

УДК 621.391.825

## ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛОПОДОБНЫХ ПОМЕХ БОРТОВЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ СТАНЦИЯМ

Р. В. Антипенский, А. А. Волков, А. А. Донцов, Е. Е. Назаров

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия  
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”*

Поступила в редакцию 01.02.2023 г.

**Аннотация.** Разработана модель выходного сигнала оптимального устройства радиолокационной станции (РЛС) при приеме сигналоподобной помехи с неточностью в установке длительности сигнала. С использованием полученной модели проведена оценка влияния отклонения длительности помехи на выходной сигнал оптимального устройства. Показано, что при любом превышении длительности полезного сигнала уровень, положение, ширина и форма главного лепестка радиолокационного изображения (РЛИ) не изменяются. Признаки помехи в выходном сигнале оптимального устройства появляются при приеме помех с уменьшенной длительностью. В этом случае наличие неточности в установке длительности приводит к снижению уровня и расширению главного лепестка, а также изменению формы его боковых лепестков. На основе результатов моделирования обоснованы требования к точности воспроизведения длительности сигналоподобной помехи.

**Ключевые слова:** сигналоподобная помеха, линейная частотная модуляция, точность воспроизведения параметра сигнала, радиолокационная станция, длительность сигнала.

## REQUIREMENTS FOR THE ACCURACY OF REPRODUCTION OF THE DURATION OF SIGNAL-LIKE INTERFERENCE TO ONBOARD RADAR STATIONS

R. V. Antipensky, A. A. Volkov, A. A. Dontsov, E. E. Nazarov

**Abstract.** A model of the output signal of the optimal device of a radar station was developed when receiving signal-like interference with an inaccuracy in setting the signal duration. Using the obtained model, the influence of the interference duration deviation on the output signal of the optimal device was estimated. It is shown that for any excess of the useful signal duration, the level, position, width and shape of the main lobe of the radar image do not change. Signs of interference in the output signal of the optimal device appear when receiving interference with a reduced duration. In this case, the presence of an inaccuracy in the duration setting leads to a decrease in the level and expansion of the main lobe, as well as a change in the shape of its side lobes. Based on the simulation results, the requirements for the accuracy of reproduction of the duration of the signal-like interference are substantiated.

**Keywords:** signal-like interference, linear frequency modulation, reproduction accuracy of the signal parameter, radar station, signal duration.

---

© Антипенский Р. В., Волков А. А., Донцов А. А., Назаров Е. Е., 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Современные бортовые РЛС обеспечивают детальную круглосуточную разведку, не зависящую от погодных условий [1], и при этом обладают высокой помехозащищенностью к традиционным маскирующим помехам [2]. Перспективной альтернативой таких помех могут стать сигналоподобные помехи [3], позволяющие навязать противнику ложную информацию, ввести его в заблуждение относительно реальной фоноцелевой обстановки и сорвать процесс обнаружения цели или снизить пропускную способность системы разведки.

При формировании сигналоподобных помех ключевым вопросом является обеспечение достаточной точности воспроизведения параметров полезного сигнала, при которой система обработки подавляемой РЛС или оператор не смогли бы идентифицировать помеху. Возможности обнаружения и различения сигналов и помех определяет выходной сигнал оптимального устройства системы обработки РЛС, поэтому требования к точности воспроизведения частотно-временных параметров сигналоподобных помех должны определяться предельно допустимыми изменениями указанного сигнала.

Для получения высокой разрешающей способности по дальности в радиолокации наиболее часто применяются импульсные сложные сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [4]. Одним из основных параметров таких сигналов является их длительность. В известной литературе [5, 6] вопросы, связанные с обоснованием требований к точности воспроизведения указанного параметра при формировании сигналоподобных помех, освещены недостаточно. Поэтому цель статьи состоит в обосновании требований к точности воспроизведения длительности сигналоподобных помех бортовым РЛС.

## МОДЕЛЬ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ОПТИМАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ПРИЕМЕ СИГНАЛОПОДОБНОЙ ПОМЕХИ С НЕТОЧНОСТЬЮ В УСТАНОВКЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Математическая модель полезного ЛЧМ сигнала РЛС имеет вид:

$$s(t) = S_m(t) \cos(2\pi f_0 t + \mu t^2 + \varphi_0), \quad (1)$$

где  $t$  — текущее время;  $S_m(t)$  — огибающая;  $f_0$  — начальная частота;  $\mu$  — скорость изменения частоты;  $\varphi_0$  — начальная фаза.

Огибающая полезного сигнала, как правило, имеет прямоугольную или близкую к прямоугольной форму, поэтому ниже будет считаться:

$$S_m(t) = S_0(\sigma(t) - \sigma(t - T)), \quad (2)$$

где  $S_0$  — амплитуда сигнала;  $T$  — длительность сигнала;  $\sigma(t)$  — функция Хевисайда.

