

УДК 621.396.96

**В.И. АНТЮФЕЕВ, В.Н. БЫКОВ, Д.Д. ИВАНЧЕНКО, Н.Н. КОЛЧИГИН,
Т.Д. БЕРЕЖНАЯ***Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина***ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ МАТРИЧНЫМИ РАДИОМЕТРИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ШУМОВОЙ ПОДСВЕТКОЙ**

Проанализировано выражение для вероятности правильного обнаружения малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими системами миллиметрового диапазона волн. Получено выражение для суммарного радиояркого контраста «объект – фон», формируемого за счет естественного излучения объекта, а также за счет искусственной подсветки объекта независимым источником широкополосного шумового сигнала. Показано, что применение подсветки позволяет увеличить дальность радиометрического обнаружения малоразмерного наземного объекта в полтора – два раза. Осуществлены количественные оценки влияния маскировочного покрытия на вероятность правильного обнаружения и максимальную дальность обнаружения наземных объектов. Установлено, что маскировочное покрытие на сетевой основе практически вдвое уменьшает дальность обнаружения малоразмерного наземного объекта.

Ключевые слова: летательный аппарат, малоразмерный наземный объект, матричная радиометрическая система, миллиметровый диапазон, шумовая подсветка, маскировочное покрытие.

Введение

Радиометрические системы (РМС) миллиметрового диапазона (ММД) радиоволн позволяют решать широкий круг народнохозяйственных и военных задач [1–5]. Наряду с активными радиолокационными системами пассивные РМС, размещаемые, например, на навигационных летательных аппаратах (ЛА), применяются для обнаружения и идентификации площадных, протяженных и малоразмерных наземных, в том числе подвижных, объектов. В качестве подвижных наземных объектов рассматриваются отдельные автомобили, колонны авто- и бронетехники, подвижные объекты-реперы. Увеличение дальности действия пассивных РМС ММД возможно благодаря применению «подсветки» объектов широкополосным шумовым сигналом. Принципы применения шумовой подсветки в РМС приведены в ряде работ [6, 7]. В работах [8, 9] представлено экспериментальное подтверждение применения шумовой подсветки для увеличения дальности радиометрического обнаружения малоразмерных наземных объектов. Эксперименты проводились как в летнее время, в ясную и дождливую погоду, так и в зимнее время, при наличии снега. В ходе экспериментов канал радиометрического приема являлся опорным, с наиболее стабильными во времени характеристиками контраста пары «объект – фон». Применение режима подсветки объектов шумовым сигналом с последующей совместной обработкой двух сигналов (без подсветки и с подсветкой) с помощью, так называемого разностного алгоритма, позволили повысить дальность обнаружения

объектов более чем в два раза. В работах [10, 11] приведены результаты оптимизации ширины спектра зондирующего широкополосного шумового сигнала подсветки.

В работе [12] предложена методика оценки вероятности обнаружения малоразмерных наземных объектов бортовой РМС. Особенностью данной методики является учет матричного построения информационного датчика РМС ММД. Применение матричных радиометрических датчиков [3–5] позволяет формировать двумерное текущее изображение наземных объектов на борту ЛА за малое время экспозиции. В работе [12] получены аналитические соотношения и оценена мощность источника широкополосной шумовой подсветки ММД в процессе обнаружения объектов на дальности несколько километров.

Необходимо отметить, что задача обнаружения наличия объекта в данной области пространства зачастую решается в присутствии ряда мешающих факторов: наличия помех радиоприему, наличия сложной метеообстановки и вследствие этого плохой радио- и оптической видимости на трассе распространения радиоволн, наличия на объекте средств активной либо пассивной защиты (маскировки) и др. Так, в работе [13] для защиты наземных объектов предложено применение маскировочного покрытия (МП) в виде радиопоглощающего материала, затрудняющего оптическую визуализацию и ослабляющего естественное излучение объекта в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн. МП представляет собой сетевую основу с вплетен-

ными в нее гирляндами из просеченных и скрученных цветных полосок трехслойного электропроводящего материала [13]. Технологически ткань выполняется из ниток, содержащих полимерный диэлектрический материал, с обеих сторон дополнительно покрытый водостойким материалом. Волокна ниток содержат компоненты (сажу, порошки и волокна графита, феррита, металла и их смеси), поглощающие электромагнитные волны видимого, сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн.

