

УДК 621.396

А.Н. Зубков<sup>1</sup>, В.А. Юнда<sup>1</sup>, И.З. Залуцкая<sup>2</sup>, А.П. Коленников<sup>3</sup><sup>1</sup> Академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, г. Львов,<sup>2</sup> Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов,<sup>3</sup> Командование Сухопутных войск, Киев

## САМОНАВЕДЕНИЕ РАКЕТЫ НА НАЗЕМНУЮ ЦЕЛЬ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ЦЕЛЕФОНОВОМ КОНТРАСТЕ

В статье представлено решение задачи самонаведения ракеты на наземную цель при знакопеременном целефононом контрасте на основе координатора цели, реализующего метод мультиспектральной обработки локационной информации.

**Ключевые слова:** самонаведение, целефоновый контраст, координатор цели, радиолокационный канал, тепловой канал.

### Постановка задачи

Метод автономного самонаведения ракеты реализует потенциальные точности попадания в цель [1]. В подавляющем большинстве случаев физическим источником информации о цели для формирования команд самонаведения ракеты являются поля различных участков спектра электромагнитных волн (ЭМВ), рассеянные или излученные целью. При этом при наведении на наземную цель этим полям сопутствуют поля, рассеянные или излученные участками местности, окружающими цель (фоном). Независимо от используемого участка спектра ЭМВ основные характеристики канала самонаведения ракеты (дальность, точность, динамика) определяются положительными энергетическими соотношениями полей цели и фона (целефоновым контрастом), воспринимаемых головкой самонаведения (ГСН) ракеты. Целефоновый контраст является функцией электродинамических характеристик материала формирующей поверхности (конструкции) цели, а также трассы распространения ЭМВ в приземном слое атмосферы на участке «ракета-цель».

Поэтому актуальным является поиск методов и способов самонаведения ракет на наземные цели в динамично меняющейся боевой обстановке, определяемой величиной и знаком целефонового контраста.

### Анализ предыдущих исследований и публикаций

Известны методы самонаведения ракет на наземные (надводные) цели, основанные на сравнительном анализе эхо-сигналов цели и окружающего фона в инфракрасном и радиодиапазонах [2,3]. Однако, при реализации этих методов дальность

действия канала самонаведения зависит от электродинамических характеристик материала конструкции цели. Так, в радиодиапазоне величина положительного энергетического контраста цели на фоне отражений от окружающей местности повышается с увеличением отражающих характеристик конструкции цели. При этом снижение отражающих свойств цели, например, путем маскировки ее радиопоглощающими покрытиями, снижает радиолокационный контраст, вплоть до изменения его знака. С другой стороны, в инфракрасном диапазоне величина положительного теплового контраста возрастает с увеличением поглощающих свойств конструкции цели. При этом улучшение отражающих характеристик цели, наоборот, снижает тепловой энергетический контраст, вплоть до изменения его знака.

### Формулирование цели статьи

Обоснование метода самонаведения ракеты на наземную цель, инвариантного к знаку целефонового контраста.

### Основная часть

Физическими факторами, определяющими мощность сигналов цели и фона на входе ГСН, являются электродинамические свойства материала конструкции цели и участков местности, непосредственно примыкающих к цели:

- электропроводимость;
- диэлектрическая проницаемость;
- комплексный коэффициент потерь [4].

Кроме того, энергетика сигналов цели и фона в существенной мере определяется:

- траекторией полета ракеты на участке самонаведения, от которой зависят углы визирования цели и местности;

- затуханиями ЭМВ, отраженных или излученных целью на трассе «ракета-цель».

Указанные факторы и степень их влияния на целефоновую обстановку отличаются резкой дисперсностью (зависимость от частоты ЭМВ).

В дальнейшем, независимо от используемого участка спектра ЭМВ, под целефоновым контрастом будем понимать отношение

$$\mathfrak{E} = \frac{P_u}{P_\phi}, \quad (1)$$

где  $P_u, P_\phi$  – мощность сигнала цели и сигнала фона на входе ГСН, соответственно.

Рельеф элементов конструкции цели и окружающей цель местности определяет характер рассеяния ЭМВ согласно рэлеевскому критерию гладкости поверхности:

- при  $\alpha_{cp} \geq \frac{\lambda}{16}$  – диффузное рассеяние; (2)

- при  $\alpha_{cp} < \frac{\lambda}{16}$  – зеркальное рассеяние. (3)

Здесь  $\alpha_{cp}$  – среднестатистическое значение высоты рельефа,  $\lambda$  – длина волны. Следует отметить, что указанный критерий определяет также характер теплового излучения нагретых ( $T^0 > 0^0 K$ ) объектов [5].