Система обработки РЛС при помощи квадратурного детектора [7] формирует комплексную огибающую действительного сигнала (1), которая имеет вид:

$$\dot{S}(t) = S_0(\sigma(t) - \sigma(t - T)) e^{j(\mu t^2 + \varphi_0)}. \quad (3)$$

Далее оптимальное устройство осуществляет преобразование вида [7]:

$$J_S(\tau) = \left| \dot{J}_S(\tau) \right| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(t + \tau) \dot{H}(t) dt \right|, \quad (4)$$

где  $\tau$  — машинное время;  $\dot{H}(t)$  — опорный сигнал. Функция  $J_S(\tau)$  представляет собой РЛИ цели и определяет характеристики ее обнаружения.

Опорный сигнал с точностью до амплитуды и начальной фазы повторяет комплексно-сопряжённую огибающую полезного сигнала:

$$\dot{H}(t) = H_0 (\sigma(t) - \sigma(t - T)) e^{-j\mu t^2}, \quad (5)$$

где  $H_0$  — размерный коэффициент.

Сигналоподобная помеха имеет такую же структуру, как и полезный сигнал, но с отличающейся длительностью

$$s_{\text{СПП}}(t) = S_0 \text{СПП} (\sigma(t) - \sigma(t - (T + \Delta T))) \cos(2\pi f_0 t + \mu t^2 + \varphi_0) \quad (6)$$

где  $S_0 \text{СПП}$  — амплитуда помехи;  $\Delta T$  — неточность в установке длительности помехи.

Комплексная огибающая помехи (5) имеет вид:

$$\dot{S}_{\text{СПП}}(t) = S_0 \text{СПП} (\sigma(t) - \sigma(t - (T + \Delta T))) e^{j(\mu t^2 + \varphi_0)}. \quad (7)$$

При приеме РЛС помехи (6) согласованный фильтр сформирует сигнал:

$$J_{S \text{СПП}}(\tau) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}_{\text{СПП}}(t + \tau) \dot{H}(t) dt \right|. \quad (8)$$

Подстановка (5) и (6) в (8) приводит к выражению:

$$J_{S \text{СПП}}(\tau) = J_{S \text{СПП}} \max \left| \int_{-\infty}^{\infty} (\sigma(t + \tau) - \sigma(t - (T + \Delta T) + \tau)) (\sigma(t) - \sigma(t - T)) e^{j\mu t^2} dt \right|, \quad (9)$$

где  $J_{S \text{СПП}} \max = S_0 \text{СПП} H_0$ .

Величина интеграла в формуле (9) определяется интервалом перекрытия функций амплитудной модуляции помехи и опорного сигнала. Положение границ этого интервала зависит от величины и знака  $\Delta T$ .

При  $\Delta T > 0$  длительность помехи превышает длительность опорного сигнала. Положение функций амплитудной модуляции помехи и опорного сигнала при различных значениях машинного времени в данном случае показано на рисунке 1. Для удобства анализа диапазон изменения машинного времени разбит на пять характерных интервалов.

Из графиков на рисунке 1 видно, что при  $\tau < -T$  и  $\tau > T + \Delta T$  функции амплитудной модуляции помехи и опорного сигнала не пересекаются, их произведение равно нулю и в этих интервалах  $J_{S \text{СПП}}(\tau) = 0$ . Подынтегральная функция в (9) будет отлична от нуля только при наложении указанных функций, т. е. при  $-T \leq \tau < T + \Delta T$ .

При  $-\Delta T \leq \tau < 0$  положение левой границы интервала, в котором подынтегральная функция в (9) отлична от нуля, зависит от  $\tau$ . Эта граница находится в точке  $t = -\tau$ . Положение правой границы данного интервала не зависит от  $\tau$  и находится в точке  $t = T$ . При  $0 \leq \tau < \Delta T$  положение границ не зависит от  $\tau$ . Левая граница находится в точке  $t = 0$ , а правая — в точке  $t = T$ . При  $\Delta T \leq \tau < T + \Delta T$  положение левой границы не зависит от  $\tau$  и находится в точке  $t = 0$ . Положение правой границы зависит от  $\tau$  и находится в точке  $t = T + \Delta T - \tau$ .