Применение такого покрытия, по мнению авторов работы [13], должно препятствовать созданию цельного изображения наземных объектов информационными датчиками РМС.

В работе [14] предпринята попытка оценить возможность обнаружения малоразмерных наземных объектов, замаскированных маскировочным покрытием с характеристиками, подобными приведенным в работе [13]. В работе [15] приведены обобщенные количественные оценки снижения заметности (от информационных датчиков РМС ММД) малоразмерных наземных объектов за счет применения однослойного и двухслойного МП [13].

Вместе с тем, в известной литературе отсутствуют количественные оценки вероятности и дальности обнаружения малоразмерных наземных объектов, защищенных маскировочными покрытиями, за счет применения матричных РМС ММД с широкополосной шумовой подсветкой.

Цель данной работы заключается в количественной оценке возможности обнаружения малоразмерных (незамаскированных и замаскированных) наземных объектов матричными радиометрическими системами миллиметрового диапазона с широкополосной шумовой подсветкой на большой дальности.

Постановка и решение задачи

Летательный аппарат, носитель РМС, движется, в общем случае, по наклонной траектории, в диапазоне высот $H=(0,5-10)$ км. Матричная РМС ММД размерностью, например, $N=N_1 \times N_2=8 \times 8$ элементов (N_1, N_2 – количество строк и столбцов в изображении, соответственно), формирует кадр изображения визируемой земной поверхности с расположенным на ней объектом (объектами). В качестве рабочей длины волны РМС могут быть выбраны длины волн $\lambda=8,6$ мм, $\lambda=3,2$ мм, являющиеся «окнами прозрачности» атмосферы в миллиметровом диапазоне. Минимальное время формирования изображения выбирается из условия реализации требуемой чувствительности РМ датчика, мак-

симальное время – из условия отсутствия «смаза» изображения вследствие высокой скорости полета ЛА ($V \geq 300$ м/с). Исходя из этих условий

и технических характеристик современных РМ датчиков [4, 5] время формирования изображения должно быть равно времени интегрирования сигнала в одном РМ канале $\tau \approx (0,1-0,01)$ с. Для простоты представим, что матричная РМС комплектуется радиометрами компенсационного типа.

В работах [12,15] приведено аналитическое выражение для вероятности правильного обнаружения малоразмерного наземного объекта матричной РМС при двухальтернативном обнаружении по критерию Неймана-Пирсона:

$$D = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(\frac{T_n + \Delta T - T_0}{\sigma} \right) \right] = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(q - \Phi^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot F}{N} \right) \right) \right]. \quad (1)$$

В выражении (1) приняты следующие обозначения: $\Delta T \approx (T_s - T_n)$ – радиояркостный контраст «объект – фон»; K, T_s – радиояркостная температура объекта; K, T_n – радиояркостная температура фона, $K, T_0 = T_n + \sigma \Phi^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot F}{N} \right)$ – пороговое значение, при котором определяется вероятность правильного обнаружения; $\Phi^{-1}(x)$ – функция, обратная интегралу вероятностей $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$. Отношение сигнал-шум на

выходе РМ приемника $q = \frac{\Delta T}{\sigma}$, $\sigma = \frac{T_r}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau}}$ – сред-

неквадратическое отклонение (СКО) шума РМ приемника, T_r – шумовая температура РМ приемника, $K, \Delta f$ – ширина полосы пропускания РМ приемника, Гц, F – вероятность хотя бы одной ложной тревоги для совокупности из N элементов в РМ матрице.

На рис.1 приведены зависимости вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал-шум на выходе РМ приемника, параметром служит величина вероятности ложной тревоги F .