В практике локации наземных целей на фоне окружающей местности в подавляющем большинстве случаев имеет место диффузный характер формирования принимаемых ГСН сигналов.

В активном радиолокационном канале самонаведения энергетика эхо-сигнала цели определяется эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР) цели [4]

$$\sigma_u = 4\pi r_u^2 \frac{P_2}{P_1} [m^2], \quad (4)$$

где  $P_1$  – плотность потока мощности зондирующего сигнала у цели,  $P_2$  – плотность потока мощности отраженного от цели сигнала на входе ГСН,  $r_u$  – расстояние «ракета-цель».

Для целей сложной геометрической формы ЭПР в значительной мере зависит от ракурса полета ракеты. Причиной является интерференция полей, рассеянных различными участками формообразующей поверхности цели [6]. Однако, при энергетических расчетах вводят понятие средний ЭПР  $\bar{\sigma}_u$ . При этом для любой цели

$$\bar{\sigma}_u = A \cdot S_u, \quad (5)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности, связанный с отражающими свойствами материала конструкции,  $S_u$  – геометрическая площадь проекции цели на «картинную плоскость» (плоскость перпендикулярную линии визирования цели – ЛВЦ). Физическими источниками фона в радиолокационном канале являются отражения от травяного покрова, пашни, кустарника, леса. В составе этих отражений невозможно выделить отдельные элементы. Располагаясь случайным образом, они создают рассеянное поле ЭМВ. Однако и в этом случае энергетика фонового сигнала может быть оценена через ЭПР. Для импульсных зондирующих сигналов средняя ЭПР фона может быть определена [4]

$$\bar{\sigma}_\phi = \left( \frac{\rho r_u \Delta\theta_\alpha c \tau_u}{2} \right) t g \varepsilon, \quad (6)$$

где  $\rho$  – коэффициент отражения от местности,  $\Delta\theta_\alpha$  – ширина основного лепестка диаграммы направленности антенны (ДНА) ГСН в курсовой плоскости наведения,  $c$  – скорость света,  $\tau_u$  – длительность зондирующего импульса,  $\varepsilon$  – тангажный угол наведения (дальность и углы наведения в связанной с ракетой системе координат). Тогда выражение для целефонового контраста (1) в радиолокационном канале может быть модифицировано

$$\mathfrak{E}_{pl} = \frac{\bar{\sigma}_u}{\bar{\sigma}_\phi} = f(\rho, r_u, \varepsilon). \quad (7)$$

Для теплового канала энергетика сигнала цели определяется яркостью [5]

$$B_f = \frac{dP_f}{d\Omega} [Bm/m^2 Гц ср], \quad (8)$$

где  $P_f$  – спектральная плотность потока мощности теплового излучения проекции цели на «картинную плоскость» под углом  $\gamma$  к нормали,  $\Omega$  – телесный угол проекции цели на «картинную плоскость». Для умеренных температур, характерных для наблюдения наземных объектов, в области частот инфракрасного и радиодиапазонов справедлива формула Релея-Джинса [5]

$$B_f = 2kT / \lambda^2, \quad (9)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  – постоянная Больцмана,  $T$  – термодинамическая температура цели.

В реальных материальных объектах тепловое излучение, связанное с хаотическим движением «свободных» электронов в теле объекта, частично отражается от его поверхности и переходит назад в тепло.

Поэтому в выражении (9) вместо термодинамической (действительной) температуры  $T$  необходимо использовать кажущуюся (яркостную или радиояркостную) температуру  $T_y(T)$ , которая согласно закону Кирхгофа пропорциональна термодинамической

$$T_y = \nu T, \quad (10)$$

где  $\nu$  – коэффициент поглощения материала конструкции цели. Для теплового канала по аналогии с (5) можно записать

$$B_f = B \cdot S_y, \quad (11)$$

где  $B$  – коэффициент пропорциональности, связанный с поглощающими свойствами материала конструкции цели.

Известна фундаментальная зависимость

$$\nu = 1 - \rho, \quad (12)$$

с другой стороны, в любом участке спектра ЭМВ имеют место закономерности:

- металлосодержащие и электропроводящие поверхности имеют высокий коэффициент отражения  $\rho \gg \nu$ ;

- диэлектрические и полупроводниковые поверхности, наоборот, имеют высокий коэффициент поглощения  $\nu \gg \rho$ .

Это обстоятельство с учетом выражений (5) и (11) позволяет рассматривать активные радиолокационные изображения и тепловые как «позитив» и «негатив», соответственно.

Это означает, что при одинаковых условиях локационного наблюдения наземные объекты на диэлектрическом фоне в радиолокационном канале будут иметь положительный целефонный контраст, а в тепловом канале отрицательный и, наоборот, с возрастанием поглощающих свойств материала формирующей поверхности цели в тепловом канале образуется положительный целефонный контраст.

