

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН С ВОЗРОСШИМ УРОВНЕМ АКТИВНЫХ ПОМЕХ
И ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ**

С.И. Кривошея, к.т.н. А.В. Никитин, А.В. Чернятьев, к.т.н. Б.Б. Поспелов
(представил д.т.н., проф. П.Ю. Костенко)

Проводится анализ эффективности использования комплексных радионавигационных систем, действующих в условиях сложной сигнально - помеховой обстановки на фоне снижения шумовой помехой реальной чувствительности приемников радионавигационных систем до заданного уровня и использования непараметрических обнаружителей сигналов.

В реальных условиях комплексная радионавигационная система (КРНС) может функционировать в сложной помеховой обстановке, характеризующейся априорной неопределенностью относительно свойств сигналов и помех, а также вследствие движения летательного аппарата (ЛА).

Наиболее опасными помехами, действующими на радионавигационную систему (РНС) в составе КРНС, являются непрерывные шумовые помехи, хаотические импульсные помехи (ХИП), внутрисистемные помехи (ВСП).

В настоящей статье анализ ограничен рассмотрением простой КРНС, содержащей бортовую РНС (приемоиндикатор), автономные датчики и устройство обработки. Такая система обеспечивает измерение навигационных параметров (азимут, дальность) ЛА относительно наземного радиомаяка и определение координат местоположения ЛА.

Критерием эффективности такой системы является точность определения навигационной переменной σ_{λ} . В процессе функционирования КРНС при попадании ЛА в зону, пораженную помехами, определение σ_{λ} производится с большой погрешностью, обусловленной влиянием помех на РНС и вычислением σ_{λ} с помощью навигационных датчиков нерадиотехнического происхождения. В этих условиях решение задач коррекции автономных навигационных измерителей с помощью РНС, использующих параметрические обнаружители сигналов при неизвестной интенсивности помех и законе их распределения, нецелесообразно из-за резкого возрастания полной погрешности измерения σ_{λ} . С учетом этого ставится задача определения зон, пораженных помехами, с анализом их интенсивности для обеспечения коррекции автономных навигационных измерителей с одновременным обеспечением высокой точности и помехозащищенности КРНС.

Задача по определению зон с различным уровнем интенсивности помех решается на основании критерия снижения реальной чувствительности приемника РНС до заданного уровня шумовой помехой. А задача повышения точности и помехозащищенности КРНС решается с использованием непараметрических обнаружителей (ранговых обнаружителей) сигналов, стабилизирующих уровень ложной тревоги $P_{ЛТ}$.

Использование критерия снижения чувствительности приемника РНС до заданного уровня при воздействии шумовой помехи с целью определения зон с различной интенсивностью радиопомех. Используя подход, предложенный в [1], можно определить интенсивность (спектральную плотность мощности) помехи, действующей на КРНС, из выражения

$$P_{ШП} = \frac{4\pi \cdot K_{\gamma} \cdot K_{АП} \cdot N_{ШО} (q^2 - 1) f^2}{C^2}, \quad (1)$$

где K_{γ} - коэффициент поляризационных помех, который при совпадении поляризации помехи и полезного сигнала равен единице, а при несовпадении $K_{\gamma} = 0,5$; $K_{АП}$ - коэффициент потерь помехи в компенсаторном канале КРНС; f - рабочая частота РНС и помехового сигнала; q - отношение сигнал / помеха; $N_{ШО}$ - уровень собственных шумов приемника РНС.

Используя выражение (1), определим требуемое значение чувствительности приемника РНС, при которой коррекция автономных навигационных измерителей невозможна [2]:

$$N_{ШТР} = \frac{P_{ШП} \cdot f^2}{4\pi \cdot K_{\gamma} \cdot K_{АП} \cdot C^2}. \quad (2)$$

Известно, что отношение сигнал / помеха в приемниках существующих РНС снизится в число раз, определяемое выражением

$$q = \sqrt{\frac{N_{ШП}}{N_{ШО}}}, \quad (3)$$

где $N_{ШП}$ - помеховая компонента спектральной плотности мощности шума на входе приемника РНС.

