

УДК 004.045:629.735.05

И.И. Обод, П.А. Борзенко, А.А. Тюрин

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## СИГНАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДРЕСНЫХ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Приводится оптимизация системы сигналов, которая может быть использована в системах идентификации объектов для задания адреса воздушного объекта на основе анализа его плоскостных координат. Разработан алгоритм построения такой системы сигналов, оптимальной по минимуму внутрисистемных помех на базе основного сигнала.

**Ключевые слова:** оптимизация, система сигналов, идентификация воздушных объектов.

## Введение

## Постановка проблемы и анализ литературы.

Расширение возможностей использования воздушного пространства страны для полетов воздушных объектов (ВО) возможно путем повышения степени технической оснащенности современными средствами воздушной и наземной связи, наблюдения и автоматизации управления воздушным движением, отвечающим требованиям глобальной эксплуатационной концепции организации воздушного движения Международной организации гражданской авиации. Повышение надежности информационного обеспечения (ИО) пользователей системы контроля воздушного пространства немислимо без использования информационных технологий в процессе получения, сбора, обработки, хранения и распространения аэронавигационных данных. Действительно, использование информационных технологий позволит повысить уровень ИО, что обеспечит безопасность полетов, повышение экономичности и регулярности полетов гражданской и военной авиации в районе аэродрома, на воздушных трассах и во вне-трассовом воздушном пространстве. Информационные технологии, в этой ситуации, предполагают автоматизацию процессов получения, сбора, обработки и отображения информации от разнородных систем наблюдения. Значительную роль в ИО играет информация об идентификации ВО. Однако, как показано в [1], существующие системы идентификации не способны на должном уровне осуществить ИО потребителей. В [2] предложен оригинальный метод разрешения противоречия надежного ИО потребителей, который строится на основе использования системы сигналов (СС), каждый из сигналов этой СС определяет пространственные координаты ВО. Это позволяет реализовать помехоустойчивые системы идентификации, построенные на сетевом уровне с распределенной обработкой информации в сети и способные осуществить надежное ИО потребителей системы контроля воздушного пространства.

В связи с этим представляет интерес рассмотрение вопросов оптимизации СС для помехоустойчивых систем идентификации.

Следует отметить, что во многих информационных системах используются СС [3], сигналы которых излучаются многими источниками на одной несущей частоте и адресованные разным потребителям. При этом для приема используется согласованная с тем сигналом, который нужно принять, фильтрация или корреляционный прием [4]. В таких системах неизбежно появление перекрестных внутрисистемных помех, которые желательно минимизировать.

**Цель работы.** Оптимизация системы сигналов помехоустойчивых систем идентификации по уровню перекрестных внутрисистемных помех.

## Основная часть

Примем за критерий оптимальности максимальную величину всплесков взаимной функции неопределенности (ВФН), а сигналы оптимальной системы определим в классе функций, связанных между собой линейными операторами. Обозначим как  $\{S_k\}_0^n$  искомую систему сигналов, построенную на базе некоторого основного (условного) сигнала (ОС)  $S_0$  по правилу

$$S_k = A_k S_{k-1}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $A_k$  – линейный интегральный оператор с ядром  $h_k(u)$ :

$$S_k = S_{k(t)} = \int_0^T h_k(u) S_{k-1}(t-u) du. \quad (2)$$

Будем считать ОС  $S_0$  реализацией некоторого случайного стационарного процесса с интервалом корреляции  $\tau_{kor} \ll T$ , получим для ВФН  $R_{km}$   $k$ -го и  $m$ -го сигналов

$$R_{km} = R_{km}(\tau) = A_k A_{k-1} \dots A_m R_{mm}, \quad k > m. \quad (3)$$

В частности можно показать, что

$$R_{10} = A_1 R_{00} = \int_0^T h_1(u) R_{00}(\tau - u) du \quad (4)$$

и

$$R_{11} = \int_0^T \int_0^T h_1(u) h_1(v) R_{00}(\tau + u - v) dudv. \quad (5)$$

Максимальные значения ВФН всех сигналов  $S_k$  достигаются в моменты времени относительно максимума основного сигнала  $S_0$ , которые определяются уравнениями

$$\int_0^T h_1(u) R'_{00}(\tau - u) du = 0; \int_0^T H(u) R'_{00}(\tau - u) du = 0, \quad k > 1, \quad (6)$$

где  $H(u)$  – ядро произведения линейных интегральных операторов  $A_k, A_{k-1} - A_1$ .

Чтобы исключить тривиальные решения  $A_k = 0$ , введем естественные ограничения на энергию функций  $h_k(u)$ :

$$\int_0^T h_k^2(u) du = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Тогда первая вариация функционала  $R_{10}$  с учетом ограничений (6) и (7) будет иметь вид

$$\delta R_{10} = \int_0^T [R_0(\tau_1 - u) + \lambda_1 R'_{00}(\tau_1 - u) + 2\lambda_2 h_1(u)] \delta h_1 du, \quad (8)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – множители Лагранжа.