Так, величина вероятности ложной тревоги для всех элементов изображения (например, при размерности изображения $N=10 \times 10$ элементов) $F=10^{-2}$ (штрихпунктирная кривая на рис.1) соответствует величине ложной тревоги в одном элементе $F' \approx 10^{-4}$. Сплошная кривая на рис.1 соответствует величине вероятности ложной

тревоги для всех элементов изображения $F=10^{-4}$ (при достаточно малой величине вероятности ложной тревоги $F'=10^{-6}$ в одном элементе изображения).

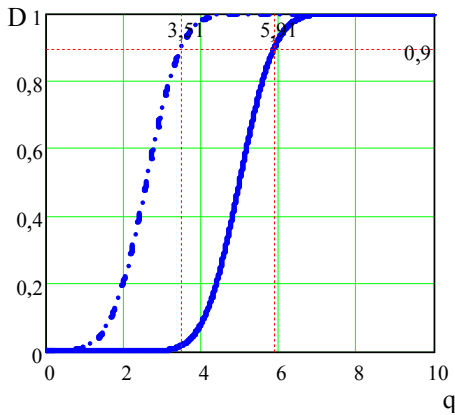


Рис. 1. Зависимость $D=f(q)$

На рис.1 показана граница, выше которой величина вероятности правильного обнаружения наземных объектов $D \geq 0,9$. Для достижения этой величины необходимо обеспечить требуемое отношение сигнал-шум на выходе каждого РМ канала матричной РМС. Так, при вероятности ложной тревоги $F=10^{-2}$ ($F'=10^{-4}$ в одном элементе изображения) необходимо обеспечить величину отношения сигнал-шум $q \geq 3,51$. Ужесточение требования по величине вероятности ложной тревоги до величины $F=10^{-4}$ ($F'=10^{-6}$ в одном элементе изображения) приводит к увеличению требуемого отношения сигнал-шум до величины $q \geq 5,91$.

В работах [12, 15] приведено аналитическое выражение для суммарного радиояркого контраста «объект – фон», формируемого как естественным излучением объекта, так и отраженным от объекта сигналом источника подсветки:

$$T = T_1 + T_2 = \Delta\chi \cdot T_{12} \cdot Q \cdot K(R) + \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot \Delta\sigma \cdot \cos^4 \theta \cdot K(2R)}{(4\pi)^3 \cdot k \cdot \Delta f \cdot H^4} \quad (2)$$

Первое слагаемое в выражении (2) представляет собой вклад естественного радиояркого излучения объекта и фона. Составляющими данного слагаемого являются: $\Delta\chi$ – разность излучательной способности объекта и фона; T_{12} – контрастообразующая, т.е. разность радиоярких температур объекта и фона земной поверхности (в случае металлизированных объектов используется излучение «холодного» неба, отраженного

от объекта); $K(R) = \exp(-0,23 \cdot \alpha \cdot R)$ – множитель ослабления радиоволн при распространении в атмосфере; α – погонный коэффициент ослабления, $\frac{дБ}{км}$; $R = H \cdot \sec \theta$ – наклонная дальность до визируемого объекта; θ – угол наклона линии визирования объекта, отсчитывается от надира. Коэффициент заполнения луча диаграммы направленности антенны (ДНА) Q – параметр, характеризующий объект как «малоразмерный». Для малоразмерного объекта $Q \leq 1$, для протяженного или площадного объекта $Q = 1$:

$$Q = \frac{4 \cdot S}{\pi \cdot L^2}, \quad Q = 0 \dots 1, \quad (3)$$

где S – площадь визируемого объекта;

$L = \frac{\lambda \cdot H}{d}$ – сечение ДНА плоскостью земли; при

конусной аппроксимации луча ДНА и вертикальном визировании объекта сечение представляет собой диаметр окружности;

d – диаметр бортовой антенны.

При наклонном визировании объекта вместо высоты H в выражение для сечения L следует подставлять наклонную дальность R .

