

УДК 621.396 + 629.1

Я.Д. Ширман, П.В. Потелешенко, И.И. Сачук, В.М. Орленко

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧЕ НАВЕДЕНИЯ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

В настоящее время получили интенсивное развитие методы широкополосной радиолокации и инверсного синтеза апертуры радиолокационной станции. В статье проанализированы возможности кординального повышения информативности локационных методов при использовании широкополосных протяженных зондирующих сигналов и возможности использования этой информации в задачах наведения зенитных управляемых ракет. Приведены основные направления исследований и совершенствования зенитного управляемого оружия.

Ключевые слова: широкополосные сигналы, инверсный синтез апертуры, одно-, двумерные портреты целей, моделирование методом простейших компонентов, высокоточное наведение ЗУР.

Постановка проблемы

Традиционные РЛС с шириной спектра сигнала, не превышающей 10 МГц, не всегда удовлетворяют потребителей радиолокационной (РЛ) информации, поэтому развитие РЛ систем идет в направлении увеличения количества и повышения качества информации.

В связи со значительными успехами в генерировании и обработке широкополосных сигналов они находят применение в радиотехнических системах добытия информации (обзорные радиолокационные станции, охранные системы) и системах передачи информации (спутниковая связь). Более того, радиолокационное распознавание воздушных целей постепенно становится обязательным требованием к РЛС.

Развитие техники позволяет массово реализовать новые газодинамические системы управления полетом ракет, повышающие маневренность ракеты в несколько раз. В настоящее время приняты на вооружения США и России зенитные управляемые ракеты (ЗУР) нового поколения с высокоточными системами наведения, использующие простые сигналы миллиметрового, инфракрасного и оптического диапазона длин волн, имеющие ограниченную дальность действия. Высокоточную систему наведения с большей дальностью действия можно создать на основе РЛ сигналов сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн с использованием широкой полосы частот и инверсного синтеза апертуры [1].

Согласно [2] в США граница между полосами частот широкополосных (ШП) и сверхширокополосных (СШП) сигналов принята равной 500 МГц. Однако, РЛ сигналы с полосой 100-500 МГц в задачах наведения ЗУР могут быть названы как ШП, так и СШП, в сравнении с используемыми в настоящее время сигналами с полосой 3-10 МГц. К ШП и СШП сигналам можно отнести и шумовые сигналы, которым уделяется большое внимание [3].

В статье анализируются:

1. Этапы развития широкополосной радиолокации и метода инверсного синтеза апертуры.
2. Возможности повышения информативности локационных методов при использовании СШП протяженных зондирующих сигналов.
3. Предпосылки использования новых методов поражения целей в системах наведения ЗУР.
4. Возможные результаты применения СШП сигналов и метода ИСА для наведения ЗУР.

1. Этапы развития широкополосной радиолокации и метода инверсного синтеза апертуры

Сжатие импульсов было предложено в различных странах независимо. Так в бывшем СССР авторское свидетельство на сжатие импульсов было выдано Ширману Я.Д. с приоритетом 1956 г [4]. Это стимулировало проведение экспериментов по сжатию импульсов на Украине. Макет РЛС с использованием ЛЧМ импульсов 5 МГц \times 6 мкс с дальностью обнаружения самолетов около 200 км на основе РЛС П-12 УВЧ диапазона был испытан в Вирта ПВО им. Л.А. Говорова в 1959 г [5]. Более широкополосный макет РЛС с использованием ЛЧМ импульсов 70 МГц \times 2 мкс с дальностью обнаружения самолетов 100...150 км на основе РЛС ПРВ-10 диапазона С был испытан вблизи Харькова в 1963-64 г.г. При этом группой исследователей (Ширман Я.Д., Колпаков Н.Д., Алмазов В.Б., Голиков В.Н., Гомозов В.И., Челпанов А.С., Цурский Д.А.) в полосе 70 МГц наблюдались дальностные портреты (ДП) самолетов Ан-10, Ли-2 и Су-9 (в лабораторном макете в это время наблюдались портреты в полосе 700 МГц) [6]. Совместно с Правдинским радиозаводом в 1986-87 г.г. было реализовано распознавание классов воздушных целей.

Первый, по-видимому, западный "сверхширокополосный" эксперимент с ЛЧМ импульсами 150 МГц \times 1 мкс был опубликован Бромлеем и Коллэном в 1967 г. В 1970-х, 80-х проводятся ряд масштабных экспериментов по космическим целям на РЛС "Алкор" (США) [7] и "Неман" (СССР) [8].

