

## 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. ОСИНОВЫЙ*

На основе разработанной модели защиты малоразмерных наземных объектов от радиометрических пассивно-активных систем обнаружения предложен метод активной защиты объектов от пассивных радиометрических систем. Метод заключается в выравнивании радиоярких температур объекта и фона, т. е. в сведении к минимуму контраста «объект – фон», на входе радиометрического приемника радиометрической системы обнаружения, за счет собственной подсветки объекта широкополосным шумовым излучением. Применение данного метода снижает вероятность и дальность обнаружения наземного объекта пассивными радиометрическими системами обнаружения.

*Ключевые слова:* летательный аппарат, малоразмерный наземный объект, пассивная радиометрическая система, миллиметровый диапазон, шумовая подсветка

### ВВЕДЕНИЕ

На основании разработанной обобщенной модели [1] представилось целесообразным оценить эффективность применения активных методов и средств защиты малоразмерных наземных объектов от радиометрических систем (РМ) систем обнаружения.

К активным методам защиты относятся:

– создание активной мощной узкополосной помехи на входе РМ приемника системы обнаружения, вводит в «насыщение» входные каскады приемника и тем самым нарушает работу радиометрического приемника системы обнаружения;

– выравнивание радиоярких температур объекта и фона на входе РМ приемника системы обнаружения, т. е. сведение к минимуму контраста «объект – фон», за счет собственной подсветки объекта широкополосным шумовым сигналом, что уменьшает вероятность и дальность обнаружения объекта радиометрическими пассивными системами обнаружения (разведки).

Метод создания активной мощной узкополосной помехи на входе приемника РМ системы обнаружения рассмотрен в работе [2]. В работе [2] приведены схемы устройств компенсации мощной узкополосной помехи на входе РМ приемника, а также в тракте промежуточной частоты приемника, приведены схемы слежения за местоположением помехи в спектре широкополосного сигнала радиометра. Отмечено, что применение схем компенсации позволяет уменьшить влияние узкополосной помехи на полезный сигнал не менее чем на (25–30) дБ.

Метод активной защиты, основанный на выравнивании радиоярких температур объекта и фона на входе РМ приемника системы обнаружения благодаря применению собственной шумовой подсветки объекта, в известной литературе не рассматривался.

**Целью** данной статьи является разработка метода активной защиты, заключающегося в выравни-

вании радиоярких температур объекта и фона на входе радиометрического приемника системы обнаружения благодаря применению собственной широкополосной шумовой подсветки обнаруживаемого наземного объекта.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

*Модель защиты малоразмерного наземного объекта от пассивной РМ системы обнаружения.* Источник собственной шумовой подсветки (ИСШП) находится на определенной высоте (дальности) над обнаруживаемым (разведываемым) наземным объектом, в частности на воздушной платформе. На той же высоте, что и ИСШП, возможно на той же платформе, находится собственный радиометрический датчик (РМД), содержащий сканирующую или матричную антенну и РМ приемник.

Для обнаружения (разведки местоположения) малоразмерного подвижного наземного объекта применяется пассивная радиометрическая система обнаружения.

Тактико-технические характеристики собственного РМД (антенны и РМ приемника) аналогичны характеристикам разведывательного РМД системы обнаружения. То есть, если разведприемник оснащен сканирующей, многолучевой или матричной антенной, то и РМД, соосный с ИСШП, также оснащен сканирующей, многолучевой или матричной антенной.

ИСШП генерирует шумовой сигнал в сторону наземного объекта, постепенно повышая мощность сигнала, попеременно облучая объект и фон земной поверхности до тех пор, пока приемник собственного РМД не примет сигнал, с минимальным контрастом «объект – фон», ниже некоторого порогового уровня.

Пороговый уровень радиояркого контраста, необходимого для обнаружения объекта на фоне земной поверхности, определяется минимальным значением величины вероятности ложной тревоги. Данное значение вероятности ложной тревоги для систем ак-

тивной и пассивной радиолокации лежит в пределах  $F \leq 10^{-4} - 10^{-12}$  [3]. На основании установленного порога обнаружения, в соответствии с критерием Неймана-Пирсона, вычисляется вероятность правильного обнаружения.

