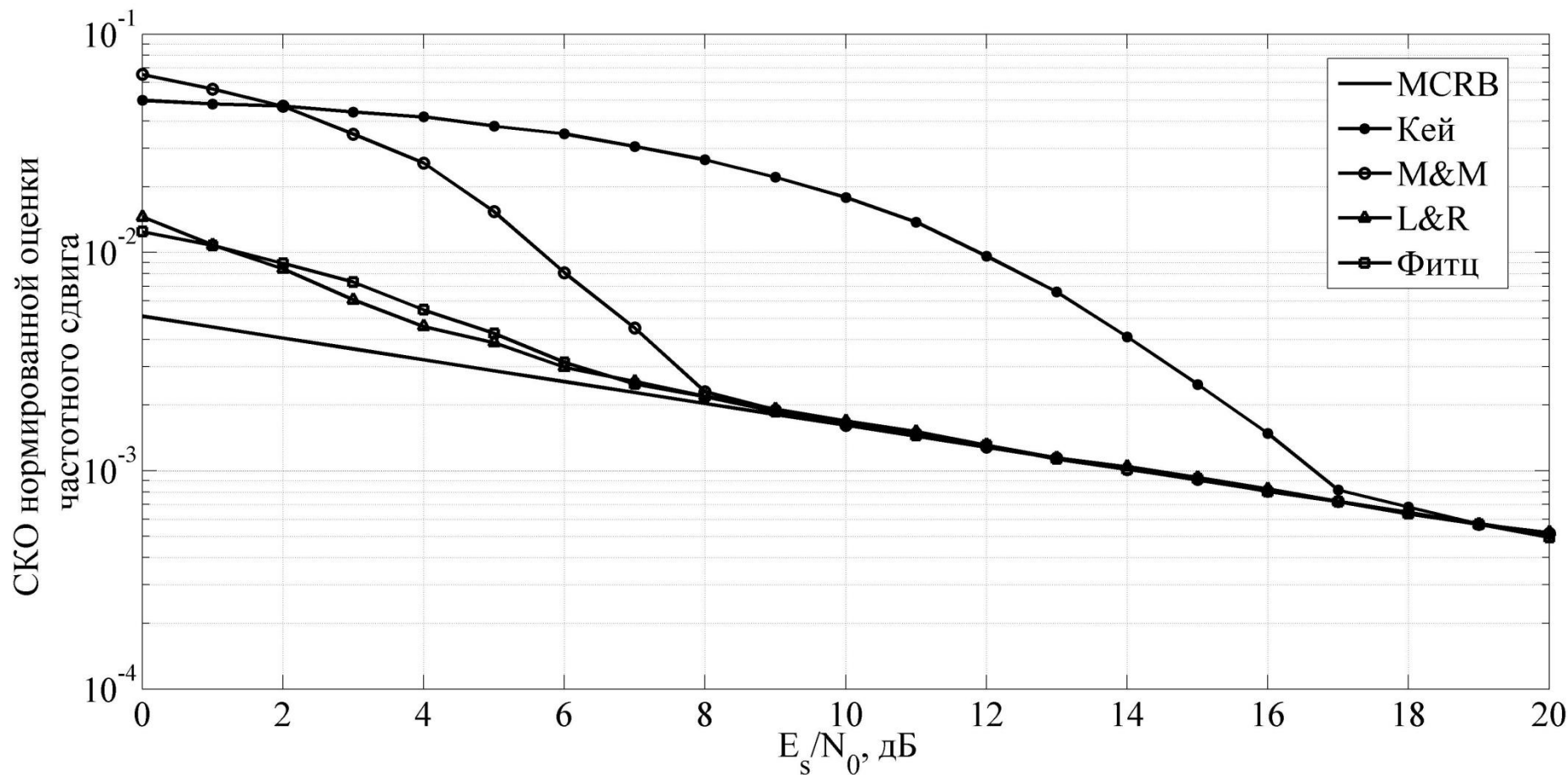


Рис. 2. Зависимость СКО нормированной оценки частотного сдвига от отношения E_s/N_0 , полученной с помощью различных алгоритмов

