

УДК 621.396.969.3

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.250918.93.201

СНИЖЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПАССИВНО-АКТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ ОБНАРУЖЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

ОСИНОВИЙ Г. Г., *ведущий специалист*

ГП КБ «Южное», ул. Криворожская, 3, 49008, г. Днепро, Украина

Аннотация. Постановка проблемы. В настоящее время для выявления малоразмерных наземных объектов широко применяются пассивно-активные системы миллиметрового диапазона. Данные системы применяются во многих областях - для выявления источников излучения в диапазоне десятков и сотен ГГц, для проведения экологического радиомониторинга местности, для всепогодной навигации транспорта, ради поиска объектов, скрытых камуфляжем. Одним из средств снижения дальности и вероятности обнаружения малоразмерных наземных объектов пассивными радиометрическими системами стало применение активной «подсветки» объектов широкополосным шумовым или детерминированным сигналом и широкодиапазонного маскировочного покрытия. **Цель работы** - провести анализ известных научных результатов в области исследования и разработки матричных радиометрических систем обнаружения миллиметрового диапазона (ММД) и определить направления развития маскировки от РМ систем обнаружения ММД. **Вывод.** Предложен метод активной защиты малоразмерных наземных объектов, который заключается в выравнивании температур радиояркости объекта и фона, что приводит к снижению радиотеплового контраста «малоразмерный объект - фон земной поверхности» благодаря собственной подсветке объекта широкополосным шумовым излучением и пассивной защите от радиометрических систем обнаружения, который заключается в применении маскировочных покрытий, что также снижает контраст «объект-фон» ниже указанного, для радиометрических систем обнаружения порога, что приводит к экранированию объекта.

Ключевые слова: высокоскоростные летательные аппараты; малоразмерные наземные объекты, миллиметровый диапазон, активные и пассивные системы защиты

ЗНИЖЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВІЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ ПАСИВНО-АКТИВНИМИ СИСТЕМАМИ ВІЯВЛЕННЯ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

ОСИНОВИЙ Г. Г., *провідний фахівець,*

ДП КБ «Південне», вул. Криворізька, 3, 49008, м. Дніпро, Україна

Анотація. Постановка проблеми. Наразі для виявлення малорозмірних наземних об'єктів широко застосовуються пасивно-активні системи міліметрового діапазону. Ці системи застосовуються в багатьох галузях для виявлення джерел випромінювання в діапазоні десятків і сотень ГГц, для проведення екологічного радіомоніторингу місцевості, для всепогодної навігації транспорту, для пошуку об'єктів, укритих камуфляжем. Серед засобів зниження дальності та ймовірності виявлення малорозмірних наземних об'єктів пасивними радіометричними системами - застосування активного «підсвічування» об'єктів широкосмуговим шумовим або детермінованим сигналом і широкодіапазонного маскувального покриття. **Мета роботи** - аналіз відомих наукових результатів у сфері дослідження й розроб матричних радіометричних систем виявлення міліметрового діапазону (ММД) та визначення напрямку розвитку маскувального покриття від РМ систем виявлення ММД. **Висновок.** Запропоновано метод активного захисту малорозмірних наземних об'єктів, який полягає у вирівнюванні температур радіояскравості об'єкта і фону, що викликає зниження радіотеплового контрасту «малорозмірний об'єкт-фон земної поверхні» завдяки власному підсвічуванню об'єкта широкосмуговим шумовим випромінюванням та пасивному захисту від радіометричних систем виявлення, який полягає в застосуванні маскувальних покриттів, що також знижує контраст «об'єкт-фон» нижче означеного, для радіометричних систем виявлення порогу, що зумовлює екранування об'єкта.

Ключові слова: високошвидкісні літальні апарати; малорозмірні наземні об'єкти, міліметровий діапазон, активні і пасивні системи захисту

REDUCING OF THE PROBABILITY OF IDENTIFYING OF SMALL-SIZED GROUND OBJECTS BY PASSIVE AND ACTIVE SYSTEMS OF MILLIMETER-WAVE IDENTIFYING