Это иллюстрирует таблица 1.

Влияние параметров приземного слоя атмосферы на характеристики ГСН может быть

определен через «коэффициенты прозрачности» для соответствующего участка спектра ЭМВ  $k_A$ :

- в тепловом канале

$$P_{np} = f(r_y, k_A) \cdot P_{изл}, \quad (13)$$

- в радиолокационном канале

$$P_{np} = f(2r_y, k_A) \cdot P_{омп}. \quad (14)$$

где  $P_{np}$  – мощность сигнала цели на входе ГСН,  $P_{изл}$  – мощность излученного теплового сигнала,  $P_{омп}$  – мощность эхо-сигнала.

В таблице 2 на уровнях преимуществ и недостатков представлены характеристики теплового и радиолокационного каналов самонаведения.

Исходя из вышеизложенного, единственным эффективным путем обеспечения инвариантности характеристик контура самонаведения ракеты к знаку целефонного контраста является применение мультиспектральной ГСН, координатор цели (КЦ) которой содержит, по крайней мере, два парциальных спектральных канала – радиолокационный и тепловой [7]. При этом необходимо решить ключевую схемоконструкторскую задачу – обеспечение взаимосюстированной в пространстве и взаимосинхронной во времени работы парциальных спектральных каналов. Последнее может быть достигнуто только на основе единой электродинамической схемы диаграммообразования. Такая схема отработана в [8]. С учетом сказанного общая структурная схема КЦ, нечувствительного к знаку целефонного контраста представлена на рис. 1 в одной плоскости наведения. Она содержит единое диаграммообразующее устройство 1 радиолокационного (РЛ) и теплового (Т) парциальных каналов, приемопередатчик РЛ канала 2, приемник Т канала 3, пеленгаторы РЛ и Т каналов 4,5, соответственно, блок формирования мультиспектральной оценки 6, анализатор целефонного контраста 7 и блок формирования весовых коэффициентов 8. Алгоритм работы блока формирования мультиспектральной оценки 6

$$\hat{\alpha} = G_{РЛ} \hat{\alpha}_{РЛ} + G_T \hat{\alpha}_T, \quad (15)$$

где  $\hat{\alpha}_{РЛ}, \hat{\alpha}_T$  – парциальные оценки угловой координаты цели,  $G_{РЛ}, G_T \in 0,1$  – весовые коэффициенты, формируемые в блоке 8 на основании анализа целефонного контраста. Алгоритм работы и схема анализатора целефонного контраста рассмотрены в [9].

Таблиця 1

## Локационный энергетический целефоновой контраст

Тип канала самонаведения	Материал конструкции цели	Знак целефонового контраста на однородном и изотропном земном фоне
Активный радиолокационный	Отражающий	Положительный
	Поглощающий	Отрицательный
Тепловой (радиотепловой)	Отражающий	Отрицательный
	Поглощающий	Положительный

Таблиця 2

## Характеристики теплового и радиолокационного каналов самонаведения

Тип канала	Тепловой	Радиолокационный
Преимущества	Ночной Высокие угловые разрешающие способности и точности Малые габариты и вес аппаратуры	Ночной и всепогодный Устойчивый к помехам поля боя (пыль, дым, аэрозоли) Наивысшая дальность действия Дальностная и доплеровская разрешающие способности Широкое мгновенное «поле зрения»
Недостатки	Яснопогодный Малая дальность действия Отсутствие дальностного и доплеровского разрешения Узкое мгновенное «поле зрения»	Малое угловое разрешение Сравнительно высокие габариты и вес аппаратуры