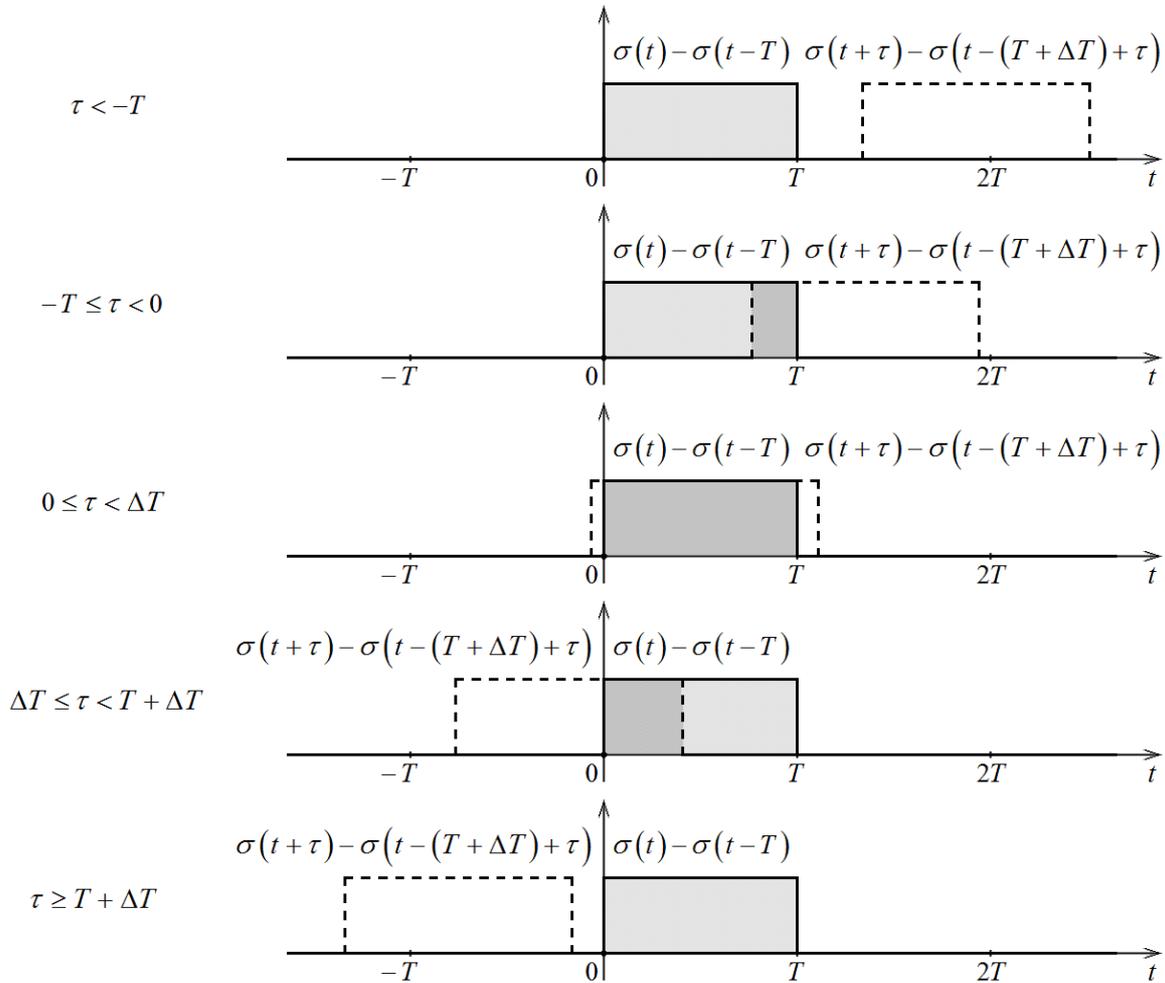


Рис. 1. Положение функций амплитудной модуляции помехи и опорного сигнала при различных значениях машинного времени в случае  $\Delta T > 0$ .

Следовательно, при  $\Delta T > 0$  интеграл (9) можно представить в виде:

$$J_{S \text{ СПП}}(\tau) = J_{S \text{ СПП}} \max \begin{cases} 0, & \tau < -T, \\ \left| \int_{-\tau}^T e^{j\mu\tau t} dt \right|, & -T \leq \tau < 0, \\ \left| \int_0^T e^{j\mu\tau t} dt \right|, & 0 \leq \tau < \Delta T, \\ \left| \int_0^{T+\Delta T-\tau} e^{j\mu\tau t} dt \right|, & \Delta T \leq \tau < T + \Delta T, \\ 0, & \tau \geq T + \Delta T. \end{cases} \quad (10)$$

Вычисление интегралов из (10) дает:

$$J_{S \text{ СПП}}(\tau) = J_{S \text{ СПП}} \max \left( \left| \frac{\sin(0,5\mu\tau(T+\tau))}{0,5\mu\tau T} \right| (\sigma(\tau+T) - \sigma(\tau)) + \right. \\ \left. + \left| \frac{\sin(0,5\mu\tau T)}{0,5\mu\tau T} \right| (\sigma(\tau) - \sigma(\tau - \Delta T)) \right) +$$

$$+ \left| \frac{\sin(0,5\mu\tau(T + \Delta T - \tau))}{0,5\mu\tau T} \right| (\sigma(\tau - \Delta T) - \sigma(\tau - (T + \Delta T))) \Bigg). \quad (11)$$

При  $\Delta T < 0$  длительность помехи меньше длительности опорного сигнала. Положение функций амплитудной модуляции помехи и опорного сигнала при различных значениях машинного времени в данном случае показано на рисунке 2. Для удобства анализа диапазон изменения машинного времени также разбит на пять характерных интервалов.

Из графиков на рисунке 2 видно, что также, как и в предыдущем случае, интеграл (9) отличен от нуля при  $-T \leq \tau < T + \Delta T$ . Вне этого промежутка  $J_S \text{СПП}(\tau) = 0$ . Границы интервалов интегрирования определяются по аналогии с предыдущим случаем: при  $-T \leq \tau < \Delta T$  время изменяется в интервале  $-\tau \leq t < T$ , при  $\Delta T \leq \tau < 0$  — в интервале  $-\tau \leq t < T + \Delta T - \tau$ , при  $0 \leq \tau < T + \Delta T$  — в интервале  $0 \leq t < T + \Delta T - \tau$ .