Первый эксперимент по комбинации высокого разрешения по дальности (ВРД) с принципами инверсного синтеза апертуры радиолокатора (ИСА) был опубликован Стайнбергом в 1988 г [9].

Возможность использования ВРД для распознавания не только классов, но и типов воздушных целей была экспериментально подтверждена Гудсоном и Псалтисом применительно к ЛЧМ сигналу с полосой 300 МГц в 1993 г [10].

Осипов и Скосырев (компания "Алмаз") экспериментально показали в 1995-2003, что короткие импульсы большой мощности обеспечивают ВРД на относительно малых дальностях [11].

Используя комбинацию ВРД-ИСА и поляризационную селекцию, Новак и др. из Линкольновской лаборатории (США) сопоставили в 1997 г распознавание типов наземных целей для разрешающих способностей 1 м \times 1 м и 0,3 м \times 0,3 м [12].

Розенбах и Шиллер из FGAN (Германия) сопоставили в 2000 г распознавание типов воздушных целей для полос частот 50...800 МГц, используя только ВРД или ВРД-ИСА в комбинации [13].

"Сверхширокополосное" распознавание введено в экспериментальные наземные РЛС "SENTRAD", "BUER S" и самолетную РЛС "PAMIR". Работая в полосе частот 1800 МГц, последняя обладает разрешением около 10 см \times 10 см на дальности 30 км и около 10 см \times 30 см на дальности 100 км [10].

Широкие возможности по получению дополнительной информации о цели открываются при использовании СШП сигналов, позволяющих получать одномерные РЛ дальностные (ДП), а при дополнительном использовании ИСА – двумерные дальностно-угловые (ДУП) радиолокационные портреты цели. Теория получения радиолокационных портретов (РЛП) представлена в монографиях Д. Р. Венера, В. С. Чена, А. В. Рихачека, в монографиях и справочниках харьковских авторов [14-17]. В [18-19] развита методика компьютерного электродинамического моделирования вторичного излучения воздушных целей и предложен пакет программ «Radar Target Backscattering Simulation» (RTBS), с помощью которого моделируются ДП и ДУП.

2. Возможности повышения информативности локационных методов при использовании СШП протяженных зондирующих сигналов

Разрешающая способность по дальности при узкополосном зондировании определяется длительностью сигнала, а при СШП зондировании обратно пропорциональна ширине спектра сигнала. Использование РЛ сигнала 150-300 МГц, дает разрешающую способность по дальности около 0,5-1 м, что позволяет раз-

решать два блестящие элемента цели, находящиеся на удалении около 1 метра вдоль линии визирования. Это подтверждается приведенными примерами моделирования с помощью RTBS ДП самолетов ТУ-16, МИГ-21 и ракеты АLCM при ширине спектра сигнала 200 МГц (рис. 1). Следует отметить, что по совокупности одномерных медленно меняющихся ДП можно выявить факт быстрых флюктуаций его пика, соответствующих месту расположения воздухозаборников двигателя (на рис. 1 обозначены стрелками).

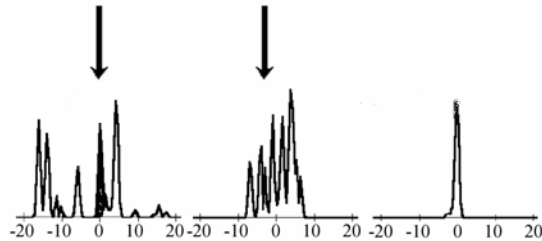


Рис. 1. Дальностные портреты самолетов (слева) ТУ-16, МИГ-21, ракеты АLCM при ширине спектра сигнала 200 МГц

В результате натурных экспериментов [13], которые проводились в институте FGAN на РЛС TIRA (Германия), получены двумерные изображения целей, содержащие до 1000 пикселей, каждый из которых описывался 8 битами двоичной информации. Изображения, соответствующие ширине спектра 800 и 100 МГц, приведены на рис. 2.

