

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННОЙ БАЗЫ НА КАЧЕСТВО ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ ПРИ ВРЕМЯ-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Рассмотрены особенности работы систем помехозащиты когерентно-импульсных радиолокационных станций при дискретной адаптации весовых коэффициентов автокомпенсатора активных помех. Целью исследований является оценка ограничений эффективности автокомпенсатора при совместном воздействии активных и пассивных помех с учетом разности центров антенн основного и компенсационного каналов приема. В статье предложена методика оценки влияния переменной базы на качество подавления активной шумовой помехи для разных режимов работы радиолокационной станции при использовании время-пространственной обработки сигналов. Проведен анализ межканального фазового сдвига на различных временных интервалах, равных длительности частотной пачки. На примере радара 36Д6 показано, что межканальный фазовый сдвиг в разных режимах работы РЛС при время-пространственной обработке сигналов не позволяет качественно подавить активную шумовую помеху, действующую по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны.

Ключевые слова: радар, помехозащита, автокомпенсатор помех, активная шумовая помеха, боковые лепестки диаграммы направленности.

ВВЕДЕНИЕ

Возможным вариантом построения систем помехозащиты в когерентно-импульсных радиолокационных станциях (РЛС) является время-пространственная обработка сигналов с использованием раздельной двухэтапной процедуры. Принципиальной особенностью построения системы помехозащиты есть то обстоятельство, что при защите главного луча фазовые центры антенн основного и компенсационного каналов совмещены, что снимает ряд ограничений, возникающих при компенсации активной шумовой помехи (АШП). При защите РЛС от АШП, действующей по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны (ДНА), использование пространственных отличий между полезным сигналом и помехой реализуется путем разнесенного приема. При этом существует расстояние между фазовыми центрами основной и компенсационной антенн, называемое базой, и так как фазовые центры антенн каналов приема разнесены, значительно усложняется достижение высоких значений коэффициента подавления помех при сканировании антенной системы. Поэтому оценка качества подавления АШП при наличии переменной базы в антенной системе (АС) представляется актуальной.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На рис. 1 приведена схема приема АШП на антенную систему, состоящую из двух антенн: основной антенны РЛС A_1 и компенсационной антенны A_2 , фазовые центры которых разнесены на величину базы d . Расстояния от источника АШП до фазовых центров антенны обозначены как R_1 и R_2 .

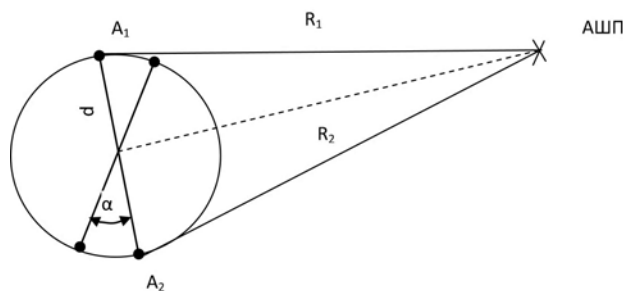


Рисунок 1 – Схема приема АШП на разнесенную антенную систему

Из рис. 1 непосредственно следует, что при изменении угла поворота антенной системы α от нуля до 90 градусов, проекция базы на направление источника АШП изменяется от нуля до величины, равной d .

В случае время-пространственной фильтрации сигналов формирование весовых коэффициентов АКП производится после преобразования Фурье

$$\dot{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n \dot{X}_i(n) \exp\left\{j \frac{2\pi n}{N}\right\}, \quad (1)$$

где $\dot{X}(k)$ – значение сигналов на выходе k -того фазового фильтра, N – количество периодов повторения в частотной пачке; $\dot{X}_i(n)$ – значение сигнала в i -тый момент времени в n -ном периоде повторения; a_n – коэффициенты весового окна; $k \in [0, N-1]$. В дальнейшем будем считать, что количество зондирующих импульсов в излученной

частотной пачке равно количеству точек преобразования Фурье.

В случае, когда обработка сигналов в устройстве фильтрации является пачечной, а адаптация весовых коэффициентов производится дискретно, один раз за частотную пачку по информации 180-градусных фазовых фильтров [1], возникает необходимость оценить ограничения в подавлении АШП при данных условиях.

Необходимо рассмотреть, какие угловые смещения антенной системы имеют место при разных режимах работы РЛС и как изменяется межканальный фазовый сдвиг, вызванный переменной проекцией базы d на направление источника помех вращающейся антенной системы, что в свою очередь позволит сделать выводы о качестве подавления АШП.

Поэтому представляет интерес оценка потерь, обусловленных изменением межканальных фазовых сдвигов при сканировании антенной системы между интервалами пачечной адаптации весовых коэффициентов пространственного фильтра. Для этого необходимо разработать методику, которая учитывала бы: темп обзора пространства, частоту повторения зондирующих импульсов, количество точек преобразования Фурье.

