

УДК 621.396.962.38

И.И. Обод, А.А. Тюрин

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## ВЛИЯНИЕ МАСКИРУЮЩЕЙ ФЛУКТУАЦИОННОЙ ПОМЕХИ НА ОТВЕТЧИКИ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

*Рассматривается влияние маскирующей флуктуационной помехи на процесс декодирования сигналов запроса в ответчиках систем идентификации воздушных объектов. Проведенный анализ показал, что комплексы, которые применяются в качестве систем запроса, существенным образом снижают помехоустойчивость рассматриваемых систем по отношению к флуктуационным помехам. Проигрыш в отношении сигнала к помехе растет с ростом значности кода. В целях уменьшения такого проигрыша желательно применять коды с возможно малым числом импульсов.*

*флуктуационная помеха, процесс декодирования сигналов*

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Системы идентификации объектов (СИО) играют существенную роль в информационном обеспечении решения задач, стоящих перед Воздушными Силами [1]. Принцип построения ответчиков существующих СИО по принципу открытых систем массового обслуживания с отказами обусловил проблематичность работы последних при действии преднамеренных помех. Влияние преднамеренных коррелированных помех на запросные СИО подробно исследовано в [1, 2]. Показано, что это наиболее опасные помехи указанным системам. Однако, воздействие преднамеренных флуктуационных помех (ФП) также приводит к снижению помехоустойчивости существующих СИО, что недостаточно исследовано в существующей литературе. При этом следует отметить, что ширина полосы пропускания приемника ответчиков выбирается, как правило, существенно выше оптимальной с точки зрения вероятности обнаружения [3]. Это обусловлено как используемыми сигналами, используемыми в СИО, так и наличием временной селекции принимаемых сигналов. Это также существенным образом сказывается на вероятности выделения сигналов запроса (СЗ) на фоне ФП.

**Цель работы** – исследование влияния флуктуационных помех на обнаружение сигналов запроса в ответчиках СИО.

### Основная часть

Использование интервально-временных кодов (ИВК) в качестве СЗ заключается в передаче серии из  $n$  сигналов без внутриимпульсной модуляции одинаковой формы и длительности с определенным расположением импульсов друг относительно друга. Обнаружение таких сигналов, как правило, осуществляется с использованием квазиоптимальной схемы, включающей  $M$  цифровых дешифраторов (ДШ), где  $M$  – число сигналов запроса используемой в данной запросной СИО. Проведем исследование для случая, когда на выходе усилителя промежуточ-

ной частоты (УПЧ) имеются амплитудный детектор, работающий в режиме линейного безинерциального детектирования, и пороговое устройство (ПУ), которое формирует на своем выходе импульсный (бинарный) сигнал, если напряжение в момент поступления сигнала превосходит пороговый уровень.

Наличие ПУ сводит воздействие ФП на ДШ к следующему. Во-первых, появляются ложные срабатывания ДШ, вызванные воздействием беспорядочной последовательности бинарных сигналов, моменты появления которых, в первом приближении, подчинены закону Пуассона, а длительности распределены по некоторому вероятностному закону, как правило, равномерному. Во-вторых, часть сигнальных кодовых групп оказывается подавленной в ПУ.

Для количественной оценки помехи на выходе ДШ удобно ввести понятие о вероятности помехи  $P_p$ , определяемой как вероятность попадания хотя бы одного выброса помехи в интервал поиска сигнала, длительность которого примем равным  $\tau$ . Тогда при среднем числе выбросов помехи на выходе ДШ в единицу времени равном  $\lambda$  вероятность помехи можно записать как  $P_p = 1 - \exp(-\lambda\tau)$ .

Помехоустойчивость декодирования по отношению к ФП будем оценивать граничным отношением мощности сигнала к мощности помехи на входе детектора, под которым понимается отношение сигнала к помехе, необходимое для обнаружения кодированного сигнала с заданной вероятностью при заданном значении вероятности помехи на выходе декодирующего устройства. Анализ проведем в предположении, что известна форма частотной характеристики УПЧ и что моменты появления выбросов помехи на выходе ограничителя амплитуды распределены по закону Пуассона.