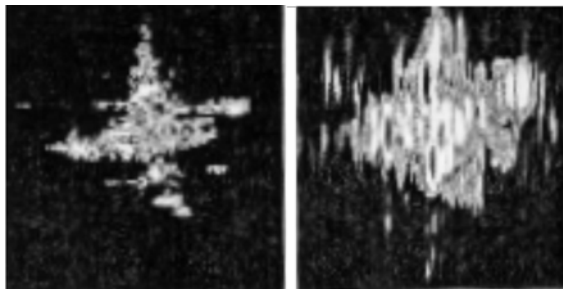


Рис. 2. Изображения, полученные при облучении самолета сигналом с шириной спектра 800 МГц (слева) и 100 МГц (справа) [13]

ДУП могут быть получены при помощи пакета программ RTBS. При этом основой для получения изображения является метод простейших компонентов [18], хорошо подходящий для моделирования одномерных портретов. В силу отсутствия имитации диффузного рассеяния, многомерные изображения, получаемые с помощью RTBS, отличны от реальных изображений, но позволяют оценить продольные размеры цели и ее ориентацию в пространстве (рис. 3). Аналогичный ДУП бомбардировщика В-52 с амплитудной передачей интенсивности может быть получен с помощью RTBS и программной оболочки MatLab (рис. 4). По осям x и y отложены линейные размеры цели, а по оси z амплитуда принятого сигнала. Параметры сигнала: длина волны 3 см, ширина спектра 50 МГц, время локации 1 сек.

Радиолокационная информация, получаемая при зондировании цели СШП длительными импульсами совместно с применением метода ИСА, позволяет

повысить точность измерения дальностных и угловых координат цели до 10 раз [20], определить продольные и поперечные размеры цели, обнаружить ее маневр [1, 21], произвести распознавание целей.

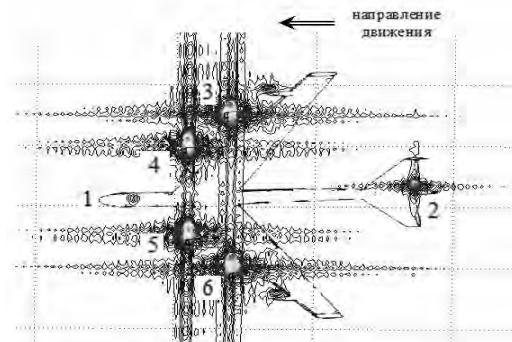


Рис. 3. Дальностно-угловой портрет бомбардировщика В-52 при ширине спектра сигнала 200 МГц; 1 – носовая часть; 2 – хвостовая часть; 3-6 – подвесные gondолы с двигателями

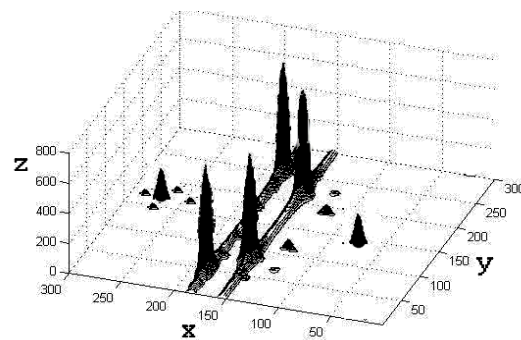


Рис. 4. ДУП с амплитудной передачей интенсивности бомбардировщика В-52

3. Предпосылки использования новых методов поражения воздушных целей в системах ЗУР

Большинство современных ЗУР используют принцип поражения цели путем накрытия ее облаком осколков, предложенный еще немецкими инженерами в 40-х годах XX века и реализованный впервые в ЗУР «Вассерфаль» и «Шметтерлинг». При этом используются ракеты с неконтактными радиовзрывателями и боевыми частями (БЧ) осколочно-фугасного действия, имеющие радиус поражения цели ударной волной не более 10-12 метров и радиус поражения цели плотным потоком осколков (плотность 20-50 осколков на квадратный метр) – 10-15 метров [22 – 23].

В системах наведения, как правило, используются простые радиоимпульсы или непрерывные сигналы сантиметрового диапазона, с разрешающей способностью 20-100 м. Поэтому поражение цели осуществляется одиночными осколками (плотностью 2-5 осколков на квадратный метр) за счет воздействия на экипаж, двигательную установку, топливные баки, несомое вооружение и т.д. Вероятность поражения повышают, согласовывая область разлета осколков с положением цели. Таким образом, применение неконтактного радиовзрывателя и большого боевого заряда ЗУР – вынужденная мера,

вызванная двумя факторами: недостатками ЗУР как объекта управления и низкой точностью оценивания координат цели и ракеты.