2 МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ

Будем считать, что в случае, представленном на рис. 1, при $R_1=R_2$, когда помеховые сигналы поступают на антенны A_1 и A_2 одновременно, как межканальный фазовый сдвиг $\varphi_{МК}$, так и задержка τ отсутствуют. При этом проекция базы на нормаль к АС равна нулю.

Условимся, что при смещении антенны в процессе сканирования на угол $\alpha \approx 5^\circ$ активная помеха действует в направлении первых боковых лепестков ДНА РЛИ. При этом нарушается равенство $R_1=R_2$, возникает разность хода лучей до фазовых центров антенн $\Delta R = R_1 - R_2 \neq 0$. Это приводит к изменению межканальных фазовых сдвигов $\varphi_{МК}$, а также к межканальной задержке помеховых сигналов τ

$$\tau = \frac{d}{c} \sin \alpha, \quad (2)$$

где α – угловое положение базы относительно равносигнального направления, при котором $R_1=R_2$; c – скорость света.

Исходными параметрами для оценки потерь, обусловленных изменением межканальных фазовых сдвигов (между интервалами адаптации пространственного фильтра), является следующее: темп обзора 6 или 12 об/мин (соответственно длительность периода обзора – 10 или 5 с), частота повторения импульсов (ЧПИ) – 1500, 750 или 375 Гц (соответственно, длительность периода повторения – 0,66; 1,33 или 2,66 мс); количество точек преобразования Фурье – 16, 12 или 8, которые соответствуют периодам повторения: 0,66; 1,33 или 2,66 мс.

Оценка потерь в компенсации АШП может быть произведена путем вычисления межканальных фазовых сдвигов между интервалами адаптации весовых коэффициентов пространственного фильтра при сканировании АС.

В дальнейшем вычисленные значения фазовых сдвигов дают возможность определения потенциальных значений коэффициентов подавления АШП в соответствии с номограммами, приведенными в [2, 3].

Для расчета межканальных фазовых сдвигов помеховых сигналов при сканировании АС необходимо учесть темп обзора пространства, а также длительность частотной пачки. При этом длительность частотной пачки $\tau_{П}$ определяется произведением периода повторения импульсов $T_{П}$ на их количество N

$$\tau_{П} = T_{П} N. \quad (3)$$

Поскольку темп обзора задается в оборотах за минуту, а при малых смещениях АС в градусах за секунду, то для выполнения расчетов перейдем к безразмерному измерению углов. При этом, например, один оборот АС на 360° может быть представлен безразмерной величиной $2\pi p$, где p – радиан (отношение длины дуги окружности к длине ее радиуса).

3 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Выполним расчет углового смещения АС на интервале, равном длительности частотной пачки, например, при темпе сканирования один оборот за 5 секунд (12 об/мин). Если полный оборот, равный $2\pi p$, АС совершает за 5 с, то за время, равное 1мс, угловое смещение антенной системы $\Delta_{МС}$ составляет:

$$\begin{aligned} \Delta_{МС} &= \frac{2\pi p}{T_{об} \cdot 1000} = \frac{6,28 p}{5 \cdot 1000} = 0,1257 \cdot 10^{-2} p = \\ &= 0,1257 \cdot 10^{-2} \cdot 57,296^\circ = 4,3', \end{aligned}$$

где $T_{об}$ – время, в течении которого совершается один оборот АС.

За время, равное периоду повторения импульсов $T_{П}=0,66$ мс, угловое смещение $\Delta_{ПП}$ АС составит:

$$\Delta_{ПП} = \frac{2\pi p}{T_{об} \cdot T_{П} \cdot 1000} = \frac{6,283 p}{5 \cdot 0,66 \cdot 1000} = 0,8293 \cdot 10^{-3} p = 2,85'.$$

Аналогично выполненный расчет показывает, что за время, равное длительности частотной пачки, при 16-ти точечном преобразовании Фурье, угловое смещение антенной системы $\Delta_{П}$ составляет $45,6'$.