OSINOVYI G. G., *Leading Specialist*

«Yuzhnoye» design office, Ukraine, st. Krivorozhskaya, 3, 49008, Dnipro, Ukraine

Annotation. At present, passive and active systems of the millimeter range are widely used to identify small-sized ground objects. These systems are used in many areas - to detect sources of radiation in the range of tens and hundreds of GHz, for environmental monitoring of the terrain, for all-weather navigation of the vehicle, for the search for objects covered with camouflage. One of the ways of reducing the range and the probability of detecting small-sized ground objects by passive radiometric systems is the use of active "lighting" of objects by wide-band noise or deterministic signal and the use of wide-area masking cover. **The purpose.** To carry out the analysis of the known scientific results in the field of research and development of the matrix radiometric detection systems of the millimeter range (MMD) and to identify the directions of the development of from the PM of detection systems MMD. **Conclusion.** The method of active protection of small-sized ground objects is proposed, which helps to equalize the temperatures of the radio-brightness of the object and the background, which leads to a decrease in the radio-thermal contrast of the "small-sized object is the background of the earth's surface" due to its own illumination of the object of broadband noise emission and passive protection from radiometric identifying systems. Which consists in the use of disguise coatings, which also reduces the contrast of the "object-background" below the indicated, for radiometric detection systems of identifying of the threshold that leads to object shielding.

Keywords: *high-speed aircraft; small ground objects, millimeter range, active and passive protection systems*

Постановка проблеми. Современные ЛА с высоким уровнем автономности и сравнительно большой дальностью полета, например, ракеты ATACMS [1, 2], Pershing [3-7], «Искандер» [8; 9] и крылатые ракеты Tomahawk [10; 11] имеют системы наведения, функционирующие в двух режимах: поиск и обнаружение наземных объектов радиолокационным (РЛК) датчиком 3 мм диапазона волн по РЛК-изображению, с переходом в пассивный режим сопровождения РМ датчиком.

Все перечисленные ЛА оснащены, кроме основной инерциальной системы управления, системой наведения на конечном участке траектории полета. В ракетах Tomahawk в состав основной навигационной системы также входит высотометрическая корреляционно-экстремальная система навигации по рельефу местности TERCOM. На ракетах ATACMS применяется комбинированная система навигации, которая функционирует или в двух участках ИК спектра, если неопределенность местонахождения объекта не большая, или в двух диапазонах ИК и ММД (РЛК или РМ КЭСН) по объектам с неопределенными координатами или малой эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР) [12]. На ракетах Pershing (новая модификация – ракета Гера) применяется КЭСН RADAG [9, 11], которая осуществляет навигацию по радиолокационной карте местности в районе наземного объекта – ориентира.

Принцип работы КЭСН заключается в сравнении текущего РЛК изображения местности в районе объекта с эталонным изображением, которое находится в памяти бортового вычислителя. В результате корреляционного сравнения ТИ и ЭИ определяются величины отклонения ракеты от визируемого наземного объекта (погрешности навигации), которые после обработки в бортовом вычислительном устройстве поступают в измерительный блок инерциальной навигационной системы для коррекции траектории полета ракеты.

Сравнение выполняется несколько раз на разных высотах в процессе приближения ракеты к объекту. В качестве наземных ориентиров навигации выступают площадные, протяженные или «точечные» малоразмерные стационарные и подвижные объекты (природные образования, искусственные сооружения, подвижные объекты – реперы). Навигация по таким объектам осуществляется с помощью корреляционно-экстремальных СН (КЭСН) путем анализа двумерных изображений объектов, формируемых информационными датчиками систем [16-20].

Обнаружение малоразмерных наземных объектов может осуществляться радиометрическими системами навигации летательных аппаратов (ЛА), работающими в коротковолновой части радиодиапазона, в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн.

В настоящее время в известной литературе отсутствует решение вопроса

снижения вероятности обнаружения и идентификации таких малоразмерных объектов, как отдельные автомобили, колонны автотранспорта с больших высот (порядка нескольких километров), радиометрическими системами формирования изображений, в частности, КЭСН миллиметрового диапазона.

Одними из способов снижения дальности и вероятности обнаружения малоразмерных наземных объектов пассивными радиометрическими системами является применение активной «подсветки» объектов широкополосным шумовым или детерминированным сигналом и применение маскировочного покрытия (МП) [21-25].

Результаты исследования. Системы наведения на конечном участке полета, работающие в видимом и ИК диапазонах волн, обладают высоким пространственным и температурным разрешением как «нагретых», так и «холодных» излучающих объектов.

Применение ММД по сравнению с видимым и ИК диапазонами позволяет обеспечить существенно более высокую разрешающую способность по угловым координатам. Кроме этого, использование радиоволн ММД позволяет, в силу существенной зависимости их коэффициентов отражения и поглощения от природы и структуры отражающей поверхности, определять свойства этой поверхности, включая ее фазовые состояния (вода, лед, снег) и рельеф (степень волнения, тернистости и др.). Таким образом, в ММД длин волн становится возможным неконтактное измерение характеристик отражающих поверхностей.

