

# Обнаружение имитирующих помех с использованием узкополосного дискриминатора задержки

В. С. Бахолдин, С. В. Барякшев, В. В. Елин

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

vka@mil.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрен подход для решения задач обнаружения имитирующих помех, основанный на слежении за формой взаимокорреляционной функции с использованием узкополосного дискриминатора задержки.

**Ключевые слова:** навигационная аппаратура потребителя, глобальная навигационная спутниковая система, имитирующая помеха, узкополосный дискриминатор задержки

## I. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) стали неотъемлемой частью многих сфер жизни. От транспорта и логистики до связи и финансовых систем – множество областей инфраструктуры зависят от точности и надёжности навигационных данных. Однако малая мощность навигационных сигналов делает навигационную аппаратуру подверженной различным помехам [1].

В настоящее время одним из самых опасных типов преднамеренных помех для ГНСС являются имитирующие помехи, которые точно воспроизводят структуру сигналов. Они могут приводить не только к блокировке решения навигационной задачи, но и к выдаче ложного решения с признаком достоверности [2].

Существуют различные методы противодействия имитирующим помехам. Они основываются на том, что в навигационной аппаратуре истинные и ложные сигналы могут быть различены путём оценки их амплитуд, доплеровских смещений частоты, времени и направления прихода. Большинство этих методов реализуют только обнаружение воздействия имитирующих помех. Однако для сохранения работоспособности навигационной аппаратуры необходимо восстановить навигационные определения по истинным сигналам. В работе предложен метод защиты от имитирующих помех на основе использования узкополосного дискриминатора задержки для анализа формы взаимокорреляционной функции (ВКФ) и последующей оценки параметров сигнала.

## II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЗКОПОЛОСНОГО ДИСКРИМИНАТОРА ЗАДЕРЖКИ ДЛЯ ФИЛЬРАЦИИ ИМИТИРУЮЩИХ ПОМЕХ

При постановке имитирующей помехи на входе приемника, ввиду близости значений задержек дальномерного кода (ДК) и доплеровских сдвигов частоты сигнала и помехи, происходит расщепление корреляционного пика, сопровождающееся расширением ВКФ принятого и опорного сигналов. Помеха многолучевого распространения навигационного сигнала приводит к похожим искажениям корреляционной обработки [3, 4]. На рис. 1 приведены результаты моделирования.

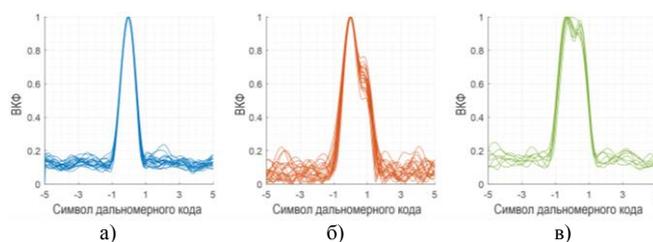


Рис. 1. Взаимокорреляционная функция принятого и опорного сигналов

Использование стандартного коррелятора в канале измерения задержки при ширине полосы захвата в половину длительности ДК не позволяет обнаружить появление дополнительных «пиков» ВКФ, вызванных коррелированными помехами. В работе для эффективного обнаружения помех и восстановления достоверных оценок измеряемых параметров, кроме трех обычно используемых компонент опорного сигнала (совпадающего, опережающего, отстающего), реализован банк узкополосных дискриминаторов задержки, в котором полоса захвата адаптивно меняется в интервале от 0.1 до 0.5 длительности символа ДК в зависимости от режима работы измерительного канала (поиск, обнаружение, слежение). Это обеспечит оценку ВКФ с высоким разрешением и обнаружение нескольких локальных и глобальных максимумов в пределах длительности символа ДК.