Следовательно, при  $\Delta T < 0$  интеграл (9) можно представить в виде:

$$J_S \text{СПП}(\tau) = J_S \text{СПП} \max \begin{cases} 0, & \tau < -T, \\ \left| \int_{-\tau}^T e^{j\mu\tau t} dt \right|, & -T \leq \tau < -|\Delta T|, \\ \left| \int_{-\tau}^{T-|\Delta T|-\tau} e^{j\mu\tau t} dt \right|, & -|\Delta T| \leq \tau < 0, \\ \left| \int_0^{T-|\Delta T|-\tau} e^{j\mu\tau t} dt \right|, & 0 \leq \tau < T - |\Delta T|, \\ 0, & \tau \geq T - |\Delta T|. \end{cases}, \quad (12)$$

Вычисление интегралов из (12) дает:

$$\begin{aligned} J_S \text{СПП}(\tau) = J_S \text{СПП} \max & \left( \left| \frac{\sin(0,5\mu\tau(T + \tau))}{0,5\mu\tau T} \right| (\sigma(\tau + T) - \sigma(\tau + |\Delta T|)) + \right. \\ & + \left| \frac{\sin(0,5\mu\tau(T - |\Delta T|))}{0,5\mu\tau T} \right| (\sigma(\tau + |\Delta T|) - \sigma(\tau)) + \\ & \left. + \left| \frac{\sin(0,5\mu\tau(T - |\Delta T| - \tau))}{0,5\mu\tau T} \right| (\sigma(\tau) - \sigma(\tau - (T - |\Delta T|))) \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Обобщение результатов (11) и (13) позволяют представить выходной сигнал оптимального устройства РЛС в виде:

$$\begin{aligned} \frac{J_S \text{СПП}(\tau)}{J_S \text{СПП} \max} = & \left| \frac{\sin(\pi B \frac{\tau}{T} (1 + \frac{\tau}{T}))}{\pi B \frac{\tau}{T}} \right| \left( \sigma\left(\frac{\tau}{T} + 1\right) - \sigma\left(\frac{\tau}{T} + \frac{|\Delta T|}{T}\right) \right) + \\ & + \left| \frac{\sin\left(\pi B \frac{\tau}{T} \left(1 - \frac{|\Delta T|}{T} \sigma(-\Delta T) + \frac{\tau}{T} \sigma(\Delta T)\right)\right)}{\pi B \frac{\tau}{T}} \right| \left( \sigma\left(\frac{\tau}{T} + \frac{|\Delta T|}{T}\right) - \sigma\left(\frac{\tau}{T}\right) \right) + \\ & + \left| \frac{\sin\left(\pi B \frac{\tau}{T} \left(1 - \left(\frac{|\Delta T|}{T} + \frac{\tau}{T}\right) \sigma(-\Delta T)\right)\right)}{\pi B \frac{\tau}{T}} \right| \left( \sigma\left(\frac{\tau}{T}\right) - \sigma\left(\frac{\tau}{T} - \frac{|\Delta T|}{T}\right) \right) + \\ & + \left| \frac{\sin\left(\pi B \frac{\tau}{T} \left(1 + \frac{\Delta T}{T} - \frac{\tau}{T}\right)\right)}{\pi B \frac{\tau}{T}} \right| \left( \sigma\left(\frac{\tau}{T} - \frac{|\Delta T|}{T}\right) - \sigma\left(\frac{\tau}{T} - \left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right)\right) \right), \end{aligned} \quad (14)$$

где  $B = f_\delta T = \mu T^2 / (2\pi)$  — база сигнала.

