

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ЗУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИДАРНОЙ ГСН

С.Н. Телюков, к.т.н. О.Л. Смирнов, к.т.н. В.В. Кондрат, к.т.н. Г.В. Акулинин  
(представил проф. В.М. Закорюкин)

*В статье проведена оценка эффективности функционирования системы наведения ЗУР с использованием лидарной ГСН путём расчёта вероятности срыва наведения зенитной управляемой ракеты в условиях применения ложных тепловых целей. Показано преимущество в использовании лидарной ГСН по сравнению с обычной оптоэлектронной головкой самонаведения ЗУР.*

**Постановка задачи.** Применение ложных тепловых целей (ЛТЦ) в современных условиях ведения боевых действий снижает эффективность функционирования системы наведения ЗРК ПВО СВ, оснащенных ЗУР с оптоэлектронной головкой самонаведения (ОЭ ГСН). Существующие способы помехозащиты в условиях интенсивного применения ЛТЦ, основанные на различии спектральных характеристик излучения аэродинамической цели и ЛТЦ в ИК диапазоне, не обеспечивают эффективное функционирование ОЭ ГСН в условиях ее функционального подавления.

Поэтому представляется актуальной задача поиска путей повышения эффективности функционирования ОЭ ГСН ЗУР в процессе её наведения при комплексном противодействии противника. Одним из решений данной задачи возможно использование дополнительных источников информации о цели для наведения на неё ЗУР. В качестве такой информации могут быть использованы специфические для АДЦ признаки (например, характеристики спутного следа), которые существенно отличаются от параметров окружающего воздуха и ЛТЦ. Эти отличия могут быть обнаружены обычной лидарной системой, с помощью которой зондируют выбранный объем пространства и принимают оптические сигналы, рассеянные этой областью в обратном направлении.

**Анализ литературы.** В предыдущей работе Телюкова С.Н., Смирнова О.Л. и Гардаша В.А. показано, что в условиях интенсивного применения ЛТЦ вероятность срыва наведения ЗУР, оснащенной ОЭ ГСН, на всей траектории полета имеет большое значение.

Существующие способы помехозащиты ОЭ ГСН от ЛТЦ [1, 2] не-

достаточны для обеспечения эффективного функционирования ОЭ ГСН в условиях ее функционального подавления. В [3] предложено в условиях помеховой обстановки использование информации о спутном следе АДЦ для повышения эффективности их обнаружения.

Химический состав горючего материала ЛТЦ [2] отличается от топлива для двигательных установок (ДУ) АДЦ [4 – 7].

**Цель статьи.** Оценка эффективности функционирования системы наведения ЗУР с использованием лидарной ГСН в условиях применения ложных тепловых целей.

**Основная часть.** Спутный след АДЦ – это образованная в результате истечения выхлопных газов двигателя АДЦ область пространства, в пределах которой происходит их распространение. Спутный след может быть представлен в качестве объекта с распределенными характеристиками, под которыми понимаются количество газовых составляющих и их концентрация, а также направление, скорость истечения струи выхлопного газа и ее размеры. Наиболее информативными признаками являются выхлопы следа ДУ АДЦ, которые существенно отличаются от газообразований в атмосфере по концентрации и химическому составу компонент [3 – 5, 7].

Изменение концентрации частиц следа в продольном направлении описывается экспоненциальным распределением, в поперечном сечении спутного следа – распределением Гаусса [10].

Выхлопные газы двигательных установок ДУ АДЦ в своем составе содержат большое количество различных соединений, основными из которых являются:

- CO – оксид углерода;
- CO<sub>2</sub> – двуокись углерода;
- NO – оксид азота;
- NO<sub>2</sub> – двуокись азота;
- C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – не сгоревшие углеводороды (в частности CH<sub>4</sub> – метан);
- C<sub>ж</sub> – сажа и т.д.

Сравнительная характеристика газовых компонент спутного следа и фоновой концентрации представлена в таблице № 1 [4, 7].

Таблица 1

Состав основных газовых компонент спутного следа АДЦ

Формула газовой компоненты	Концентрация газовой компоненты спутного следа АДЦ $N_{\text{след АДЦ}}, \text{см}^{-3}$	Концентрация газовой атмосферы $N_{\text{фона}}, \text{см}^{-3}$
CO	$4 \cdot 10^{16}$	$10^{13}$
CO <sub>2</sub>	$8 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{15}$
NO	$8 \cdot 10^{14}$	$10^{10}$

NO <sub>2</sub>	6 · 10 <sup>14</sup>	10 <sup>10</sup>
-----------------	----------------------	------------------

Измерение состава и концентрации газовых компонент спутного следа АДЦ выполняет лидар (так называемый «лазерный локаатор» [8, 9]), который осуществляет дистанционное зондирование атмосферы для определения газо-химического содержания молекул в спутном следе, а также наличие других, соизмеримых с длиной волны излучения, мелких частиц.

