

МЕТОД АДАПТАЦИИ АВТОКОМПЕНСАТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОМЕХ

В статье предложен метод адаптации автокомпенсатора в начале развертки дальности. Проведен анализ протяженности пассивных помех от метеорообразований и дипольных отражателей. Получена зависимость дальности пассивной помехи от высоты, учитывающая угол места луча и высоту точки стояния радара. На примере радара ЗбДб показано, что предложенный метод целесообразно применять для углов места $<6^\circ$. Для углов места $>6^\circ$ предпочтительной является адаптация весовых коэффициентов автокомпенсатора в конце развертки дальности.

Ключевые слова: радар, помехозащита, автокомпенсатор помех, комбинированные помехи, угол места, облака.

ВВЕДЕНИЕ

С целью уменьшения влияния пассивной помехи на настройку весовых коэффициентов адаптация автокомпенсатора помех (АКП), как правило [1], выполняется в конце развертки дальности, поскольку мощность отраженных сигналов на больших дальностях существенно уменьшается. Проведенные авторами и их коллегами исследования в условиях полигона Капустин Яр (Астраханская обл., РСФСР) показали, что даже на дальности 100 км сигналы, отраженные от мощных грозовых облаков, могут превышать динамический диапазон радара. Таким образом, настройка пространственного адаптивного фильтра в конце развертки дальности не решает проблему, связанную с воздействием пассивной помехи на процесс адаптации весовых коэффициентов АКП.

Учитывая нестационарный характер отражений от пассивных помех, представляет интерес оценить возможность адаптации автокомпенсатора активных помех на интервалах дальности, где отражения от пассивных помех отсутствуют.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В военной области, исходя из существующей тактики постановки дипольных помех [2], можно считать, что отражения от преднамеренных пассивных помех (ПП) являются локальными. Размеры облака из одной пачки дипольных отражателей в вертикальной (горизонтальной) плоскости составляют 0,6...1 км через 5 мин после

сброса и 1,6...2 км через 10 мин после сброса. При этом на развертке дальности всегда найдутся временные интервалы для самонастройки АКП, на которых ПП отсутствуют. Локальный характер также имеют отраженные сигналы от мощных кучево-дождевых (грозовых) облаков [3], а также от местных помех.

Морфологическая классификация облаков состоит из 10 форм, 20 видов и 36 разновидностей. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть только те виды облаков, которые могут покрывать значительную часть зоны обнаружения РЛС по азимуту, дальности и высоте, создавая наиболее сложные условия для работы АКП. Основные данные по этим видам облаков приведены в табл. 1.

Проанализируем расположение слоя ПП на развертке дальности в зависимости от угломестного направления луча РЛС и высоты позиции РЛС над уровнем моря.

Рассмотрим геометрию задачи (рис. 1) на плоскости, содержащей центр Земли С и луч РЛС ОА. Земная поверхность приближенно может быть представлена окружностью радиуса R_3 . Пусть высота позиции РЛС над уровнем моря – h_0 , высота границы ПП – h . В таком случае граница ПП может быть представлена окружностью с центром в точке С радиусом R_3+h . Точка пересечения луча РЛС с окружностью радиусом R_3+h соответствует т. А на рис. 1.

Необходимо определить положение границы ПП на развертке дальности РЛС, т.е. определить длину отрезка ОА.

Таблица 1. Данные о рассматриваемых формах облаков

Обозначение	Название	Высота нижней границы, км	Толщина слоя, км
As	высококслоистые	2...6	1...2
Sc	слоисто-кучевые	0,5...1,5	0,2...0,8
Ns	слоисто-дождевые	0,5...1,9	2...3
Cb	кучево-дождевые	0,6...1,2	3...8

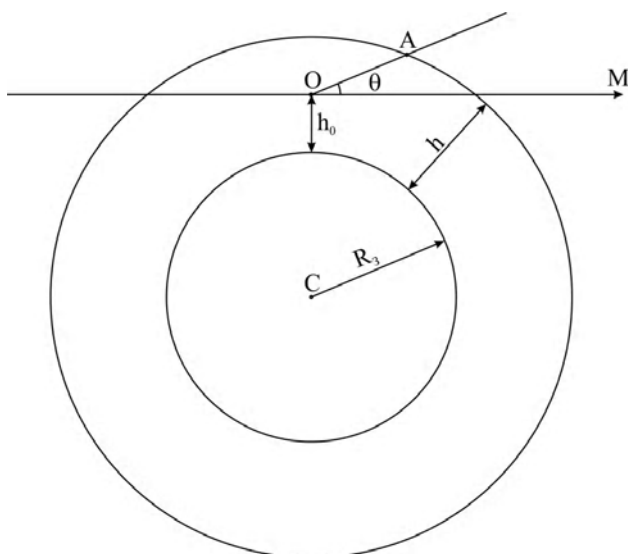


Рис. 1. Геометрия задачи

РЕШЕНИЕ

Введем полярную систему координат с полюсом в т. О и полярной осью ОМ, соответствующей нулевому углу места. Угол места т. А обозначим θ . Уравнение окружности радиуса a с центром в т. (r_0, θ_0) в полярной системе координат r, φ определяется в виде [4]:

$$r^2 - 2rr_0 \cos(\varphi - \theta_0) + r_0^2 = a^2, \quad (1)$$

где r – полярный радиус, φ – полярный угол, (r_0, θ_0) – координаты центра окружности, a – радиус окружности.

