

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Кафедра Радиотехнических систем

ОЖОГИН АРТЕМ ВЛАДИМИРОВИЧ

**Анализ влияния полосы навигационного сигнала на величину  
ошибки, вызываемой многолучевостью распространения**

Специальность 210304– «Радиоэлектронные системы»

Автореферат  
выпускной квалификационной работы  
инженера

Руководитель  
к.т.н., доц. Болденков  
Евгений Николаевич

Москва – 2013

### **Актуальность темы:**

В работе рассматриваются сигналы современных спутниковых радионавигационных систем и влияние на них многолучевого распространения. Затронут вопрос преимущества новых перспективных сигналов перед используемыми ранее. Проблема многолучевого распространения актуальна во все периоды развития технологий радиотехники, избавиться от этого эффекта практически невозможно.

**Объектом** исследования являются сигналы современных СРНС

### **Цели и задачи работы**

**Цель работы** - сравнить влияние эффекта многолучёвости на различные виды навигационных радиосигналов, используемые в действующих СРНС с модуляцией ВОС и BPSK.

**К основным задачам** работы для достижения поставленной цели относятся:

- проведение анализа влияния структуры навигационных радиосигналов на их свойства
- проведение обзора действующих навигационных радиосигналов основных СРНС
- анализ работы системы слежения за задержкой
- создание методики анализа влияния многолучевого распространения на систему слежения за задержкой
- проведение анализа влияния многолучевого распространения на прием сигналов с модуляцией BPSK
- проведение анализа влияния многолучевого распространения на прием сигналов с модуляцией ВОС(1,1)
- проведение сравнительного анализа влияния многолучевого распространения на действующие навигационные радиосигналы современных спутниковых радионавигационных систем.

### **Методы исследования.**

Основным методом исследования было моделирование навигационных радиосигналов и дискриминатора ССЗ по заданному алгоритму в программном пакете Matlab 6. В программе проводится построение спектров сигналов, а также дискриминационной характеристики дискриминатора ССЗ. Изменяя параметры временного и фазового рассогласования прямого и переотраженного сигнала в двухлучевой модели, наблюдалось изменение положения «нуля» ДХ. Далее проводилось построение зависимости ошибки определения задержки сигнала в ССЗ от временного рассогласования лучей, эта зависимость является диаграммой многолучевости. По полученной диаграмме в результате визуального сравнения, сравнивалась устойчивость сигналов на эффект многолучевого распространения.

**Научные результаты.** В работе получены следующие научные результаты, выносимые на защиту:

1. Обосновано, в условиях многолучевого распространения, преимущество перспективного сигнала с модуляцией на поднесущих частотах ВОС(1,1) перед сигналом ВРСК(1).
2. Оправдано использование сигнала ВРСК(2) новой Китайской СРНС BeiDou, введенной в эксплуатацию в декабре 2012 года, в условиях многолучевого распространения, несмотря на отход от использования сигналов с подобной модуляцией ведущими мировыми СРНС. Сигнал ВРСК(2) обладая шириной полосы равной ширине сигнала ВОС(1,1) более помехоустойчив при многолучевом распространении.
3. Подтверждено, что увеличение полосы сигнала дает уменьшение погрешности определения задержки сигнала в условиях многолучевого распространения.

## **Практическая ценность работы.**

1. Исследования данной работы дают однозначный результат, определяя приоритетность использования сигнала с конкретным видом модуляции в условиях многолучевости.
2. Программа, разработанная в ходе работы, производит построение диаграммы многолучевости для сигналов с модуляцией BPSK и BOC, определяющей погрешность задержки сигнала в ССЗ.
3. В работе решается вопрос целесообразности перехода от сигналов с модуляцией BPSK(1) к сигналам с BOC(1,1), в условиях многолучевого распространения.

## **Структура и объем работы**

По своей структуре работа состоит из введения, 7 глав, заключения в виде выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 60 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и списка литературы из 8 наименования и тексты (коды) программ в приложении. Также присутствует специальный раздел, посвященный проблеме влияния СВЧ на человека, в рамках дополнительной работы безопасности жизнедеятельности и охраны труда.

## **Основное содержание работы**

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы и решаемых задач, формулируется поставленная проблема, определяется практическая ценность результатов.

**В первой главе** вводятся основные понятия, рассматриваются требования к сигналам СРНС и структура НАП. описываются цели и задачи работы и ставится проблема.

**Во второй главе** рассматриваются основные свойства навигационных радиосигналов, виды их модуляции.

**В третьей главе** проводится обзор и анализ сигналов современных СРНС. На основе разработанной программы моделирования строятся спектры сигналов.

