

АНАЛИЗ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ БРЛС ОБЗОРА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УДАРНЫХ САМОЛЕТОВ

учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»
г. Минск, Республика Беларусь

Рахоцкий Д.А.

Лапука О.Г. – д-р. техн. наук, профессор

Важной особенностью БРЛС обзора земной поверхности, напрямую влияющей на эффективность выполнения задачи ударных самолетов, является ее высокая помехозащищенность, обусловленная увеличением длительности интервала наблюдения, на протяжении которого выполняется когерентное накопление принимаемого сигнала в соответствии с принципами синтетизирования антенной апертуры.

Теория потенциальной помехоустойчивости определяет отношение сигнал-шум по мощности q^2 на выходе устройства когерентного накопления при воздействии белого гауссовского шума как отношение энергии полезного входного сигнала E_c к спектральной плотности мощности N_0 входного шума, независимо от природы его возникновения (внутренний, внешний). Расписав данные параметры с учетом условия спектральной прицельности создаваемых помех, имеем:

$$q^2 = \frac{E_c}{N_0} = \frac{P_c \tau_n}{\frac{P_n}{\Delta f_n}} \approx \frac{P_c \tau_n \Delta f_c}{P_n} = q_{in}^2 \tau_n \Delta f_c, \quad (1)$$

где P_c – импульсная мощность полезного сигнала и средняя мощность шума на входе устройства когерентной обработки; Δf_c – ширина спектра полезного сигнала и шума соответственно, в выражении (1) они приняты равными между собой; $q_{in}^2 = P_c / P_n$ – отношение сигнал-шум на входе устройства когерентной обработки; τ_n – длительность интервала когерентного накопления.

Величина q_{in}^2 определяется исключительно энергетическими характеристиками, то есть энергопотенциалом БРЛС PG и станции активных помех $P_j G_j$, дальностью расположения объекта наблюдения D_{Π} и помехопостановщика D_j , а также эффективной площадью отражения (ЭПО) цели σ_{Π} и условиями постановки помех (по главному лепестку либо по боковым лепесткам). К примеру, при реализации режима индивидуального прикрытия, когда аппаратура постановки помех расположена непосредственно на прикрываемом объекте (работа по главному лепестку ДНА РСА), отношение сигнал-шум на входе будет равно

$$q_{in}^2 = \frac{PG\sigma_{\Pi}}{4\pi^2 D^4} \Big/ \frac{P_j G_j}{4\pi D^2} = \frac{PG\sigma_{\Pi}}{4\pi P_j G_j D^2}. \quad (2)$$

Принимая, что данная величина является фиксированной, из выражения (1) следует, что отношение сигнал-помеха на выходе устройства обработки определяется исключительно длительностью интервала когерентного накопления τ_n и шириной спектра зондирующего сигнала Δf_c . Поэтому для анализа помехозащищенности БРЛС ОЗП требуется определить максимальные (потенциально достижимые) значения данных характеристик.

Решение данной задачи основывается на условиях оправданной аппроксимации начальной фазы траекторного сигнала в тракте обработки приемника БРЛС ОЗП и равенства линейной разрешающей способности формируемого радиолокационного изображения по двум координатам ($\Delta L \approx \Delta D$). Аппроксимация начальной фазы траекторного сигнала подразумевает неучет высших составляющих набега начальной фазы, вклад которых на заданном промежутке времени весьма мал. Исходя из абсолютной ошибки по доплеровской частоте, вызванной неучетом высших составляющих набега начальной фазы траекторного сигнала в тракте обработки можно определить максимальное время синтетизирования. Режим доплеровского обужения луча (ДОЛ), вследствие использования нефокусированного синтеза апертуры, учитывает только линейный и квадратичный набег начальной фазы. Вследствии этого абсолютная величина ошибки $\Delta f_{\text{ДОЛ}}$ по доплеровской частоте для режима

ДОЛ составит

$$\Delta f_{\text{ДОЛ}} = \frac{1}{T_{\text{ДОЛ}}} = \frac{2}{\lambda} \Delta V = \frac{2V_{\Pi}^2}{\lambda D_0} \sin^2 \beta_0 T_{\text{ДОЛ}}, \quad (3)$$