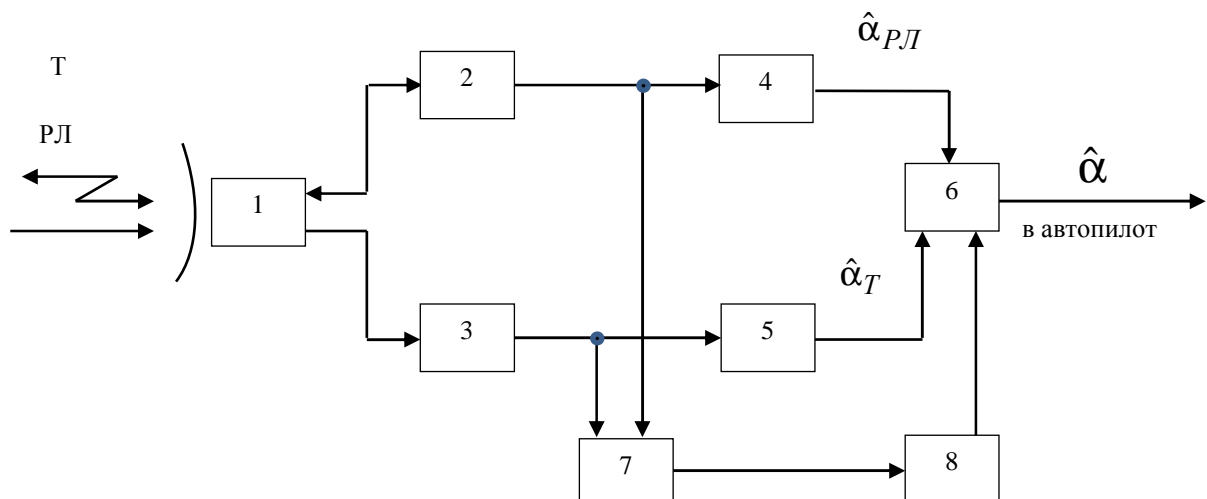


Рис. 1. Общая структурная схема КС, нечувствительного к знаку целефоновой контраста

## Выводы

1. Инвариантность характеристик самонаведения ракеты на наземную цель к знаку целефонового контраста обеспечивается путем применения параллельной мультиспектральной обработки сигналов цели в радиолокационном и тепловом каналах по разработанному адаптивному алгоритму.

2. Все элементы разработанного мультиспектрального координатора цели ГСН ракеты допускают сравнительно простую техническую реализацию.

## Список литературы

1. Марисов В.И. *Управляемые снаряды* / В.И. Марисов, И.К. Кучеров. – М.: Военное издательство, 1959.
2. Куркоткин В.И. *Самонаведение ракет* / В.И. Куркоткин, В.Л. Стерлигов. – М.: Военное издательство, 1990.
3. *Современные требования к многоспектральным автоматам сопровождения целей для систем высокоточного оружия и возможные пути их реализации* / А.В. Авласенок, Е.Г. Плексеев, С.П. Литвинов, Ф.Л. Савицкий // *Радиоэлектроника*. – 2008. – №6. – с. 54-60.
4. *Радиолокационные методы исследования Земли* / Мельник Ю.А., Зубкович С.Г., Степаненко В.Д. и др. // [Под ред. Ю.А. Мельника]. – М.: Сов. Радио, 1980.

5. Криксунов Л.З. *Тепловизоры. Справочник* / Л.З. Криксунов, П.А. Падалко. – Киев: Техника, 1987.

6. *Островитянов Р.В., Басалов Ф.А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей* / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов. – М.: Радио и связь, 1982.

7. Зубков А.Н. *Интеграция парциальных спектральных каналов координатора как способ повышения точности и помехозащищенности* / А.Н. Зубков, С.А. Мартыненко // *Системы управління, навігації та зв'язку*. – 2008. – Вип. 4(8). – с. 32-33.

8. Патент 70868А Україна, МПК G01P11/00, G01S13/00. *Спосіб дистанційного моніторингу земної поверхні та інтегрована система для його реалізації* / А.М. Зубков, І.Н. Прудіус, Л.М. Смеркло (Україна). – №2003123144; Заявлено 30.12.2003. – Опубл. 15.10.2004. – Бюл. №10.

9. Зубков А.Н. *Многоспектральная адаптивная система локационного мониторинга* / А.Н. Зубков, А.В. Дьяков, С.А. Мартыненко, А.П. Красюк // *Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник*. – ХНУРЕ: МО и Н Украины, ХНУРЕ. – 2011. – №164. – с. 30-34.

**Рецензент:** к.т.н., доц. Р.В. Сергиенко, Академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, г. Львів.

## САМОНАВЕДЕННЯ РАКЕТИ НА НАЗЕМНУ ЦІЛЬ ПРИ ЗНАКОЗМІННОМУ ЦІЛЬОФОНОВОМУ КОНТРАСТІ

А.М. Зубков, В.А. Юнда, І.З. Залуцька, А.П. Коленников

У статті представлено рішення задачі самонаведення ракети на наземну ціль при знакозмінному цілефоновому контрасті на основі координатора цілі, що реалізує метод мультиспектрального відпрацювання локаційної інформації.

**Ключові слова:** самонаведення, цілефоновий контраст, координатор цілі, радіолокаційний канал, тепловий канал.

## THE SELF-GUIDED MISSILES TO THE GROUND TARGET AT ALTERNATING SIGN OF THE TARGET AND BACKGROUND CONTRAST

A.Zubkov, V.Yunda, I.Zalutskaya, A.Kolennikov

The main idea of the article is a solution to the problem of the self-guided missiles to the ground target at alternating sign of the target and background contrast based on the objective coordinator that implements the method of multi-spectral processing radar information.

**Key words:** self-guided, the target and background contrast, the objective coordinator, radar channel, thermal channel.