В ММД длин волн мал уровень атмосферных и промышленных помех. Системы наведения ММД менее восприимчивы к преднамеренным помехам со стороны противника, так как возможность работы в широкой полосе частот позволяет путем использования широкополосной антенны и кодирования сигналов повысить помехозащищенность и скорость обработки принимаемой

информации. Практически не уступая в своей коротковолновой части по разрешающей способности инфракрасному (ИК) излучению, ММД обеспечивает большую дальность обнаружения. Системы наведения ММД нормально функционируют в условиях тумана, сильной запыленности, густой облачности (например, в тумане с видимостью до 100 м затухание в ИК- и оптическом диапазонах возрастает до 100 дБ/км и более, в то же время затухание ММВ в этих условиях не превышает нескольких дБ/км).

Системы наведения, работающие в ММД, характеризуются как скрытные и всепогодные, за счет применения пассивной системы миллиметрового диапазона. Результатом работы является изображение сканируемого пространства с визуально отличающимся местом расположения источника. Радиометрические системы ММД имеют более низкое быстродействие, но этот недостаток легко устраним при использовании многоканальных – так называемых матричных систем. Именно матричное построение систем наведения позволяет в полной мере реализовать корреляционно-экстремальные методы формирования и обработки изображений и, следовательно, более оперативно, с высоким требуемым быстродействием, решать задачи навигации.

Технология создания высокочувствительных пассивных радиометрических приемников прямого усиления 8 мм и 3 мм диапазонов волн позволяет легко строить матричные системы формирования двумерных изображений [11-12]. При необходимости обнаружения и идентификации слабоконтрастного или подвижного объекта в условиях сложной помеховой, погодной обстановки и ограниченной оптической видимости объекта, защищенного средствами маскировки, искажающими характеристики излучения и отражения поверхности объекта наиболее целесообразным является использование матричной радиометрической системы обнаружения миллиметрового диапазона.

Таким образом, в настоящее время становится все более актуальным вопрос снижения дальности и вероятности обнаружения малоразмерных наземных объектов пассивными радиометрическими системами.

В основе работы радиометрических (РМ) систем ММД лежит измерение яркости (мощности) радиотеплового излучения (РТИ) объекта. Возможность обнаружения объекта на фоне или различения двух объектов по РТИ зависит от контраста их эффективных радиоярких температур:

$$\Delta T_{\phi} = T_{яэ} - T_{яфэ} \text{ или } \Delta T_{12} = T_{яэ1} - T_{яэ2} \quad (1.1)$$

С учетом (1.1) выражение для ΔT_{ϕ} будет иметь вид:

$$\Delta T_{\phi} = \kappa(T - T_{яп}) - \kappa_{\phi}(T_{\phi} - T_{яп\phi}) \quad (1.2)$$

Отсюда, в частности, можно получить условие, при котором контраст между объектом и фоном будет равен нулю:

$$\frac{\kappa}{\kappa_{\phi}} = \frac{T - T_{яп}}{T_{\phi} - T_{яп\phi}} \quad (1.3)$$

Снижения радиотеплового контраста и эффективной поверхности рассеивания пары «малоразмерный объект – фон земной поверхности» ниже порога обнаружения, соответственно, и вероятности обнаружения объекта можно добиться за счет использования источника собственного шумового подсвечивания [30] или маскировочного покрытия [31; 32]. В обоих вариантах искажаются электрофизические характеристики пары «объект-фон».

$\Delta T, K$

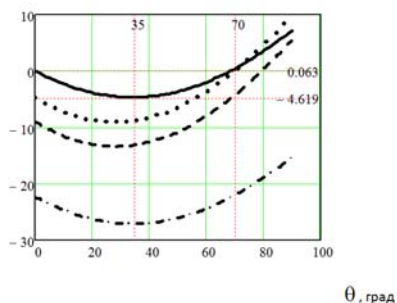


Рис. 1. Зависимость $\Delta T = f(\theta)$ для случая визирования наземных объектов под разными углами места и азимута

На рисунке приведены зависимости, полученные расчетным путем [28-30], радиотеплового контраста от величины угла места θ для таких условий визирования. Сплошная кривая отвечает углу азимута $\alpha=0^0$, т. е. система обнаружения «смотрит» в боковую поверхность объекта, при этом мощность подсвечивания $P_t=0,9$ Вт. Точечная и пунктирная кривые отвечают случаю, когда система обнаружения визирует объект под углом азимута $\alpha=40^0$. Этот угол отвечает максимальной площади объекта и обеспечивает, соответственно, максимальный радиотепловой контраст объекта. При этом пунктирная кривая получена при мощности источника подсвечивания $P_t=0,9$ Вт, тогда как точечная кривая - при мощности $P_t=1,07$ Вт. Штрихпунктирная кривая отвечает случаю обнаружения малоразмерного наземного объекта пассивной радиометрической системой при отсутствии подсвечивания объекта собственным источником шумовой подсветки.