где D_0, β_0 – начальные дальность и азимут наблюдаемого объекта относительно БРЛС ОЗП в системе координат, связанной с вектором скорости ее носителя, совершающего прямолинейный полет с постоянной скоростью V_{Π} . В отличие от режима ДОЛ, режим фокусированного синтеза апертуры учитывает не только линейный и квадратичный набег фазы, но и кубический. Следовательно, для режима ФСА, величина абсолютной ошибки по

доплеровской частоте $\Delta f_{\text{ФСА}}$ составит

$$\Delta f_{\text{ФСА}} = \frac{1}{T_{\text{ФСА}}} = \frac{2}{\lambda} \Delta V = \frac{3V_{\text{н}}^3}{\lambda D_0^2} \sin^2 \beta_0 \cos \beta_0 T_{\text{ФСА}}^2. \quad (4)$$

Выразив из выражений (3) и (4) искомые величины потенциального времени синтезирования получим:

$$T_{\text{ДОЛ}} = \frac{1}{V_{\text{н}} \sin \beta_0} \sqrt{\frac{\lambda D_0}{2}}, \quad T_{\text{ФСА}} = \frac{1}{V_{\text{н}}} \sqrt[3]{\frac{\lambda D_0^2}{3 \sin^2 \beta_0 \cos \beta_0}}. \quad (5)$$

Зная потенциальное время синтезирования, из условия равенства разрешающей способности по двум координатам можно определить максимальную ширину спектра зондирующего сигнала. При этом необходимо учитывать, что расчет линейной разрешающей способности по азимуту как функции ширины спектра траекторного сигнала, в отличие от «стандартного» случая расчета разрешающей способности РЛС по дальности ($\Delta D = c/2\Delta f$), должен учитывать не скорость света c , а пространственную частоту траекторного сигнала, определяемую скоростью носителя $V_{\text{н}}$ и углом наблюдения β_0 .

В докладе рассматривается диапазон потенциальных значений времени синтезирования и ширины спектра траекторного сигнала, в зависимости от дальности и угла наблюдения, характеризующих помехозащищенность БРЛС ОЗП.

Таблица 1 – Зависимость максимально возможного времени синтезирования от дальности объекта и углом наблюдения

Дальность объекта наблюдения, км		10	20	40	80	100
Максимально возможное время наблюдения, с	в режиме ДОЛ (для $\beta = 10^\circ \dots 60^\circ$)	0,07...0,35	0,1...0,49	0,14...0,71	0,2...0,99	0,22...1,1
	в режиме ФСА (ПБО) (для $\beta = 10^\circ \dots 60^\circ$)	0,68...1,61	1,1...2,6	1,73...4,07	2,75...6,5	3,2...7,5
	в режиме ФСА (БО)	2,9	4,9	8,3	14	16,5

Таблица 2 – Зависимость максимальной ширины спектра зондирующего сигнала от дальности объекта наблюдения в режимах ДОЛ и ФСА для 3-см диапазона длин волн

Дальность объекта наблюдения, км		10	20	40	80	100
Максимальная ширина спектра зондирующего сигнала, МГц	в режиме ДОЛ	12	8,7	6,1	4,3	3,87
	в режиме ФСА (ПБО) для $\beta = 10^\circ \dots 60^\circ$	56...120	45...95	35...76	28...60	26...56
	в режиме ФСА (БО)	590	490	420	350	330

Полученные потенциальные значения времени синтезирования и ширины спектра траекторного сигнала характеризуют помехоустойчивость БРЛС ОЗП и ограничивают диапазон управления положением ложных меток на радиолокационном изображении при радиоэлектронном подавлении БРЛС обзора земной поверхности имитирующими помехами.

Список использованных источников:

1. Энергетические соотношения при согласованной фильтрации дискретного конечномерного сигнала в цифровом приемнике / О. Г. Лапука – Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 24. – С. 83–90.
2. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов/ Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368 с.
3. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей: учеб. Пособие для вузов/ [В.Н. Антипов, Е.Е. Колтышев, Г.С. Кондратенков и др.] / Под ред. В.Н. Лепина. – М.: Радиотехника, 2014. с. 296.
4. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов./ Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2006. – 656 с.
5. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Скольника. Пер с англ. Под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 2. – М.: Техносфера, 2014. – 680 с.
6. Верба В. С. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.
7. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В.Н.Антипов, В.Т.Горяинов, А.Н.Кулин, и др. // Под ред. В.Т.Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.: ил.