Таким образом, контролируя значение $N_{ШТР}$, которое возрастает пропорционально значению $P_{ШП}$ и квадрату частоты f^2 , мы определяем момент времени, когда чувствительность приемника РНС снизится до граничного значения, где коррекция автономного навигационного измерителя исключена. При этом

$$N_{ШТР} = N_{ШП} + N_{ШО}. \quad (4)$$

В свою очередь, значение $N_{ШО}$ определяется из соотношения

$$N_{\text{ш}_0} = k[T_A + T_{\text{ш}_{\text{ПРМ}}} + K_{\text{ПРМ}}(K_{\text{ш}_{\text{ПРМ}}} - 1)T], \quad (5)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{град}} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{град}} \right)$ - постоянная Больцмана;

T_A - естественная шумовая температура антенны приемника в Кельвинах;

$T_{\text{ш}_{\text{ПРМ}}}$ - шумовая температура приемника;

$K_{\text{ПРМ}}$ - коэффициент потерь мощности приемника;

$K_{\text{ш}_{\text{ПРМ}}}$ - коэффициент шума приемника;

$T = 290 \text{ К}$ - температура в Кельвинах.

В приемниках существующих РНС [3] значение $N_{\text{ш}_0} = 10^{-20} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}} (\text{Дж})$.

Как следует из выражения (1), мощность помехи в зоне действия КРНС увеличивается пропорционально квадрату частоты. Использование информации о снижении чувствительности приемника КРНС $N_{\text{ш}_0}$ до значения $N_{\text{ш}_{\text{ТР}}}$ позволит выделить из пораженного помехами, ограниченную часть пространства, где коррекция автономных навигационных измерителей невозможна.

Использование непараметрических (ранговых) обнаружителей сигналов для повышения точности и помехозащищенности КРНС. В реальных условиях функционирования РНС статистические характеристики сигналов и помех могут оказаться весьма далекими от принятого при проектировании описания, поэтому и устройства обнаружения могут существенно отличаться от оптимальных как по структуре, так и по полученным характеристикам.

Таким образом, имеет место непараметрическая априорная неопределенность в отношении статистического описания помех и применение традиционных линейных обнаружителей, оптимальных при гауссовом шуме, может оказаться неэффективным при негауссовых помехах, поскольку эти обнаружители теряют свойства оптимальности [4].

Основное свойство непараметрических обнаружителей состоит в фиксации уровня ложных тревог $P_{\text{ЛТ}}$ при действии помехи с неизвестными или изменяющимися распределениями, принадлежащими весьма обширному классам с сохранением высокой эффективности обнаружения. Применение непараметрических обнаружителей (НО) в РНС позволит снизить полную погрешность измерения σ_{λ} в сложной помеховой обстановке [4].

Среди различных типов НО, которые могут быть использованы в РНС, предпочтительнее использовать ранговые обнаружители интервально-временных кодов (ИВК), в частности обнаружитель Вилкоксона [5].

Для каждой навигационной переменной полная среднеквадратическая погрешность вычисляется путем усреднения погрешностей, соответствующих возможным состояниям КРНС, с учетом вероятностных характеристик, описывающих процесс смены состояний. Для вычисления σ_λ используется метод, основанный на представлении смены состояний конечной цепью Маркова [6]:

$$\sigma_\lambda = \frac{\sigma_1^2 T_{\Pi} + \sigma_2^2 P_{ВЗ} \cdot T_{ВС} + \sigma_3^2 P_{ЛЗ} \cdot T_{ЛС}}{T_{\Pi} + P_{ВЗ} \cdot T_{ВС} + P_{ЛЗ} \cdot T_{ЛС}}, \quad (6)$$

где σ_1^2 - дисперсия погрешности автономного навигационного измерителя (НИ);

σ_2^2 и σ_3^2 - дисперсии нормальных и аномальных погрешностей РНС соответственно;

T_{Π} , $T_{ВС}$, $T_{ЛС}$ - средние интервалы времени, соответствующие работе РНС в режимах поиска, верного и ложного слежения соответственно;

$P_{ВЗ}$, $P_{ЛЗ}$ - вероятности верных и ложных захватов соответственно.