С учетом (1), координат центра Земли $C(R_3 + h_0, -90^\circ)$ и введенных обозначений уравнение окружности, соответствующей границе ПП, определится в виде:

$$r^2 - 2r(R_3 + h_0) \cos(90^\circ + \varphi) + (R_3 + h_0)^2 = (R_3 + h)^2, \quad (2)$$

или

$$r^2 + 2r(R_3 + h_0) \sin \varphi + (R_3 + h_0)^2 - (R_3 + h)^2 = 0. \quad (3)$$

Поскольку во введенной системе координат полярный угол φ совпадает с углом места θ , искомый отрезок ОА определится решением уравнения (3) относительно r с подстановкой $\varphi = \theta$.

Дискриминант уравнения определяется в виде:

$$D/4 = \sqrt{(R_3 + h_0)^2 \sin^2 \theta - (R_3 + h_0)^2 + (R_3 + h)^2}. \quad (4)$$

По условию задачи $h > h_0$, следовательно, дискриминант (4) будет положительным, а уравнение (3) будет иметь два действительных корня:

$$r_{1,2} = -(R_3 + h_0) \sin \theta \pm \sqrt{(R_3 + h_0)^2 \sin^2 \theta - (R_3 + h_0)^2 + (R_3 + h)^2}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) и условий задачи показывает, что только положительный корень будет являться ее решением, в то время как второй (отрицательный) корень будет соответствовать второй точке пересечения прямой ОА (содержащей луч РЛС) с окружностью. Окончательно имеем:

$$OA = \sqrt{(R_3 + h_0)^2 \sin^2 \theta - (R_3 + h_0)^2 + (R_3 + h)^2} - (R_3 + h_0) \sin \theta. \quad (6)$$

Применим полученную зависимость дальности от высоты границы ПП к РЛС 36Д6 украинского производства, которая используется в системах противовоздушной обороны многих стран мира. РЛС имеет две зоны обзора по углу места, называемые «нижняя» ($0 \dots 6^\circ$) и «верхняя» ($6 \dots 30^\circ$). Значения углов места лучей РЛС приведены в табл. 2.

Таблица 2. Углы места лучей РЛС 36Д6

Номер луча	Угол места, °	
	Нижняя зона	Верхняя зона
1	0,75	9
2	2,25	15
3	3,75	21
4	5,25	27

Зависимость дальности от высоты границы ПП для угломестных лучей РЛС 36Д6 приведена в виде графиков на рис. 2, а (нижняя зона) и 2, б (верхняя зона).

Как видно из рис. 2, а (с учетом табл. 1), верхняя граница облаков вида Сб в 1-4 лучах нижней зоны будет располагаться на дальности от 90 до 265 км. Поэтому адаптация АКП в конце развертки дальности при дальности действия РЛС 90 км может привести к настройке весового коэффициента на пассивную помеху. Ситуация также будет усугубляться из-за большого импульсного объема на больших дальностях: вследствие увеличения площади поперечного сечения луча эффективная площадь рассеяния облаков будет увеличиваться. Этот факт был экспериментально подтвержден на полигоне Капустин Яр.

Анализ рис. 2, б показывает, что даже при высоте верхней границы ПП 9 км в конце развертки дальности будет существовать участок свободный от помех. Так, например, для 1-го луча верхней зоны верхняя граница ПП будет соответствовать дальности около 55 км, для 2-го – 35 км, для 3-го и 4-го – 20–25 км. Ввиду того, что существование ПП от облаков на высотах более 10 км весьма маловероятно, выполнение адаптации в конце развертки дальности в верхней зоне представляется целесообразным.

