

УДК 621.39

В.М. Бердников

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проанализирована помехоустойчивость существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем методом имитационного моделирования на ЭВМ. Показано, что использование перспективных сигналов в условиях воздействия различного рода помех позволяет получить выигрыш в точности определения координат потребителя.

Введение. В настоящее время спутниковая навигация (СН) – очень развитая и перспективная сфера деятельности человека. Появление в последнее десятилетие возможности использования (СН) в гражданском секторе привело к бурному росту предложения при огромном спросе в различных областях науки и техники. При этом потребителям требуется все более высокая точность определения координат во все более сложной помеховой обстановке. Воздействие различного рода мешающих факторов на навигационные сигналы, таких как шумы и помехи как активного, так и пассивного происхождения, переотражения от зданий и высотных объектов (многолучевость) отрицательно сказывается на точности определения местоположения. Таким образом, требуется постоянное улучшение свойств и самих используемых сигналов для противодействия мешающему воздействию различных факторов.

Цель работы – анализ ошибки определения координат потребителя для существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем (СНС) при воздействии различного рода помех.

Сигналы, используемые в СНС. На данный момент в существующих СНС (GPS, ГЛОНАСС, COMPASS и др.) используются фазоманипулированные сигналы, так называемые *BPSK* (Binary phase shift keying). Известно, что в дальнейшем GPS, европейская Galileo, а так же японская QZSS собираются использовать меандровые шумоподобные сигналы (*BOC* – binary offset carrier). Таким образом представляет интерес сравнить их устойчивость к различного рода помехам.

Математическая запись двоичного фазоманипулированного сигнала имеет следующий вид: $s(t) = g(t) \cos(2\pi f_0 t + \pi(m-1))$, $m = 1, 2$, $0 \leq t \leq T$,

где $g(t)$ – функция изменения огибающей сигнала.

Математическая запись *BOC* сигнала:

$$s_{BOC}(t) = s(t) * \text{sign}(2\pi f_{sc} N t), \quad 0 \leq t \leq T$$

где $s(t)$ – узкополосный сигнал (в данном случае *BPSK*), $\text{sign}(2\pi f_{sc} N t)$ – расширяющий меандр, f_{sc} – частота меандра, кратная 1,023 МГц, N – целое положительное число, являющееся мерой расширения сигнала.

Таким образом, *BOC* модуляция – это умножение узкополосного сигнала $s(t)$ на меандр поднесущей частоты f_{sc} , которая раздвигает спектр данного сигнала относительно несущей частоты.

Обычно используется запись $BOC(n_1, n_2)$, где n_1 и n_2 – два индекса, отвечающие отношениям $n_1 = f_{sc} / f_c = N$, $n_2 = f_c$ МГц, где f_c – частота кодовой последовательности (КП) навигационного сигнала (равная 1,023 МГц или кратная ей).

Спектральные плотности мощности исследуемых сигналов приведены на рисунке 1, где а – *BPSK*, б – *BOC(1,1)*, в – *BOC(5,1)* и г – *BOC(15,1)*.

Описание эксперимента. Исследования производились методом имитационного моделирования при числе реализаций не менее 10^4 [2].

С целью сравнительного анализа при прочих равных условиях сигналов *BOC* и *BPSK* в соответствии с требованиями известных систем [1] будут использованы следующие параметры этих сигналов.

1. Параметры $n_2 = 1$ и $n_1 = \{1, 5, 15\}$.