Развёртывание фазы

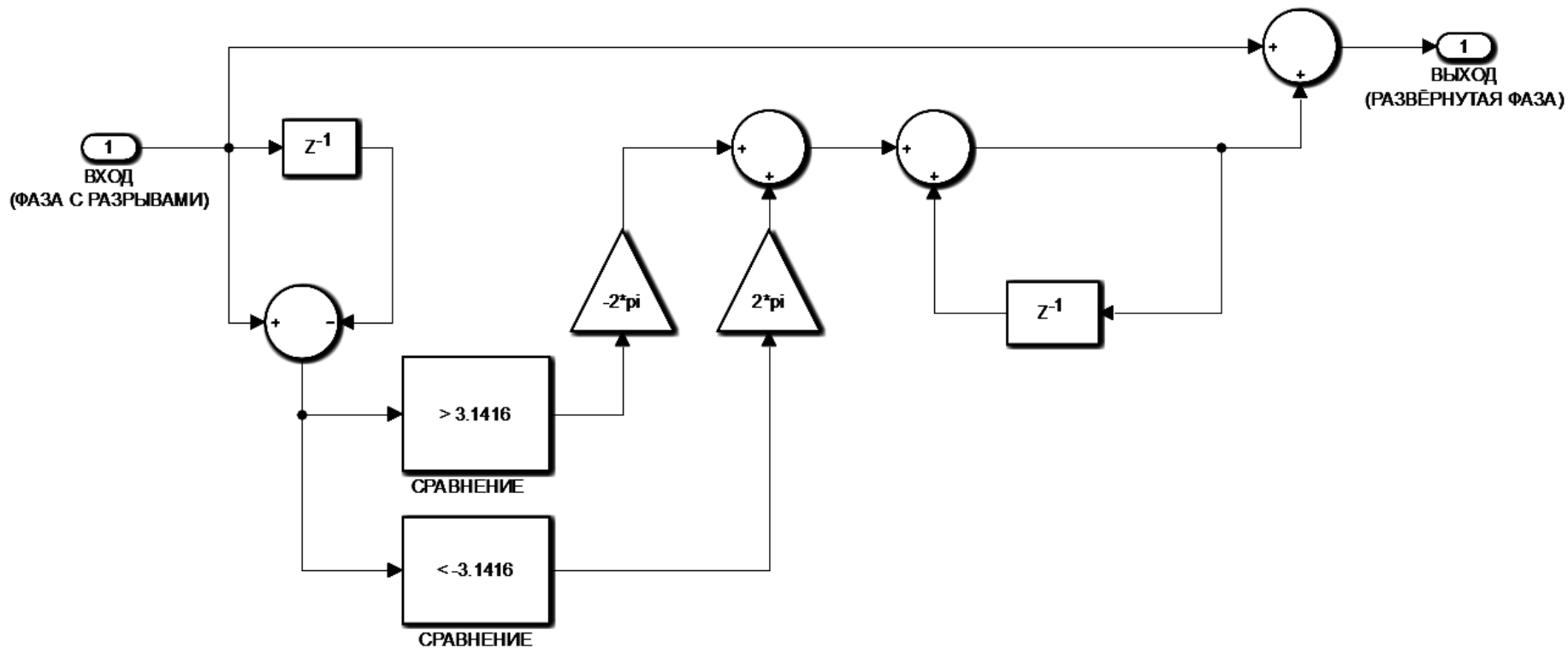


Рис. 3. DSP реализация алгоритма развёртывания фазы Шафера

Развёртывание фазы

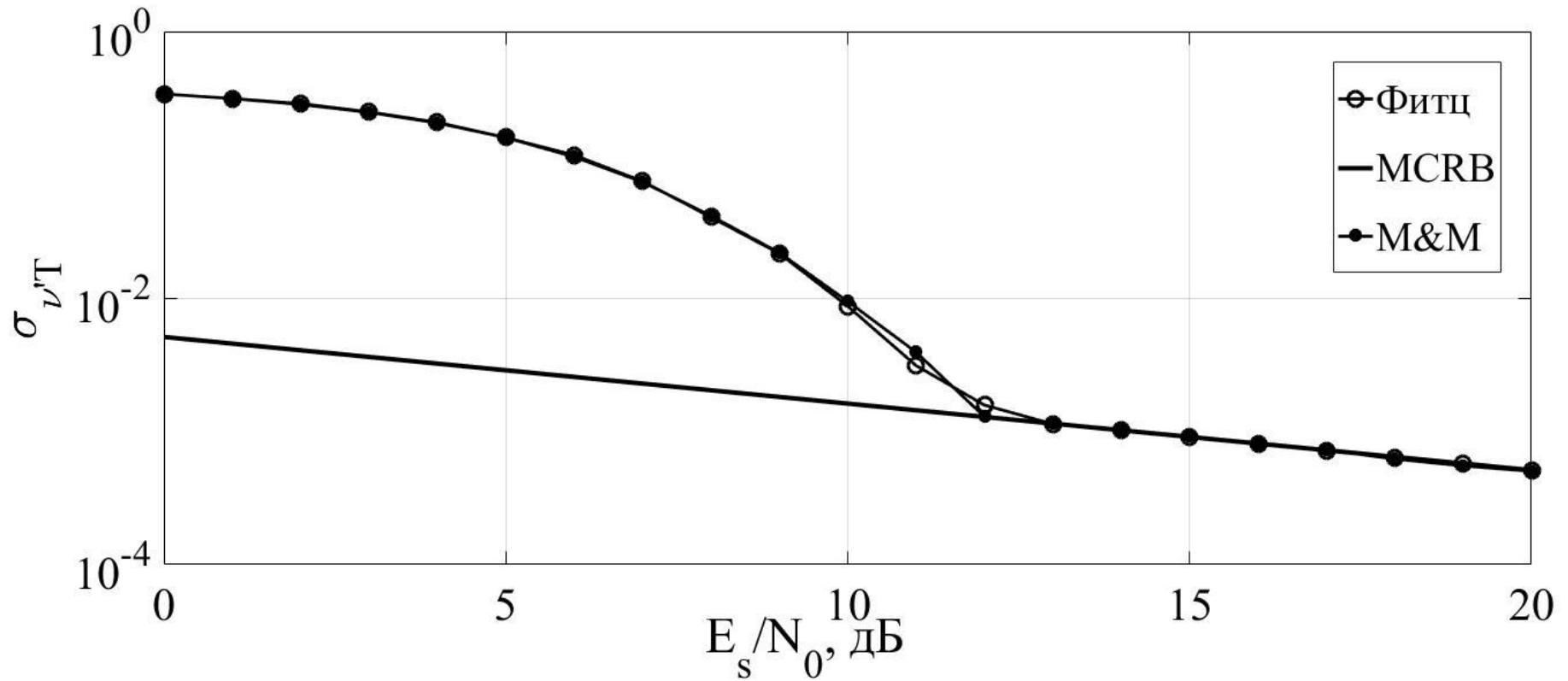


Рис. 4. Зависимость СКО нормированной оценки частотного сдвига от отношения E_s/N_0 для алгоритма Фитца с развёртыванием фазы в сравнении с алгоритмом М&М