В процессе расчета определены значения углового смещения АС на интервалах $\Delta_{П}$, равных длительности частотной пачки для различных режимов работы РЛС 36Д6. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Дальнейший расчет заключался в том, чтобы определить величину изменения проекции базы Δd на направление источника АШП в соответствии с формулой

$$\Delta d = d \sin \alpha. \quad (4)$$

Предположим, что АШП действует с направления первых боковых лепестков основной антенны и угол α

равен 5° . При этом, в соответствии с (4), $\Delta d_{5^\circ} = 0,174$ м. Далее, полагая, что начало частотной пачки совпадает с направлением $\alpha = 5^\circ$, определим изменение проекции базы к концу пачки Δd_{Π} с учетом смещений АС Δ_{Π} , приведенным в табл. 1. При этом изменение проекции базы Δd_{Π} на интервале, равном длительности частотной пачки, составит

$$\Delta d_{\Pi} = d \sin(5^\circ + \Delta_{\Pi}) - \Delta d_{5^\circ} \quad (5)$$

где первое слагаемое определяет проекцию базы в конце пачки, а второе в начале. Например, если ЧПИ=1500 Гц, а темп обзора равен 5 с, то $\Delta_{\Pi} = 45,6'$, при этом $\Delta d_{\Pi} = 2 \sin(5^\circ + 45,6') - 0,174 = 0,027$ м или, с учетом длины волны, равной 0,1 м, набег межканального сдвига фазы к концу частотной пачки составит $97,2^\circ$.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты расчета изменения проекции базы Δd_{Π} , а также пересчет изменения проекции базы в межканальный фазовый сдвиг $\Phi_{МП}$ во всех режимах работы РЛС сведены в табл. 1.

На рис. 2 приведена зависимость некомпенсированного остатка P_0/P_j , нормированного по мощности АШП, от межканального фазового рассогласования (сдвига) [2, С. 55].

Таблица 1 – Изменение смещения АС, проекции базы Δd_{Π} и межканального фазового сдвига $\Phi_{МП}$ на временном интервале, равном длительности частотной пачки, при различных режимах работы РЛС

Частота повторения импульсов, Гц	1500		750		375	
	5	10	5	10	5	10
Темп обзора, с	5	10	5	10	5	10
Смещение АС Δ_{Π} , мин	45,6	22,7	68,4	34,4	90,4	45,8
Δd_{Π} , м	0,027	0,013	0,039	0,017	0,055	0,026
$\Phi_{МП}$, град	97,2	46,8	140,4	61,2	198	94

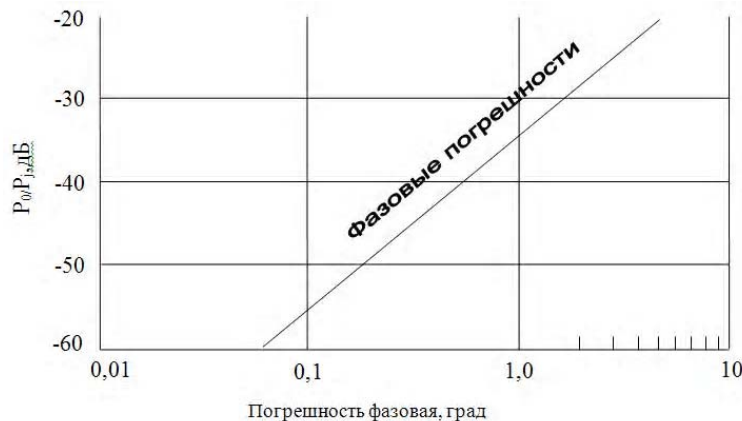


Рисунок 2 – Зависимость отношения P_0/P_j от фазового межканального рассогласования

Из рис. 2 непосредственно следует, что для реализации коэффициентов подавления порядка 20 дБ межканальный фазовый сдвиг $\Phi_{МК}$ должен быть не более 5° . Из табл. 2 следует, что межканальные фазовые сдвиги на интервалах, равных длительности частотной пачки при время-пространственной обработке сигналов, не позволяют реализовать приемлемые значения коэффициента подавления при защите РЛС от АШП, действующей по боковым лепесткам основной антенны РЛС 36Д6.

ВЫВОДЫ

Предложена методика для оценки влияния переменной базы на качество подавления активной шумовой помехи для разных режимов работы радиолокационной станции при использовании время-пространственной обработки сигналов. Согласно этой методике проведен анализ межканального фазового сдвига на различных временных интервалах. На примере радара 36Д6 показано, что межканальный фазовый сдвиг в разных режимах работы РЛС при время-пространственной обработке сигналов не всегда позволяет обеспечить высокое качество подавления АШП, действующей по боковым лепесткам ДНА.

В дальнейшем представляется целесообразным провести аналогичную оценку для пространственно-временной обработки сигналов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках выполнения научно-исследовательской темы Запорожского национального технического университета «Разработка и обоснование рекомендаций по построению систем пространственно-временной обработки сигналов в условиях воздействия комбинированных помех» (№ гос. регистрации 0114U002636).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 48705 Україна МПК G01S 7/36 Спосіб компенсації активної складової комбінованої завади. [Електронний ресурс] / Кононович В. Я. (UA), Кукольницький А. П. (UA), Залевський О. П. (UA), Каспирович О.Г. (UA),

Мейстер Ю. Л. (UA), Денека А. А. (UA); заявник і патентовласник: Казенне підприємство «Науково-виробничий комплекс «Іскра» – заявл. 06.11.2009; опубл. 25.03.2010, бюл. №6, 2010 р. – Режим доступу: <http://base.ukrpatent.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=143619&chapter=description&sid=02b11f4011edf00129a4b672ea5ca5e8>

- Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решетки : Введение в теорию : Пер. с англ. / Р. А. Монзинго, Т. Ц. Миллер. – М. : Радио и связь, 1986. – 448 с.
- Пиза Д. М. Техническая реализация поляриметра на базе адаптивного фильтра / Д. М. Пиза // Радиотехника. – 1977. – Вып. 102. – С. 15–17.