**В четвертой главе** описывается система слежения за задержкой, её структурная схема и принцип работы.

**В пятой главе.** Рассматривается принцип работы разработанной программной модели, описывается методика ее разработки, принцип на котором производится исследование.

**В шестой главе** проводится анализ влияния многолучевости на сигналы с различной модуляцией и параметрами, на основе построенных диаграмм проводится сравнительный анализ сигналов в условиях многолучевого распространения.

**В разделе выводы** сформулированы основные научные и практические результаты работы, приведенные ниже.

### **Основные результаты работы и выводы**

При выполнении работы нами было проведено сравнение влияния многолучевого распространения сигнала на действующие виды навигационных сигналов различных СРНС с модуляцией ВОС и BPSK (пункт 6.3). Цель работы была достигнута.

В ходе выполнения цели работы были выполнены поставленные задачи:

- Проведен анализ влияния структуры навигационных сигналов на их свойства. Для сигналов различных СРНС было проведено исследование спектра мощности, в ходе которого определены значения ширины полос занимаемых частот:

$$\Delta f_{bpsk(1)} = 2 \text{ МГц} , \quad \Delta f_{bpsk(10)} = 20 \text{ МГц} , \quad \Delta f_{voc(1.1)} = 4 \text{ МГц} , \\ f_{bpsk(2)} = 4,2 \text{ МГц} , \quad \Delta f_{bpsk(0,5)} = 1 \text{ МГц}$$

Спектры сигналов представлены в пункте 3: BPSK(0.5) Рис.8., BPSK(1) Рис.11., BPSK(2) Рис.16., BPSK(10) Рис.12., BOC(1,1) Рис.14.

В ходе анализа установлено характерное отличие формы огибающих спектров разных видов модуляций.

- Проведен обзор действующих навигационных радиосигналов основных СРНС. Пункт 3(3.1, 3.2, 3.3, 3.4). В данном пункте рассмотрены сигналы GPS BPSK(1), BPSK(10); ГЛОНАСС BPSK(0.5); BeiDou BPSK(2); Galileo BOC(1,1)

Среди гражданских сигналов наиболее узкополосным из рассмотренных является сигнал ГЛОНАСС ПТ. Максимальная полоса 4 МГц у сигналов с модуляцией BPSK(2) и BOC(1,1).

- В пункте 4 (подпункты 4.1, 4.2, 4.3 ) проведен анализ работы системы слежения за задержкой, описана структурная схема ССЗ, построена дискриминационная характеристика дискриминатора ССЗ(текст программы в приложениях).

- Создана методика и программа имитационного моделирования на ЭВМ, позволяющая рассчитывать огибающие многолучевости для навигационных сигналов с модуляцией BPSK и BOC.

- Проведен анализа влияния многолучевого распространения на прием сигналов с модуляцией BPSK. Пункт 6.1

Конечный результат работы представлен на Рис.40.