Вероятность прохождения ложных сигналов при ограничении по длительности декодирования импульсов снизу на выходе ПУ может быть определена по выражению  $P_{л1} = P_{л0} \cdot P_c$ , где  $P_{л0}$  – вероятность появления ложных импульсов на заданной временной позиции  $\tau$ , а  $P_c$  – условная вероятность

того, что длительность импульсов, образовавшихся в результате группирования, больше пороговой  $\tau_c$ . Если длительность импульсов совпадения ложных сигналов будет распределена по равномерному закону в пределах от 0 до  $\tau$ , то  $P_c = 1 - \tau_c / \tau$ .

Если на входе детектора имеется флуктуационное напряжение, распределенное по нормальному закону с нулевым средним значением и дисперсией  $\sigma_n^2$ , то амплитуда помехи  $E$  на входе ПУ оказывается распределенной по релеевскому закону со средним относительным временем пребывания помехи над уровнем ограничения  $E_0$ , равным  $\exp(-x_0^2/2)$ , где  $x_0 = E_0 / \sigma_n$  – относительный уровень ограничения.

Ограниченные выбросы помехи, поступающие на ДШ, могут сгруппироваться в случайные кодовые комбинации, т.е. вызвать ложные срабатывания ДШ. Если длительности кодовых интервалов больше времени корреляции выбросов помехи, то среднее относительное время пребывания помехи на выходе ДУ определится как вероятность одновременного превышения уровня ограничения в  $n$  независимых участках хаотической последовательности выбросов помехи  $\varepsilon = \exp(-nx_0^2/2)$ .

Среднее число ложных срабатываний  $\lambda_n$  может быть определено как отношение  $\lambda_n = \bar{\varepsilon} / \bar{\theta}_p$ , где  $\bar{\theta}_p$  – средняя статистическая длительность выбросов помехи на выходе декодирующего устройства. Если заменить входную бинарную последовательность другой последовательностью таких же выбросов, но имеющих постоянную длительность, равную средней длительности  $\bar{\theta}$  выбросов, поступающих на ДШ, тогда справедливо следующее соотношение  $\bar{\theta}_p = \bar{\theta} / n$ . Средняя длительность выброса  $\bar{\theta}$  равна  $\bar{\theta} = (\sqrt{2\pi}/\delta\omega) \cdot (x_0)^{-1}$ , где  $\delta\omega$  – средняя ширина спектра флуктуаций на выходе детектора, которая зависит от вида частотной характеристики фильтра УПЧ.

Используя вышеизложенное, среднее число ложных срабатываний можно записать как

$$\lambda_n = (\delta\omega/\sqrt{2\pi}) nx_0 \exp(-nx_0^2/2).$$

Вероятность помехи при этом составит

$$P_p = \tau \lambda_n = (\tau\delta\omega/\sqrt{2\pi}) nx_0 \exp(-nx_0^2/2).$$

Произведение  $\tau\delta\omega/\sqrt{2\pi}$  постоянно для данной системы и играет роль параметра. Определяя отношение  $P_p / (\tau\delta\omega/\sqrt{2\pi})$  как приведенную вероятность помехи  $P_{пр}$ , получим

$$P_{пр} = nx_0 \exp(-nx_0^2/2). \quad (1)$$

Уровень ограничения  $x_0$ , как следует из (1) обеспечивает заданное значение вероятности помехи на выходе ДУ, если известны параметры системы. Аналитическое выражение для уровня ограничения можно получить из (1), если воспользоваться методом после-

довательных приближений. В частности можно показать, что для практических расчетов уровень порога можно выбирать в соответствии с выражением

$$x_{20} \approx \sqrt{(2/\tau) \ln \sqrt{2n \ln(n/P_{пр})} / P_{пр}}. \quad (2)$$

Присутствие ФП существенным образом искажает ЗС. Определим вероятность прохождения ИВК через ПУ. Она равна вероятности одновременного превышения уровня ограничения  $x_0$  всеми импульсами кодовой группы:

$$P_n = [P_1(x_0)]^n,$$

где  $P_1(x_0)$  – вероятность превышения уровня ограничения для одного импульса ИВК.