Рассматривая T_{Π} как независимую переменную, из выражения (6) получим зависимость полной погрешности измерения навигационной переменной

от длительности интервалов между коррекциями $T_{К}$, полагая, что

$T_{\Pi} \approx T_{К}$, $T_{ВС} \gg T_{ЛС}$, $P_{ВЗ} \gg P_{ЛЗ}$ и $P_{ВЗ} \approx 1$:

$$\left(\frac{\sigma_\lambda}{\sigma_2}\right)^2 = 1 + P_{ЛЗ} \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^2 T_{К}. \quad (7)$$

Используя значения, характерные современным КРНС [3]:

$\left(\frac{\sigma_3}{\sigma_2}\right)^2 = 3 \cdot 10^5$; $\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)^2 = 10^{-4}$; $P_{ЛЗ} = 10^{-6} - 10^{-8}$ получим график ли-

нейной зависимости $\left(\frac{\sigma_\lambda}{\sigma_2}\right)^2$ от $T_{К}$, представленный в [1]. Минимальное

возрастание полной погрешности при значительном увеличении $T_{К}$ открывает принципиальную возможность преодоления обширных зон, пораженных помехами, с сохранением высокой точности измерения навигационной переменной (НП).

Таким образом, преодоление зон, пораженных помехами, с целью снижения полных погрешностей измерения НП требует стабилизации $P_{ЛЗ}$ на малом уровне изменяющейся помеховой обстановки.

Запрещение коррекции в зонах высокой интенсивности помех, когда

$N_{ШО}$ снижается до значения $N_{ШТР}$, предохраняет от возможного возрастания полных погрешностей (за счет роста σ_2^2 и σ_3^2).

Используя выражение (7), получим графическую зависимость $\left(\frac{\sigma_\lambda}{\sigma_2}\right)^2$ от $P_{ЛЗ}$ для различных значений $T_{П}$ при постоянстве параметров других составляющих.

Представленные на рис. 1 зависимости свидетельствуют о близости σ_λ к σ_2 при значениях $P_{ЛЗ} = 10^{-5} - 10^{-9}$ и возрастании σ_λ при $P_{ЛЗ} > 10^{-4}$.

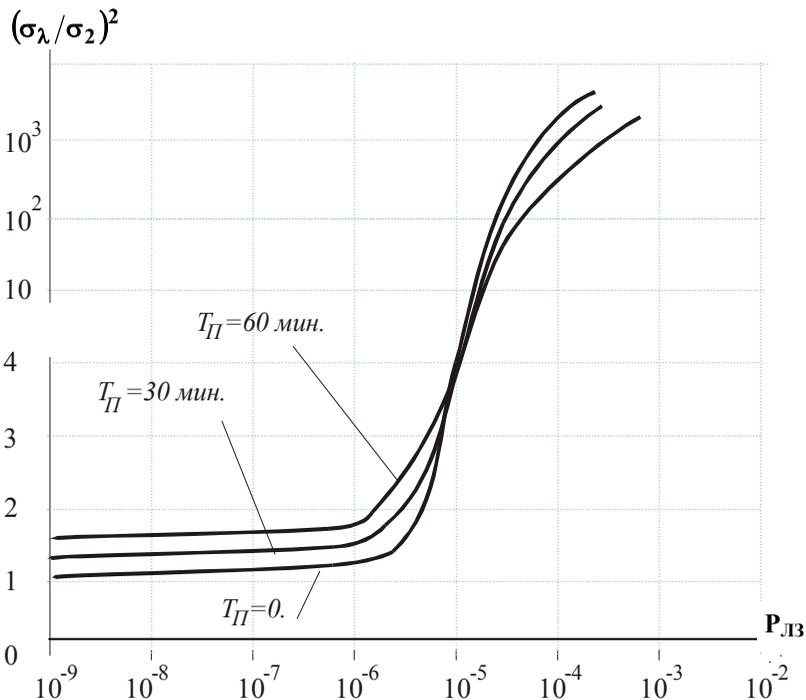


Рис. 1. Зависимость $(\sigma_\lambda/\sigma_2)^2$ от $P_{ЛЗ}$ для различных значений $T_{П}$