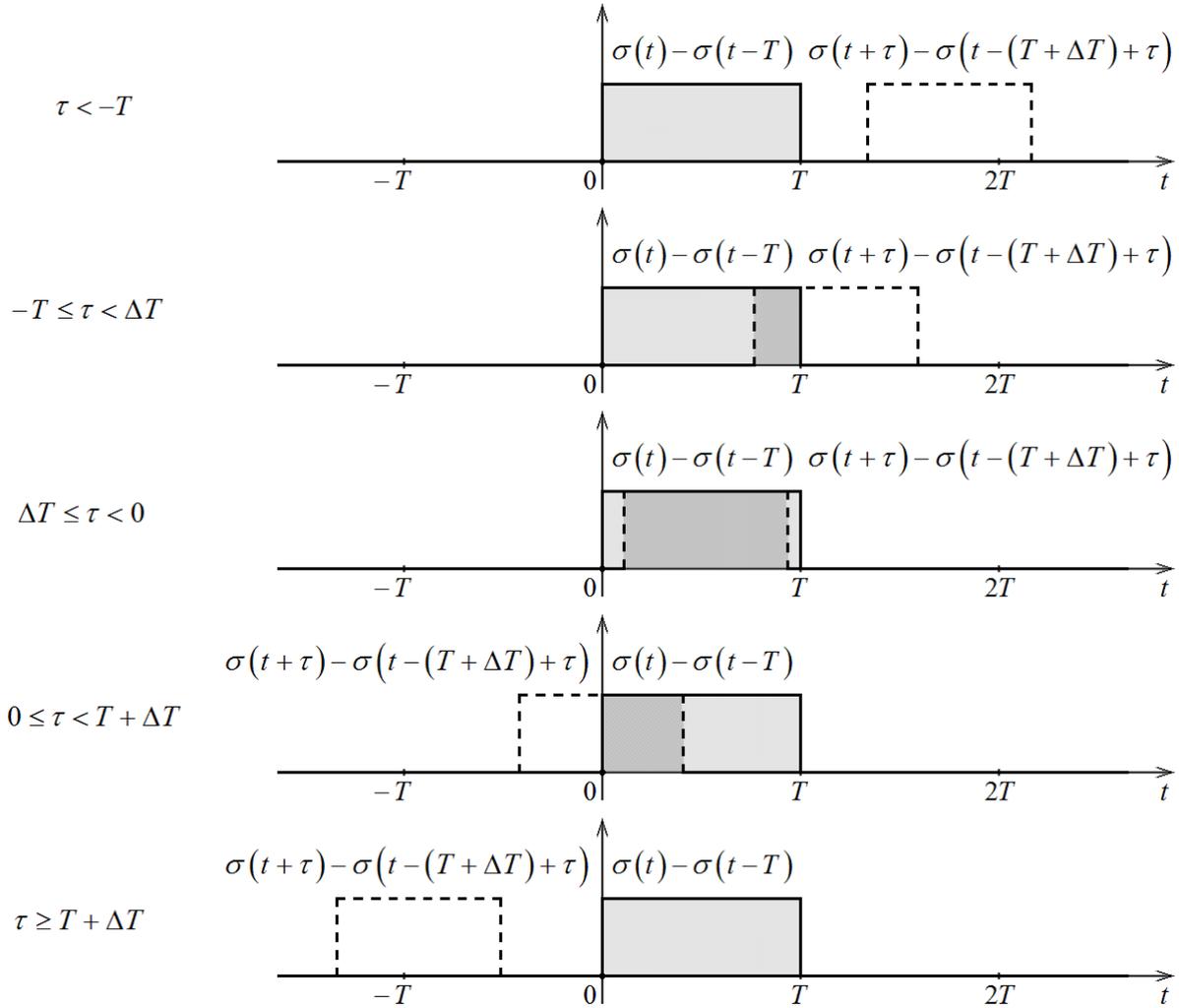


Рис. 2. Положение функций амплитудной модуляции помехи и опорного сигнала при различных значениях машинного времени в случае  $\Delta T < 0$ .

Таким образом, на основе алгоритма обработки сигналов в РЛС получена аналитическая модель выходного сигнала оптимального устройства при приеме сигналоподобной помехи с неточностью в установке длительности. Данная модель позволяет проводить оценку влияния неточности в установке длительности помехи на РЛИ.

## ОБОСНОВАНИИ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СИГНАЛОПОДОБНЫХ ПОМЕХ

С использованием выражения (14) проведено исследование поведения выходного сигнала оптимального устройства РЛС при приеме сигналоподобных помех с неточностью в установке длительности сигнала. На рисунке 3 показаны графики нормированных РЛИ при приеме помех с точно установленной и увеличенной длительностью, имитирующих полезный сигнал с базой  $B = 50$ . Из графиков видно, что положительная неточность в установке длительности сигнала не изменяет уровень, ширину и форму главного лепестка РЛИ, а также не смещает его. Структура ближних боковых лепестков при этом изменяется незначительно. Анализ показал, что та же картина наблюдается и при других положительных значениях  $\Delta T$  и базисах

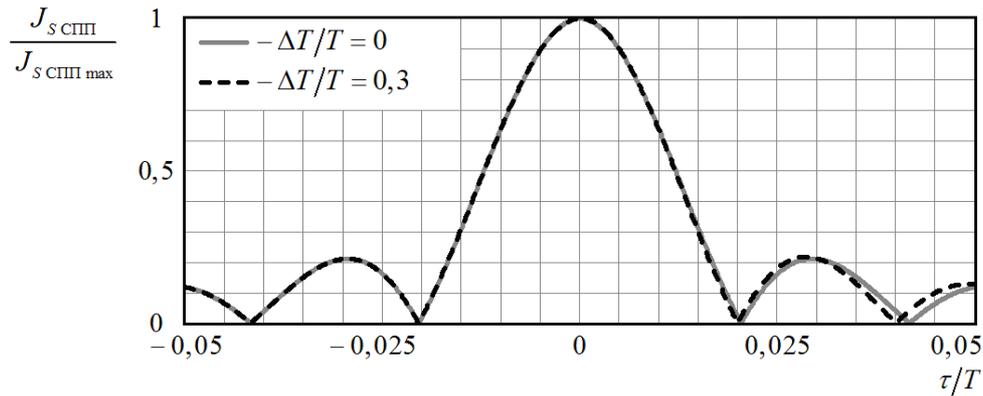


Рис. 3. Выходные сигналы оптимального устройства при приеме сигналоподобных помех с точно установленной и увеличенной длительностью.