Значение  $P_1(x_0)$  находится из выражения для плотности вероятности огибающей синусоидального сигнала и ФП на выходе линейного детектора, которое для сигналов большой амплитуды и оптимальной полосы УПЧ с точки зрения обнаружения импульса длительностью  $\tau$  может быть записано как

$$P_1(x_0) = 0,5 + \Phi(x_c - x_0) + F(x_0 - x_c),$$

$$\text{где } F(x_0 - x_c) = \frac{1}{2x_c \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x_0 - x_c)^2\right],$$

$\Phi(a)$  – интеграл Лапласа. Учитывая, что отношение мощности сигнала к мощности помехи на входе детектора  $q = nx_c^2/2$ , для вероятности  $P_n$  получаем

$$P_n = \left\{ 0,5 + \Phi\left(\sqrt{\frac{2q}{n}} - x_0\right) + \frac{1}{4} \sqrt{\frac{n}{\pi q}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{2q}{n}} - x_0\right)^2\right] \right\}^n.$$

Если полоса УПЧ шире оптимальной, что характерно для запросных СИО, то импульс длительностью  $\tau$  можно разбить на  $k$  участков длительностью  $\tau/k$ , каждый из которых независимо от других характеризуется распределением вероятностей. Длительность участка  $\tau/k$  равна времени корреляции шумов после прохождения УПЧ с полосой пропускания  $\Delta f$ . Оно определяется как  $1/\Delta f$ . Тогда число независимых участков на импульсе  $k = \Delta f \tau$ . Следовательно, вероятность превышения уровня ограничения для одного импульса равна вероятности того, что, по крайней мере, один из участков импульса превысит этот уровень, и вероятность прохождения кодовой группы через ограничитель будет

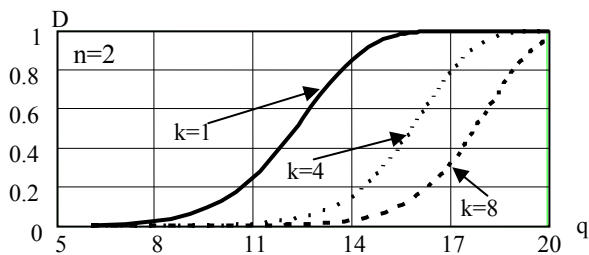
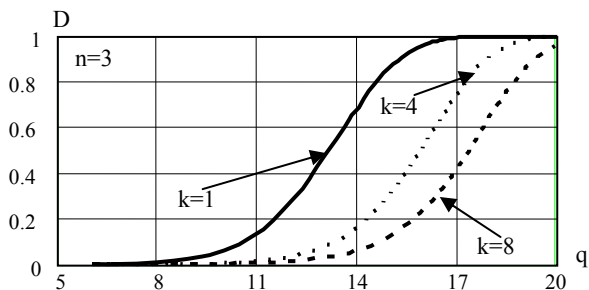
$$P_n = \left\{ 1 - \left[ 0,5 + \Phi(r) - \frac{1}{4} \sqrt{\frac{nk}{\pi q_0}} \exp\left[-\frac{1}{2}(r)^2\right] \right]^k \right\}^n, \quad (3)$$

где  $r = \sqrt{2q_0/(nk)} - x_0$ , а  $q_0 = qk$  – отношение сигнала к помехе, отнесенное к оптимальной полосе.

Для больших отношений сигнала к помехе, когда последний член в выражении (3) оказывается пренебрежительно малым, вероятность прохождения сигнала с достаточной для практических целей точностью можно определить по приближенному выражению

$$P_n = \left\{ 1 - \left[ 0,5 + \Phi\left(\sqrt{2q_0/(nk)} - x_0\right) \right]^k \right\}^n. \quad (4)$$