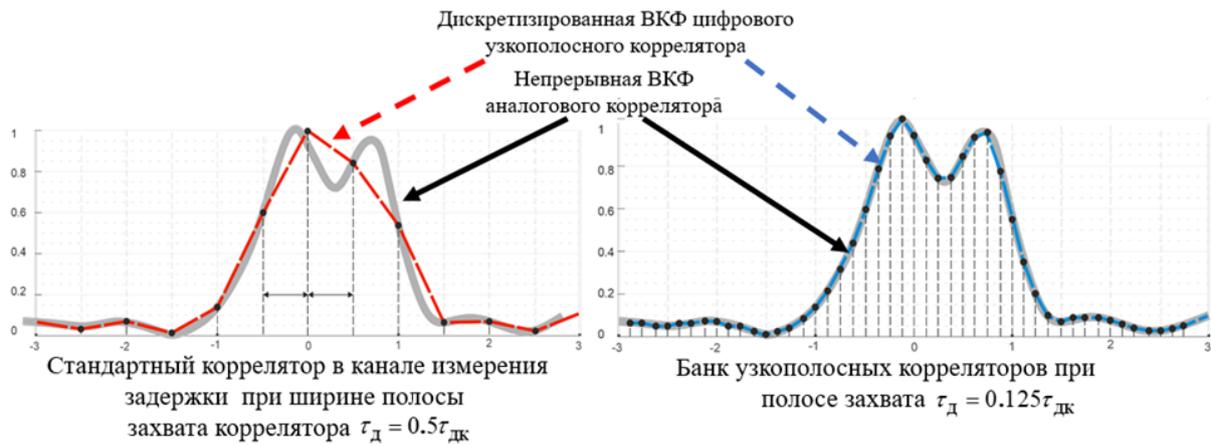


Рис. 2. Оценка формы ВКФ при воздействии имитирующих помех

В качестве критерия, в соответствии с которым принимается решение о наличии помехового воздействия, используется разность  $R^{\hat{r}}$  отстающей  $I_E^{\hat{r}}$  и опережающей  $I_L^{\hat{r}}$  синфазных компонент канала слежения за задержкой ДК (1). Выбор критерия обоснован тем, что в режиме слежения при наличии на входе навигационной аппаратуры смеси полезного сигнала и шума разность синфазных отстающих и опережающих компонент имеет одинаковое значение. Однако при добавлении к полезному сигналу коррелированного помехового воздействия происходит расширение ВКФ и изменение этой величины [5].

$$R^{\hat{r}} t_k = I_E^{\hat{r}} t_k - I_L^{\hat{r}} t_k \quad (1)$$

Для подтверждения выдвинутой гипотезы были записаны сигналы, позволяющие оценить точностные характеристики НАП, в том числе, в условиях наличия помех. Результаты обработки полученных данных показали, что параметр разности синфазных компонент  $R^{\hat{r}}$  позволяет выявлять искажения корреляционной функции и может быть использован для обнаружения помеховых воздействий.

При обнаружении искажений формы ВКФ были введены и использованы следующие параметры процесса обнаружения:

- порог обнаружения  $\gamma$ , при превышении которого отсчет считается искаженным;
- количество отсчетов  $N_{\text{нак}}$ , используемых для обнаружения помеховых воздействий при фиксированной вероятности ложной тревоги  $P_{\text{лт}}$ ;
- пороговое число превышений отсчетов  $W=W[\gamma]$

$$\frac{n}{N_{\text{нак}}} \geq W,$$

где  $n = \sum_{i=1}^{N_{\text{нак}}} (R^{\hat{r}} > \gamma)$  – количество отсчетов, превышающих порог обнаружения в течение интервала наблюдения.

Решение о наличии или отсутствии искажений принималось согласно критерию Неймана–Пирсона. Порог обнаружения, используемый для принятия

решения об искажении ВКФ принимаемого и опорного сигналов в результате воздействия помехи, вычисляется следующим образом:

$$\gamma = \sigma \Phi^{-1} (1 - P_{\text{лт}}) \pm \mu_0, \quad (2)$$

где  $\mu_0, \sigma$  – математическое ожидание и дисперсия ширины ВКФ.

Анализ процесса обнаружения искажений, вызванных эффектом многолучевого распространения сигнала, показал, что передний фронт ВКФ принимаемого и опорного сигналов (на уровне рассогласования по задержке между корреляторами  $0.3\tau_{\text{дк}}$  и меньше) не искажен. Это вызвано тем, что энергия сигнала прямого распространения значительно больше энергии сигналов многолучевого распространения, которые всегда запаздывают относительно прямого.

Различные типы рассматриваемых помех обладают характерными признаками, которые позволяют надежно их классифицировать [6, 7]. Для обнаружения воздействий имитирующих помех и ретранслированных помех, а также сигналов многолучевого распространения на навигационную аппаратуру военных потребителей введено следующее решающее правило:

$$\beta(\tau_i) = \begin{cases} 2, & \text{если } \sum_{i=1}^{\beta} \left[ \frac{n(\tau_i)}{N_{\text{нак}}} \geq W(\tau_i) \right] = 3 - \text{имитирующая помеха} \\ 1, & \text{если } 1 \leq \sum_{i=1}^{\beta} \left[ \frac{n(\tau_i)}{N_{\text{нак}}} \geq W(\tau_i) \right] < 3 - \text{многолучевость} \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^{\beta} \left[ \frac{n(\tau_i)}{N_{\text{нак}}} \geq W(\tau_i) \right] = 0 - \text{отсутствие помех} \end{cases}$$

Если количество отсчетов, превышающих порог обнаружения в течение интервала наблюдения, составляет 0,1 от общего числа отсчетов за период накопления  $N_{\text{нак}}$  для трех уровней  $\tau_c$ , то вырабатывается решение о наличии имитационной помехи ( $\beta = 2$ ), для одного или двух уровней – решение о наличии сигнала многолучевого распространения ( $\beta = 1$ ).