Обобщенное уравнение для функции  $h_1(u)$ , доставляющей экстремум функционалу  $R_{10}$ , в этом случае, имеет вид

$$h_1(u) = -\frac{1}{2\lambda_2} [R_{00}(\tau_1 - u) + \lambda_1 R'_{00}(\tau_1 - u)]. \quad (9)$$

Множитель Лагранжа  $\lambda_2$  находится при интегрировании по интервалу  $T$  обеих частей уравнения (9), умноженных на ядро  $h_1(u)$ , а множитель  $\lambda_1$  – путем подобного интегрирования после возведения обеих частей уравнения в квадрат. Выполняя преобразования с учетом ограничений (6) и (7) и формулы (5), получим для ядра оператора  $A_1$ , определяющего первый сигнал системы  $S_1$ , и для ФН этого сигнала следующие выражения

$$h_1(u) = \frac{1}{R_{01}(\tau_1)} [R_{00}(\tau_1 - u) + a_1 R'_{00}(\tau_1 - u)], \quad u > 0, \quad (10)$$

$$R_{11}(\tau) = c \int_0^T \int_0^T R_{00}(\tau_1 - u) + a_0 R'_{00}(\tau_1 - u) \times \quad (11)$$

$$\times (R_{00}(\tau_1 - v) + a_1 R'_{00}(\tau_1 - v)) R_{00}(\tau_1 + u - v) dudv,$$

где  $c = 1/R_{01}(\tau_1)$ , а коэффициент  $a_1$  является корнем квадратного уравнения

$$\int_0^T (R'_{00}(\tau_1 - u))^2 du + 2 \int_0^T R_{00}(\tau_1 - u) R'_{00}(\tau_1 - u) du + \int_0^T R_{00}^2(\tau_1 - u) du - R_{00}^2(\tau_1) = 0.$$

Подходящая экстремаль  $h_1(u)$  формулы (10) обуславливает величину перекрестной помехи  $P_{10}$  обнаружителя сигнала  $S_1$  при наличии ОС  $S_0$  [9]

$$P_{10} = \min |R_{10}(\tau_1)| = \min \left| \int_0^T h_1(u) R_{00}(\tau_1 - u) du \right|. \quad (12)$$

Аналогично могут быть найдены оптимальные в сформулированном смысле ядра операторов  $A_2, A_3, \dots$  – и соответствующие перекрестные помехи  $P_{20}, P_{30}, \dots$  и  $P_{31}, P_{32}, \dots$  и т.д.

Расширение системы сигналов ограничивается величиной допустимых перекрестных помех. Заметим, что принятая процедура установления последовательности линейных интегральных операторов  $A_1, A_2, \dots$  зависит только от ФН ОС  $S_0$ .

Найдем величину перекрестных помех, определяемых ВФН сигналов. Для этого перейдем в ограничении (7) в частотную область [6].

$$\int_{-\infty}^{\infty} |H_k(f)|^2 df = 1, \quad (13)$$

$$\text{где } H_k(f) = \int_0^T h_k(u) e^{j2\pi fu} du.$$

Найдем спектральную функцию первого оператора  $H_1(f)$ . Если обозначить через  $G_{00}(f)$  спектр мощности ОС  $S_0$ , тогда ВФН сигналов  $S_1$  и  $S_2$  можно представить в виде

$$R_{10}(\tau) = \int_0^{\infty} |H_1(f)| G_{00}(f) \cos(\varphi_1(f) + 2\pi f \tau) df. \quad (14)$$

Экстремумам найденной ВФН будут соответствовать значения  $t_1$ , удовлетворяющие уравнению

$$R'_{10}(\tau) = -2\pi \int_0^T |H_1(f)| G_{00}(f) \sin(\varphi_1(f) + 2\pi f \tau) df = 0. \quad (15)$$

Функции  $|H_1(f)|$  и  $\varphi_1(f)$  оператора  $A_1$ , доставляющие при  $t = t_1$  экстремум функционалу  $R_{10}(t)$  с учетом ограничений (13) и (15), будут определяться двумя уравнениями

$$G_{00}(f) \left[ \cos(\varphi_1(f) + 2\pi f \tau_1) + \lambda_1 f \sin(\varphi_1(f) + 2\pi f \tau_1) + 2\lambda_2 |H_1(f)| \right] = 0, \quad (16)$$

$$-\sin(\varphi_1(f) + 2\pi f \tau_1) + \lambda_1 \cos(\varphi_1(f) + 2\pi f \tau_1) = 0. \quad (17)$$

Уравнение (16) получено путем изменения функционала  $R_{10}(t_1)$  по функции  $|H_1(f)|$ , а уравнение (17) – по функции  $\varphi_1(f)$ .