Второе слагаемое в выражении (2) представляет собой составляющую, формируемую отраженным излучением источника подсветки. Данное слагаемое определяется разностью мощностей отраженного излучения от объекта и фона и получено из уравнения радиолокации. Составляющими данного слагаемого являются: P_t – мощность источника подсветки; G_t, G_r – коэффициент направленного действия (КНД) антенн источника подсветки и РМ датчика, соответственно; $\Delta\sigma$ – разность значений эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) объекта и фона.

Выражение (2) получено для случая однопозиционной подсветки, т.е. для случая размещения источника подсветки совместно с радиометрической системой на одном ЛА. В случае двухпозиционной подсветки, т.е. размещения источника подсветки на другом (пилотируемом или беспилотном) ЛА, следует разделять дальность до источника подсветки и РМ приемника (R_t, R_r), высоты подсветки и РМ приема (H_t, H_r), а также углы визирования источника подсветки и РМ приема (θ, φ).

Результаты расчетов

По формуле (2) произведены расчеты зависимости суммарного контраста от высоты (даль-

ности) обнаружения малоразмерного наземного объекта. Расчеты проведены для следующих входящих в формулу (2) величин. Величина разности излучательной способности объекта и фона для металла на фоне травы (леса) составляет $\Delta\chi = -0,9$, $T_{12} = 200$ К. Визируемый объект малоразмерный, площадью $S = 25 \text{ м}^2$. Величина разности ЭПР «объект – фон», усредненной для различных ракурсов малоразмерных объектов (например, элементов автотракторной техники) и углов наблюдения объектов по результатам работы [16] выбрана равной $\Delta\sigma = 10 \text{ м}^2$. В ходе расчетов принято, что в случае снижения радиояркого контраста вследствие применения МП, что подтверждено экспериментально [14], имеем аналогичное снижение разности ЭПР объекта и фона.

Расчеты проведены для бортовой апертурной (зеркальной или линзовой) антенны диаметром $d = 200$ мм, которая обеспечивает на длине волны $\lambda = 3,2$ мм КНД $G_r = 3,855 \cdot 10^4$. Ширина спектра источника шумовой подсветки принята равной $\Delta f = 10^9$ Гц. КНД антенны источника подсветки $G_t = 173$ соответствует ширине ДН, например, рупорной антенны, $\theta_{0,5}^0 = 15^0$. При этом ширина зоны обзора на земной поверхности с высоты $H = 1000$ м равна $L_{30} = 260$ м. Расширение зоны обзора потребует применения менее направленной антенны источника подсветки и, соответственно, увеличения требуемой мощности источника подсветки.

Для упрощения расчетов принято, что углы визирования наземного объекта для РМС и источника подсветки выбраны равными $\theta = \varphi = 0^0$, обнаружение объекта осуществляется в условиях «чистой» безоблачной атмосферы

$$K(R) = K(2R) \approx 1.$$

В таблице 1 приведены результаты экспериментов и расчетов [14] радиояркого контраста «малоразмерный объект – фон».

Величина контраста (табл.1) оценивалась путем анализа радиометрических изображений объектов на различных фонах, полученных экспериментальным путем с помощью радиометрического измерительного комплекса 8-ми миллиметрового диапазона.

Технические характеристики РМ комплекса приведены в работах [14, 15]. В ходе экспериментов получены изображения незамаскированных объектов и объектов, с нанесенным МП, характеристики которого приведены в работе [13].

Таблица 1

Величина контраста «объект - фон» в ММД

Контраст «объект – лес, трава» $T = 177$ К	Контраст «объект под МП – лес, трава» $T = 51$ К
Снижение контраста в 3,47 раз	
Контраст «объект – трава» $T = 85$ К	Контраст «объект под МП – трава» $T = 13$ К
Снижение контраста в 6,54 раз	
Контраст «элемент объекта – трава» $T = 39$ К	Контраст «элемент объекта под МП – трава» $T = 5$ К
Снижение контраста в 7,8 раз	

В таблице 1 данные контраста «объект на фоне травы» позволяют оценить уровень контраста в случае визирования объекта с верхней полусферы. В качестве элемента объекта рассматривается выступающий металлический элемент (например, ствол танка).