На рис. 3 показаны результаты обнаружения подмены навигационного поля при различных значениях мощности помехи.

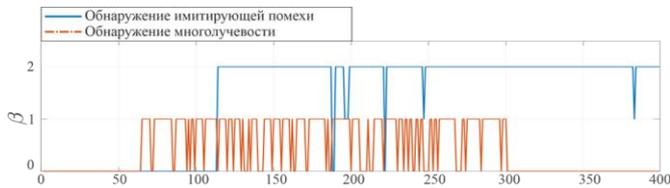


Рис. 3. Обнаружение имитирующей помехи и многолучевости на входе НАП при превышении мощности помехи над сигналом на 1,5дБ

Предложенный алгоритм позволяет обнаружить помеховые воздействия, коэффициент корреляции которых с истинным сигналом близок к единице. При обнаружении имитирующей помехи решение навигационной задачи должно считаться недостоверным, до потребителя доводится информация о нарушении навигационного поля в заданном районе.

Восстановление достоверных навигационно-временных определений осуществляется на основе оценки закона изменения задержки ДК. Вследствие взаимного перемещения навигационного космического аппарата и НАП параметры навигационного сигнала изменяются непрерывно и плавно. Изменение параметров имитирующей помехи зависит от скорости перемещения НАП относительно постановщика помех и от шага изменения задержки, который задан в технических характеристиках имитатора сигналов. Анализ известных образцов имитаторов сигналов показал, что дискретность изменения параметра задержки составляет 5–20 мс. Ограниченная дискретность существующих имитаторов сигналов позволяет различить истинный и ложный сигналы путем оценки их параметров с использованием блока узкополосных дискриминаторов задержки. Результаты моделирования, приведенные на рис. 4, при воздействии имитирующей помехи указывают на периодический характер изменения задержки с темпом, равным времени обновления сигнала в постановщике помех.

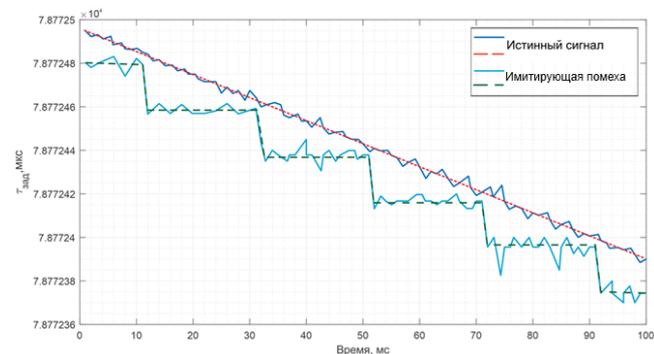


Рис. 4. Оценка задержки истинного сигнала и имитирующей помехи

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен алгоритм цифровой обработки сигналов, основанный на слежении за формой взаимокорреляционной функции и селекции имитирующей помехи с использованием узкополосного дискриминатора задержки дальномерного кода,

Применение алгоритма обеспечивает возможность обнаружения истинного сигнала на фоне имитирующих помех. Результаты исследований подтверждают, что предложенный метод может быть успешно интегрирован в современные системы обработки сигналов, обеспечивая повышение их помехоустойчивости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Карутин С.Н. Дифференциальная коррекция и мониторинг глобальных навигационных спутниковых систем. Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), 2014. 833 с.
- [2] Humphreys T., Psiaki M. GNSS Spoofing and Detection // Proc. Of IEEE, 2016, vol. 104, issue 6, pp. 1258-1270
- [3] Weill L.R. Multipath mitigation - How good can it get with new signals? GPS World, 2003, vol. 16, no. 6, p. 106–113.
- [4] ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. 3-е изд., перераб. М.: Радиотехника, 2005. 688 с.
- [5] Бахолдин В.С. Способ цифровой обработки сигналов в навигационной аппаратуре потребителя глобальных навигационных спутниковых систем при воздействии имитационных помех / В.С. Бахолдин, С.В. Барякшев, А.В. Денисов // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2024. № 4. С. 31-38.
- [6] Рубцов Н.С. Алгоритм защиты от спуффинга аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем / Н.С. Рубцов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 4. С. 92-101
- [7] Авдеев В.А. Метод оперативного контроля целостности навигационного поля глобальных навигационных спутниковых систем / В.А. Авдеев, Н.С. Рубцов, С.В. Барякшев // Навигация и гидрография. 2022. № 67. С. 7-17.