Аналитические выражения для вероятности ложной тревоги, порога обнаружения и вероятности правильного обнаружения малоразмерного наземного объекта матричной радиометрической системой приведены в работах [2,4].

Таким образом, минимальный контраст «объект – фон» – это тот порог, превышение которого позволяет принять решение об обнаружении объекта в данной области пространства с требуемой вероятностью правильного обнаружения, например, с вероятностью  $D \geq 0,9$ . При этом порог обнаружения  $q$  (или требуемый контраст  $\Delta T$ ), как показано в работах [2,4], равен  $q = \frac{\Delta T}{\sigma} \geq 5,91$ . Радиояркий контраст, соответствующий порогу обнаружения, при значении среднеквадратического отклонения шума в изображении  $\sigma = 1K$ , имеет значение  $\Delta T \geq 5,91K$ .

Прием сигнала от объекта с уровнем контраста «объект – фон», ниже порога, не позволяет принять решение об обнаружении объекта на фоне земной поверхности с требуемой вероятностью ( $D \geq 0,9$ ).

Величина вероятности правильного обнаружения выбирается из условия стоящей задачи. Если необходимо обеспечить максимальную вероятность не обнаружения объекта, т. е. высокую вероятность пропуска цели ( $P_{\text{пц}} \geq 0,9, D \leq 0,1$ ), при которой принимается решение об отсутствии объекта-цели в данной области пространства при условии его наличия [3], то выбирается другой порог обнаружения, например  $q \leq 4$ .

Может быть поставлено условие о выравнивании радиоярких температур объекта и фона, т. е. о приведении контраста «объект – фон» к нулевому значению  $q = 0, \Delta T = 0$ .

Исходя из сделанных предположений, используя аналитические выражения, полученные в работах [2,4], можно определить дальность обнаружения или не обнаружения (пропуска цели) наземного объекта пассивным радиометрическим разведприемником РМ системы обнаружения.

В дальнейшем уровень порогового сигнала на входе собственного РМ приемника, и соответственно на входе разведприемника системы обнаружения, необходимо поддерживать постоянным, соответствующим низкому (в частности, нулевому) уровню радиояркого контраста «объект – фон».

Для этого должна осуществляться коррекция уровня сигнала по линии обратной связи от собственного радиометрического датчика путем регулирования мощности источника собственной шумовой широкополосной подсветки.

## 2. АНАЛИЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Аналитическое выражение для суммарного радиояркого контраста «объект – фон», представленное в работах [2,4], имеет вид:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \Delta \chi \cdot T_{12} \cdot Q \cdot K(R) + \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot \Delta \sigma \cdot K(2R)}{(4\pi)^3 \cdot k \cdot \Delta f \cdot R^4} \quad (1)$$

В выражении (1) слагаемое  $\Delta T_1$  представляет собой естественное излучение объекта, т.е. пассивную радиометрическую составляющую. Слагаемое  $\Delta T_2$  – это активная радиолокационная составляющая, формируемая отраженным от объекта сигналом независимого источника внешней подсветки.

Пассивная радиометрическая составляющая  $\Delta T_1$  – это произведение следующих компонент: разности коэффициентов излучения объекта и фона  $\Delta \chi$ , разности термодинамической температуры объекта и температуры подсветки неба  $T_{12}$ , так называемой контрастообразующей, коэффициента затухания радиоволн ММД в приземной атмосфере  $K(R)$ . Коэффициент  $Q$  – характеризует долю площади, занимаемой объектом в площади проекции диаграммы направленности антенны на земную поверхность,  $Q \leq 1$ . Вследствие того, что коэффициент излучения наземного объекта с металлическим покрытием мал  $\chi \leq 0,1$ , по сравнению с коэффициентом излучения фона земной поверхности  $\chi \geq 0,8 - 0,9$ , радиометрический контраст  $\Delta T_1$  является отрицательной величиной.