Проведенные дополнительные лабораторные измерения подтвердили, что величина радиояркого контраста температуры незамаскированного металлического объекта и замаскированного металлического объекта МП с сетевой основой находится в пределах значений, полученных экспериментальным путем [14].

Результаты расчетов по формуле (2) приведены на рис. 2 – 4. На рис. 2 показана зависимость радиояркого контраста от высоты обнаружения малоразмерного наземного объекта с помощью пассивной РМС без искусственной подсветки объекта. Расчеты проведены для РМС ММД по первому слагаемому выражению (2), с приведенными выше характеристиками, для значений вероятности ложной тревоги $F = 10^{-4}$.

На рис. 2 обозначен порог отношения сигнал-шум $q \geq \pm 5,91$, что соответствует радиояркому контрасту $T \geq 5,91$ К при СКО шума РМ приемника $\sigma = 1$ К. Превышение данного порога по q (или T) обеспечивает требуемую величину вероятности правильного обнаружения $D \geq 0,9$. Сплошная кривая показывает характер изменения величины контраста не замаскированного объекта, пунктирная – изменение величины контраста малоразмерного наземного объекта, покрытого МП с характеристиками, приведенными в работах [13–15]. В ходе расчетов величина контраста, полученная экспериментальным путем [14], по данным табл.1, равна $T = 177$ К, что соответствует величинам $\Delta\chi = -0,9$ и $T_{12} = 200$ К. Применение на объекте МП приводит к снижению радиояркого контраста в 3,47 раз, т.е. до величины $T = 51$ К.

При этом наблюдается уменьшение высоты (или дальности) правильного обнаружения малоразмерного объекта с $H=1945$ м до $H=1044$ м, т.е. в 1,86 раз.

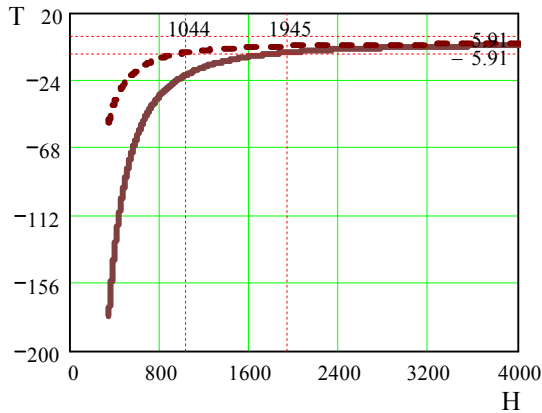


Рис. 2. Зависимость $T = f(R)$ для пассивной РМС

На рис. 3, 4 приведены зависимости контраста от высоты для случая обнаружения наземного объекта РМС с активной одно и двухпозиционной подсветкой.

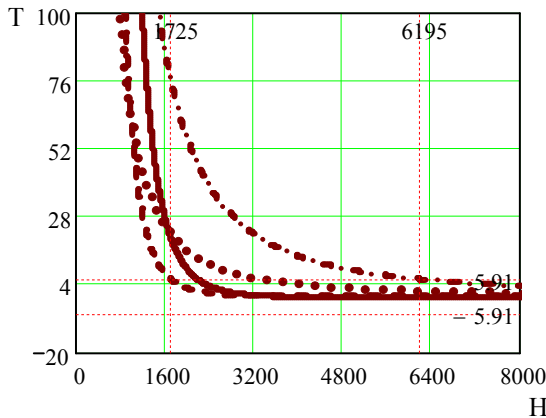


Рис. 3. Зависимость $T = f(R)$ для РМС с подсветкой ($P_t = 10$ Вт)