сигнала.

Также было установлено, что сильные изменения наблюдаются в структуре дальних боковых лепестков РЛИ. На рисунке 4 показан фрагмент данной структуры при приеме сигналоподобных помех с увеличенной длительностью, имитирующих полезный сигнал с  $B = 50$ . Из графиков видно, что при увеличении неточности в воспроизведении длительности помехи частота максимумов и нулей увеличивается, однако их уровень не изменяется.

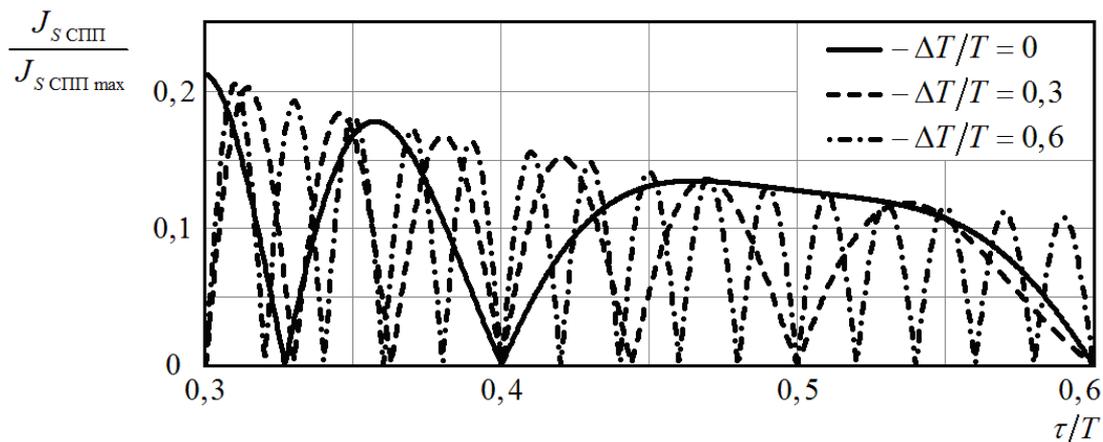


Рис. 4. Фрагмент структуры дальних боковых лепестков выходного сигнала оптимального устройства при приеме сигналоподобных помех с увеличенной длительностью.

На рисунке 5 показаны графики нормированных РЛИ при приеме помех с уменьшенной длительностью и различных значениях базы имитируемого сигнала. Из графиков видно, что отрицательная неточность в установке длительности сигналоподобной помехи приводит к снижению уровня и расширению главного и боковых лепестков выходного сигнала оптимального устройства. При этом смещение РЛИ по оси машинного времени отсутствует. Относительное снижение уровня и расширение главного лепестка не зависят от базы сигнала.

Проведенный анализ показал, что обнаружить и различить сигналоподобную помеху с неточной установкой длительности можно только если эта помеха короче сигнала. При этом наиболее заметные признаки помехи содержатся в форме главного лепестка РЛИ. Изменения в структуре боковых лепестков, особенно дальних, в реальных условиях определить практически не возможно, поскольку на них накладываются шумы. Поэтому требования к точности

установки длительности помехи должны основываться на предельно допустимых смещениях главного лепестка РЛИ.