Умножая левую часть уравнения (16) на функцию  $|H_1(f)|$  и интегрируя его в пределах от 0 до  $T$ , и, принимая во внимание формулы (13) и (14), получим

$$R_{10}(\tau_1) + 2\lambda_2 = 1. \quad (18)$$

Замечая, что  $\cos(\varphi_1(f) + 2\pi f\tau_1)$  не может быть равен нулю, и, подставляя значение  $\varphi_1(f)$  из уравнения (17) в уравнение (16) получим с учетом выражения (18)

$$G_{00}(f) - R_{01}(\tau_1)|H_1(f)|\cos(\varphi_1(f) + 2\pi f\tau_1) = 0. \quad (19)$$

Умножим уравнение (19) на функцию  $G_{00}(f)$  и выполним интегрирование в пределах от 0 до  $T$ , тогда, с учетом формулы (14), получим

$$\int_0^T G_{00}(f)df = R_{01}(\tau_1). \quad (20)$$

Таким образом, модуль и фаза искомой спектральной функции  $|H_1(f)|$  оказываются связанными со спектром мощности ОС  $S_0$  следующим соотношением

$$\cos(\varphi_1(f) + 2\pi f\tau_1) = G_{00}(f) / |H_1(f)| \int_0^T G_{00}^2(f)df. \quad (21)$$

Замечая, что при линейном преобразовании сигнала с некоторой спектральной функцией  $|H_1(f)|^2$ , получаем для спектра мощности сигнала  $S_1$

$$G_{11}(f) = |H_1(f)|^2 G_{00}(f). \quad (22)$$

Таким образом, при расширении линейной системы сигналов (1), принимая во внимание ограничение (13) и учитывая перекрестные помехи только смежных сигналов в последовательности  $S_1, S_2, \dots$ , находим величину перекрестных помех, изменяющуюся по закону

$$R_{k,k-1} = \int_0^T |H_1(f)|^4 \cdot |H_2(f)|^4 \dots |H_k(f)|^4 G_{00}^2(f)df, \quad k > 1. \quad (23)$$

Формула (23) очевидно определяет нижнюю границу перекрестных помех для линейной системы сигналов при отсутствии других внешних помех.

Эта формула позволяет сделать еще одно важное предположение: минимум нижней границы перекрестных помех в линейной системе сигналов с фиксированной энергией или средней мощностью достигается на последовательности сигналов (1), отличающихся только фазовыми спектрами, причем

$$\min R_{k,k-1} = \int_0^T G_{00}^2(f)df. \quad (24)$$

В качестве ОС может быть выбран любой сигнал. Величина перекрестных помех определяется только спектром мощности ОС  $S_0$ .

## Выводы

Таким образом, получен алгоритм построения оптимальной по минимуму внутрисистемных помех системы сигналов на базе ОС, получена зависимость внутрисистемных помех от спектра мощности ОС и производящих ядер соответствующих линейных интегральных операторов и установлена нижняя граница минимальной величины внутрисистемных помех, которая определяется только спектром ОС.

## Список литературы

1. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони / В.В.Ткачев, Ю.Г.Даник, С.А. Жуков, І.І.Обод, І.О. Романенко. – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
2. Пат. на корисну модель № 32641 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб ідентифікації об'єктів / Обод І.І., Тюрін О.О. – Від 26.05.2008.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 242 с.
4. Тузов Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов / Г.И. Тузов. – М.: Сов. радио, 1977. – 345 с.
5. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1971. – 292 с.
6. Тихонов В.И. Нелинейные преобразования случайных процессов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1986. – 378 с.

Поступила в редколлегию 8.12.2009

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

## СИГНАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДРЕСНИХ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

І.І. Обод, П.О. Борзенко, О.О. Тюрін

*Наводиться оптимізація системи сигналів, котра може бути використовувана у системах ідентифікації повітряних об'єктів для завдання адресу повітряного об'єкту на основі аналізу його площинних координат. Розроблено алгоритм побудови такої системи сигналів, оптимальної по мінімуму внутрішньосистемних завад на базі основного сигналу.*

**Ключові слова:** оптимізація, система сигналів, ідентифікація повітряних об'єктів.

## ALARM PROVIDING OF THE ADDRESS SYSTEMS OF AUTHENTICATION

I.I. Obad, P.A. Borzenko, A.A. Tyurin

*The signals system optimization, which can be used in the air objects authentication systems for a assignment air object address on the basis of analysis of his plane co-ordinates, is pointed. The algorithm of such signals system construction, optimum on a minimum of intrasystem noise on the basic signal base is developed.*

**Keywords:** optimization, signals system, air objects authentication.