Одним из возможных вариантов выбора участка адаптации АКП в лучах нижней зоны является начальный участок развертки дальности. Определим границы этого участка. Если, например, длительность зондирующего импульса $\tau_{\text{и}} = 1,5$ мкс, то допустимое время адаптации АКП, в соответствии с [5], составит $10\tau_{\text{и}} = 15$ мкс. В рас-

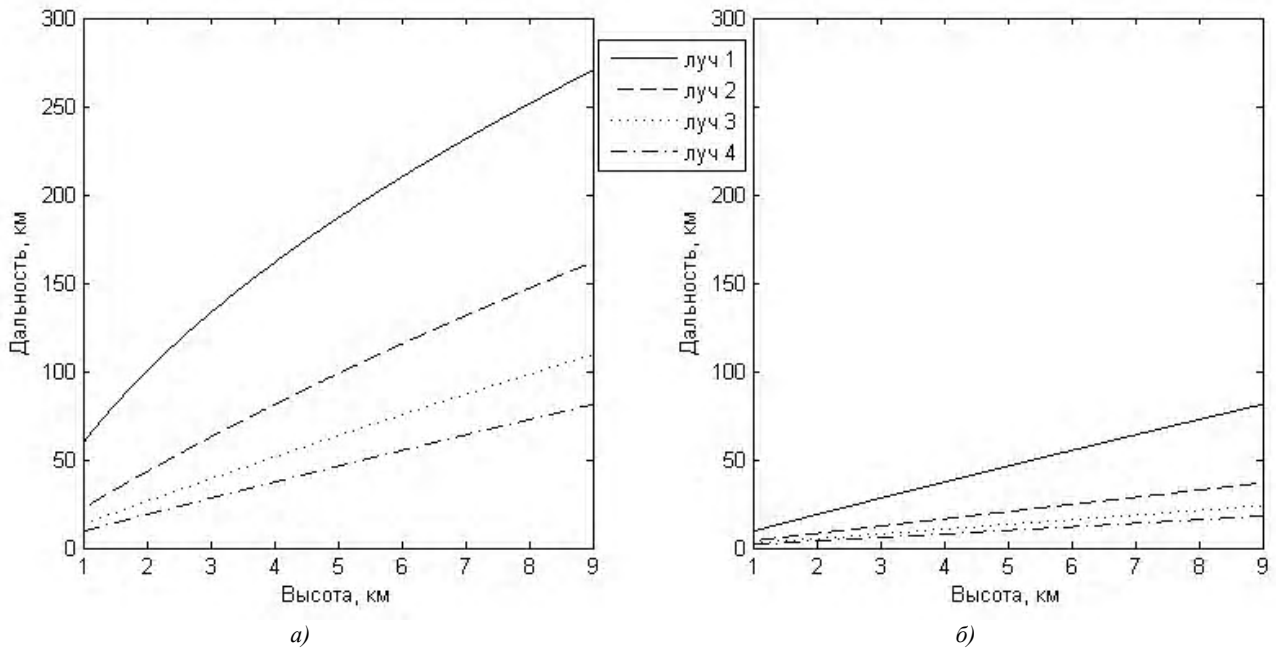


Рис. 2. Зависимость дальности от высоты границы ПП для лучей нижней (а) и верхней (б) зоны

смагиваємому прикладу це відповідає інтервалу дальності 2,25 км. С урахуванням мінімальної інструментальної дальності («мертвої зони») РЛС 36Д6, рівної 3,5 км, для адаптації необхідний ділянку від 3,5 до 6 км. В процесі досліджень авторами по формулі (6) були проведені розрахунки залежності дальності від висоти ПП для 1...4 променів нижньої зони згаданої РЛС на дальностях від 0 до 8 км. Результати проведених розрахунків приведені на рис. 3.

Точки перетину отриманих залежностей для кожного з променів з прямою $r=6$ км відповідають висотам (0,08; 0,24; 0,4; 0,55) км.

Сравнение, полученных в результате расчета высот, с нижней границей облаков вида Сб, приведенной в табл. 1, позволяет сделать вывод о возможности адаптации весовых коэффициентов автокомпенсатора в нижней зоне обнаружения РЛС 36Д6 на начальном участке развертки дальности.

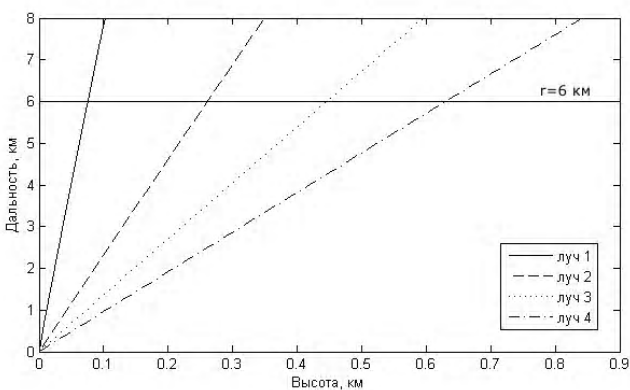


Рис. 3. Зависимость дальности от высоты границы ПП для лучей нижней зоны на участке 0...8 км

ВЫВОДЫ

Получена зависимость между дальностью и высотой ПП, учитывающая угол места луча и высоту точки стояния РЛС. С помощью полученной зависимости на примере РЛС 36Д6 проанализировано расположение границ ПП на развертке дальности для разных угломестных лучей верхней и нижней зоны обнаружения.