Фазовая синхронизация для линейной модуляции

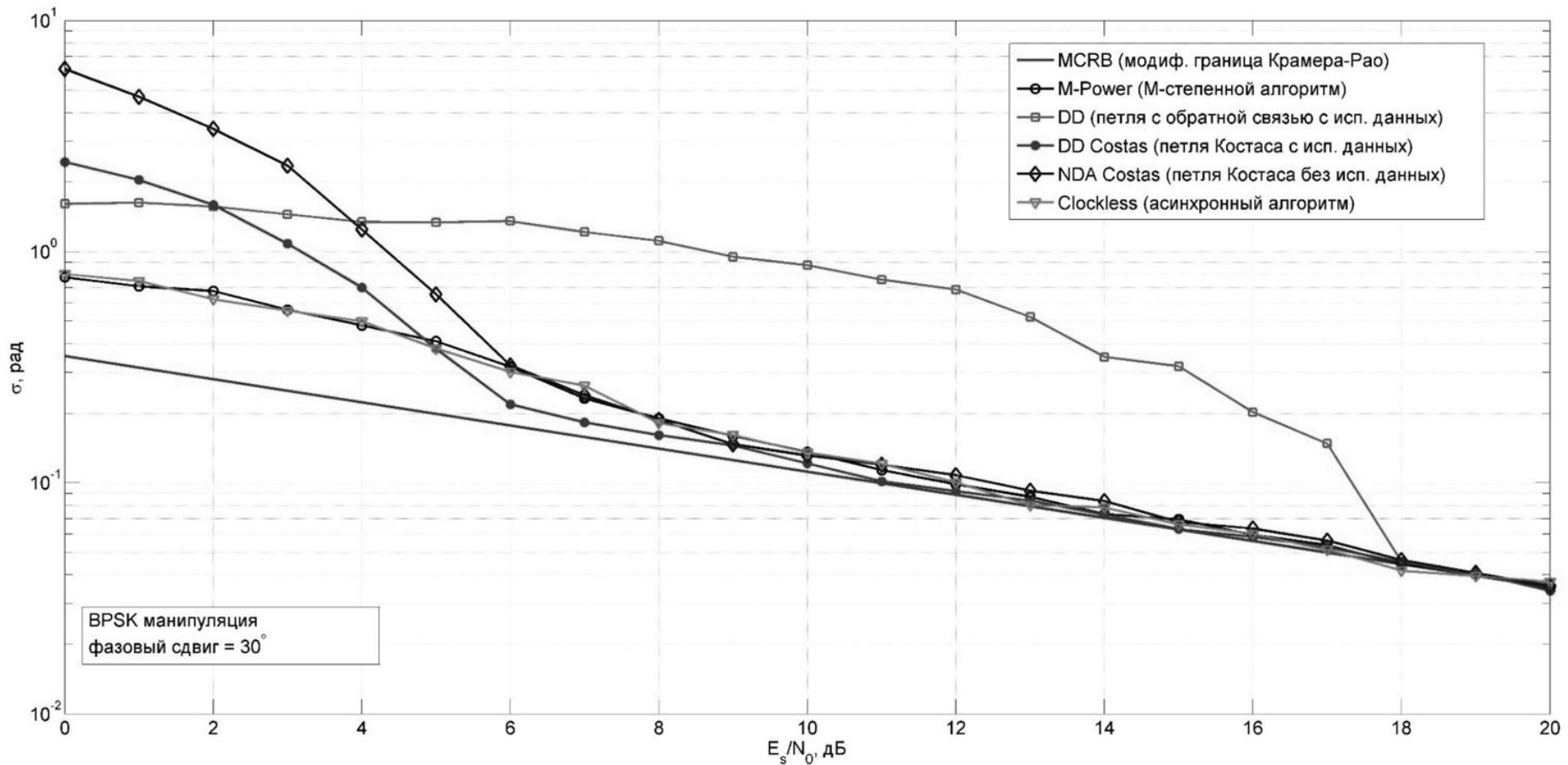


Рис. 5. Зависимость СКО оценки от отношения сигнал/шум

Фазовая синхронизация для нелинейной модуляции

$$\hat{\theta} = \frac{1}{2P} \arg \left\{ \sum_{k=0}^{L_0-1} x^{2P}(k) \right\} \quad (5)$$