В настоящее время управление движением большинства ЗУР осуществляется аэродинамическим способом: созданием управляющих моментов сил, поворачивающих ракету, при помощи аэродинамических рулей и элеронов. Улучшение свойств ЗУР как объекта управления (уменьшение ее инерционности) обеспечивается двумя способами: снижением массы ракеты (за счет уменьшения БЧ при переходе к прямому попаданию ракеты в цель) и применением газодинамического управления.

Газодинамический способ предполагает создание управляющих сил, приложенных к центру масс ЗУР с помощью поперечной реактивной силы, создаваемой специальным двигателем поперечного управления. В ЗУР 9М96Е/Е2 (Россия) двигатели поперечного управления обеспечивают набор поперечной перегрузки 20 единиц за 0,025 с по всей зоне поражения практически независимо от высоты полета цели [24]. Применение новых газодинамических способов управления кординально повышает маневренные характеристики ракеты, что особенно важно на конечном этапе наведения [25]. Возможно использование комбинированного аэродинамического и газодинамического управления ЗУР, обеспечивающее режим сверхманевренности, реализованный в ракетах "Эринт" (США), "Астер-15/30" (Франция), 9М96Е/Е2 (Россия) [24].

В 1997 году в американской печати впервые применительно к ПРО с системами наведения, работающими в инфракрасном и оптическом диапазонах длин волн, появляется термин «hit-to-kill» [26], что означает кинематическое разрушение цели путем прямого попадания. Данные диапазоны длин волн позволяют формировать изображения целей и осуществлять наведение на них в разреженных слоях атмосферы и космосе на значительных расстояниях. В ПВО возможно применение таких систем в комплексах малой дальности. Для систем средней и большой дальности будут значительные потери в атмосфере за счет поглощения и рассеяния энергии сигнала. Согласно зависимости удельного ослабления энергии сигнала от его длины волны (рис. 5) [27] для систем средней и большой дальности можно выбирать СШП сигналы, минимальная длина волны которых составляет около 3 см (10 ГГц).

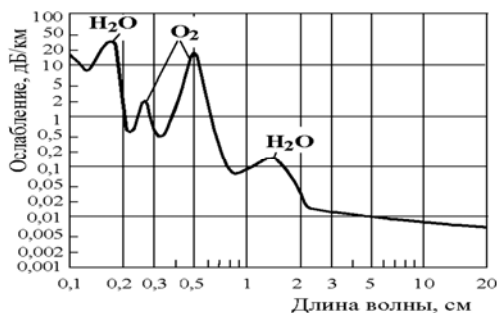


Рис. 5. Удельное ослабление энергии радиоволны при ясной погоде

Использование газодинамического и комбинированного способов управления ЗУР существенно улучшает свойства ЗУР как объекта управления, снимая одно из принципиальных ограничений, требующих применения неконтактного радиовзрывателя и мощной БЧ. Возможно это объясняет значительный интерес к развитию технологий наведения и датчиков, подтверждаемый расходами 276,9 млн. долл. (вторая статья расходов после вычислительных систем и коммуникационных технологий) управления перспективных исследований Министерства обороны США DARPA в 2005 г [27].

4. Возможные результаты применения СШП сигналов и метода ИСА для наведения ЗУР

Одномерные и двумерные радиолокационные портреты позволяют получать дополнительную информацию о цели:

1. По изменению структуры и длины портрета, изменению частоты турбинной модуляции можно судить о маневре цели. Своевременное обнаружение факта маневра цели и определение его интенсивности приведет к повышению точности измерения координат цели, а следовательно и точности оценивания их первых и вторых производных, что, в свою очередь, уменьшит ошибки наведения ракеты.

2. По совокупности блестящих точек определяются линейные размеры (вдоль и поперек линии визирования) цели, ее ориентация в пространстве относительно линии визирования и тип цели. Это дает возможность определять точку наведения, связанную с наиболее уязвимой областью цели, что, в свою очередь, позволяет значительно уменьшить массу ракеты за счет уменьшения боевой части и неконтактного радиовзрывателя и упрощения предохранительно-исполнительного устройства. В тоже время, это позволит увеличить вероятность поражения цели одной ракетой, дальнюю границу зоны поражения и боезапас ракет зенитного ракетного комплекса.

