УДК 551.515:533.66

АКТИВНОЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ОБНАРУЖЕНИЮ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ НА АКТИВНОМ УЧАСТКЕ ТРАЕКТОРИИ РЛС МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

Г.В. Ершов, А.Р. Мурлага

АО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМ. АКАДЕМИКА А.И. БЕРГА»

В работе предложен способ защиты высокоскоростного объекта на активном участке траектории, заключающийся в исключении его наблюдения радиолокационной станцией за счет использования парашютируемых станций активных помех. Определены параметры системы парашютируемых станций активных помех для решения поставленной задачи с учетом потерь мощности помехового сигнала на границе раздела двух сред воздух/дождь, формируемой куполом парашюта в условиях дождя. Анализ закона движения станций активных помех в атмосфере позволил определить их возможные точки сброса, обеспечивающие подавление заданной радиолокационной станции.

Ключевые слова: станция активных помех, радиолокационная станция, атмосферные эффекты, осадки.

ACTIVE COUNTERMEASURES TO FINDING OF HIGH-SPEED OBJECTS BY A SEA-BASED RADAR DURING BOOST PHASE

G.V. ERSHOV, A.R. MURLAGA

JSC «CENTRAL RADIO-RESEARCH INSTITUTE
NAMED AFTER ACADEMICIAN A.I. BERG»

An approach providing protection of a high-speed object from its finding by a radar during a boost phase and involving parachuted jamming systems is suggested in this paper. To solve the problem parameters of parachuted jamming system is determined taking into account loss of jamming power on air/rain interface formed by a canopy in rainy weather. Analyzing law of motion of jamming systems in the atmosphere one is capable to determine their possible ejection points that provide suppression of a given radar.

KEYWORDS: jamming system; radar; atmospheric effects; precipitation.

DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-4-20-23

ВВЕДЕНИЕ

С середины 60-х годов XX века считалось, что защита высокоскоростных объектов (ВО) на активном участке траектории нецелесообразна. Как следствие, основные публикации по данной тематике посвящены разработке средств защиты ВО на пассивном и конечных участках траектории полета [6] (рис. 1).

Принимая во внимание ряд особенностей физических процессов, протекающих на активном участке, такие технические решения не могут обеспечить срыв наблюдения ВО на активном участке.

Появление радиолокационных станций (РЛС) морского базирования делает актуальной задачу разработки системы для защиты ВО на активном участке траектории, в качестве которой может выступать пространственно-распределенная система парашютируемых станций активных помех (САП).

Целью статьи является определение параметров перспективной парашютируемой системы радиоэ-

лектронного противодействия обнаружению ВО на активном участке траектории, позволяющих эффективно решать задачу подавления РЛС морского базирования в условиях дождя.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

Математическая формулировка задачи срыва наблюдения ВО на активном участке траектории РЛС морского базирования выглядит следующим образом

$$\begin{cases} N(V_i + V_{Pi}) \leq V_0 \\ N(m_i + m_{Pi}) \leq m_0 \\ R_p : \forall \gamma \in [0, 1], \Delta t = t_2 - t_1 \geq t_0 \\ L, y_1 : \frac{\alpha_{Pi}}{2} \geq \frac{\alpha}{2} \in [\frac{\alpha_1}{2}, \frac{\alpha_2}{2}] \cap q < q_{Pi} \end{cases} \quad (1)$$

где N – количество парашютируемых САП, обеспечивающих маскировку высокоскоростного объекта; V_i – объем, занимаемый i -й САП; m_i – масса i -й САП;

РИС. 1.

Участки полета высокоскоростного объекта

V_{Pi} — объем парашюта в сложенном состоянии, которым комплектуется i -я САП; m_{Pi} — масса парашюта, которым комплектуется i -я САП; V_0 — объем, выделяемый на средство доставки под размещение полезной нагрузки; m_0 — допустимая масса полезной нагрузки, размещаемой на средство доставки; t_0 — требуемое время маскировки высокоскоростного объекта; Δt — время, в течение которого обеспечивается подавление заданной РЛС (t_2 — момент начала подавления, t_1 — момент окончания подавления); R_p — радиус парашюта; y — интенсивность дождя; (L, y_1) — точка сброса парашютируемых САП; α_{Pi} — ширина диаграммы направленности антенны (ДНА) САП; q — отношение сигнал/шум на входе приемного устройства РЛС; q_{Pi} — пороговый уровень отношения сигнал/шум на входе приемного устройства РЛС.

Пространственно-распределенная система, состоящая из N парашютируемых САП, может быть размещена на средство доставки в случае, если ее суммарная масса и объем не будут превышать массы и объема, отведенных на средство доставки под полезную нагрузку, и будет обеспечивать эффективное подавление заданной РЛС в течение времени t_0 при любой интенсивности дождя y , если точка сброса парашютируемых САП и размер парашюта обеспечат в течение указанного времени попадание диаграммы направленности каждой САП в диаграмму направленности РЛС и снижение отношения сигнал/шум на входе РЛС ниже порогового уровня.

