

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ МАЛОРАЗМЕРНЫХ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ПАССИВНО-АКТИВНЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ

*В.Н. БЫКОВ, Н.Н. КОЛЧИГИН, Г.Г. ОСИНОВЫЙ, Т.Д. БЕРЕЖНАЯ*

На основе критерия Неймана-Пирсона получены аналитические выражения для вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими системами. Анализ данных выражений позволяет установить порог обнаружения, т. е. требуемое отношение сигнал – шум, необходимое для надежного обнаружения и не обнаружения объектов. Под вероятностью не обнаружения подразумевается вероятность пропуска объекта (цели) при условии его наличия в рассматриваемом районе. Пользуясь выражением для радиояркостного контраста, произведена оценка дальности обнаружения малоразмерного наземного объекта на фоне земной поверхности при различных углах визирования радиометрической системы по углу места и азимута. Осуществлены количественные оценки влияния маскировочного покрытия на максимальную дальность обнаружения малоразмерного наземного объекта. Установлено, что маскировочное покрытие с ослаблением радиояркостного контраста на 10 дБ уменьшает дальность обнаружения наземного объекта не менее чем в 3 раза. Применение независимой шумовой подсветки увеличивает дальность обнаружения незамаскированного объекта. Однако, дальность обнаружения замаскированного объекта (с ослаблением радиояркостного контраста на 10 дБ) снижается также не менее чем в три раза.

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

### ВВЕДЕНИЕ

Многоканальные (матричные) радиометрические системы миллиметрового диапазона волн (РМС ММД), размещаемые на летательных аппаратах (ЛА) различного назначения, предназначены для решения ряда военных и народнохозяйственных задач [1–3]. Важной задачей является распознавание наземных, в том числе подвижных, объектов, т. е. обнаружение с последующей идентификацией объектов по классам и принадлежности. В качестве подвижных наземных объектов рассматриваются отдельные автомобили, колонны автотракторной техники, подвижные объекты-реперы.

В предыдущих работах авторов [1–3] получены выражения для вероятности правильного обнаружения и суммарного радиояркостного контраста малоразмерных наземных объектов на фоне земной поверхности, произведены оценки дальности обнаружения объектов матричными РМС ММД.

Особый интерес вызывает применение «подсветки» объекта независимым источником широкополосного шумового сигнала, что позволяет увеличить дальность радиометрического обнаружения малоразмерного наземного объекта в полтора – два раза [1–3]. В указанных работах оценка дальности обнаружения наземных объектов произведена для случая наблюдения объекта с верхней полусферы при угле визирования антенны РМС  $\theta=0$  от вертикали. При этом объект представляется в виде плоской фигуры с определенной площадью ( $S=25\text{ м}^2$ ).

В работе [4] оценка дальности обнаружения осуществлена для объемного объекта с размерами, обеспечивающими площадь верхней части (крыши)  $S_{\text{в}}=25\text{ м}^2$ , площадь боковой поверхности  $S_{\text{б}}=17\text{ м}^2$ , площадь лобовой (или задней) проекции  $S_{\text{л(з)}}=9\text{ м}^2$ . При этом обнаружение объекта производится пассивной матричной РМС в миллиметровом диапазоне волн.

Целью данной статьи является вероятностная оценка дальности обнаружения подвижного малоразмерного наземного объекта при различных углах места и азимута пассивной матричной радиометрической системой миллиметрового диапазона с независимой подсветкой объекта широкополосным шумовым сигналом. В качестве средств защиты объекта рассматривается принудительная маскировка, затрудняющая оптическую визуализацию и ослабляющая естественное излучение объекта в миллиметровом диапазоне волн.

### 1. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

В качестве средства принудительной маскировки (защиты) наземного объекта рассматривается применение маскировочного покрытия (МП), характеристики которого приведены в работе [5]. МП в виде радиопоглощающего материала на сетевой основе обеспечивает поглощение электромагнитных волн видимого, сантиметрового и миллиметрового диапазонов. При этом применение однослойного покрытия приводит к снижению коэффициента излучения объекта в

миллиметровом диапазоне ( $\lambda \approx 8\text{мм}$ ) в 3,47 раз, т. е. на 5,4дБ [6]. Применение двухслойного МП, как показали экспериментальные исследования [3, 6], снижает коэффициент излучения не менее чем в 10 раз.