3. При узкополосном зондировании за счет рысканья цели по курсу и тангажу, а также интерференции блестящих точек происходят значительные флюктуации энергетического центра сигнала, т. н. угловые шумы, в результате которых энергетический центр отраженного от объекта сигнала может выходить за геометрические размеры цели. Чем больше цель и чем меньше расстояние до нее, тем значительней влияние угловых шумов. При разрешении цели в виде отдельных блестящих точек возможно определение наименее флюктуирующей блестящей точки и наведение на нее.

4. Портреты радиолокационных ловушек, имеющих значительную отражающую поверхность, но маленькие размеры в сравнении с аэродинамическими целями, представляют собой изображения малых линейных размеров с одной ярко выраженной блестящей точкой. Эти различия могут быть использованы при защите ЗУР от ложных целей.

5. Распознавание целей возможно использовать для опознавания, что создает предпосылки для выработки решения о продолжении или запрете наведе-

дения ЗУР. Это позволит уменьшить риск поражения своей авиации и, как следствие, увеличить взаимодействие истребительной авиации с зенитными ракетными войсками.

Выводы

ШП и СШП протяженные сигналы совместно с ИСА обеспечивают значительно лучшее разрешение по дальности и угловым координатам по сравнению с узкополосными сигналами, что обуславливает их широкое внедрение в РЛ системы.

Системы наведения ЗУР имеют ряд особенностей по сравнению с чисто информационными системами: ограниченное время локации, более высокие требования к достоверности информации, инерционность ЗУР и особенности динамики движения цели.

При практическом применении СШП сигналов необходима разработка методик использования дополнительной информации, получаемой при помощи СШП сигналов:

– для оценивания координат объекта и их производных, в том числе для организации следящих измерений;

– для обнаружения маневра воздушного объекта, распознавания типа объекта и определение его уязвимых областей;

– для наведения ЗУР, обеспечивающего поражение определенных элементов цели.

Литература

1. Sachuk I.I., Orlenko V.M., Shirman Y.D. UWB signals, SA perspectives in radar guidance // UWBUSIS-2006 Conf., Sevastopol. – P. 133-135.
2. Electronic Code of Federal Regulation, Part 15, Subpart F [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fcc.gov/omd/prd/docs/3060-1015/3060-1015-05.doc>.
3. Lukin K.A. Radar Design Using Noise/Random Waveforms. IRS-2006. Krakow, 2006. – P. 355-358.
4. Ширман Я.Д. Метод повышения разрешающей способности и устройство для его реализации (АС СССР №146803 с приоритетом от 25.07.1956). Бюллетень изобретений. – М., 1962, № 9.
5. Ширман Я.Д., Давыдов С.А., Абрамов Л.И., Сенкевич Л.К. Первые опыты радиолокации с использованием сжатия радиоимпульсов...(из истории отеч. радиотехники) // Радиотехника. – 1970. – № 4. – С. 109-110.
6. Ширман Я.Д., Алмазов В.Б., Голиков В.Н и др. О первых отечественных исследованиях по сверхширокополосной радиолокации // Радиотехника и электроника. – 1991. – № 1. – С. 96-100.
7. Avent R.K., Shelton J. Brown P. The ALCOR C-Band Imaging Radar // IEEE Transaction AP-38. – June 1996. – No. 3. – P. 16.
8. Курикса А.А., Омельченко И.Д., Шмельёв А.Б., Якунин В.А. Обнаружение космических объектов посредством радиолокаторов // Радиотехника и электроника. – 1995. – № 1-2. – С. 25-30.
9. Стайнберг Б.Д. Формирование радиолокационных изображений в диапазоне СВЧ // ТИИЭР. – 1988. – № 12. – С. 26-46.

10. Hudson S., Psaltis D. 1993. Correlation Filters for Aircraft Identification from Radar Range Profiles // IEEE Trans. AES-29. – July. – P. 741.

11. Оцунов М.Л. СШП радар // Радиотехника. – 1995. – № 3. – С. 45-51.

12. Novac L., Halversen S., et. al.. Effects of Polarization and Resolution on SAR ATR // IEEE Trans. AES-33. – January. 1997. – P. 102-116.

13. Rosenbach K., Schiller J. Non Co-operative Air Target Identification using Radar Imagery: Identification Rate as Function of Signal Bandwidth. – Radar-2000, Alexandria, VA.