Статья поступила в редакцию 22.09.2014.
После доработки 29.09.2014.

Пиза Д. М.¹, Звягинцев Є. О.²

¹Д-р техн. наук, професор кафедри радіотехніки та телекомунікацій, Запорізький національний технічний університет, Україна

²Аспірант кафедри радіотехніки та телекомунікацій, Запорізький національний технічний університет, Україна

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІННОЇ БАЗИ НА ЯКІСТЬ ПРИДУШЕННЯ ЗАВАД ПРИ ЧАСОВО-ПРОСТОРОВІЙ ОБРОБЦІ СИГНАЛІВ

Розглянуті особливості роботи систем завадозахисту когерентно-імпульсності радіолокаційних станцій при дискретній адаптації вагових коефіцієнтів автокомпенсатора активних завад. Метою дослідження являється оцінка обмеження ефективності автокомпенсатора при сумісному впливі активних та пасивних завад з врахуванням розносу фазових центрів антен основного і компенсаційного каналів прийому. У статті запропонована методика оцінки впливу змінної бази на якість придушення активної шумової завади для різних режимів роботи радіолокаційної станції при використанні часово-просторової обробці сигналів. Проведено аналіз міжканального фазового зсуву на різних часових інтервалах, рівних тривалості частотної пачки. На прикладі радару 36Д6 показано, що міжканальний фазовий зсув в різних режимах роботи РЛС при часово-просторовій обробці сигналів не дозволяє якісно придушити активну шумову заваду, діючу по бічним пелюсткам діаграми спрямованості антени.

Ключові слова: радар, завадозахищеність, компенсатор завад, активна шумова завада, бічні пелюстки діаграми спрямованості.

Piza D. M.¹, Zviahintsev E. A.²

¹Doctor of Sciences, Professor of the Department of Radio Engineering and Telecommunications, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine

²Post-graduate Student, of the Department of Radio Engineering and Telecommunications, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine

ANALYSIS OF INFLUENCE OF VARIABLE BASE ON THE QUALITY OF JAMMER SUPPRESSION WITH TIME-SPACE SIGNAL PROCESSING

The features of work of noise immunity systems of coherently-pulse radar stations with discrete adaptation of weighting coefficients of an automatic compensator of active noise have been considered. The purpose of research is evaluation of effectiveness restrictions of the automatic compensator under the combined action of active and passive noise with the difference between the antenna centers of the basic and compensation receiving channels. This paper proposes a method for estimating the effect of variable base on the quality of the active suppression of jammer for different modes of radar using time-space signal processing. The analysis was made for the inter-channel phase shift at different time intervals equal to the duration of the frequency of the pack. On the example of radar 36D6 showed that interchannel phase shift in different radar modes of operation with the time-space signal processing does not allow qualitatively suppress jammer exerted on the side lobes of the antenna pattern.

Keywords: radar, ECCM, canceller, jamming, side lobes.

REFERENCES

- Pat. 48705 Ukrain'na MPK9 G01S 7/36 Sposib kompensacii' aktivnoi' skladovoi' kombinovanoi' zavady. [Elektronnyj resurs] / Kononovych V. Ja. (UA), Kukul'nyc'kyj A. P. (UA), Zalevs'kyj O. P. (UA), Kaspyrovych O. G. (UA), Mejster Ju. L. (UA), Deneka A. A. (UA); zajavnyk i patentovlasnyk: Kazenne pidpryjemstvo «Naukovo-vyrobnychyj kompleks «Іskra» – заявл. 06.11.2009; опубл. 25.03.2010, бюл. №6,

2010 – Access: <http://base.ukrpatent.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=143619&chapter=description&sid=02b11f4011edf00129a4b672ea5ca5e8>

- Monzingo R. A., Miller T. C. Adaptivnye antennye reshetki: Vvedenie v teoriyu: Per. s angl. Moscow, Radio i svyaz', 1986, 448 p.
- Piza D. M. Texnicheskaya realizaciya polyarimetra na baze adaptivnogo fil'tra. *Radiotekhnika*, 1977, Вып.102, pp.15–17.