

УДК 629.7.058.53

**Method of Protecting Small Objects by Rockets
on Near the Frontiers in Air and Space Defence System
that Uses Special Measuring Range on the Basis
of the Analysis the Frequency Deviation
of the Received Signals**

Igor V. Lyutikov* and Valery V. Zamaraev
Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Received 03.09.2018, received in revised form 12.10.2018, accepted 01.03.2019

The article deals with the method of protection of small objects in the interests of air and space defence system through the use of spaced information subsystem using a special frequency range meter based on the analysis of the frequency deviation of the received signals reflected from guided missiles at near borders.

Keywords: aerospace, defence, pulse-Doppler, detection of signals, the frequency deviation.

Citation: Lyutikov I.V., Zamaraev V.V. Method of protecting small objects by rockets on near the frontiers in air and space defence system that uses special measuring range on the basis of the analysis the frequency deviation of the received signals, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2019, 12(6), 719-723. DOI: 10.17516/1999-494X-0171.

**Метод защиты малоразмерных объектов от ракет
на ближних рубежах в системе ВКО, использующий
специальный измеритель дальности на основе анализа
девиации частоты принимаемых сигналов**

И.В. Лютиков, В.В. Замараев
Сибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

В статье рассматривается метод защиты малоразмерных объектов в интересах ВКО за счет использования разнесенной в пространстве информационной подсистемы, использующей

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: lyutikovigor@mail.ru

специальный частотный измеритель дальности на основе анализа девиации частоты принимаемых сигналов, отраженных от наводимых ракет на ближних рубежах.

Ключевые слова: воздушно-космическая оборона, импульсно-доплеровская, обнаружение сигналов, девиация частоты.

Введение

Малоразмерные объекты, которые подлежат защите средствами ВКО (ПВО), достаточно важные объекты: КП различного уровня, административные центры, объекты экономики (например, АЭС), объекты стратегических ядерных сил. Все эти объекты могут быть атакованы различными видами средств нападения (БР, СКР, космическими ударными силами и т.д.). Строить оборону под каждый вид средств нападения достаточно дорого. При этом при любых вариантах построения обороны она получается многоэшелонной. Очень важно, чтобы последний этап обороны обладал достаточной эффективностью решения задачи сохранения объекта (а не «МОЖ» – математического ожидания числа уничтоженных целей). Кроме этих объектов к точечным объектам, на которые распространяется данный способ, могут быть отнесены и сами средства ПВО (в том числе, например, истребитель-перехватчик).

При решении задачи сохранения объекта обороняющаяся сторона может использовать тот факт, что траектория ракет направлена на объект. Это позволяет расположить средства обороны у объекта, уничтожать средства нападения у объекта, использовать высокоточные средства (типа лазерная РЛС, РЛС миллиметрового диапазона волн), иметь малоразмерные противоракеты. Малые дальности поражения дают возможность использовать частотные методы [1] измерения координат.

Целью работы является повышение эффективности решения задачи сохранения точечных объектов при ударе по ним различными средствами нападения за счет создания многоэшелонной системы обороны. При этом последний эшелон защиты создается непосредственно у объекта, а в его составе используются высокоточные малогабаритные средства перехвата, применяются специальные методы обработки информации, учитывающие особенности действия средств нападения у объекта удара.

Методология исследования

Физические предпосылки, используемые при построении системы:

1. На конечном участке траектории полета ударных средств (порядка единиц км) траектория полета средства нападения близка к прямолинейной.
2. В измерителях системы обороны появляется возможность измерения дальности до цели частотными методами.
3. Вопрос энергетики принимаемого сигнала не стоит так остро, поэтому можно использовать неоптимальные методы обработки.
4. Из-за малой дальности перехвата и больших (для некоторых типов целей) скоростей применение стандартных радиовзрывателей затруднено. В качестве основного вида взрывателя предлагается рассмотреть дистанционный взрыватель (взрыв боеприпаса осуществляется перед целью).

5. Сами средства перехвата (противоракеты) относительно небольшие и в конечном итоге предполагаются относительно недорогими.

Основные математические соотношения

В соответствии с [1, 2] на малых дальностях цели (R) тангенциальная составляющая скорости цели (v_t) относительно средства наблюдения приводит к появлению частотной девиации доплеровской частоты (f) наблюдаемого сигнала.

$$\frac{df}{dt} = \frac{v_t^2}{R\lambda}, \quad (1)$$

где λ – длина волны, м.