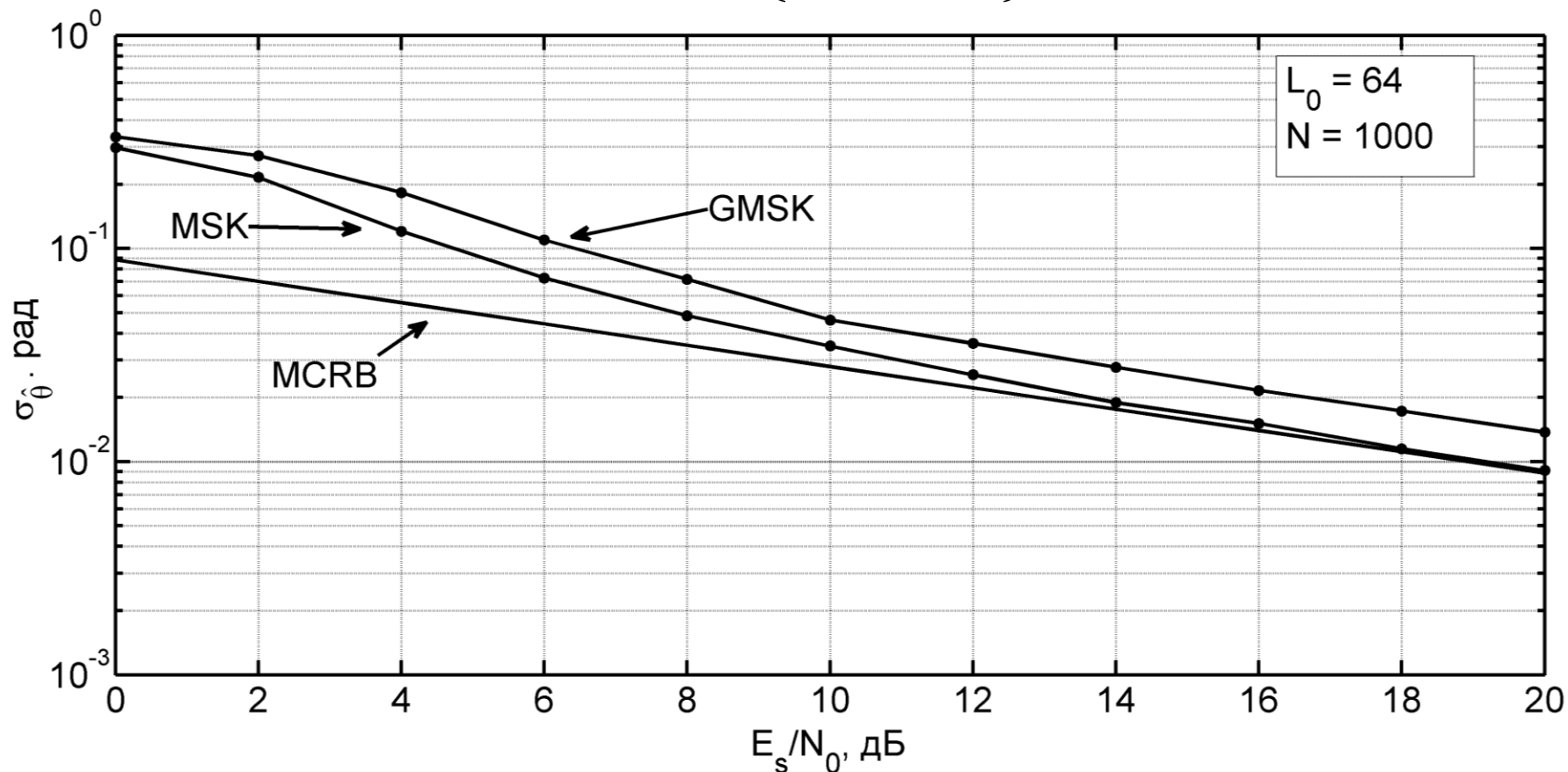


Рис. 6. Зависимость СКО оценки от отношения сигнал/шум

Срыв слежения за фазой

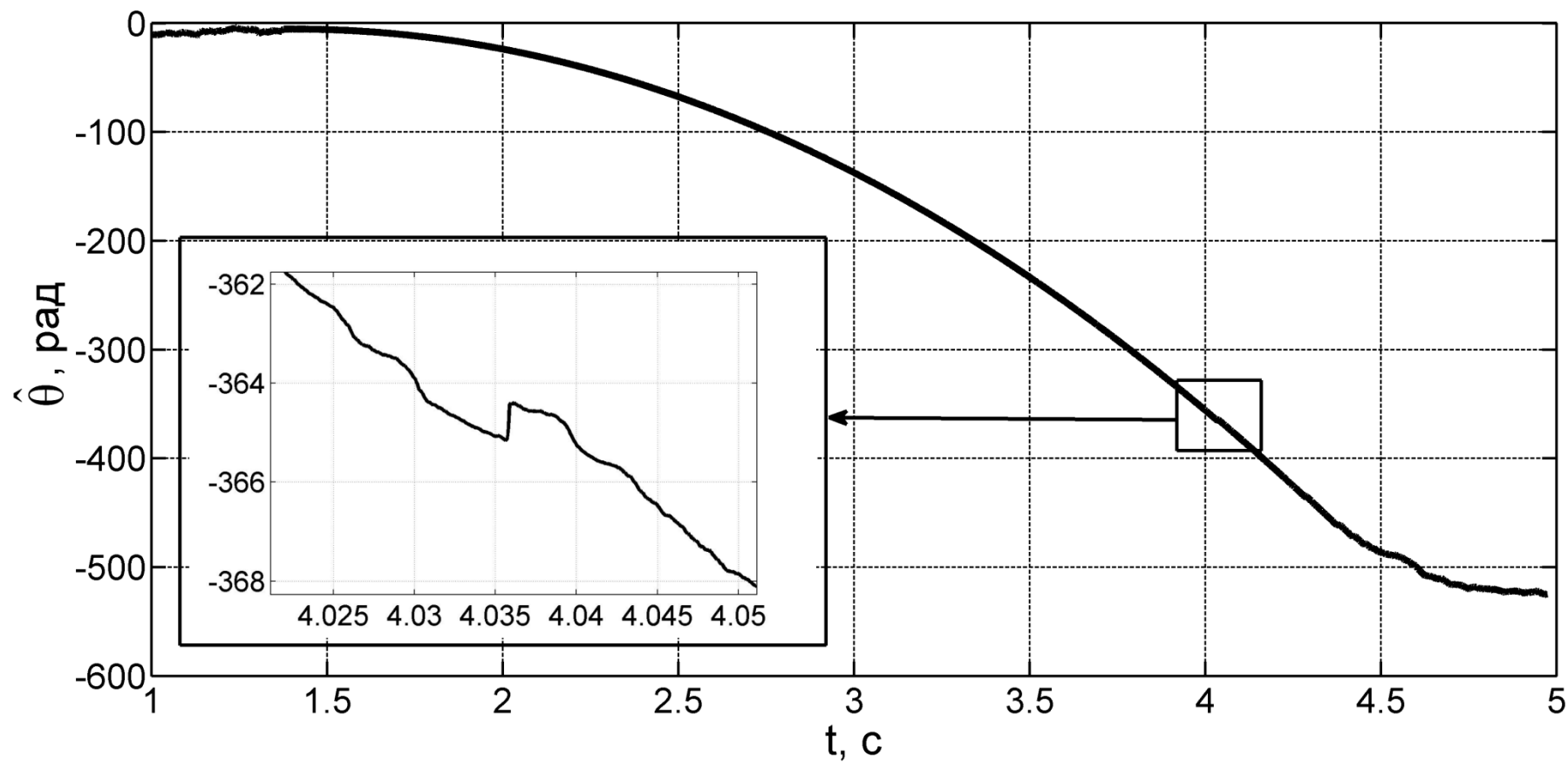


Рис. 7. Оценка фазы реального сигнала 2Р-степенным методом

Модернизация 2P-степенного алгоритма

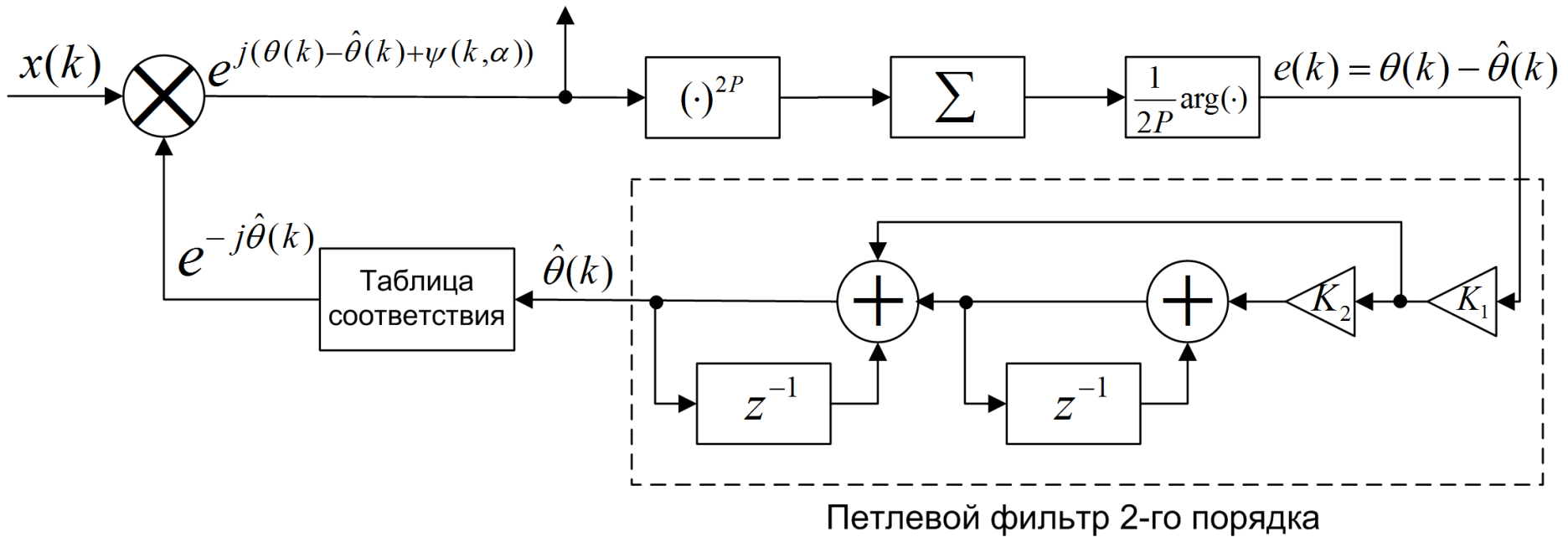


Рис. 8. Схема фазовой синхронизации с петлевым фильтром 2-го порядка

Модернизация 2Р-степенного алгоритма

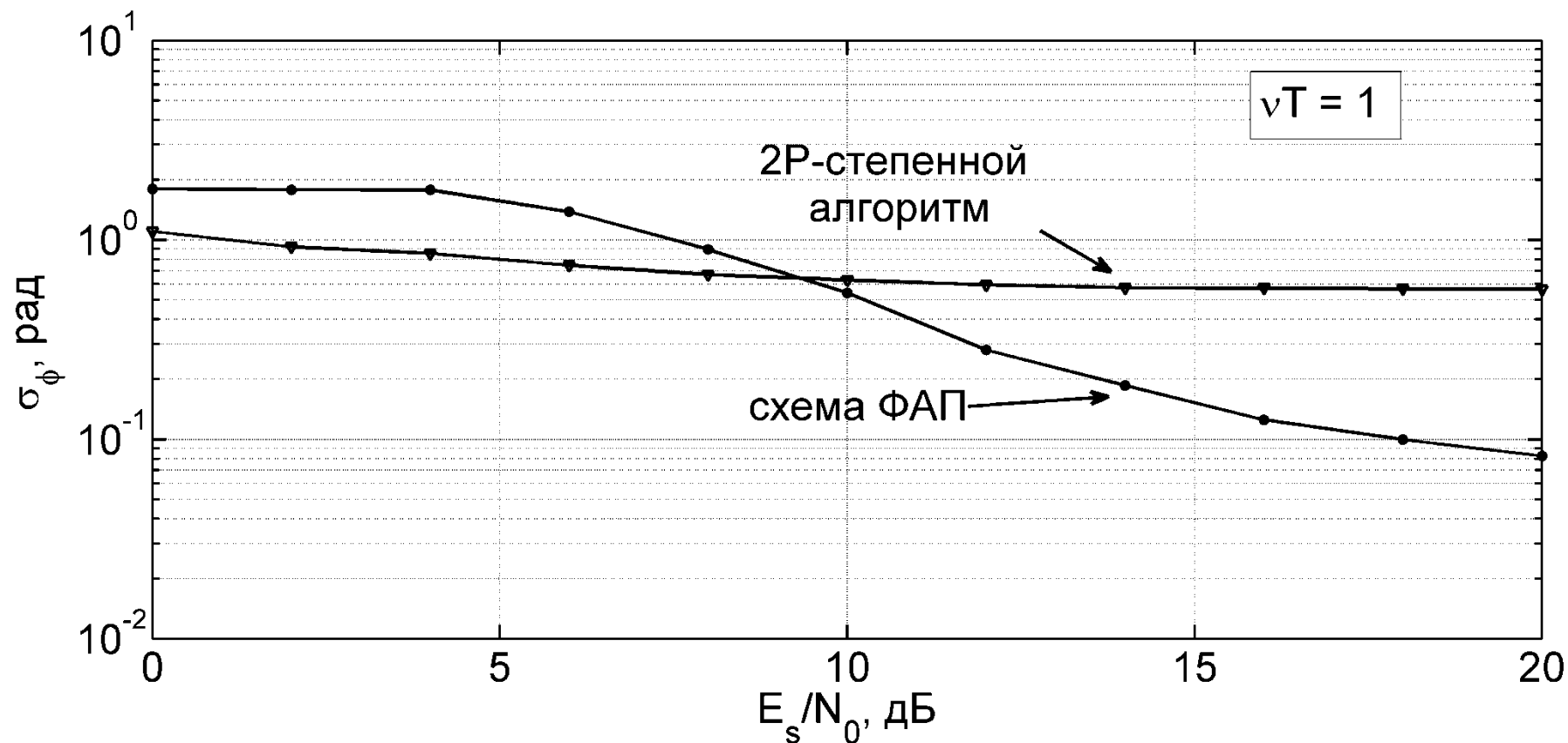


Рис. 9. Зависимость СКО синхронизированного GMSK сигнала σ_ϕ от E_s/N_0 двух алгоритмов при $\nu T=1$

Пути развития

1. Исследование устойчивости систем с обратной связью (например таких, как на слайде 15);
2. Увеличение помехоустойчивости алгоритмов путём дополнительной цифровой обработки сигналов;