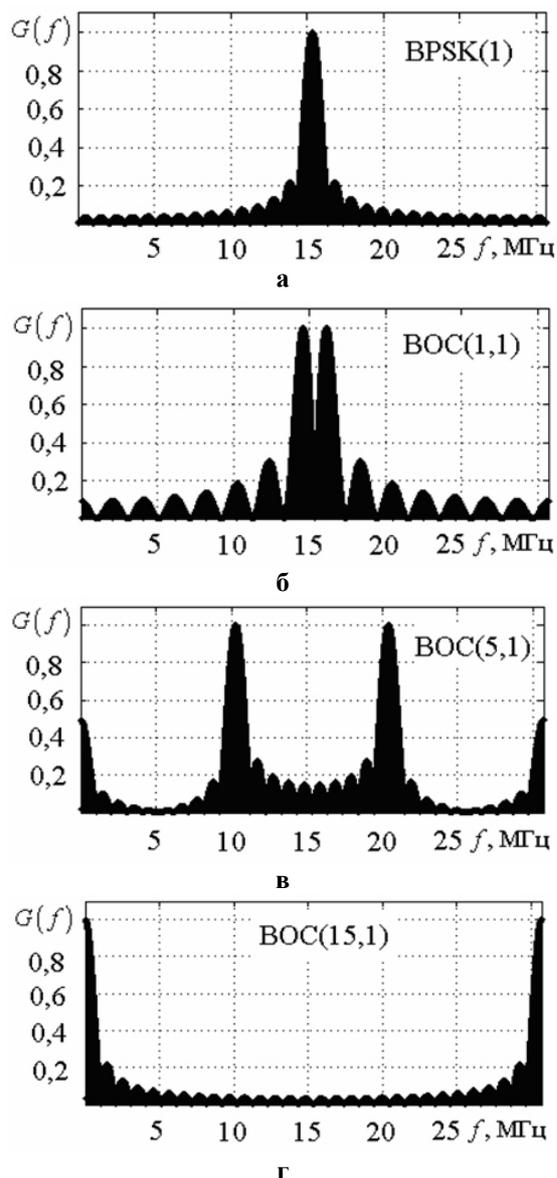


Рисунок 1

2. В качестве дальномерной КП используется М-последовательность длины $N_{bpsk} = 1023$.

3. В качестве элементарного импульса КП $\{a_i\}$ использовался идеальный видеоимпульс единичной амплитуды и длительностью равной $\tau_{chip} = 1/f_{chip} \approx 1$ мкс.

4. Сигнал считался перенесенным на промежуточную частоту $f_0 \approx 15$ МГц и оцифрованным с частотой дискретизации $f_s = 4f_0 \approx 60$ МГц.

5. Доплеровский сдвиг частоты f_D и задержка сигнала τ_0 считались постоянными в течение интервала времени обработки сигнала.

6. Длительность сигнала $T_s \approx 1$ мс.

В процессе имитационного моделирования помехоустойчивости сигналов BPSK и BOC в качестве устройства обработки сигналов использовался квадратурный коррелятор при воздействии различных типов помех (широкополосная, структурная и узкополосная помехи). Структурная схема исследования BOC-сигналов будет отличаться только типом опорного сигнала в корреляторе, в качестве которого будет использован также BOC-сигнал. Далее на основе вычисления задержки сигнала решалась навигационная задача псевдодальномерным методом и вычислялось среднеквадратическое отклонение (СКО) абсолютной координаты (корень квадратный из суммы квадратов всех СКО координат) при различных значениях сигнал/шум при воздействии различного рода помех. Структурная схема исследования изображена на рисунке 2.

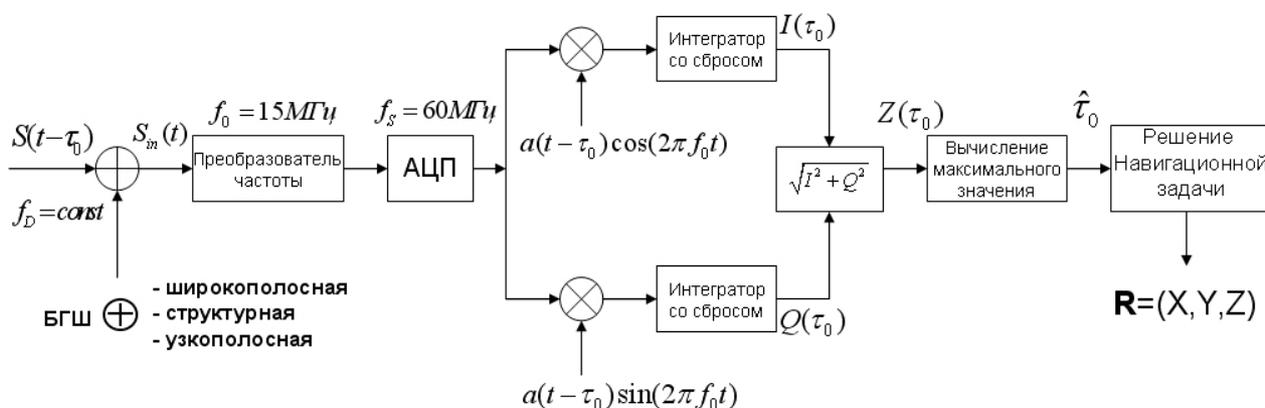


Рисунок 2

В качестве шума к сигналу добавлялся аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ) на уровне сигнала (отношение С-Ш, равное 0 дБ).

В качестве широкополосной помехи использовался белый гауссовский шум с равномерным во всей полосе сигнала спектром.

В качестве структурной помехи использовался сигнал в классе *BPSK*-сигналов с минимальной длительностью символов модулирующей КП, равной длительности элементарного символа сигнала *ВОС(15,1)*.

В качестве узкополосной помехи использовался отфильтрованный белый гауссовский шум в полосе, равной 10 % ширины основного лепестка спектральной плотности мощности полезного сигнала. При этом центральная частота помехи изменялась случайным образом по равномерному закону в пределах основного лепестка спектральной плотности мощности полезного сигнала.

Экспериментальные исследования. На рисунке 3,а показаны зависимости СКО абсолютной координаты от отношения сигнал–(шум+помеха) для различных сигналов при воздействии широкополосной помехи. Как видно, *ВОС*-сигналы имеют преимущество перед *BPSK*-сигналом, в то же время преимущество тем сильнее, чем выше порядок *N* *ВОС*-сигнала. Это следствие большого значения эффективной полосы *ВОС*-сигнала, которая возрастает с увеличением порядка *N*.