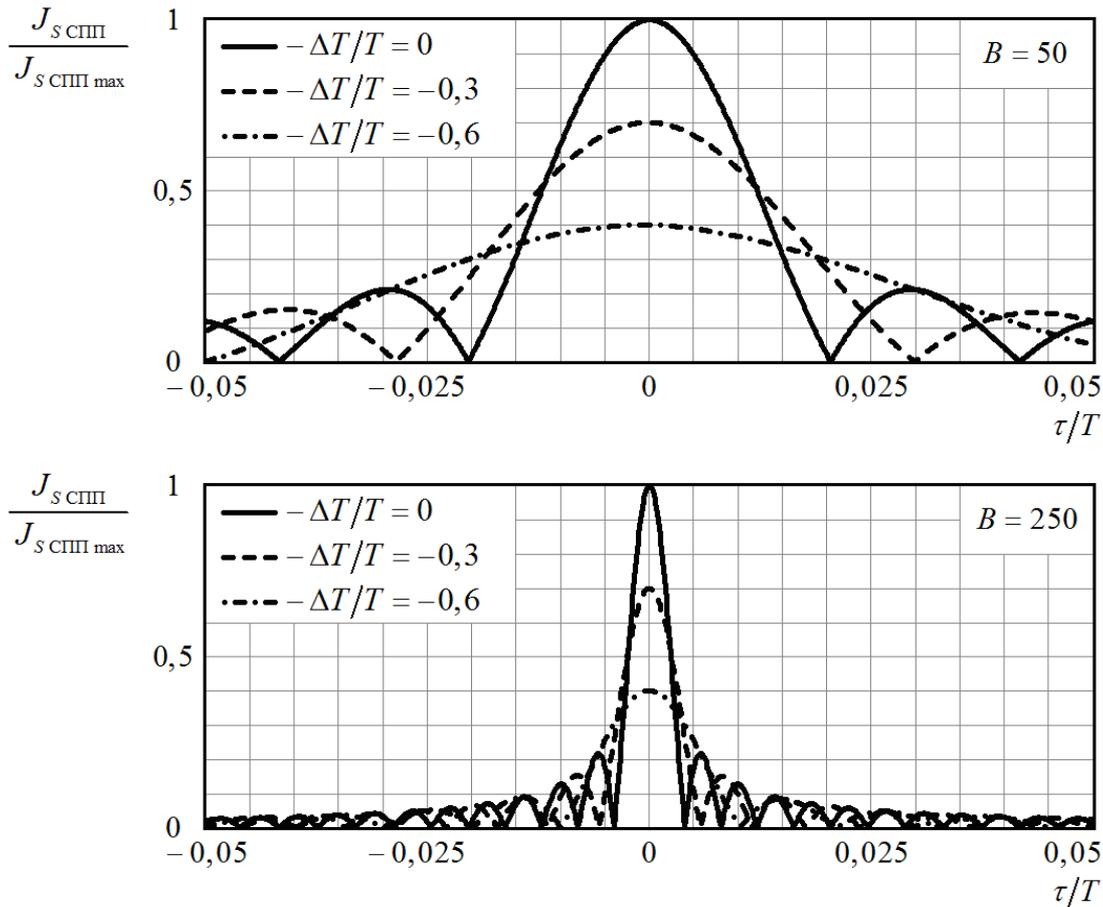


Рис. 5. Выходные сигналы оптимального устройства при приеме сигналоподобных помех с уменьшенной длительностью.

Пиковое смещение максимума РЛИ может происходить только по сигнальной оси. В этом случае пиковое значение главного максимума, как следует из (14), определяется выражением:

$$J_{S \text{ СПП max } \Delta T} = J_{S \text{ СПП}}(0) = J_{S \text{ СПП max}} \left( 1 - \frac{|\Delta T|}{T} \sigma(-\Delta T) \right), \quad (15)$$

откуда следует, что относительное смещение главного максимума равно:

$$k_{J \Delta T} = 1 - \frac{J_{S \text{ СПП max } \Delta T}}{J_{S \text{ СПП max}}} = \frac{|\Delta T|}{T} \sigma(-\Delta T). \quad (16)$$

Из (16) вытекает требование к точности установки длительности сигналоподобной помехи при  $\Delta T < 0$ :

$$\frac{|\Delta T|}{T} \leq k_{J \Delta T \text{ max}}, \quad (17)$$

где  $k_{J \Delta T \text{ max}}$  — предельно допустимое относительное снижение пика РЛИ.

Таким образом, предельно допустимая отрицательная относительная неточность в установке длительности сигналоподобной помехи равна предельно допустимому относительному снижению пика РЛИ. Полученная закономерность в отличие от аналогичной [8], определяющей предельно допустимую неточность в установке девиации частоты помехи, линейна,

что существенно облегчает решение задачи. Однако, при учете аддитивного вклада в деформацию РЛИ от расстройки каждого из параметров помехи (начальная частота, девиация частоты и длительность) задача обоснования требований к точности их воспроизведения становится нелинейной и существенно усложняется.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе алгоритма обработки сигналов и помех в линейном тракте РЛС получено аналитическое выражение выходного сигнала оптимального устройства при приеме сигналоподобной помехи с неточностью в установке ее длительности. С использованием полученного выражения проведена оценка влияния отклонения длительности помехи на выходной сигнал оптимального устройства. Показано, что при любом превышении длительности полезного сигнала уровень, положение, ширина и форма главного лепестка РЛИ не изменяются. Структура ближних боковых лепестков при этом изменяется незначительно. Сильные изменения наблюдаются в структуре дальних боковых лепестков. В этом случае признаки помехи в выходном сигнале выявить практически невозможно из-за неизбежного наложения шумов на боковые лепестки РЛИ. Заметные признаки помехи в выходном сигнале оптимального устройства появляются при отрицательной неточности в установке длительности помехи. В этом случае наблюдаются снижение уровня и расширение главного и боковых лепестков РЛИ. При этом смещение РЛИ по оси машинного времени отсутствует. Относительное снижение уровня и расширение главного лепестка не зависят от базы сигнала. Установлено, что предельно допустимая отрицательная относительная неточность в установке длительности сигналоподобной помехи равна предельно допустимому относительному снижению уровня главного лепестка РЛИ.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Основные направления развития авиационных бортовых РЛС / В. Н. Антипов, В. И. Меркулов, О. Ф. Самарин, В. С. Чернов // *Успехи современной радиоэлектроники*. — 2009. — № 10. — С. 7–28.
2. Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин, А. И. Куприянов, В. Г. Пономарев, Л. Н. Шустов. под ред. А. И. Куприянова. — М. : Вузовская книга, 2007. — 468 с.
3. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. — М. : Радиотехника, 2003. — 416 с.
4. Теоретические основы радиолокации / под ред. В. Е. Дулевича. — М. : Советское радио, 1978. — 608 с.
5. Вакин, С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С. А. Вакин, Л. Н. Шустов. — М. : Советское радио, 1968. — 448 с.
6. Куприянов, А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Куприянов. — М. : Вузовская книга, 2013. — 360 с.
7. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / под ред. В. Т. Горяинова. — М. : Радио и связь, 1988. — 304 с.
8. Методика обоснования требований к точности воспроизведения девиации частоты сигналоподобных помех бортовым радиолокационным станциям / Р. В. Антипенский, А. А. Волков, А. А. Донцов, Е. Е. Назаров // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Физика, математика*. — 2022. — № 2. — С. 5–16.