КОНЦЕПЦИЯ СРЫВА НАБЛЮДЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ОБЪЕКТА

Схема предлагаемого способа приведена в работе Ершова Г.В. с соавт. [4].

На типовом средстве доставки размещается контейнер с парашютируемыми САП, который сбрасывается с определенной высоты, и на высоте ниже 10 км в районе расположения РЛС происходит отделение парашютируемых САП, которые формируют пространственно-распределенную систему, предназначенную для срыва наблюдения ВО.

Конструкция контейнера определена исходя из требований по массе и габаритам, выделяемым под полезную нагрузку на средство доставки [3].

Конструкция парашютируемой САП имеет форму цилиндра, на торцевой части которого размещены антенна и разъемы, обеспечивающие электрическую стыковку САП с внешними устройствами управления и другими САП.

УЧЕТ ПОТЕРЬ ПОМЕХОВОГО СИГНАЛА В ДОЖДЕ

В условиях дождя возможны потери части мощности помехового сигнала, излучаемого парашютируемыми САП, что будет влиять на число САП, необходимое для эффективного срыва наблюдения ВО [2].

Известный в литературе [7] эффект, открытый американскими учеными Хитчфелдом и Маршалом [9], связывает потери сигнала с его поглощением в дожде. Предложенная ими эмпирическая формула для расчета поглощения радиоволн A в дожде имеет вид

$$A = KTL, \quad (2)$$

где Γ — интенсивность осадков в миллиметрах в час; L — длина пути распространения в зоне дождя в километрах; K — экспериментально полученный параметр, выражаемый в децибелах на километр на миллиметр в час при интенсивности осадков около 30 мм/час.

В рассматриваемом случае дальности между парашютируемыми САП и РЛС не превышают единиц километров, поэтому значение коэффициента потерь A близко к единице.

Использование парашютов в пространственно-распределенной системе активного радиоэлектронного противодействия приводит к возникновению границы раздела двух сред воздух/дождь, формируемой куполом парашюта. На этой границе возможны потери помехового сигнала, вызванные отражением и рассеянием радиоволн.

Величину прошедшего сквозь границу двух сред сигнала будем характеризовать коэффициентом прохождения k_{np} , который можно определить следующим образом

$$k_{np} = 1 - \frac{W_1 + W_3}{W_0} \quad (3)$$

где W_0 — падающая на границу раздела двух сред воздух/дождь мощность сигнала, излучаемого САП; W_1 и W_3 — отраженная и рассеянная на этой границе раздела мощность, соответственно; $W_3 = W_0 - (W_1 + W_2)$; W_2 — мощность, прошедшая сквозь границу раздела.

Следовательно, для нахождения k_{np} в соответствии с (3) необходимо определить отражение и рассеяние излучаемого САП сигнала на границе раздела двух сред воздух/дождь. Такую задачу можно решать теоретически и экспериментально.

Теоретический подход к оценке коэффициента прохождения, изложенный, например, в классических трудах по теории электричества Тамма и Вайнштейна

[1, 8], неприменим для несплошной границы раздела двух сред воздух/дождь.

Экспериментальная оценка с применением лабораторного стенда нецелесообразна ввиду сложности технической реализации исследуемого образца.

Как следствие, для оценки коэффициента прохождения в типовой среде электродинамического моделирования на виртуальном стенде был проведен численный эксперимент. Между двумя портами (приемопередающим и приемным) последовательно помещались различные исследуемые образцы, моделирующие границу раздела двух сред воздух/дождь (рис. 2).

В исследуемых образцах изменялись интенсивность дождя (путем изменения доли площади объекта, занимаемой каплями дождя), размеры капель дождя, тип дождя (косой дождь моделировался наклоном исследуемого образца по отношению к приемопередающему порту).

Результаты численного эксперимента показали, что наблюдаются два механизма потерь на границе: отражение и рассеяние, из которых доминирующим является рассеяние. На рис. 3 приведена зависимость коэффициента прохождения (k_{np}) сквозь границу раздела двух сред воздух/дождь от интенсивности дождя γ .

В процессе движения парашютируемых САП интенсивность дождя может меняться, что приведет к изменению коэффициента прохождения помехового сигнала сквозь границу раздела. Используя метод Монте-Карло (коэффициент прохождения сквозь границу раздела двух сред воздух/дождь при этом будем варьировать случайным образом в пределах от $k_{np} = 1$ до $k_{np} = 0,23$, что соответствует $\gamma = 0$ и $\gamma = 0,9$, соответственно), получим, что число парашютируемых САП, обеспечивающее подавление заданной РАС в условиях дождя, можно разместить на типовом средстве доставки.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧКИ СБРОСА ПАРАШЮТИРУЕМЫХ САП

В условиях ограничения по энергopotенциалу пространственно-распределенной системы защиты, связанной с характеристиками средства доставки, для обеспечения требуемой эффективности подавления заданной РАС необходимо определить возможные точки сброса парашютируемых САП [5].