На рисунке определены два угла места $\theta=35^0$ и $\theta=70^0$. Первый угол отвечает углу, при котором обеспечивается максимальный контраст объекта. Угол места $\theta=70^0$ – это тот угол, при котором наземный объект «видно» системой обнаружения при наклонном визировании с дальности в несколько километров. Регулирование мощности собственного шумового подсвечивания позволит снизить контраст «объект-фон» до малых (нулевых) значений. Штрихпунктирная кривая отвечает величинам РМ контраста «объект-фон», который получает РМ система обнаружения при отсутствии подсвечивания объекта источником собственного шумового подсвечивания

Источником собственного шумового подсвечивания может служить малогабаритный источник (генератор) шума миллиметрового диапазона с центральной частотой $f \approx 37$ ГГц (8 мм) и полосой частот

$\Delta f \approx (1-10)$ ГГц или генератор с аналогичной полосой частот в диапазоне волн $f \approx 90$ ГГц (3,3 мм). По предварительным оценкам, источник собственного шумового подсвечивания должен быть расположен на дальности около 1 км. Это может быть, например, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), курсирующий на этой высоте. Активный метод защиты объекта с использованием источника собственного шумового подсвечивания позволяет уменьшать контраст «объект-фон» до уровня не приемного для РМ приемника системы наведения ракет.

В работах [30, 31] анализируется влияние мощной шумовой помехи на входные каскады РМ приемника ММД и предложен метод ее компенсации на входе радиометрического приемника. Приведены схемы приглушения помехи на входе РМ приемника и схема автокомпенсатора помехи в тракте промежуточной частоты.

В качестве маскировочного покрытия, которое позволяет реализовать метод пассивной защиты наземных объектов, может быть использовано МП в виде сетки, характеристики которого приведены в работах [33-36]. МП представляет собой радиопоглощающий материал, конструкция которого усложняет оптическую визуализацию, а поглотители, входящие в покрытие, значительно ослабляют собственное излучение объекта в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн. Конструктивно материал представляет собой сетку, прошитую гирляндами из порезанного на полосы и скрученного окрашенного трехслойного электропроводящего материала. Ткань, использованная для МП, изготовлена из полос, которые содержат полимерный диэлектрический материал, дополнительно покрытый с двух сторон водостойким материалом. Волокна нитей, входящих в полосы, содержат смесь

поглощающих компонентов (сажу, порошок и волокна графита, ферритов, оксидов металлов), которые поглощают электромагнитные волны широкого диапазона (видимого, СМ, ММ). По предварительным теоретическим оценкам [31-33], применение однослойного МП такого типа снижает контраст «объект-фон» на (5-7) дБ.

Известно, что на характеристики и эффективность МП в конкретных полевых условиях оказывают влияние множество факторов – изменчивость радиотеплового контраста «объект-фон» в зависимости от климата конкретной страны и погодных условий, влияния среды распространения радиоволн, влияния собственного шума радиометрического приемника, междискретных и геометрических искажений текущего радиометрического изображения. Эти факторы подробно рассмотрены в работах [28; 29].

Применение средств снижения заметности для подвижного наземного объекта позволяет не только уменьшить дальность его обнаружения аппаратурой разведывательного БПЛА, а и увеличить время нахождения БПЛА в зоне поражения ПВО.

Выводы. В статье обоснованы направления развития и применения радиометрических систем обнаружения, их основные достоинства по сравнению с системами обнаружения видимого и ИК-диапазонов. Предложенные методы снижения вероятности обнаружения за счет применения активной «подсветки» объектов широкополосным шумовым или детерминированным сигналом и применение широкодиапазонного маскировочного покрытия полностью обоснованы, однако следует учитывать, что требуется проведение ряда натурных и стендовых испытаний.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пауков В. Работы в США по совершенствованию ракетной системы АТАСМС / В. Пауков // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – № 3. – С. 25–28.