14. Victor C. Chen, Hao Ling. Time-frequency transforms for radar imaging and signal analysis. – Boston, London: Artech House, 2002. – 214 p.

15. Rihaczek A.W., Hershkowitz S.J. Radar resolution and complex-image analysis. – Boston, London: Artech House, 1996. – 524 p.

16. Donald R. Wehner. High resolution radar. – Boston, London: Artech House, 1987. – 474 p.

17. Ширман Я.Д., Гориков С.А., Леценко С.П., Братченко Г.Д., Орленко В.М. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Зарубежная радиотехника: Успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – № 11. – С. 3-63.

18. Computer simulation of aerial target radar scattering recognition. Detection and tracking / Yakov D. Shirman editor. Boston, London: Artech House, 2002. – 294 p.

19. Radar Target Backscattering Simulation Software and User's Manual / S.A. Gorshkov, S.P. Leshchenko, V.M. Orlenko, S.Y. Sedyshev, Y.D. Shirman. – Boston-London: Artech House, 2002. – 72 p.

20. Shirman Y.D., Leshchenko S.P., Orlenko V.M. Advantages and Problems of Wideband Radar // Proc. of Intern. Radar-2003 Conf. – Adelaide, 2003. – P. 15-21.

21. Слюсарь Н.М. Эффект вторичной модуляции РЛ сигналов. – Минск: ВА РБ, 2005. – 346 с.

22. Бурцев В.В. Системотехнічні основи побудови та бойового використання комплексів і систем зенітного озброєння. – Х.: ХУ ПС, 2005. – 286 с.

23. Шершнев М.А. Основы построения зенитных ракетных систем и комплексов. – Харьков: ХУ ПС, 2005. – 199 с.

24. Блотов Е.Г., Мизрохи Б.Я. Новое поколение зенитных управляемых ракет средней дальности // Спец. выпуск журнала "Поле" к 50-летию МКБ "Факел". – 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://pvo.guns.ru/book/fakel/new_gan.htm.

25. Основы теории обгрунтування вимог до параметрів стійкості руху керованих ракет / Боровик О.В., Зубарев В.В., Ковтуненко О.П., Корестельов О.П. – К.: НАУ, 2007. – 264 с.

26. Robert Braham. Ballistic missile defense: it's back // IEEE Spectrum. – 1997. – Vol. 9. – P. 26-39.

27. Радиотехнические системы: Основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, С.Т.Багдасарян, А.С.Маляренко и др.; Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

28. Darpa [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.darpa.mil/23may2005/doc.html>.

Поступила в редколлегию 16.07.2008.

Рецензент: канд. техн. наук, проф. М.А. Шершнев, Харьковский университет Воздушных Сил, им. И. Кожедуба, Харьков.

ВИКОРИСТАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ ЗОНДУЮЧИХ СИГНАЛІВ В ЗАВДАННІ НАВЕДЕННЯ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ

Я.Д. Ширман, П. В. Потелешенко, І. І. Сачук, В. М. Орленко

На теперешній час отримали інтенсивний розвиток методи широкосмугової радіолокації та інверсного синтезу апертури радіолокаційної станції. В статті проаналізовані можливості кординального підвищення інформативності локаційних

методів при використанні широкосмугових тривалих зондуючих сигналів і можливості використання цієї інформації в задачах наведення зенітних керованих ракет. Наведені основні напрямки досліджень та удосконалення зенітної керованої зброї.

Ключові слова: широкосмугові сигнали, інверсний синтез апертури, одно-, двовимірні портрети цілей, моделювання методом найпростіших компонентів, високоточне наведення ЗКР.

THE USE OF WIDEBAND SOUNDINGS SIGNALS IN TASK OF AIMING ANTI-AIRCRAFT GUIDED ROCKETS

Ya.D. Shirman, P.V. Poteleschenko, I.I. Sachuk, V. M. Orlenko

At present, the methods of wideband radar and inverse aperture synthesis are intensively developed. In this paper, the possibilities of increasing sharply information capabilities of radar using long wideband illumination signals are analyzed. The possibility is studied of applying the increased information volume to the task of surface-to-air missile guidance. Based on the analysis, the main trends in R&D of guided missiles are given.

Keywords: wideband signals, inverse aperture synthesis, one-dimensional target range profiles, two-dimensional target radar images, computer simulation the simplest components method, high precision guidance surface-to-air missile.