Активная радиолокационная составляющая  $\Delta T_2$  представляет собой радиояркий контраст объекта и фона, полученный из основного уравнения дальности радиолокационного обнаружения [3] и зависит от мощности источника подсветки  $P_t$ , высоты (дальности) подсветки ИСПП ( $R_t = H_t \cdot \sec \theta$ ), дальности обнаружения РМ приемником системы обнаружения  $R_r$ , и от определенных значений других величин, входящих в уравнение дальности радиолокационного обнаружения (эффективной поверхности рассеяния объекта и фона ( $\Delta \sigma$ ), параметров антенн, передатчика и приемника, затухания в атмосфере).

Активная составляющая является величиной положительной и при определенной величине мощности ИСПП, на определенной высоте подсветки может сравняться по величине с пассивной составляющей, что приведет к снижению величины суммарного радиояркого контраста «объект – фон» (в пределе до нуля) на входе собственного РМ приемника, и со-

ответственно на входе РМ приемника системы обнаружения.

Выражение для суммарного радиояркого контраста, полученное в работах [2,4], запишем следующим образом:

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

В данном выражении  $S(\theta, \alpha)$  это площадь обнаруживаемого наземного объекта в зависимости от углов визирования РМ системой обнаружения, по углу места  $\theta$  и азимута  $\alpha$ .

Выражение для площади объекта  $S(\theta, \alpha)$  имеет следующий вид [4]:

$$S(\theta, \alpha) = S_B \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha + S_G \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha + S_B \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha + S_{л(3)} \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha = 25 \cdot \cos \theta \cdot \cos \alpha + 17 \cdot \sin \theta \cdot \cos \alpha + 25 \cdot \cos \theta \cdot \sin \alpha + 9 \cdot \sin \theta \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

В выражении (3) введены обозначения:  $S_B, S_G, S_{л(3)}$  – площади, соответственно, верхней, боковой и лобовой (задней) поверхности обнаруживаемого наземного объекта.

Расчеты проведены для следующих значений входящих в формулу (2) величин. Коэффициент направленного действия (КНД) антенны источника подсветки  $G_t$  выбирается с тем условием, чтобы источник подсветки облучал всю сцену «объект плюс фон», например, рупорная антенна с КНД  $G_t = 173$ . КНД антенны РМ приемника  $G_r \approx 10^4$ , что характерно для параболической антенны диаметром  $d = 200$  мм на длине волны  $\lambda = 3,2$  мм («окно прозрачности» атмосферы). Разность ЭПР объекта с металлическим покрытием и фона земной поверхности, согласно положений работы [5], выбрана равной  $\Delta \sigma = 10 \text{ м}^2$ . Полоса пропускания типичного РМ приемника выбрана равной  $\Delta f = 10^9$  Гц. Широкополосная (в той же полосе частот) шумовая подсветка осуществляется с высоты  $H_t = 1000$  м. В формуле (2) дальность подсветки  $R_t$  заменяется высотой  $R_t = H_t \cdot \sec \theta$ . Для случая вертикальной подсветки угол места  $\theta = 0^0$ .

Для упрощения расчетов принято, что обнаружение объекта осуществляется в условиях «чистой» без-

облачной атмосферы  $K(R) = K(2R) \approx 1$ , а РМ приемники являются приемниками компенсационного типа.

На рис.1 приведены результаты расчетов величины радиояркого контраста от дальности обнаружения  $\Delta T = f(R)$ . Расчеты проведены для случая вертикальной подсветки и вертикального визирования объекта в процессе его обнаружения РМ системой обнаружения противника  $\theta = 0^0$ , а также для бокового ракурса обзора сцены «объект – фон», когда угол визирования по азимуту  $\alpha = 0^0$ . При этом объект представляется в виде плоской фигуры с площадью верхней поверхности  $S_B = 25 \text{ м}^2$  (крыша автомобиля).