Если полоса УПЧ шире оптимальной, что характерно для рассматриваемых ИС, то появляется проигрыш в пороговом отношении  $c/\eta$  по сравнению с оптимальной полосой УПЧ. При помощи формул (3) и (4) можно установить, что добавочный проигрыш в отношении сигнала к помехе, обусловленный расширением полосы пропускания УПЧ, уменьшается с ростом  $n$ . Это означает, что при большом числе импульсов в кодовой группе выбор полосы пропускания УПЧ становится не критичным. Проведенный анализ позволяет по заданным параметрам системы определить граничное отношение сигнала к помехе. Определение граничного отношения может производиться при помощи формул (2), (3) и (4) или графиков, отражающих зависимость вероятности обнаружения сигнала от отношения сигнала к помехе для разных  $n$  и  $k$ . Для примера на рис. 1 и рис. 2 представлены такие графики, вычисленные с использованием выражений (2) и (3) при различных  $n$  и  $k$ . Для сохранения постоянства вероятности помехи при разных значениях  $k$  значение приведенной вероятности помехи при полосе шире оптимальной принималось равным  $P_{npk} = P_{np}/k$ . Значение  $P_{np}$  было выбрано равным  $10^{-5}$ .

Рис. 1. Вероятность обнаружения СЗ для  $n = 2$ Рис. 2. Вероятность обнаружения СЗ для  $n = 3$ 

Как следует из представленных зависимостей, для обнаружения кодированного сигнала с достаточной для практики вероятностью требуется большое отношение сигнала к помехе на входе детектора.

## Выводы

Проведенный анализ показал, что ИВК, которые применяются в качестве СЗ СИО, существенным образом снижают помехоустойчивость рассматриваемых систем по отношению к ФП. Проигрыш в отношении сигнала к помехе растет с ростом значности кода. В целях уменьшения такого проигрыша желательно применять коды с возможно малым числом импульсов. Если сравнивать существующие СИО, то можно утверждать, что с точки зрения помехоустойчивости декодирования по отношению к флуктуационной помехе, применение двухимпульсного кода более рационально.

Расширение полосы пропускания приемника выше оптимальной вызывает добавочный проигрыш в отношении сигнала к помехе, который уменьшается с ростом значности кода запросного сигнала. Однако для значности кода равного 2 или 3 (рис. 1, рис. 2) этот проигрыш существенный.

## Список литературы

1. Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А., Обод І.І., Романенко І.О. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору: Монографія. – К.: МО України, 2004. – 271 с.
2. Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А., Обод І.І., Романенко І.О. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони: Монографія. – К.: МО України, 2004. – 342 с.
3. Бакуменко Б.В., Булай А.М., Обод І.І. Синтез та аналіз оптимальних виявлювачів сигналів запиту у літакових відповідачах систем радіолокаційного опізнавання // Системи обробки інформації. – Х.: XV ПС, 2006. – Вип. 4 (53). – С. 12-19.

Поступила в редколлегию 3.03.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермаков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ВПЛИВ МАСКУЮЧОЇ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ ЗАВАДИ НА ВІДПОВІДАЧІ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

Обод І.І., Тюрін О.О.

Розглядається вплив маскуючої флуктуційної перешкоди на процес декодування сигналів запиту у відповідачах систем ідентифікації повітряних об'єктів. Проведений аналіз показав, що комплекси, які застосовуються в якості сигналів запиту, істотним чином знижують перешкодостійкість даних систем по відношенню до флуктуційних завад. Програш відносно сигналу до перешкоди росте із зростанням значності коду. В цілях зменшення такого програшу бажано застосовувати коди з можливо малим числом імпульсів.

**Ключові слова:** флуктуційна завада, процес декодування сигналів.

## INFLUENCING OF MASKING FLUCTUATION HINDRANCE ON DEFENDANTS OF SYSTEMS OF AUTHENTICATION OF OBJECTS

Obod I.I., Tyurin A.A.

Influence of masking fluctuation hindrance is examined on the process of decoding of signals query in the defendants of the systems authentication of air objects. The conducted analysis showed that complexes, which are used in quality of signals query, substantial appearance is reduce antijammingness of the examined systems in relation to fluctuation hindrance. A loss in regard to a signal to the hindrance grows with growth of code valency. For diminishing of such loss it is desirable to apply codes with the possibly small number of impulses.

**Keywords:** fluctuation hindrance, process of decoding of signals.