Откуда

$$df = \frac{v_t^2}{R\lambda} dt. \quad (2)$$

При малых ошибках наведения ($v_t \sim 0$). Поэтому измерить дальность в этом случае не представляется возможным. Создадим «кажущееся» тангенциальное движение, введя на противоракете второй приемный канал, смещенный поперек продольной оси противоракеты на расстояние ΔR .

Для этого канала

$$v_t = \frac{\Delta R}{R} v. \quad (3)$$

В этом случае (1) примет вид

$$\frac{df}{dt} = \frac{\Delta R^2 v^2}{R^3 \lambda}, \quad (4)$$

или

$$R^3 = \frac{\Delta R^2 v^2}{\frac{df}{dt} \lambda}. \quad (5)$$

Теперь у нас появилась возможность оценить дальность от противоракеты до цели, имея значения ширины спектра сигнала (f_2, f_1) на интервале времени наблюдения (t_1, t_2). Для оценки ширины спектра в зависимости от свойств сигнала и возможностей по обработке могут использоваться различные методы.

Оптимальный метод – согласованная фильтрация. Поскольку принимаемый сигнал (по крайней мере, в идеале) – это ЛЧМ-сигнал, то оптимальный приемник – согласованный фильтр (требуется поиск оптимальных параметров фильтра). В качестве альтернативного способа (наиболее простая реализация) – частотный анализатор.

Общий замысел построения системы перехвата целей на ближних рубежах (для малоразмерных объектов)

Информационная подсистема – подсистема, разнесенная в пространстве.

Передающая позиция – подвижная (круговое движение вокруг объекта обороны и движение в угломестной плоскости) платформа с лазерным локатором. Управляется по данным целеуказания от передовых эшелонов (должна быть обеспечена ориентация сектора обзора локатора к моменту входа цели в зону обнаружения). Дальность обнаружения около 10 км.

Приемные позиции расположены на противоракетах. Каждая приемная позиция состоит из пары приемных каналов, смещенных в пространстве. Противоракеты размещены по кругу в управляемых контейнерах. Предварительная ориентация контейнеров производится аналогично тому, как ориентируется передающая позиция, т.е. к моменту пуска передатчика и приемники «смотрят» на цель. Приемные позиции измеряют дальность до цели.

После пуска противоракеты осуществляют наведение методом «погоня» [2, 3], движение осуществляется на встречных курсах с целью. Основная задача противоракеты – определить момент подрыва БЧ. Для этого на противоракете измеряется дальность до цели и оценивается положение и размеры зоны поражения. Образно говоря, на противоракете формируется «сачок», в который должна попасть цель.

Оценка возможностей метода по перехвату целей

Использование лазерного локатора (или миллиметрового) гарантирует высокую вероятность перехвата цели по угловым координатам. Поэтому основной вопрос – оценка возможности обеспечения своевременного подрыва боевой части (БЧ).

Оценим ошибки в измерении расстояния σ_R между перехватчиком и целью. Из (4) следует, что среднеквадратическая ошибка измерения расстояния между целью и перехватчиком (за время когерентного накопления $t_{кн}$) равна

$$\sigma_R = \sqrt{2}/3 \frac{\lambda}{\Delta t_{кн} \left(\frac{v}{R}\right)^2 \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \sigma_f. \quad (6)$$

Результаты оценки ошибок как функция расстояния между целью и приемной антенной представлены на рис. 1, 2 (параметрами являются λ , ΔR).

Выводы

1. Лазерный локатор при реализации предложенного метода обеспечивает надежный перехват и управляемый подрыв на любых дальностях до цели (в рассмотренных условиях).
2. При работе в инфракрасном диапазоне управляемый подрыв возможен при увеличении времени когерентного накопления до 0.1 с.