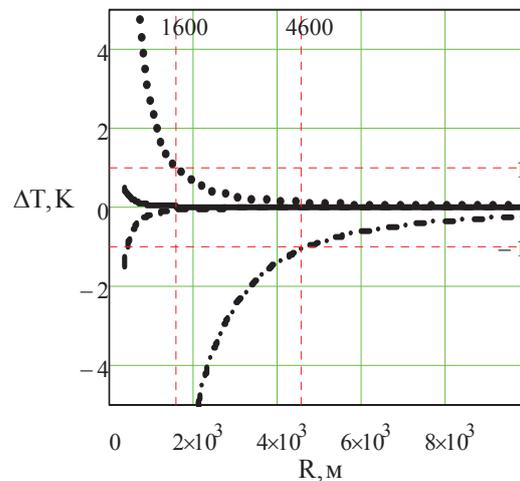


Рис.1. Зависимость  $\Delta T = f(R)$

На рис.1 нижняя (штрихпунктирная) кривая соответствует зависимости величины радиояркого контраста от дальности обнаружения для пассивной РМ системы, т.е. характеризует пассивную составляющую в выражении (1). При этом дальность обнаружения объекта, например, с контрастом более  $\Delta T_1 \geq 1$  составляет величину  $R \leq 4600$  м.

Верхняя (пунктирная) кривая соответствуют преобладанию активной радиолокационной составляющей  $\Delta T_2$  над пассивной радиометрической  $\Delta T_1$ . Данная зависимость получена для мощности подсветки  $P_t = 1$  Вт. При этом дальность обнаружения составляет  $R \leq 1600$  м. Повышение мощности подсветки  $P_t \geq 1$  Вт приведет к тому, что зависимость  $\Delta T = f(R)$  будет располагаться правее пунктирной кривой и дальность обнаружения наземного объекта будет увеличиваться.

Рассматриваемый в данной статье случай представляют средние кривые (сплошная и пунктирная). Данные кривые получены при мощности подсветки  $P_t = 0,9$  Вт (сплошная) и  $P_t = 0,89$  Вт (пунктирная).

При этом величина радиояркостного контраста близка к нулю  $\Delta T \approx 0$  К на любой дальности обнаружения объекта, вплоть до минимальной дальности  $R_{\min} \leq 355$  м, когда работает ограничение по величине коэффициента заполнения луча ДНА площадью визируемого (обнаруживаемого) объекта, то есть когда  $Q \leq 1$ . При оценке радиояркостного контраста  $\Delta T_1$  следует ограничиваться дальностью  $R_{\min}$  для объекта с указанными размерами ( $S_B = 25 \text{ м}^2$ ).

Таким образом, имеет место выравнивание радиояркостных температур объекта с большим коэффициентом отражения радиосигнала и фона земной поверхности с большим коэффициентом излучения собственного шумового сигнала, за счет применения шумовой подсветки требуемой мощности, на определенной высоте. Это позволяет снизить радиояркостный контраст «объект – фон» до малой величины, практически до нуля, что уменьшает дальность обнаружения объекта и существенно снижает вероятность обнаружения.

Требуемый малый уровень контраста должен контролироваться радиометрическим датчиком, для этого по цепи обратной связи должна поддерживаться требуемая мощность источника собственной шумовой подсветки на заданной высоте расположения ИСПП.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод активной защиты малоразмерных наземных объектов от пассивных радиометрических систем обнаружения.

Следствием применения рассматриваемого метода является снижение дальности обнаружения подвижного малоразмерного наземного объекта пассивной радиометрической системой обнаружения миллиметрового диапазона.

Аналитические выражения (1) – (3) могут быть проанализированы для углов места  $\theta$  и азимута  $\alpha$ , отличных от нуля. Это позволит скорректировать значение мощности подсветки для достижения малого (нулевого) контраста «объект – фон» на входе РМ приемника системы обнаружения, что сохранит малую дальность обнаружения малоразмерного наземного объекта пассивной радиометрической системой обнаружения.