Сплошной кривой обозначено изменение радиояркостного контраста от высоты обнаружения для пары «боковая поверхность объекта без МП – лес, трава», пунктирная линия обозначает контраст «боковая поверхность объекта под МП – лес, трава». Эти две зависимости получены для случая однопозиционной подсветки объекта с борта ЛА. Штрихпунктирная линия определяет контраст не замаскированного объекта при двухпозиционной подсветке с независимого ЛА, с высоты $H_t = 1000$ м. Точечная линия характеризует контраст объекта, находящегося под МП, при двухпозиционной подсветке. На рисунках обозначены предельные значения высот обнаружения для крайних

случаев: для однопозиционной подсветки объекта под МП и для двухпозиционной подсветки объекта без МП. Высоты обнаружения, как показано на рис. 3, 4, зависят от мощности источника подсветки. Подробно результаты расчетов дальности для различных условий наблюдения (обнаружения) малоразмерного объекта приведены в табл. 2. Для сравнения в первой графе таблицы приведены данные для достаточно низкой величины вероятности ложной тревоги $F = 10^{-2}$ ($F = 10^{-4}$ в одном элементе изображения), что соответствует пороговому уровню РМ контраста $T = 3,51$ К.

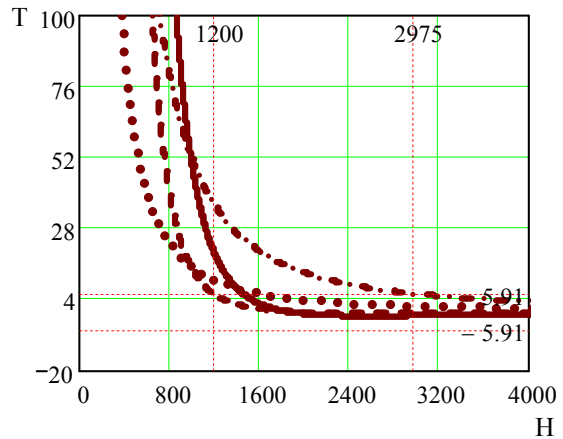


Рис. 4. Зависимость $T = f(R)$ для РМС с подсветкой ($P_t = 3$ Вт)

Выводы

Проанализировано выражение для вероятности правильного обнаружения малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими системами миллиметрового диапазона волн. Получено выражение для суммарного радиояркостного контраста «объект – фон», формируемого за счет естественного излучения объекта, а также за счет искусственной подсветки объекта независимым источником широкополосного шумового сигнала. Показано, что применение подсветки, позволяет увеличить дальность радиометрического обнаружения малоразмерного наземного объекта не менее чем в полтора – два раза, для разных уровней мощности однопозиционной подсветки. Применение двухпозиционной подсветки увеличивает дальность обнаружения в (3 – 5) и более раз.

Осуществлены количественные оценки влияния маскировочного покрытия [13] на вероятность правильного обнаружения и максимальную дальность обнаружения наземных объектов. Однослойное маскировочное покрытие уменьшает дальность обнаружения в пассивном режиме

Таблица 2

Результаты расчетов дальности обнаружения РМС

Дальность обнаружения РМС с подсветкой, км					
Мощность источника однопозиционной/двухпозиционной подсветки, Вт	$F \leq 10^{-2}$ ($F \leq 10^{-4}$) (при $D \geq 0,9$, $q \geq 3,51$)	$F \leq 10^{-4}$ ($F' \leq 10^{-6}$) (при $D \geq 0,9$, $q \geq 5,91$)			
	Контраст «объект – лес, трава» $T=177$ К	Контраст «объект – лес, трава» $T=177$ К	Контраст «объект под МП – лес, трава» $T=51$ К (снижение контраста в 3,47 раз)	Контраст «объект – трава» $T=85$ К, визирование с верхней полусферы	Контраст «объекта под МП – трава» $T=13$ К, визирование с верхней полусферы (снижение контраста в 6,54 раз)
3	1555/3850	1460/2975	1200/1599	1310/2063	910/807
10	2410/8040	2200/6195	1725/3325	1919/4293	1275/1678
30	3425/14380	3084/11080	2345/5945	2634/7675	1700/3000
100	4860/26500	4300/20450	3235/10975	3654/14160	2329/5540
Дальность обнаружения пассивной РМС, км					
$d=200$ мм	2525	1945	1044	1348	527

работы РМС в 1,8 раз, в режиме с однопозиционной подсветкой – в 1,3 раза, в режиме с двухпозиционной подсветкой – в 1,8 раз.