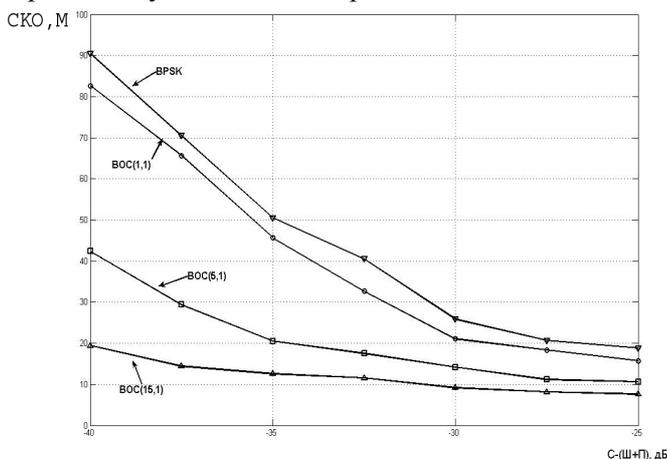


Рисунок 3,а

На рисунке 3,б показаны зависимости СКО абсолютной координаты от отношения сигнал–(шум+помеха) для различных сигналов при воздействии структурной помехи. Здесь результаты аналогичные, как и в случае широкополосной помехи. Однако при малых значениях сигнал–(шум+помеха) (*ВОС(1,1)* проигрывает 1-2 метра в СКО вследствие попадания его боковых лепестков в зону наиболее интенсивного действия структурной помехи.

На рисунке 3,в показаны зависимости СКО абсолютной координаты от отношения сигнал–(шум+помеха) для различных сигналов при воздействии узкополосной помехи. Так как высокопорядковые *ВОС*-сигналы не попадают под дей-

ствие узкополосной помехи (действующей в пределах главного лепестка *BPSK* сигнала), то различие в СКО существенное в пользу *ВОС(5,1)*, *ВОС(15,1)*.

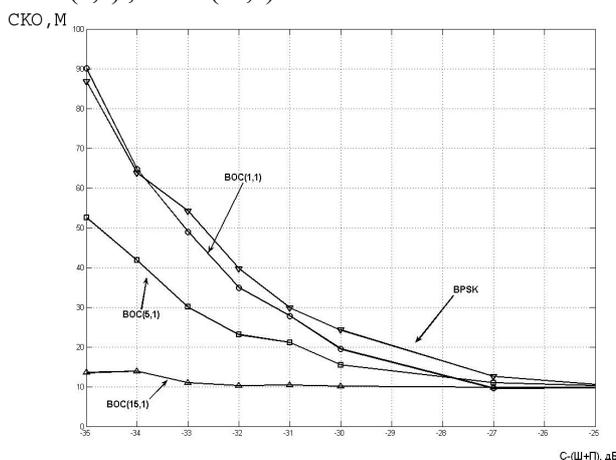


Рисунок 3,б

Выводы. В данной статье был описан эксперимент по сравнению используемого сигнала *BPSK* в СНС и перспективных сигналов *ВОС*. В результате проведенных исследований преимущество *ВОС*-сигналов перед *BPSK* СКО абсолютной координаты составляет от 2 до 100 метров в зависимости от вида помех и порядка *ВОС*-сигнала. Таким образом, применение *ВОС*-сигналов для СНС оправдано, но это требует более сложных алгоритмов и устройств обработки по сравнению с традиционным *BPSK*-сигналом.

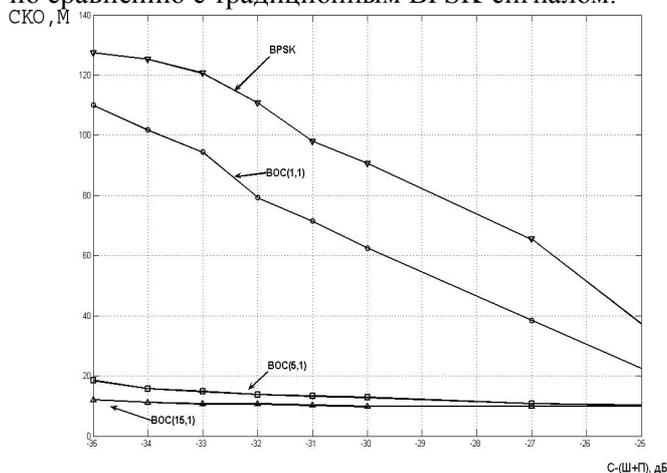


Рисунок 3,в

Библиографический список

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 3-е, перераб. – М.: Радиотехника, 2005. 688 с., ил.
2. Бердников В.М. Расчет ошибки позиционирования для существующих и перспективных сигналов спутниковых навигационных систем при воздействии помех//Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: тез. докл. 15-й МНТК. – Рязань: РГРТУ, 2008 – С.45.