2. Оперативно-тактический ракетный комплекс АТАСМС // Ракетная техника : информационно-новостная система. – Режим доступа: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/atacms/atacms.shtml>. – Перевірено 5.12.2018.
3. Сокут С. Вашингтон реанимирует «Першинги» / С. Сокут // Независимое военное обозрение. – 2000. – 17 нояб. – Режим доступа: http://www.ng.ru/politics/2000-11-17/1_pershing.html. – Перевірено 5.12.2018.
4. Сокут С. Вашингтон нашел замену «Першингам» / С. Сокут // Независимое военное обозрение. – 2000. – № 42(217). – С. 1.
5. Основы теории систем управления высокоточных ракетных комплексов Сухопутных войск / Б. Г. Гурский, М. А. Лющанов, Э. П. Спиринов, А. Ф. Ескин, А. В. Зимин, С. А. Ковальчук, В. А. Павельев, В. Д. Свечарник, В. Л. Солунин, Я. А. Трубкин ; под ред. В. Л. Солунина. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 328 с.
6. Ильин В. Крылатые ракеты: настоящее и будущее / В. Ильин, Ф. Скрынников // Вестник авиации и космонавтики. – 2002. – № 4. – С. 86–89.
7. Многоканальная радиометрическая система формирования изображений 8 мм диапазона волн / В. Н. Радзиховский, В. Н. Горишняк, С. Е. Кузьмин, Б. М. Шевчук // Известия вузов. Серия : Радиоэлектроника. – 1999. – Т. 42. – № 4.
8. 16-Channels millimeter waves radiometric imaging system / V. N. Radzikhovsky, V. N. Gorishniak, S. E. Kuzmin, B. M. Shevchuk // The Fourth International Kharkov Symposium Physics and engineering of millimeter and sub-millimeter waves. Symposium Proceedings. (Kharkov, Ukraine, June 4–9, 2001). – Kharkov, 2001. – V. 1. – P. 466–468.
9. Passive multichannels millimeter-waves imaging system / V. P. Gorishniak, A. G. Denisov, S. E. Kuzmin, V. N. Radzikhovsry, B. M. Shevchuk // The Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and SubMillimeter Waves. Symposium Proceedings (Kharkov, Ukraine, June 21–26, 2004). – Kharkov, 2004. – V. 1. – P. 202–204.
10. Мур Р. Панхроматический и полипанхроматический радиолокаторы / Р. Мур, В. Уайт, Дж. Роуз // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. – 1969. – № 57. – С. 590–593.
11. Seashore C. R. MM-wave Radar and radiometric sensors for guidance systems / C. R. Seashore, J. E. Milley, B. A. Kearns // Microwave Journal. – 1979. – V. 22. – № 8. – P. 47–51.
12. Красовский А. А. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем / А. А. Красовский, И. Н. Белоглазов, Г. П. Чигин. – Москва : Наука, 1979. – 448 с.
13. Антюфеев В. И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов по наземным ориентирам / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, Б. И. Макаренко // Арсенал XXI сторіччя. – 2002. – № 1. – С. 37–41.
14. Бердышев В. И. Экстремальные задачи и модели навигации по геофизическим полям / В. И. Бердышев, В. Б. Костоусов ; Российская акад. наук, Уральское отд-ние, Ин-т математики и механики. – Екатеринбург : ИММ УрО РАН, 2007. – 270 с.
15. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов : монография / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, А. М. Гричанюк, В. А. Краюшкин, Р. П. Гахов. – Москва : Физматлит, 2009. – 352 с.
16. Быков В. Н. Обнаружение малоразмерных объектов радиометрическими информационными системами миллиметрового диапазона с шумовой подсветкой / В. Н. Быков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – Вип. 2(10). – С. 5–10.
17. Nardon L. The Dilemma of Satellite Imagery Control / L. Nardon // Military Technology. – 2002. – Vol. 26, Iss. 7. – P. 37–45.
18. Повышение информативности радиометрических изображений благодаря применению шумовой подсветки / В. Н. Быков, С. И. Ивашов, Ю. В. Овсянников и др. // Радиотехника : науч.-техн. сб. / Харьков. гос. техн. ун-т радиоэлектроники. – Харьков : ХТУРЭ, 1997. – Вып. 101. – С. 33–39.
19. Оценка эффективности средств защиты малоразмерных наземных объектов от пассивно-активных радиометрических систем обнаружения / В. Н. Быков, Н. Н. Колчигин, Г. Г. Осинский, Т. Д. Бережная // Прикладная радиоэлектроника. – 2016. – Т. 15. – № 1. – С. 45–50.
20. Метод активной защиты малоразмерных наземных объектов от пассивных радиометрических систем обнаружения / В. Н. Быков, С. Н. Быков, Н. Н. Колчигин, Н. Г. Лотох, Г. Г. Осинский // Прикладная радиоэлектроника. – 2017. – Т. 16. – № 1–2. – С. 13–17.