Двухслойное маскировочное покрытие, по сравнению с однослойным МП, приводит к дополнительному экранированию металлического объекта и тем самым повышает его радиояркостную температуру, приближая ее к температуре окружающего фона. Таким образом, контраст «объект под МП – фон» дополнительно снижается. Вывод, сделанный в работе [14], об изменении знака контраста, скорей всего, является ошибочным, так как объект, покрытый двумя и более слоями поглощающего МП, все-таки должен попадать в диапазон температур (0–300) К, что соответствует холодному металлу ~ (0–50) К и хвойному лесу (280–300) К. В итоге применение нескольких слоев МП на сетевой основе дополнительно снижает контраст «объект – фон» и, как следствие, приводит к уменьшению дальности обнаружения. Данный вопрос требует дополнительного экспериментального изучения.

Литература

1. Николаев, А.Г. Радиотеплолокация [Текст] / А.Г. Николаев, С.В. Перцов. – М.: Воениздат, 1970. – 132 с.
2. Михайлов, В.Ф. Спутниковая аппаратура дистанционного зондирования Земли [Текст] / В.Ф. Михайлов, И.В. Брагин, С.И. Брагин. – М.: Вузовская книга, 2008. – 340 с.
3. Голдмис, П.Ф. Системы формирования изображений в фокальной плоскости в миллиметровом

диапазоне длин волн [Текст] / П.Ф. Голдмис. – ТИИЭР, 1993. – Т. 41. – № 10. – С. 1–24.

4. Passive multichannel millimeter-waves imaging system [Text] / 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. – V.I. Kharkov, Ukraine, June 21–26, 2004. – P. 202–204.

5. Radiometry Complex «Zir» for High-Speed Radio-Wave Imagine [Text] / V.A. Berezhnoy, Y.N. Muskin, V.M. Chmil, V.I. Antyufeev, V.N. Bykov // The sixth international Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves. Millimeter and Submillimeter waves and Workshop on Terahertz Technologies. – Kharkov, Ukraine, June 25–30 2007. – P. 887–889.

6. Мур, Р. Панхроматический и полипанхроматический радиолокаторы [Текст] / Р. Мур, В. Уайт, Дж. Роуз. – ТИИЭР, 1969. – № 57. – С. 590–593.

7. Seashore, C.R. MM-wave Radar and radiometric sensors for guidance systems [Text] / C.R. Seashore, J.E. Milley, B.A. Kearns // Microwave J. – 1979. – V. 22, N 8. – P. 47–51.

8. Повышение информативности радиометрических изображений благодаря применению шумовой подсветки [Текст] / В.Н. Быков, С.И. Ивашов, Ю.В. Овсянников и др. // Радиотехника, 1997. – Вып. 101. – С. 33–39.

9. Обнаружение малоразмерных объектов на радиометрическом изображении [Текст] / В.Н. Быков, А.И. Задонский, В.Ю. Мусиенко и др. // Радиотехника, 1997. – Вып. 101. – С. 28–33.

10. Быков, В.Н. Оптимизация ширины спектра зондирующего сигнала скатерометра миллиметрового диапазона [Текст] / В.Н. Быков, А.С. Султанов, А.А. Черных // Труды 4-й Всесоюзной школы по рас-

пространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере. Нижний Новгород, 3–10 сентября 1991. – С. 187–188.