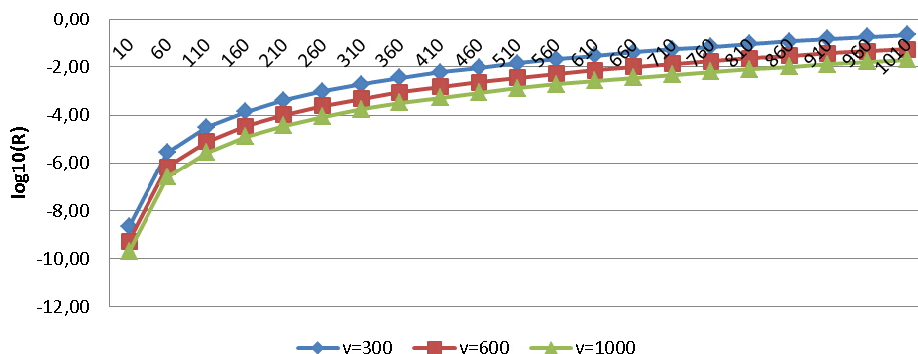


Рис. 1. Зависимость σ_R от расстояния между целью и противоракетой при $\lambda = 10^{-14}$, $t_{кн} = 0,01$, $\Delta R = 0,05$

Fig. 1. Dependence σ_R on the distance between the target and the missile, by $\lambda = 10^{-14}$, $t_{кн} = 0,01$, $\Delta R = 0,05$

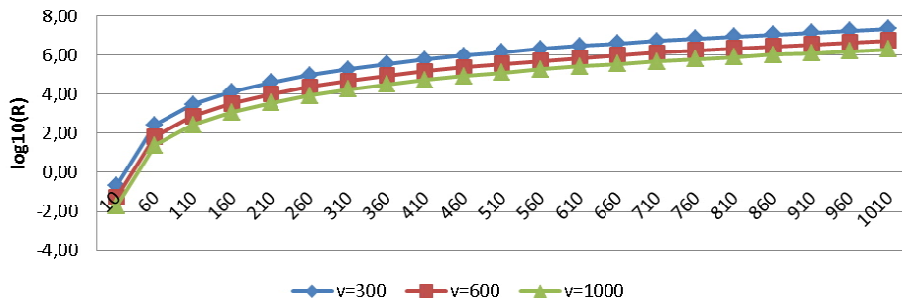


Рис. 2. Зависимость σ_R от расстояния между целью и противоракетой при $\lambda = 10^{-10}$, $t_{ки} = 0,01$, $\Delta R = 0,05$

Fig. 2. Dependence σ_R on the distance between the target and the missile, by $\lambda = 10^{-10}$, $t_{ки} = 0,01$, $\Delta R = 0,05$

3. В мм-диапазоне управляемый подрыв эффективен в небольшом диапазоне условий и выборе специальных технических решений.

Список литературы

[1] Ширман Я.Д., Багдасарян С.Т., Маляренко А.С., Леховицкий Д.И., Лещенко С.П., Лосев Ю.И., Николаев А.И., Горшков С.А., Москвитин С.В., Орленко В.М. *Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория*, Москва: Радиотехника, 2007, 512 с. [Shirman Ya.D., Bagdasaryan S.T., Malyarenko A.S., Lexoviczkij D.I., Leshhenko S.P., Losev Yu.I., Nikolaev A.I., Gorshkov S.A., Moskvitin S.V., Orlenko V.M., *Radioelectronic systems: bases of construction and theory, Moscow, Radiotekhnika, 2007, 512 p. (in Russian)*].

[2] Замаараев В.В., Шайдулов Г.Я., Лютиков И.В., Копылов В.А. Сеточный метода коллективного наведения и управляемого целераспределения группы ракет на основе анализа девиации частоты принимаемого головками самонаведения сигнала в интересах эффективной атаки групповой воздушной цели. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*, 2015, 8(8), 1103-1116 [Zamaraev V.V., Shajdurov G.Ya., Lyutikov I.V., Kopylov V.A., Grid method of collective guidance and controlled target distribution of a group of missiles based on the analysis of the deviation of the frequency of the homing signal received by the heads in the interests of an effective attack of the group air target, *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.*, 2015, 8(8), 1103-1116 (in Russian)].

[3] Богданов А.В., Филонов А.А., Ковалев А.А., Кучин А.А., Лютиков И.В. *Методы самонаведения истребителей и ракет класса «воздух-воздух» на групповую воздушную цель*. Красноярск, 2014, 168 с. [Bogdanov A.V., Filonov A.A., Kovalev A.A., Kuchin A.A., Lyutikov I.V., *Methods of homing fighters and missiles «air-to-air» group air target, Krasnoyarsk, 2014, 168 p. (in Russian)*].