В основе подхода для определения точек сброса лежит полученный в работе Ершова Г.В., Лиходенко К.П., Мурлаги А.Р. [5] закон движения двух связанных тел в атмосфере, представляющий собой нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\left(\frac{2\pi R_p^3}{3} \rho_\theta(y) + m\right) \frac{d^2 y}{dt^2} =$$

$$= mg - c_x \rho_\theta(y) \frac{\pi R_p^2}{2} \left(\frac{dy}{dt} + \gamma \frac{2\rho_{\text{воды}}}{\rho_\theta(y)} \frac{r_k}{R_p} v_{k1}(y)\right)^2 \quad (4)$$

где c_x – коэффициент лобового сопротивления;

$\rho_\theta(y) = \rho_0 \exp(-\beta y \frac{T_0}{T_0 - \alpha y})$ – плотность воздуха;

$\beta = 1,25 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{м}}$; $T_0 = 300 \text{ К}$ – температура на уровне моря; $\alpha = 6,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{К}}{\text{м}}$; $\rho_0 = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность воздуха при $y=0$; $\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды; r_k – радиус капли дождя; γ – интенсивность дождя (доля площади поверхности парашюта, занимаемой каплями дождя); v_{k1} – скорость одной капли дождя.

Численное решение (4) с использованием метода Рунге-Кутты показывает, что в отсутствии ветра даже

РИС. 2.

Объекты исследований, моделирующие границу раздела двух сред воздух/дождь (а – случайное распределение капель, имеющих одинаковый размер, при интенсивности дождя $\gamma = 0,6$, лежащих в плоскости, параллельной плоскости приемопередающего порта; б – случайное распределение капель, имеющих разный размер в соответствии с диаграммой распределения капель в дожде, при интенсивности дождя $\gamma = 0,6$, лежащих в плоскости, параллельной плоскости приемопередающего порта; в – случайное распределение капель, имеющих одинаковый размер, при интенсивности дождя $\gamma = 0,3, 0,6, 0,9$, расположенных под углом $\alpha = 30^\circ$ к приемопередающему порту)

РИС. 3.

Зависимость коэффициента прохождения $k_{гр}$ сквозь границу раздела двух сред воздух/дождь от интенсивности дождя

небольшой дождь оказывает существенное влияние на движение парашютируемых САП, которые для обеспечения подавления заданной РАС в течение требуемого времени необходимо сбрасывать с расстояния по Земле в несколько сотен метров от РАС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен подход к срыву наблюдения высокоскоростного объекта на активном участке траектории РАС морского базирования, заключающийся в формировании пространственно-распределенной системы, состоящей из парашютируемых САП.

Показано, что число парашютируемых САП, обеспечивающее подавление заданной РАС в условиях дождя, можно разместить на типовом средстве доставки.

Сбрасывать парашютируемых САП необходимо с расстояния по Земле в несколько сотен метров от РАС.

Направлением дальнейшего исследования является учет влияния постоянного и переменного ветра на определение точки сброса парашютируемых САП, а также анализ влияния границы раздела двух сред воздух/снег на распространение помехового сигнала, что позволит уточнить необходимое количество парашютируемых САП, обеспечивающих подавление заданной РАС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнштейн А.А. Электромагнитные волны. М.: Советское радио. 1957. 581 с.
2. Ершов Г.В. Определение числа парашютируемых средств защиты высокоскоростных объектов с учетом отражения от границы раздела двух сред воздух/дождь // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 5. С. 55–63.
3. Ершов Г.В., Крылов Б.В., Благовисный П.В. Определение конструктивного облика парашютируемых средств защиты высокоскоростных объектов // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 3. С. 49–57.
4. Ершов Г.В., Лихоеденко К.П., Коробков Ю.Ю., Мурлага А.Р. Принципы проектирования пространственно-распределенных систем

защиты высокоскоростных объектов // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 7. Ч. 13. С. 53–61.

5. Ершов Г.В., Лихоеденко К.П., Мурлага А.Р. Определение точки сброса парашютируемых средств защиты высокоскоростных объектов в условиях дождя // Радиотехника. 2021. Т. 85. № 2. С. 74–82.
6. Кадыров Т.Н., Пахомов В.М., Сударилов Н.И., Фомичев Е.К. Имитация и маскировка космических аппаратов надувными оболочками // Сборник научных трудов ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга». Т. 5. Ч. 1. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М». 2011. С. 129–140.
7. Современная радиолокация (анализ, расчет и проектирование систем). Под ред. Ю.Б. Кобзарева. М.: Советское радио, 1969. 704 с.
8. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука. 1976. 616 с.
9. HITSCHFELD W., MARSHALL J.S. Effect of Attenuation on the Choice of Wavelength for Weather Detection by Radar // Proc. IRE. 1954. Vol. 42. P. 1165–1168.

Ершов Григорий Васильевич

начальник сектора АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»

☎ тел.: +7-903-560-46-74, e-mail: m1cro4nn@mail.ru

Мурлага Алексей Ростиславович

к.т.н., с.н.с. АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга»,

☎ 107078, г. Москва, Новая Басманная, д. 20, стр. 9.
тел.: +7-905-736-66-85, e-mail: myrlaga_olga@mail.ru