Применение такого покрытия, по мнению авторов работы [5], препятствует созданию цельного изображения наземных объектов информационными датчиками матричных РМС.

Как и в предыдущих работах [1–4], постановка задачи сводится к следующему. Летательный аппарат, носитель РМС, движется, в общем случае, по наклонной траектории, в диапазоне высот  $H=(0,5-10)\text{км}$ . Матричная РМС ММД размерностью, например,  $N \geq N_1 \times N_2 = 8 \times 8$  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  $\lambda=8,6\text{мм}$ ,  $\lambda=3,2\text{мм}$ , являющиеся «окнами прозрачности» атмосферы в миллиметровом диапазоне. Минимальное время формирования изображения выбирается из условия реализации требуемой чувствительности РМ датчика, максимальное время – из условия отсутствия «смаза» изображения вследствие высокой скорости полета ЛА ( $V \geq 300\text{м/с}$ ). Исходя из этих условий и технических характеристик современных РМ датчиков [3] время формирования изображения должно быть равно времени интегрирования сигнала в одном РМ канале  $\tau \approx (0,1-0,01)\text{с}$ . Для простоты представим, что матричная РМС компонуется радиометрами компенсационного типа.

Алгоритм различения гипотез (наличия только шума в радиометрическом изображении либо наличия смеси сигнал + шум), в наиболее употребляемом в радиолокации случае, когда априорные вероятности гипотез и матрицы потерь неизвестны, является оптимальным по критерию Неймана-Пирсона, если при его использовании достигается минимальное значение ошибки второго рода («пропуска цели»), при заданном ограничении вероятности ошибки первого рода («ложной тревоги») [7, 8].

В работах [1–4] приведены аналитические выражения для вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения малоразмерных наземных объектов матричной РМС при двухальтернативном обнаружении по критерию Неймана-Пирсона:

$$F' = \int_{T_0-T_n}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{T^2}{2\sigma^2}} dT = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{T_0 - T_n}{\sigma} \right) \right], \quad (1)$$

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

В выражениях (1), (2) 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,  $K \cdot T_0 = T_n + \sigma \Phi^{-1} \left( 1 - \frac{2 \cdot F}{N} \right)$  – пороговое значение, при котором определяется вероятность правильного обнаружения,  $\Phi^{-1}(x)$  – функция, обратная интегралу вероятностей

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt. \quad \text{Отношение сигнал-шум на выходе РМ приемника } q = \frac{\Delta T}{\sigma}, \quad \sigma = \frac{T_r}{\sqrt{\Delta f \cdot \tau}}$$

среднеквадратическое отклонение (СКО) шума РМ приемника,  $T_r$  – шумовая температура РМ приемника,  $K, \Delta f$  – ширина полосы пропускания РМ приемника, Гц.  $F'$  – вероятность ложной тревоги для одного элемента изображения. Вероятность хотя бы одной ложной тревоги для совокупности из  $N$  элементов в РМ матрице  $F = 1 - (1 - F')^N$ , при  $N = 8 \times 8 \gg 1$ ,  $F \approx N \cdot F'$ .

На рис. 1 приведены зависимости вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал-шум на выходе РМ приемника. Данная зависимость получена при вероятности ложной тревоги для всех элементов изображения (например, при размерности изображения  $N = 10 \times 10$  элементов)  $F = 10^{-4}$ , что соответствует величине ложной тревоги в одном элементе изображения  $F' = 10^{-6}$ .

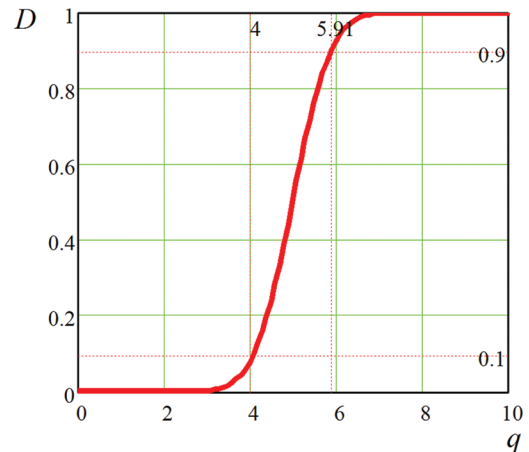


Рис. 1. Зависимость  $D=f(q)$

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. Для рассматриваемого случая ( $F = 10^{-4}$ ,  $F' = 10^{-6}$  в одном элементе изображения) требуемое отношение сигнал-шум равно  $q \geq 5,91$ .

В рассматриваемом в данной работе случае необходимо оценить эффективность средств защиты объекта, т. е. возможность скрытия факта наличия объекта в данной области про-

странства. Критерием такой оценки может служить величина вероятности пропуска цели, т. е. вероятности принятия решения об отсутствии объекта в заданной области пространства, при условии его наличия ( $P_{\text{пр}}=1-D$ ).

На рис. 1 показана граница устойчивого не обнаружения объекта радиометрической системой ММД ( $D \leq 0,1, P_{\text{пр}} \rightarrow 1$ ). При этом величина требуемого отношения сигнал-шум (для случая  $F=10^{-4}, F'=10^{-6}$  в одном элементе изображения) составляет  $q \leq 4$ .

В работах [1–3] приведено аналитическое выражение для суммарного радиояркого контраста «объект – фон», формируемого как естественным излучением объекта ( $\Delta T_1$ ), так и отраженным от объекта сигналом независимого источника подсветки ( $\Delta T_2$ ):

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

В выражении (3) приняты следующие обозначения:  $\Delta \chi$  – 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;  $\alpha$  – погонный коэффициент ослабления, дБ/км;  $R = H \cdot \sec \theta$  – наклонная дальность до визируемого объекта;  $\theta$  – 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  $Q = 1$ :

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

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. В ходе дальнейших расчетов выбрано соотношение  $\frac{d}{\lambda}$ , обеспечивающее в ММД коэффициент направленного действия антенны не менее 40 дБ. Это может быть практически реализуемо на длине волны  $\lambda = 3,2$  мм при диаметре зеркальной параболической антенны  $d = 200$  мм, либо на длине волны  $\lambda = 8,6$  мм при диаметре антенны  $d = 500$  мм. Коэффициент направленного действия антенны  $G_r = 3,855 \cdot 10^4$ . При этом ширина ДНА РМС составляет  $2\theta_{0,5} \approx 1,1^\circ - 1,2^\circ$ .

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

Величина  $P_t$  – мощность источника подсветки;  $G_t, G_r$  – коэффициент направленного действия антенн источника подсветки и РМ датчика, соответственно;  $\Delta \sigma$  – разность значений эффективной поверхности рассеяния объекта и фона.

Выражение (3) получено для случая однопозиционной подсветки наземного объекта. В случае двухпозиционной подсветки необходимо заменить дальность  $R$  на дальность источника подсветки  $R_t$  и дальность до РМ датчика РМС  $R_r$ . В случае вертикального визирования РМ системой обнаружения дальность до объекта необходимо заменить на высоту визирования источника подсветки и высоту приема сигнала РМ датчиком РМС  $H_t, H_r$ .

В работе [4] были произведены оценки дальности обнаружения наземных объектов с помощью РМС ММД под разными углами места  $\theta, \varphi$  («надир – боковая проекция», «надир – лобовая (задняя) проекция»), без учета азимутальных углов.

В данной работе выражение (3) модифицировано с учетом дополнения углов места ( $\theta = \varphi$ ) углами ( $\alpha$ ) в азимутальной плоскости.

На рис. 2 представлена геометрия визирования малоразмерного наземного объекта РМС обнаружения.

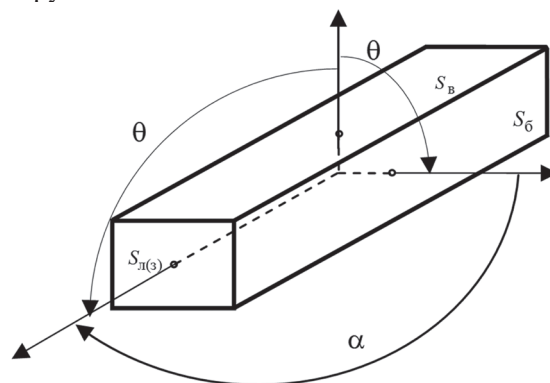


Рис. 2. Геометрия визирования малоразмерного наземного объекта

На рис. 2 обозначено:  $S_B, S_6, S_{L(3)}$  – площадь верхней, боковой и лобовой (задней) проекции объекта,  $\theta$  – угол визирования объекта в плоскости «надир – боковая проекция» и «надир – лобовая (задняя) проекция» объекта,  $\alpha$  – азимут, угол визирования объекта в горизонтальной плоскости.

Выражение для площади объекта (с учетом идентичности углов  $\theta = \varphi$ ) принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} S(\theta, \alpha) &= S_B \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha + S_6 \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha + \\ &+ S_B \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha + S_{L(3)} \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha = \\ &= 25 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha + 17 \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha + \\ &+ 25 \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha + 9 \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (5)$$



В случае использования только пассивного режима работы РМС, без применения независимой искусственной подсветки, выражение для радиояркого контраста «объект – фон» и дальности обнаружения пассивной радиометрической системой имеет вид:

$$\Delta T_1 = \frac{d^2 \cdot 4 \cdot S(\theta, \alpha) \cdot \Delta \chi \cdot T_{12}}{R_r^2 \cdot \pi \cdot \lambda^2}, \quad (6)$$

$$R_r = \frac{d}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot S(\theta, \alpha) \cdot \Delta \chi \cdot T_{12}}{\pi \cdot \Delta T_1}}. \quad (7)$$

Следует заметить, что в выражениях (6), (7) хотя отсутствует эффект принудительной подсветки от искусственного источника электромагнитных волн (детерминированного или широкополосного шумового излучения), однако имеет место естественная подсветка объекта (с металлическим покрытием) излучением «холодного» неба.

Для упрощения расчетов принято, что обнаружение объекта осуществляется в условиях «чистой» безоблачной атмосферы  $K(R) = K(2R) \approx 1$ .

Выражение для суммарного радиояркого контраста с учетом выражений (5), (6) запишем следующим образом:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \frac{d^2 \cdot 4 \cdot S(\theta, \alpha) \cdot \Delta \chi \cdot T_{12}}{R_r^2 \cdot \pi \cdot \lambda^2} + \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \Delta \sigma \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot k \cdot \Delta f \cdot R_r^2 \cdot R_t^2}. \quad (8)$$

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ДАЛЬНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ

Для проведения количественных оценок дальности радиометрического обнаружения сделаем следующие допущения. Подсветка наземного объекта осуществляется независимым источником шумового сигнала с воздушной платформы, находящейся в стороне от ЛА – носителя РМС обнаружения ММД. Платформа барражирует на определенной высоте, например, на высоте  $H_t = 1$  км. Прием излученного (отраженного) сигнала от наземного объекта осуществляется на дальности  $R_r$ , которая и является оцениваемой дальностью обнаружения объекта РМС.

С учетом приведенных выше замечаний окончательное выражение для дальности обнаружения объемного малоразмерного наземного объекта матричной пассивно-активной радиометрической системой миллиметрового диапазона можно представить следующим образом:

$$R_r = \sqrt{\frac{d^2 \cdot 4 \cdot S(\theta, \alpha) \cdot \Delta \chi \cdot T_{12}}{\Delta T \cdot \pi \cdot \lambda^2} + \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \Delta \sigma \cdot \lambda^2 \cdot \cos^2 \theta}{(4 \cdot \pi)^3 \cdot k \cdot \Delta f \cdot \Delta T \cdot H_t^2}}. \quad (9)$$

Расчеты проведены для следующих условий. Величина разности излучательной способности объекта и фона для металла на фоне травы (леса) составляет  $\Delta \chi = -0,9$ , величина радиояркой

контрастообразующей температуры выбрана равной  $T_{12} = 200$  К, что соответствует справочным данным для разности температур излучения металла на фоне земной поверхности (травы, песка, глинозема, леса) [3]. Указанные величины  $\Delta \chi$  и  $T_{12}$  соответствуют также величине контраста «объект – лес, трава»  $T \approx 177$  К, полученной экспериментально [6].

На рис. 3 показано изменение площади объекта от углов визирования РМС (по углу места  $\theta$  и азимуту  $\alpha$ ), рассчитанные по формуле (5). Максимум  $S(\theta = 30^\circ, \alpha = 40^\circ) = 39,906 \text{ м}^2$ .

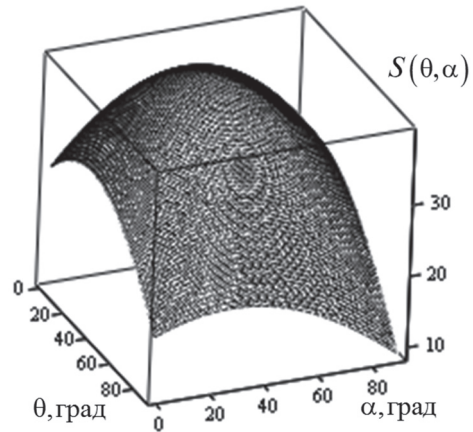


Рис. 3. Зависимость  $S = f(\theta, \alpha)$

На рис. 4, рис. 5 приведены результаты расчетов (по формуле (9)) зависимости дальности обнаружения объемного малоразмерного наземного объекта от углов визирования матричной РМС ММД. Кривые на рис. 4 отображают зависимость дальности обнаружения от угла места ( $\theta$ ) от надира при угле наблюдения по азимуту ( $\alpha = 40^\circ$ ), для объекта без МП ( $\Delta T = 200$  К,  $\Delta \sigma = 10 \text{ м}^2$ ). Азимутальный угол ( $\alpha = 40^\circ$ ), как показывают расчеты исходя из принятых размеров и конфигурации объекта, соответствует максимальной дальности обнаружения. Верхняя кривая на графике – дальность обнаружения РМС с подсветкой, мощность источника подсветки  $P_t = 1$  Вт. Нижняя кривая соответствует дальности обнаружения незамаскированного объекта пассивной РМС (без подсветки).

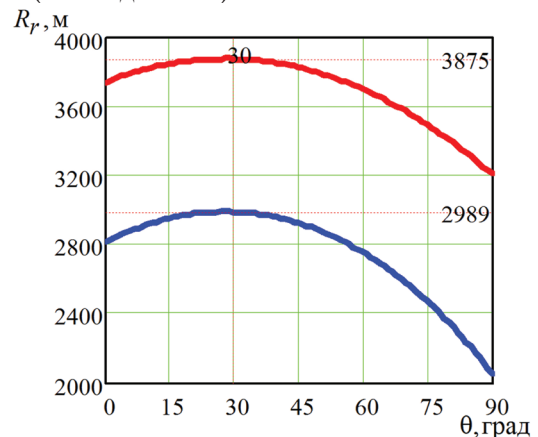


Рис. 4. Зависимость  $R_r = f(\theta)$  при  $\alpha = 40^\circ$ , объект без МП

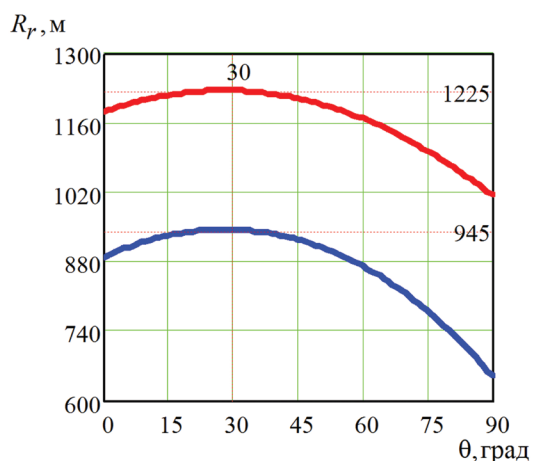


Рис. 5. Зависимость  $R_r = f(\theta)$  при  $\alpha = 40^\circ$ , объект под МП

Кривые на рис. 5 соответствуют зависимости  $R_r = f(\theta)$  для объекта под МП ( $\Delta T = 20\text{K}$ ,  $\Delta\sigma = 1\text{m}^2$ ).

Верхняя кривая – для РМС с подсветкой объекта широкополосным шумовым сигналом ( $P_T = 1\text{Вт}$ ), нижняя – для пассивной РМС (без подсветки).

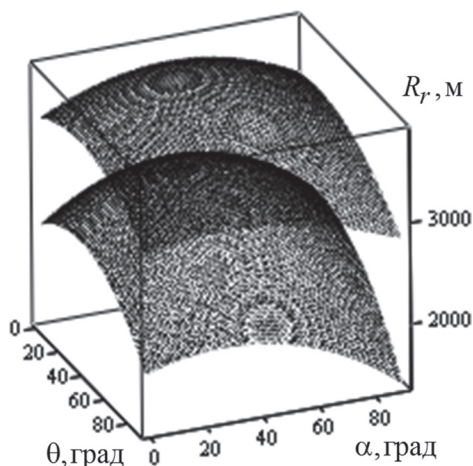


Рис. 6. Зависимость  $R_r = f(\theta, \alpha)$ , объект без МП

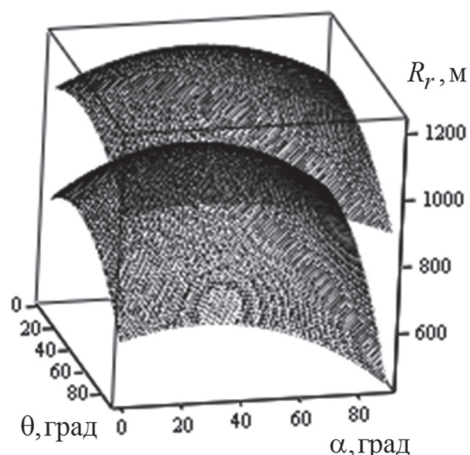


Рис. 7. Зависимость  $R_r = f(\theta, \alpha)$ , объект под МП

На рис. 6, рис. 7 приведены зависимости для дальности обнаружения от углов места и азимута, которые соответствуют условиям и графикам рис. 4, рис. 5.

## ВЫВОДЫ

Проанализировано выражение для вероятности правильного обнаружения и не обнаружения (вероятность пропуска объекта – цели) малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими системами миллиметрового диапазона волн. Получено выражение для дальности обнаружения (не обнаружения – пропуска цели) малоразмерного объекта, позволяющее оценить дальность обнаружения малоразмерного наземного объекта конечных размеров (длина – ширина – высота) при различных углах визирования (по углу азимута и углу места) матричной РМС миллиметрового диапазона с подсветкой широкополосным шумовым сигналом и в режиме пассивного радиометрического обнаружения. Данное выражение позволяет оценить дальность обнаружения незамаскированного объекта и объекта, защищенного маскировочным покрытием, снижающим излучательную способность объекта и приближая ее к излучательной способности фона земной поверхности.

Количественные оценки показывают, что применение маскировочного покрытия с ослаблением контраста на 10 дБ уменьшает дальность обнаружения наземного объекта не менее чем в три раза, как в случае пассивного радиометрического обнаружения, так и в случае обнаружения матричной РМС миллиметрового диапазона с подсветкой.

При проведении расчетов было взято два значения разности эффективной поверхности рассеяния объекта и фона  $\Delta\sigma = 10\text{m}^2$  для объекта без ПМ и  $\Delta\sigma = 1\text{m}^2$  для объекта под МП. Расчеты могут быть скорректированы путем подстановки в выражение (9) угловой зависимости  $\Delta\sigma = f(\theta, \alpha)$  конкретного объекта, полученной экспериментально или в результате расчета.

## Литература

- [1] Быков В.Н. Обнаружение малоразмерных объектов радиометрическими информационными системами миллиметрового диапазона с шумовой подсветкой / В.Н. Быков // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. Науково-технічний журнал. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – Вип. 2(10), 2005. – С. 5–10.
- [2] Антюфеев В.И. Обнаружение малоразмерных наземных объектов матричными радиометрическими системами с шумовой подсветкой / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, Д.Д. Иванченко, Н.Н. Колчигин, Т.Д. Бережная // *Харків: Радиоелектронні і комп'ютерні системи*, науково-технічний журнал, ХАІ, 2013. – № 2(61). – С. 7–13.
- [3] Матричные радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов: Монография / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, Д.Д. Иванченко, Н.Н. Колчигин, В.А. Краюшкин, А.М. Сотников. – Харьков: Изд-во ООО «Щедрая усадьба плюс», 2014. – 372 с.
- [4] *Bykov V.N. Detection of small ground objects by matrix radiometric systems / V.N. Bykov, D.D. Ivanchenko,*

N.N. Kolchigin, T.D. Berezhnaya // Applied Radio Electronics, Scientific and Technical Journal, 2015. – Volume 14. – № 1. – P. 36–40.

- [5] *Ткаліч М.В.* Підукраїнським маскувальним покриттям – танка не видно... / М.В. Ткаліч, М.Д. Топчев, В.О. Комаров, В.В. Глебов, В.П. Вашенко // Винахідник і раціоналізатор, 2002. – № 2–3. – С. 5–6.
- [6] *Быков В.Н.* Экспериментальная оценка радиометрической заметности малоразмерных объектов в условиях неопределенности / В.Н. Быков // Системы обработки информации. X.: ХВУ, 2004. – Вып. 3. – С. 11–17.
- [7] *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
- [8] Радиозлектронные системы: основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

Поступила в рдколлегию 04.02.2016



**Быков Виктор Николаевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина. Научные интересы: радиотеплолокация, системы навигации летательных аппаратов, дистанционное зондирование Земли, цифровая обработка изображений.



**Колчигин Николай Николаевич**, доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина. Научные интересы: исследование характеристик рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы, взаимодействие сверхкоротких импульсов со сложными объектами, разработка и моделирование антенн для импульсных и широкополосных сигналов.



**Осиновий Геннадий Геннадиевич**, начальник проектного отдела, Государственное предприятие «КБ «Южное», Днепропетровск. Научные интересы: исследование характеристик рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы.



**Бережная Татьяна Дмитриевна**, инженер кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина. Научные интересы: радиотеплолокация, системы навигации летательных аппаратов, дистанционное зондирование Земли.

УДК 621.396.96

**Оцінка ефективності засобів захисту малорозмірних наземних об'єктів від пасивно-активних радіометричних систем виявлення** / В.М. Биков, М.М. Колчигін, Г.Г. Осинувий, Т.Д. Бережна // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2016. – Том 15. – № 1. – С. 45–50.

На основі критерію Неймана-Пірсона отримано аналітичні вирази для ймовірності хибної тривоги і правильного виявлення малорозмірних наземних об'єктів матричними радіометричними системами. Аналіз даних виразів дозволяє встановити поріг виявлення, тобто потрібне відношення сигнал – шум, необхідне для надійного виявлення та не виявлення об'єктів. Під ймовірністю не виявлення розуміють ймовірність пропуску об'єкту (цілі) за умови його наявності в заданому районі. За допомогою виразу для контрасту радіояскравості, наведена оцінка дальності виявлення об'єкту на фоні земної поверхні при різних кутах візування радіометричної системи по куту місця та азимуту. Здійснено кількісні оцінки впливу маскувального покриття на максимальну дальність виявлення малорозмірного наземного об'єкта. Встановлено, що маскувальне покриття з ослабленням контрасту радіояскравості на 10 дБ зменшує дальність виявлення наземного об'єкта не менш ніж утричі. Застосування незалежного шумового підсвічування збільшує дальність виявлення замаскованого об'єкта. Однак, дальність виявлення замаскованого об'єкта (з ослабленням контрасту радіояскравості на 10 дБ) знижується не менш ніж утричі.

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

Рис.: 07. Бібліогр.: 08 найм.

UDC 621.396.96

**Assessing the effectiveness of the protection of small ground objects from passive-active radiometric detection systems** / V.M. Bykov, N.N. Kolchigin, G.G. Osinovy, T.D. Berezhnaya // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2016. – Vol. 15. – № 1. – P. 45–50.

On the basis of the Neyman-Pearson criterion analytical expressions for the probability of a false alarm and correct detection of ground small-sized object by matrix radiometric systems have been obtained. The analysis of these expressions permits to set the detection threshold, i.e. the required signal-to-noise ratio required for reliable detection or nondetection of object. By the probability of nondetection is meant the probability of missing an object (target) on condition that the said object (target) is present in the considered area. Using the expression for brightness contrast, the estimation of the detection range of a ground small-sized object on the background of the earth's surface at different angles of radiometric system sighting in elevation and azimuth is performed. Quantitative assessment of the influence of the camouflage coating on the maximum detection range of a small-sized object are carried out. It has been found that the camouflage coating with the weakening of the contrast brightness by 10 dB reduces the range of detection of a ground target at least by a factor of three. The use of the independent noise backlight increases the detection range of an uncloned object. However, the range of detection of a concealed object (with attenuation of brightness contrast by 10 dB) is also reduced at least by a factor of three.

*Keywords:* aircraft, ground small-sized object, passive-active matrix radiometric system, millimeter range, noise lighting, camouflage cover.

Fig.: 07. Ref.: 08 items.