При заданном алгоритме функционирования РНС стабилизация уровня ложных захватов сводится к фиксации $P_{ЛТ}$ на выходе обнаружителя сигналов [6].

В [1] было определено значение глобального минимума полной погрешности, которое соответствовало значению $P_{ЛТ} = 10^{-3} - 10^{-4}$, при слабой за-

висимости от отношения сигнал / помеха.

Таким образом, стабилизация уровня ложных захватов обеспечивает снижение полной погрешности σ_λ в РНС, действующей в сложной помеховой обстановке, а при попадании ЛА в зону, пораженную помехами, происходит незначительное увеличение σ_λ .

Выводы. Использование критерия снижения чувствительности приемника РНС до $N_{ШТР}$ позволяет определять зоны высокой интенсивности помех, когда значение σ_λ начинает резко возрастать и коррекция автономного НИ нецелесообразна. В зонах помех, когда $N_{ШО}$ не снизилось до значения $N_{ШТР}$, коррекция возможна с высокой точностью измерения НП. Для поддержания высокой точности КРНС используются НО сигналов, стабилизирующие уровень ложных захватов. Эффективность использования таких КРНС в условиях действия помех резко возрастает за счет точного вывода ЛА в район цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кривошея С.И., Никитин А.В., Дорощук В.А. Количественная оценка и пути повышения помехоустойчивости комплексных радионавигационных систем, действующих в условиях конфликта // *Авіаційно - космічна техніка і технологія*. – Харків: Національний аерокосмічний університет “Харківський авіаційний інститут”. – 2001. – Вип. 22. – С. 307 - 311.
2. Быков В.В. Критерий и возможности заградительного радиоподавления РЭС в условиях высокой неопределенности их характеристик // *Радиотехника*. – 2000. – № 6. – С. 49 - 52.
3. Пахолков Г.А. и др. *Обработка сигналов в радиотехнических системах ближней навигации*. – М.: Радио и связь, 1992. – 254 с.
4. Левин Б.Р. *Теоретические основы статистической радиотехники* – М.: Радио и связь, 1989. – 653 с.
5. Акимов П.С. Непараметрическое обнаружение сигналов // *Радиотехника*. – Т. 32. – 1977. – № 11. – С. 37 - 42.
6. Бриккер А.М., Громов Г.Н. Анализ точности комплексной навигационной системы с конечным числом состояний, образующих цепь Маркова // *Радиотехника и электроника*. – 1980. – Т. XXV. – № 6. – С. 1291 - 1293.

Поступила 31.03.2002

КРИВОШЕЯ Степан Ильич, доцент кафедры XII ВВС. В 1984 году окончил Рижское ВВАИУ. Область научных интересов – комплексные радионавигационные системы ЛА.

НИКИТИН Александр Викторович, к.т.н., доцент, начальник кафедры XII ВВС. В 1979 году окончил Харьковское ВВАКУС. Область научных интересов – комплексные радионавигационные системы ЛА.

ЧЕРНЯТЬЕВ Андрей Владимирович, адъюнкт XII ВВС. В 1991 году окончил Харьковское ВВАУРЭ. Область научных интересов – радиотехническое обеспечение полетов авиации.

ПОСПЕЛОВ Борис Борисович, к.т.н., доцент, профессор кафедры ХИ ВВС. Окончил Киевское ВВАИУ в 1971 году. Область научных интересов – помехоустойчивость и помехозащитность авиационных радиолиний.