21. Оценка вероятности и дальности обнаружения малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими системами миллиметрового диапазона / В. Н. Быков, Н. Н. Колчигин, Г. Г. Осинский, Т. Д. Бережная // Дванадцята наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору» : тези доп., 13–14 квітня 2016 року. – Харків : ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2016. – С. 312.
22. Методика оценки эффективности средств защиты малоразмерных наземных объектов от пассивно-активных радиометрических систем обнаружения / В. Н. Быков, Н. Н. Колчигин, Г. Г. Осинский, Т. Д. Бережная // Тринадцята наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору» : тези доповідей, 12–13 квітня 2017 року. – Харків : ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2017. – С. 372.
23. Метод активного захисту малорозмірних наземних об'єктів від пасивних радіометричних систем виявлення / В. М. Биков, О. М. Грічанюк, М. М. Колчигін, Г. Г. Осіновий, Т. Д. Бережна // Чотирнадцята наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору» : тези доповідей, 11–12 квітня 2018 року. – Харків : ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2018. – С. 362.
24. Протидія радіолокаційним засобам виявлення наземних об'єктів / Осіновий Г. Г., Субач В. П., Биков В. М., Колчигін М. М // Озброєння та військова техніка. – 2018. – № 2 (18). – С. 66–71.
25. Зниження радіолокаційної помітності літальних апаратів за допомогою Stealth-технологій / Осіновий Г. Г., Субач В. П., Биков В. М., Колчигін М. М. // Озброєння та військова техніка. – 2018. – № 2 (18). – С. 71–75.
26. Смирнов В. Маскировка подвижных наземных объектов в современных условиях / В. Смирнов // Самиздат. – 2013. – 10 мая. – Режим доступа: http://samlib.ru/s/smironov_wasilij/masikirovka.shtml. – Перевірено 5.12.2018.
27. Филин С. А. Средства снижения заметности (по патентным материалам) / С. А. Филин, Л. А. Малохина. – Москва : ИНИЦ Роспатента, 2003. – 215 с.

REFERENCES:

1. Paukov V. *Raboty v SShA po sovershenstvovaniyu raketnoy sistemy ATACMS* [Works in the United States to improve the ATACMS missile system]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign Military Review]. 2000, no. 3, pp. 25–28. (in Russian).
2. *Operativno-takticheskiy raketnyiy kompleks ATACMS* [ATACMS tactical missile system]. *Raketnaya tekhnika: informatsionno-novostnaya Sistema* [Missile technology: informational and new system]. Available at: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/atacms/atacms.shtml>. (in Russian).
3. Sokut S. *Vashington reanimiruet «Pershing»* [Washington resuscitates the “Pershing”] *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent Military Review]. 2000, 17 november. Available at: http://www.ng.ru/politics/2000-11-17/1_pershing.html.
4. Sokut S. *Vashington nashel zamenu «Pershingam»* [Washington found a replacement for the "Pershing"]. *Nezavisimoe voennoe obozrenie* [Independent Military Review]. 2000, no. 42(217), 1 p. (in Russian).
5. Gurskiy B.G., Lyuschanov M.A., Spirin E.P., Eskin A.F., Zimin A.V., Kovalchuk S.A., Pavelev V.A., Svecharnik V.D., Solunin V.L. and Trubkin Ya.A., Solunina V.L. ed. *Osnovy teorii sistem upravleniya vyisokotochnykh raketnykh kompleksov Suhoputnykh voysk* [Fundamentals of theory of control systems for precision missile systems of the Ground Forces]. Moskva: Izd-vo MG TU im. N. E. Bauman, 2001, 328 p. (in Russian).
6. Ilin V. and Skryinnikov F. *Krylatyye rakety: nastoyashee i budushee* [Missiles: the present and the future]. *Vestnik aviacii i kosmonavtiki* [Bulletin of aviation and cosmonautics]. 2002, no. 4, pp. 86–89 (in Russian).
7. Radzikhovskiy V.N., Gorishnyak V.N., Kuzmin S.E., Shevchuk B.M. *Mnogokanalnaya radiometricheskaya sistema formirovaniya izobrazheniy 8 mm diapazona voln* [Multichannel radiometric imaging system of 8 mm wavelength range]. *Izvestiya vuzov. Seriya: Radioelektronika* [News of HESS. Series: Radio electronics]. 1999, vol. 42, no. 4. (in Russian).
8. Radzikhovskiy V.N., Gorishnyak V.N., Kuzmin S.E. and Shevchuk B.M. *16-Channels millimeter waves radiometric imaging system*. The Fourth International Kharkov Symposium Physics and engineering of millimeter and sub-millimeter waves. Symposium Proceedings. (Kharkov, Ukraine, June 4–9, 2001). Kharkov, 2001, vol. 1, pp. 466–468.
9. Gorishnyak V.P., Denisov A.G., Kuzmin S.E., Radzikhovskiy V.N. and Shevchuk B.M. *Passive multichannels millimeter-waves imaging system*. The Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves. Symposium Proceedings (Kharkov, Ukraine, June 21–26, 2004). Kharkov, 2004, vol. 1, pp. 202–204.