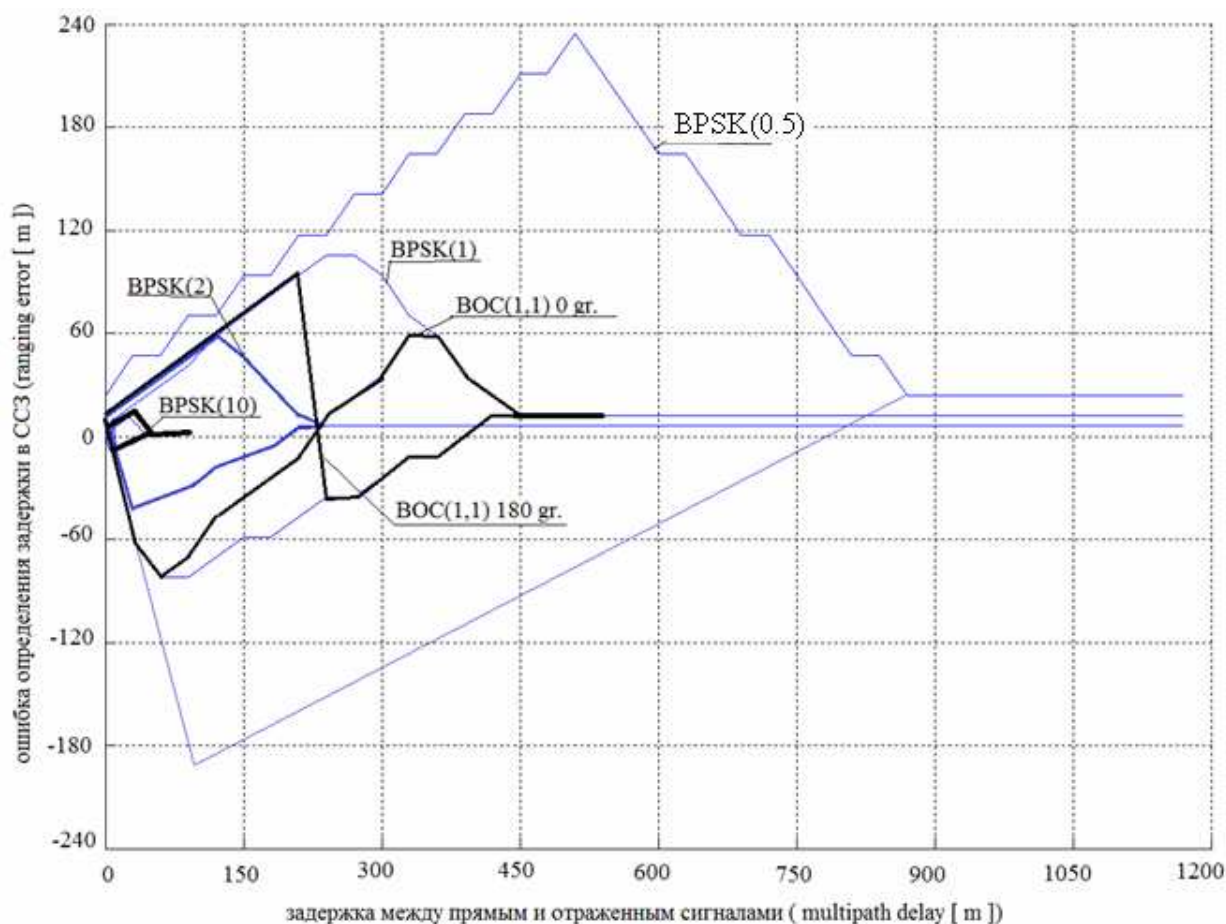


Рис.40. Зависимость величины сдвига ДХ от рассогласования сигналов по задержке для разных сигналов.

Анализируя графики представленные выше Рис.40, применительно к современному действующим СРНС, делаем вывод, что в рамках гражданского диапазона для сигналов с модуляцией BPSK самым помехоустойчивым является сигнал BPSK(2), используемый в СРНС Weidou, можно отметить, что он обладает самой широкой полосой частот 4 МГц.

Самым помехоустойчивым к многолучевому распространению является сигнал BPSK(10), сигнал с  $T_{дк} = 0,1$  мкс и полосой частот 20 МГц. Этот сигнал высокоточный и используется в военных целях.

- Проведен анализа влияния многолучевого распространения на прием сигналов с модуляцией BOC(1,1). Пункт 6.2. Огибающая многолучевости данного сигнала имеет характерную особенность – двухлепестковую структуру, вызванную наличием модуляции поднесущей.

- Проведен сравнительный анализ влияния многолучевого распространения на действующие навигационные радиосигналы современных спутниковых радионавигационных систем.

В результате анализа при рассмотрении основных сигналов используемых в современных СРНС получаем примерные значения полос частот:  $\Delta f_{bpsk(1)} = 2 \text{ МГц}$  ,  $\Delta f_{bpsk(10)} = 20 \text{ МГц}$  ,  $\Delta f_{voc(1,1)} = 4 \text{ МГц}$  ,  $f_{bpsk(2)} = 4,2 \text{ МГц}$  ,  $\Delta f_{bpsk(0,5)} = 1 \text{ МГц}$ .

Значения дают однозначный ответ, у какого сигнала полоса шире, тот сигнал более устойчив к влиянию многолучевого распространения Рис.40. Самая широкая полоса у сигнала BPSK(10), самая узкая у сигнала с модуляцией BPSK(0.5), т.е. благоприятнее использования сигнала BPSK(10) высокой точности, диапазона С/А СРНС GPS. Рассматривая сигналы гражданского диапазона, делаем вывод, что сигнал BPSK(2) является самым устойчивым к многолучевому распространению.

В результате сравнения двух сигналов BPSK(1) и ВОС(1,1) Рис.40., которые обладают одинаковым периодом повторения ДК ( $T_{дк} = 1 \text{ мкс}$ ). Делаем вывод, что в условиях многолучевого распространения сигналов преимуществом по определению задержки в НАП обладает сигнал ВОС(1,1), т.к. у него при значении рассогласования близкому к длительности одного символа ДК погрешность близка к нулевому значению и площадь под графиком меньше.