#### Литература

- [1] *Осиновий Г.Г.* Модель защиты малоразмерных наземных объектов от радиометрических пассивно-активных систем обнаружения / Г.Г. Осиновий, В.Н. Быков // Харків: «Радіоелектронні і комп'ютерні системи», науково-технічний журнал, ХАІ, 2017. – № 1(81). – С.107–112.
- [2] Матричные радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов: Монография [Текст] / В.И. Антюфеев, В.Н. Быков, А.М. Гричанюк, Д.Д. Иванченко, Н.Н. Колчигин, В.А. Краюшкин, А.М. Сотников. – Х.: Изд-во ООО «Щедрая усадьба плюс», 2014. – 372 с.

- [3] *Skolnik, M. I.* Radar Handbook, 3rd Edition / McGraw-Hill Professional, 2014. – 1352 p.
- [4] Assessing the effectiveness of the protection of small ground objects from passive-active radiometric detection systems [Text] / V.N. Bykov, N.N. Kolchigin, G.G. Osinovy, T.D. Berezhnaya // Applied Radio Electronics, Scientific and Technical Journal, 2016. – Volume 15. – № 1. – P. 45 – 50.
- [5] Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография [Текст] / 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 редколлегию 20.06.2017



**Быков Виктор Николаевич** – д-р техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник, профессор кафедры теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков. Круг научных интересов: радиотеплолокация, системы навигации летательных аппаратов, дистанционное зондирование Земли, цифровая обработка изображений.



**Быков Сергей Николаевич** – научный сотрудник, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков. Круг научных интересов: системы навигации летательных аппаратов, дистанционное зондирование Земли.



**Колчигин Николай Николаевич** – д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой теоретической радиофизики, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков. Круг научных интересов: исследование характеристик рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы, взаимодействие сверхкоротких импульсов со сложными объектами, разработка и моделирование антенн для импульсных и широкополосных сигналов.



**Лотох Николай Георгиевич** – канд. техн. наук, с.н.с., ФЛП «Лотох». Круг научных интересов: радиотеплолокация, дистанционное зондирование Земли, цифровая обработка изображений.



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

УДК 621.396.96

**Метод активного захисту малорозмірних наземних об'єктів від пасивних радіометричних систем виявлення** / В.М. Быков, С.М. Быков, М.М.Колчигін, М.Г. Лотох, Г.Г. Осинувий // Прикладна радіоелектроніка: наук. – техн. журнал. – 2017. – Том 16, № 1, 2. – С. 13 – 17.

На основі розробленої моделі захисту малорозмірних наземних об'єктів від радіометричних пасивно-активних систем виявлення запропоновано метод активного захисту об'єктів від пасивних радіометричних систем. Суть методу полягає у вирівнюванні температур радіояскравості об'єкта і фону, тобто у зведенні до мінімуму контрасту «об'єкт – фон», на вході радіометричного приймача радіометричної системи виявлення, за рахунок особистого підсвічування об'єкта широкосмуговим шумовим випромінюванням. Застосування методу знижує ймовірність та дальність виявлення наземного об'єкта пасивними радіометричними системами виявлення.

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

Л.: 01. Бібліогр.: 05 найм.

UDC 621.396.96

**The method of active protection of small-scale ground objects from passive radiometric detection systems** / V.N. Bykov, S.N. Bykov, N.N. Kolchigin, N.G. Lotoh, G.G. Osinovy // Applied Radio Electronics: Sci. Journal. – 2017. – Vol. 16, № 1, 2. – P. 13 – 17.

On the basis of the developed model of protecting small-scale ground objects from radiometric passive-active detection systems a method of active protection of objects from passive radiometric systems is proposed. The method consists in equalizing the radio brightness temperatures of the object and the background, that is, minimizing the object-background contrast, at the input of a radiometric receiver of a radiometric observer system, due to the intrinsic illumination of the object by broadband noise radiation. A application of this method reduces the probability and range of detection of a ground object by passive radiometric detection systems.

*Keywords:* aircraft, ground small-sized object, passive radiometric system, millimeter range, the noise lighting.

Fig.: 01. Ref.: 05 items.