10. Mur R.V., Uayt V. and Rouz Dzh. *Panhromaticheskii i polipanhromaticheskii radiolokatory* [Panchromatic and Polypanchromatic Radars]. *Trudy instituta inzhenerov po elektrotehnike i radioelektronike*. [Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers]. 1969, no. 57, pp. 590–593 (in Russian).
11. Seashore C.R., Milley J.E. and Kearns B.A. *MM-wave Radar and radiometric sensors for guidance systems*. *Microwave Journal*. 1979, vol. 22, no. 8, pp. 47–51.
12. Krasovskiy A.A., Beloglazov I.N. and Chigin G.P. *Teoriya korrelyatsionno-ekstremalnykh navigatsionnykh sistem* [The theory of extremal correlation navigation systems]. Moskva: Nauka, 1979, 448 p.
13. Antyufeev V.I., Byikov V.N. and Makarenko B.I. *Primenenie printsipov radiometrii v korrelyatsionno-ekstremalnykh sistemakh navigatsii letatelnykh apparatov po nazemnyim orientiram* [Application of the Principles of Radiometry in Correlation-Extreme Navigation Systems of Aircraft Based on Landmarks]. *Arsenal XXI storIchchya* [Arsenal of XX century]. 2002, no. 1, pp. 37–41. (in Russian).
14. Berdyshchev V.I. and Kostousov V.B. *Ekstremalnyye zadachi i modeli navigatsii po geofizicheskim polyam* [Extreme tasks and models of navigation in geophysical fields]. *Rossiyskaya akad. nauk, Uralskoe otd-nie, In-t matematiki i mehaniki* [Russian Acad. of Sciences, Ural department, Inst. of Mathematics and Mechanics]. Ekaterinburg: IMM UrO RAN, 2007, 270 p.
15. Antyufeev V.I., Byikov V.N., Grichanyuk A.M. Krayushkin V.A. and Gahov R.P. *Primenenie printsipov radiometrii v korrelyatsionno-ekstremalnykh sistemakh navigatsii letatelnykh apparatov* [Application of the principles of radiometry in the correlation-extremal navigation systems of aircraft]. Moskva: Fizmatlit, 2009, 52 p (in Russian).
16. Bykov V.N. *Obnaruzhenie malorazmernykh ob'ektov radiometricheskimi informatsionnyimi sistemami millimetrovogo diapazona s shumovoy podsvetkoy* [Detection of small-sized objects by millimeter-wave radiometric information systems with noise illumination]. *RadIoelektronI I kompiuternI sistemy* [Radio-electronic and computer systems]. 2005, iss. 2(10), pp. 5–10 (in Russian).
17. Nardon L. *The Dilemma of Satellite Imagery Control*. *Military Technology*. 2002, vol. 26, iss. 7, pp. 37–45 (in Russian).
18. Byikov V.N., Ivashov S.I. and Ovsyannikov Yu.V. *Povyishenie informativnosti radiometricheskikh izobrazheniy blagodarya primeneniyu shumovoy podsvetki* [Improving the informativeness of radiometric images due to the use of noise illumination]. *Radiotekhnika* [Rediotehnics]. *Kharkov. gos. tehn. un-t radioelektroniki* [Kharkov state technical university of radio technique]. Kharkov: HTURE, 1997, iss. 101, pp. 33–39 (in Russian).
19. Byiko V.N., Kolchigin N.N., Osinovy G.G. and Berezhnaya T.D. *Otsenka effektivnosti sredstv zaschityi malorazmernykh nazemnykh ob'ektov ot passivno-aktivnykh radiometricheskikh sistem obnaruzheniya* [Assessment of the effectiveness of means of protection of small-sized ground objects from passive-active radiometric detection systems]. *Prikladnaya radioelektronika* [Applied Radio Electronics]. 2016, vol. 15, no. 1, pp. 45–50 (in Russian).
20. Byikov V.N., Byikov C.N., Kolchigin N.N., Lotoh N.G. and Osinovyiy G.G. *Metod aktivnoy zaschityi malorazmernykh nazemnykh ob'ektov ot passivnykh radiometricheskikh sistem obnaruzheniya* [Method of active protection of small-sized ground objects from passive radiometric detection systems]. *Prikladnaya radioelektronika* [Applied Radio Electronics]. 2017, vol. 16, no. 1–2, pp. 13–17 (in Russian).
21. Byikov V.N., Kolchigin N.N., Osinovyiy G.G., Berezhnaya T.D. *Otsenka veroyatnosti i dalnosti obnaruzheniya malorazmernykh nazemnykh ob'ektov matrichnyimi radiometricheskimi sistemami millimetrovogo diapazona . Dvanadtsyata naukova konferentsIya Kharkivskogo natsionalnogo universitetu PovItryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba «NovItI tehnologIyi – dlya zahistu povItryanogo prostoru: tezy dop., 13–14 kvitnia 2016 roku* [Estimation of probability and range of detection of small-sized ground objects by millimeter-range matrix radiometric systems. 12 Science conference of Kharkov National University of air Forces named after Ivan Kozhedub “Innovative technologies are for the defense of the open space”, 13–14 April 2016]. Kharkiv: HNUPS Im. I. Kozheduba, 2016, 312 p. (In Russian).
22. Byikov V.N., Kolchigin N.N., Osinovyiy G.G., Berezhnaya T.D. *Metodika otsenki effektivnosti sredstv zaschityi malorazmernykh nazemnykh ob'ektov ot passivno-aktivnykh radiometricheskikh sistem obnaruzheniya Trinadtsyata naukova konferentsIya HarkIvskogo natsIonalnogo unIversitetu PovItryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba «NovItI tehnologIyi – dlya zahistu povItryanogo prostoru». 12–13 kvitnya 2017 roku*. [Methodology for assessing the effectiveness of means of defence of air of small-scale terrestrial objects from passive-active radiometric detection systems. Thirteenth Scientific Conference of Kharkiv National Air force University named after Ivan Kozhedub "Advanced technologies is for defense of air space", April 12-13, 2017.]. KharkIv: HNUPS im. I. Kozheduba, 2017, 372 p. (in Russian).
23. Bikov V.M., GrIchanyuk O.M., KolchigIn M.M. and OsInoviy T.D. *Berezhna Metod aktivnogo zahistu malorozmIrnih nazemnih ob'EktIv vId pasivnih radIometrichnih sistem vIyavlennya. Chotirnadtsyata naukova konferentsIia Kharkivskogo natsIonalnogo universitetu PovItryanyh Syl Imeni Ivana Kozheduba «Novitni tehnologii – dlya zahistu povItryanogo prostoru». 11–12 kvitnya 2018 roku*. [The method of active protection of small-scale terrestrial objects from passive radiometric detection systems 14 Scientific Conference of Kharkiv National Air force University named after Ivan Kozhedub "Advanced technologies is for defense of air space", April 11-12, 20178]. Kharkiv: HNUPS im. I. Kozheduba, 2018, 362 p. (in Ukraine).