Проведенный анализ показал, что при углах места лучей РЛС $<6^\circ$ целесообразно выполнять адаптацию АКП на начальном участке развертки дальности. С увеличением угла места дальность до ПП и ее протяженность уменьшаются, поэтому в верхней зоне становится целесообразным выполнять адаптацию АКП в конце развертки дальности.

Дальнейшие исследования предполагается проводить в направлении разработки алгоритма, позволяющего на основании апостериорных данных выбирать для адаптации АКП участок гарантированно свободный от ПП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка эффективности пространственно-временной фильтрации сигналов в когерентно-импульсных РЛС [Текст] / [Залевский А. П., Пиза Д. М., Пресняк И. С., Сиренко А. С.] // Радиоэлектроника, информатика, управления. – 2012. – № 2. – С. 39–44.
2. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. [Текст] / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.
3. Атлас облаков [Текст] / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова; [Д. П. Беспалов и др.; ред.: Л. К. Сурыгина]. – Санкт-Петербург: Д'АРТ, 2011. – 248 с.

4. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 832 с. Center. September 2004 – Режим доступа : <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a427221.pdf>
5. Goktun, S. Sidelobe canceller jamming using hot-clutter. Thesis. [Электронный ресурс] / The Defense Technical Information Center. September 2004 – Режим доступа : <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a427221.pdf> Стаття надійшла до редакції 30.10.2013.

Піза Д. М.¹, Сіренко А. С.², Звягінцев Є. О.³

¹Д-р техн. наук, професор, Запорізький національний технічний університет, Україна, E-mail: dpiza@zntu.edu.ua

^{2,3}Старш. викл., Запорізький національний технічний університет, Україна

МЕТОД АДАПТАЦІЇ АВТОКОМПЕНСАТОРА ПІД ДІЄЮ КОМБІНОВАНИХ ЗАВАД

В статті запропоновано метод адаптації автокомпенсатора на початку розгортки дальності. Проведено аналіз протяжності пасивних завад від метеоутворень та дипольних відбивачів. Отримано залежність висоти пасивної завади від дальності, де враховано кут місця променя та висоту точки стояння радара. На прикладі радара 36Д6 показано, що запропонований метод доцільно застосовувати для кутів місця <math><6^\circ</math>. Для кутів місця >math>>6^\circ</math> переважною є адаптація вогоних коефіцієнтів автокомпенсатора в кінці розгортки дальності.

Ключові слова: радар, заводозахист, автокомпенсатор завад, комбіновані завади, кут місця, хмари.

Piza D. M.¹, Sirenko A. S.², Zviaghintsev E. A.³

¹ Doctor of technical sciences, professor, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

^{2,3} Senior lecturer, Zaporizhian National Technical University, Ukraine

THE METHOD FOR CANCELLER ADAPTATION IN COMBINED CLUTTER AND JAMMING ENVIRONMENT

In this article we propose a method to adapt canceller at the beginning of the range sweep. The analysis of the extent of clutter from meteorological formations and chaff has been provided. It was found that the most difficult conditions to adapt canceller weights occur when exposed to the combined interference in the presence of reflections from the cumulonimbus. We have come up with dependence of the distance on clutter height, taking into account the elevation angle of the beam and stationing height of the radar. On the example of 36D6 radar we have shown that the proposed method is useful for elevation angles smaller than 6 degrees. For elevation angles greater than 6 degrees an adaptation of canceller weights at the end of the range sweep is preferred.

Keywords: radar, ECCM, canceller, clutter and jamming, elevation, clouds.

REFERENCES

- Zalevskij A. P., Piza D. M., Presnyak I. S., Sirenko A. S. Ocenka e'ffektivnosti prostranstvenno-vremennoj fil'tracii signalov v kogerentno-impul'sny'x RLS [Tekst], *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2012, No. 2, pp. 39–44.
- Radioelektronnye sistemy: Osnovy postroeniya i teoriya. Spravochnik. Izd. 2-e, pererab. i dop., Pod red. YA.D. SHirmana. Moscow, Radiotekhnika, 2007, 512 p.
- Atlas oblakov, Feder. sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushhej sredy (Rosgidromet), Gl. geofiz. observatoriya im. A. I. Voejkova; D. P. Bespalov i dr.; red., L. K. Surygina. Sankt-Peterburg, D'ART, 2011, 248 p.
- Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Moscow, Nauka, 1973, 832 p.
- Goktun S. Sidelobe canceller jamming using hot-clutter. Thesis. The Defense Technical Information Center. September 2004, Access: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a427221.pdf>