11. Анализ влияния ширины полосы сигнала подсветки наземных объектов на качество функционирования радиометрических информационных систем [Текст]: зб. наук. праць Об'єднаного науково-дослідного інституту Збройних Сил / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, В.Ю. Косухин, Т.Д. Бережная – Х.: ОНДІ ЗС, 2007. – Вып. 2(7). – С. 80–87.

12. Быков, В.Н. Обнаружение малоразмерных объектов радиометрическими информационными системами миллиметрового диапазона с шумовой подсветкой [Текст] / В.Н. Быков // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – № 2(10). – С. 5–10.

13. Під українським маскувальним покриттям – танка не видно... [Текст] / М.В. Ткаліч, М.Д. Топчев, В.О. Комаров, В.В. Глебов, В.П. Ващенко // Ви-

нахідник і раціоналізатор. – 2002. – № 2 – 3. – С. 5 – 6.

14. Быков, В.Н. Экспериментальная оценка радиометрической заметности малоразмерных объектов в условиях неопределенности [Текст] / В.Н. Быков // Системи обробки інформації: зб. наук. праць ХВУ. – Вып. 3. – Х., 2004. – С. 11–17.

15. Радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов [Текст]: моногр./ В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, В.А. Краюшкин. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2008. – 356 с.

16. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами [Текст]: моногр. / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кукобко, С.В. Нечитайло, А.З. Сазонов // Под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.

Поступила в редакцію 12.05.2013, рассмотрена на редколлегии 29.05.2013

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф., декан радиофизического факультета С.Н. Шульга, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

ВИЯВЛЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ МАТРИЧНИМИ РАДІОМЕТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ З ШУМОВИМ ПІДСВІЧУВАННЯМ

В.І. Антюфеев, В.М. Быков, Д.Д. Иванченко, М.М. Колчигін, Т.Д. Бережна

Проаналізовано вираз для ймовірності правильного виявлення малорозмірних наземних об'єктів матричними радіометричними системами міліметрового діапазону хвиль. Отримано вираз для сумарного контрасту радіояскравості «об'єкт – фон», який формується за рахунок природного випромінювання об'єкту, а також за рахунок штучного підсвічування об'єкту незалежним джерелом широкопосмугового шумового сигналу. Показано, що застосування підсвічування, дозволяє збільшити дальність радіометричного виявлення малорозмірного наземного об'єкту в два – три рази. Здійснено кількісні оцінки впливу маскувального покриття на ймовірність правильного виявлення і максимальну дальність виявлення наземних об'єктів. Маскувальне покриття зменшує дальність виявлення не менш ніж у два рази.

Ключові слова: літальний апарат, малорозмірний наземний об'єкт, матрична радіометрична система, міліметровий діапазон, шумове підсвічування, маскувальне покриття.

DETECTION OF SMALL GROUND OBJECTS OF MATRIX RADIOMETRIC SYSTEM WITH NOISE ILLUMINATED

V.I. Antyufeev, V.M. Bykov, D.D. Ivanchenko, N.N. Kolchigin, T.D. Berezhnaya

Analyzed the expression for the probability of correct detection of small objects on the matrix radiometric systems millimeter-wave band. An expression for the total contrast radio brightness «object - background», formed in direct due to natural radiation of the object, as well as by artificial illumination of an object by an independent source of broadband noise signal. It is shown that the use of the backlight enables to increase the range radiometric detection of small objects in the ground two - three times. Performed quantitative assessments of the influence of masked novel developing coatings on the detection probability and a maximum range of detection of ground objects. Camouflage reduces the detection range of not less than two times.

Keywords: aircraft, ground small-sized object, matrix radiometric system, millimeter bands, the noise lighting, camouflage cover.

Антюфеев Валерій Іванович – д-р техн. наук, с.н.с., ведучий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Быков Виктор Николаевич – д-р техн. наук, с.н.с., ведучий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Иванченко Дмитрий Дмитриевич – канд. физ.-мат. наук, с.н.с., ведучий научный сотрудник кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Колчигин Николай Николаевич – д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.

Бережная Татьяна Дмитриевна – инженер кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков.