

МЕТОД СНИЖЕНИЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ НАБЛЮДАЕМОСТИ НАЗЕМНЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

к.т.н. А.М. Сотников, И.В. Красношапка, А.Б. Гаврилов
(представил д.ф.-м.н., проф. В.Ф. Клепиков)

Предложен метод, позволяющий для радиопоглощающих покрытий (РПП), имеющих коэффициент поглощения, близкий к излучательной способности фона, снизить радиометрическую наблюдаемость.

Введение. Известно [1], что одной из основных характеристик радиометрических систем (РМС), к основным областям применения которых относятся обнаружение и определение координат различных объектов, решение задач навигации, физические исследования веществ и материалов, является радиометрическая наблюдаемость, под которой понимается вероятность обнаружения контраста антенных температур ΔT_s . Однако, при решении ряда прикладных задач определенный интерес могут представлять методы снижения радиометрической наблюдаемости наземных малоразмерных объектов. Учитывая, что радиометрический информационный канал (РМИК) включает в себя собственно РМС, трассу распространения сигналов, а также визируемую поверхность с расположенными на ней объектами, снижение радиометрической наблюдаемости объектов можно достичь путем воздействия как на элементы РМИК в отдельности, так и одновременно на все элементы канала.

Воздействие на РМС и трассу распространения сигналов путем постановки как активных, так и пассивных помех рассмотрено в [2].

Воздействие на визируемую поверхность или расположенные на ней объекты не рассматривалось, за исключением сезонных изменений поверхности визирования [1].

Целью статьи является разработка метода снижения радиометрической наблюдаемости наземных малоразмерных объектов, основанного на изменении их энергетических характеристик излучения.

Результаты исследований. В РМС энергетические характеристики излучения поверхности визирования и размещенных на ней объектов принято характеризовать эффективной радиояркостной температурой $T_{я_3}$, которая при обзоре земной поверхности с высоты H под углом визирования θ определяется выражением [1]

$$T_{я_3} = kK(L)T + (1 - k)K(L)T_{я_н} + [1 - K(L)]T_{атм}, \quad (1)$$

где k – излучательная способность материала; $K(L) = \exp(-0,23\alpha L)$ – множитель, характеризующий ослабление излучения на трассе распространения длиной $L = H \sec\theta$; α – погонный коэффициент ослабления [дБ/км]; T – термодинамическая температура визируемого участка; $T_{\text{н}}$ – радиометрическая температура неба; $T_{\text{атм}}$ – радиометрическая температура столба атмосферы.

Тогда контраст радиоярких температур материалов с излучательными способностями k_1 и k_2 определяется выражением

$$\Delta T_{12} = K(L)(k_1 - k_2)(T - T_{\text{н}}). \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) следует, что контраст радиоярких температур материалов подвержен сильной изменчивости в силу влияния погодных условий вследствие изменения излучательных способностей материалов, их термодинамической температуры, радиояркой температуры неба и ослабления излучения на трассе распространения.

Однако многочисленные экспериментальные исследования по измерению как излучательных характеристик различных материалов и покрытий, так и контрастов радиоярких температур для отдельных пар материалов в различных погодных и сезонных условиях, результаты которых приведены в [3, 4], показывают, что можно выделить много пар материалов, для которых контраст сохраняется даже при изменении дестабилизирующих факторов. Интенсивность радиотеплового излучения, принимаемого антенной РМС, определяется антенной температурой T_s , которая описывается выражением [1]

$$T_s = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} T_{\text{я}}(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin \theta \, d\theta d\varphi, \quad (3)$$

где $G(\theta, \varphi)$ – функция, описывающая диаграмму направленности антенны (ДНА) по мощности. Если принять конусную аппроксимацию ДНА

$$G(\theta, \varphi) = \begin{cases} 1, & (\theta, \varphi) \in \Omega_A; \\ 0, & (\theta, \varphi) \notin \Omega_A, \end{cases}$$

(Ω_A – телесный угол, в котором сосредоточена ДНА), то антенная температура сигнала от малоразмерного объекта, занимающего телесный угол Ω_0 и наблюдаемого на однородном фоне, определяется выражением

$$\Delta T_s = \Delta T_{12} \frac{\Omega_0}{\Omega_A}. \quad (4)$$

Известно, что вероятность обнаружения контраста антенных температур определяется выражением [1]

$$P(\Delta T_s) = \Phi \left(0,7 \Delta T_s \frac{\sqrt{\Delta f \tau}}{T_{\text{П}}} \right), \quad (5)$$

где $\Phi(x)$ – интервал вероятности; Δf – полоса пропускания высокочастотной части радиометра; τ – время интегрирования; T_{Π} – температура собственных шумов радиометра.

Радиометрический контраст считается обнаруженным, если его наблюдаемость удовлетворяет условию $P(\Delta T_s) \geq P_0$, где P_0 – заданное значение вероятности.

Из выражения (5) можно найти величину порогового контраста

$$\Delta T_{\text{пф}} = 1,5 T_{\Pi} \Phi^{-1}(P_0) / \sqrt{\Delta f \tau}. \quad (6)$$

Из анализа выражения (6) следует, что для снижения радиометрической наблюдаемости для малоразмерных наземных объектов необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\Delta T_{\text{пф}} < \delta T, \quad (7)$$

где $\delta T = \frac{K_R T_{\Pi}}{\sqrt{\Delta f \tau}}$ – чувствительность радиометра; $K_R \geq 1$ – коэффициент, зависящий от типа радиометра.

Практически выполнение условия (7) означает, что при одинаковых термодинамических температурах объекта и фона должно обеспечиваться равенство их излучательных способностей.

Для изменения энергетических характеристик излучения малоразмерных наземных объектов можно применять радиопоглощающие покрытия (РПП), коэффициент поглощения которых должен быть близок к излучательной способности фона (табл. 1).

Таблица 1
Излучательная способность некоторых материалов и покровов

Материал	Излучательная способность	Материал	Излучательная способность
Песок	0,90	Крупный гравий	0,84
Густая растительность	0,93	Гладкие скалы	0,75
Асфальт	0,83	Сухая трава	0,91
Бетон	0,76	Сухой снег (глубиной 28 – 75 см)	0,88 – 0,76
Пашня	0,92		

Исходя из приведенных в табл. 1 данных для излучательных способностей типовых фонов следует, что величина коэффициента поглощения радиопоглощающего покрытия, обеспечивающего снижение радиометрической наблюдаемости наземных объектов, должна находиться в пределах от 0,75 до 0,93.

Известные в настоящее время РПП [5] могут быть эффективно применены для снижения радиометрической наблюдаемости стационарных малоразмерных объектов, для которых не критичны требования по габаритно-массовым характеристикам.

Для подвижных наземных малоразмерных объектов целесообразно использовать предложенное в [6] композитное покрытие с α -радиоактивными включениями, электродинамическими свойствами которого можно управлять, обеспечивая тем самым необходимые значения коэффициента поглощения, и, соответственно, снижение их радиометрической наблюдаемости.

Выводы. РПП, имеющие коэффициент поглощения близкий к излучательной способности фона, могут быть применены для снижения радиометрической наблюдаемости малоразмерных наземных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационные методы исследования земли / Ю.А. Мельник, С.Г. Зубкович, В.Д. Степаненко и др. – М.: Сов. радио, 1980. – 264 с.
2. Пустоваров В.Е., Сотников А.М., Пустоваров В.В. Противодействие радиометрическим системам навигации // Системы обработки інформації. – ХФВ „Транспорт України”. – 2001. – Вып. 1 (11). – С. 191 – 194.
3. Сотников А.М., Судаков А.Г., Белимов В.В. Обоснование требований к сравнению изображений в автономных системах навигации. // Системы обработки інформації. – ХФВ „Транспорт України”. – 2001. – Вып. 1 (11). – С. 104 – 109.
4. Андреев Г.А., Бородин Л.Ф., Рубцов С.Н. Радиояркостные контрасты земных покровов на миллиметровых и сантиметровых волнах // Изв. вузов. Радиофизика. – 1980. – Т. 23, № 10. – С. 1266 – 1268.
5. Шнейдерман В.А. Радиопоглощающие материалы. Зарубежная радиоэлектроника. – 1975. – № 2. – С. 93 – 111.
6. Особенности электродинамических свойств фронтальных композитных материалов с α -радиоактивными включениями / А.М. Сотников, Г.Ф. Коряхин, Г.В. Рыбалка, С.И. Кононенко, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко, В.Е. Новиков // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 6 (22). – С. 142 – 153.

Поступила 15.12.2004

СОТНИКОВ Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, докторант ХУ ПС. В 1980 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных исследований – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

КРАСНОШАПКА Игорь Валериевич, адъюнкт ХУ ПС. Область научных исследований – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

ГАВРИЛОВ Анатолий Борисович, нач. НИЛ Научного метрологического центра. Область научных исследований – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.