24. Osinovy G.G., Subach V.P., Bikov V.M. and Kolchigin M.M. *Protidlya radlolokatsynim zasobam viyavleniya nazemnih ob'ektiv* [Counteraction to radar detection devices for ground objects]. *Ozbroennia ta viiskova tehnika* [Arming and military equipment]. 2018, no. 2 (18), 66–71. (in Ukrainian).
25. Osinovy G.G., Subach V.P., Bikov V.M. and Kolchigin M.M. *Znizhennya radlolokatsynoi pomitnosti litalnih aparativ za dopomogoyu Stealth-tehnologiy* [Reduced radar pitch of lital aparativ for additional stealth technology]. *Ozbroennia ta viiskova tehnika* [Arming and military equipment]. 2018, no. 2 (18), pp. 71–75. (in Ukraine).
26. Smirnov V. *Maskirovka podvizhnykh nazemnykh ob'ektov v sovremennykh usloviyakh* [Disguise of mobile ground objects in modern conditions]. Samizdat, 2013, 10 may. Available at: http://samlib.ru/s/smirnov_wasilij/masirovka.shtml. (in Russian).
27. Filin S.A. and Malohina L.A. *Sredstva snizheniya zametnosti (po patentnyim materialam)* [Ways for reducing visibility (for patent materials)]. Moskva: INITS Rospatenta, 2003, 215 p. (in Russian).

Рецензент: Савицький М. В., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 17.04.2018 р.