## **REFERENCES**

1. Antipov V.N., Merkulov V.I., Samarin O.F., Chernov V.S. The main directions of development of aviation airborne radars. [Antipov V.N., Merkulov V.I., Samarin O.F.,

Chernov V.S. Osnovnyye napravleniya razvitiya aviatsionnykh bortovykh RLS]. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki – Successes of modern radio electronics*, 2009, no. 10, pp. 7–28.

2. Dobykin V.D., Kupriyanov A.I., Ponomarev V.G., Shustov L.N. Radio-electronic fight. Power defeat of radio-electronic systems. [Dobykin V.D., Kupriyanov A.I., Ponomarev V.G., Shustov L.N. Radioelektronnaya bor'ba. Silovoe porazhenie radioelektronnykh system]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2007, 468 p.

3. Protection of radar systems from interference. The state and trends of development. [Zashchita radiolokatsionnykh sistem ot pomekh. Sostoyaniye i tendentsii razvitiya]. Ed. by A.I. Kanashchenkov and V.I. Merkulov. Moscow: Radiotekhnika, 2003, 416 p.

4. Theoretical foundations of radar. Ed. by V.E. Dulevich. [Teoreticheskiye osnovy radiolokatsii. Pod red. V.E. Dulevicha]. Moscow: Sovetskoye radio, 1978, 608 p.

5. Vakin S.A., Shustov L.N. Fundamentals of radio communication and radio intelligence. [Vakin S.A., Shustov L.N. Osnovy radioprotivodeystviya i radiotekhnicheskoy razvedki]. Moscow: Sovetskoye radio, 1968, 448 p.

6. Kupriyanov A.I. Electronic warfare. [Kupriyanov A.I. Radioelektronnaya bor'ba]. Moscow: Vuzovskaya kniga, 2013, 360 p.

7. Radar stations with digital synthesis of the antenna aperture. Ed. by V.T. Goryainov. [Radiolokatsionnyye stantsii s tsifrovym sintezirovaniyem apertury anteny. Pod red. V.T. Goryainova]. Moscow: Radio i svyaz', 1988, 304 p.

8. Antipensky R.V., Volkov A.A., Dontsov A.A., Nazarov E.E. Methodology for substantiating the requirements for the accuracy of reproducing the frequency deviation of signal-like interference to onboard radar stations. [Antipenskiy R.V., Volkov A.A., Dontsov A.A., Nazarov Ye.Ye. Metodika obosnovaniya trebovaniy k tochnosti vosproizvedeniya devyatsii chastoty signalopodobnykh pomekh bortovym radiolokatsionnym stantsiyam]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika – Proceedings of Voronezh State University. Series: Physics. Mathematics*, 2022, no. 2, pp. 5–16.

*Антипенский Роман Валериевич, начальник кафедры Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”, кандидат технических наук, доцент, Воронеж, Россия*  
*E-mail: antipensky@yandex.ru*

*Antipensky Roman Valerievich, Head of the Department of Military Educational-Research Centre of Air Force “Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin”, candidate of engineering sciences, associate professor, Voronezh, Russia*  
*E-mail: antipensky@yandex.ru*

*Волков Алексей Анатольевич, преподаватель Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”, кандидат технических наук, Воронеж, Россия*  
*E-mail: volkov\_aa@autorambler.ru*

*Volkov Aleksey Anatolevich, Lecturer of Military Educational-Research Centre of Air Force “Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin”, candidate of engineering sciences, Voronezh, Russia*  
*E-mail: volkov\_aa@autorambler.ru*

*Донцов Александр Александрович, профессор Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”, доктор технических наук, профессор, Воронеж, Россия  
E-mail: addoncov1@mail.ru*

*Dontsov Aleksandr Aleksandrovich, professor of Military Educational-Research Centre of Air Force “Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin”, doctor of engineering sciences, professor, Voronezh, Russia  
E-mail: addoncov1@mail.ru*

*Назаров Егор Евгеньевич, адъюнкт Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”, Воронеж, Россия*

*Nazarov Egor Evgenievich, adjunct of Military Educational-Research Centre of Air Force “Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin”, Voronezh, Russia*