3. Увеличение рабочего диапазона алгоритмов;
4. Создание комбинированных схем синхронизации (например, введение обратной связи в те схемы, где её раньше не было или объединение нескольких схем между собой);
5. Уменьшение вычислительной сложности и времени исполнения алгоритмов;
6. Аналитический расчёт зависимостей без использования компьютерного моделирования.

Выводы

В работе были рассмотрены алгоритмы частотной и фазовой синхронизации для фазовой и частотной модуляций.

Применены алгоритмы развёртывания фазы к алгоритму Фитца, тем самым увеличен его рабочий диапазон.

Модернизирован 2Р-степенной алгоритм фазовой синхронизации, путём введения обратной связи, тем самым увеличен его рабочий диапазон.

Для когерентной демодуляции необходима частотная и фазовая синхронизация, поэтому исследованные в данной работе алгоритмы очень важны.

Модернизация некоторых из этих алгоритмов позволяет решить ряд проблем.

Результаты данной работы относительно линейной РАМ модуляции могут найти практическое применение в системах, использующих стандарт DVB-S2 и DVB-S2Ex, а относительно нелинейной СРМ модуляции в системах низкоорбитальной спутниковой связи. Однако область применения рассмотренных алгоритмов намного шире.

Существует целый ряд направлений развития, в рамках которых, можно модернизировать и улучшать рассмотренные алгоритмы цифровой синхронизации сигналов.

Литературные источники

1. Дереча Е. В., Привалов Д. Д. Применение алгоритмов оценки частоты несущей GMSK-сигналов для систем спутниковой связи // Техника радиосвязи. 2016. Вып. 4 (31). С. 61–68.
2. Дереча Е. В., Привалов Д. Д. Исследование алгоритма фазовой синхронизации GMSK-сигналов для низкоорбитальных систем спутниковой связи // Техника радиосвязи. Вып. 2 (33). С. 87–95.
3. *Umberto Mengali, Aldo N. D'Andrea. Synchronization techniques for digital receivers // Plenum Press, New York, 1997. - 529 p.*
4. Брусин. Е. А. Разработка и исследование методов оценивания несущей частоты фазомодулированных сигналов в когерентных демодуляторах спутниковых систем связи: дис., канд. техн. наук: 05.12.13: защищена 18.10.07. – СПб., 2007. – 135 с.
5. Круглик Е. А. Разработка и реализация демодулятора высокоскоростного потока, работающего при малых значениях отношения сигнал/шум: дис., канд. техн. наук: 05.12.04: защищена 22.12.06. – М., 2006. – 96 с.