В работе Романюка В.А. обоснован выбор измеряемой компоненты спутного следа АДЦ для ее обнаружения.

В качестве горючего вещества для имитации излучения выхлопной струи ДУ АДЦ в ИК диапазоне в ЛТЦ основной горючей составляющей являются соединения магния и фтора [2]. При горении ЛТЦ концентрация соединений, характеризующих работу двигателя АДЦ, в силу химического различия горючей составляющей будет меньше.

В дальнейшем ОЭ ГСН, в которой может использоваться информация о спутном следе АДЦ, будет называться лидарная ГСН.

Для оценки эффективности функционирования системы наведения ЗУР с лидарной ГСН в условиях применения ЛТЦ в качестве показателя эффективности функционирования будем использовать вероятность срыва наведения ЗУР  $P_{\text{Ср.Н}}$  [10]:

$$P_{\text{Ср.Н}} = P_{\text{Орг}} \cdot P_{\text{ППЗ}} \cdot P_{\text{М}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{Орг}}$  – вероятность того, что помеха будет организована;  $P_{\text{ППЗ}}$  – вероятность попадания помехи в виде ЛТЦ в поле зрения лидарной ГСН;  $P_{\text{М}}$  – вероятность того, что мощность помехи будет достаточна для нарушения нормального функционирования системы наведения ЗУР (вероятность подавления).

Снижение  $P_{\text{Ср.Н}}$  за счет уменьшения  $P_{\text{Орг}}$  и  $P_{\text{ППЗ}}$  не представляется возможным. Для оценки эффективности функционирования лидарной ГСН в условиях применения ЛТЦ необходимо использовать вероятность того, что мощность помехи будет достаточна для нарушения нормального функционирования системы наведения ЗУР [2]:

$$P_{\text{М}} = \exp \left\{ - \frac{2}{\pi} \left( \frac{q_{\text{Э}}}{q_{\text{кр}}} \right)^2 \right\}, \quad (2)$$

где  $q_{\text{Э}}$  – отношение  $\frac{\text{сигнал}}{\text{помеха}}$ , при превышении мощности полезного сигнала (АДЦ) над помеховым;  $q_{\text{кр}}$  – критическое отношение

сигнал/помеха, при равенстве мощности полезного сигнала (АДЦ) над помеховым.

Энергия рассеянного лазерного излучения измеряемым газом определяется согласно основному лидарному уравнению для рассеяния [8]:

$$E(\lambda, R) = \frac{E_0 \cdot \xi(\lambda) \cdot Y(R) \cdot T_{\text{атм}}(R) \cdot \beta^s(\lambda, R) \cdot c \cdot \tau_d \cdot A_0}{2 \cdot R^2}, \quad (3)$$

где  $R$  – расстояние от лидара до АДЦ;  $E_0$  – энергия лазерного излучения зондирующего сигнала;  $\xi(\lambda)$  – коэффициент спектрального пропускания приемной оптической системы;  $Y(R)$  – геометрический форм-фактор (коэффициент перекрытия луча передатчика и угла поля зрения приемника) лидарной ГСН;  $T_{\text{атм}}(R)$  – коэффициент пропускания атмосферы;  $\beta^s(\lambda, R)$  – объемный коэффициент обратного рассеяния лазерного излучения измеряемым газом;  $\tau_d$  – период интегрирования детектора;  $A_0$  – площадь объектива лидара.

Примем, что энергия рассеянного измеряемым газом лазерного излучения, при условии постоянства остальных составляющих выражения (3), будет определяться в зависимости от  $\beta^s(\lambda, R)$ . Тогда

$$E(\lambda, R) = f \left\{ \beta^s(\lambda, R) \right\}, \quad (4)$$

так как

$$\beta^s(\lambda, R) = N(R) \cdot \frac{\sigma^s(\lambda)}{4 \cdot \pi},$$

где  $N(R)$  – концентрация измеряемого газа;  $\sigma^s(\lambda)$  – сечение рассеяния измеряемым газом лазерного излучения.

Тогда (4) можно записать в виде

$$E(\lambda, R) \cong f \{ N(R) \}. \quad (5)$$

Величина  $q_{\text{Э}}$  в (2), определяемая как отношение мощности (энергии) зондирующего сигнала, отраженного от АДЦ, и мощности (энергии) помехи, с учетом (5), имеет следующий вид:

$$q_{\text{Э}} = \frac{N_{\text{АДЦ}}(R)}{N_{\text{ЛПЦ}}(R)}, \quad (6)$$

где  $N_{\text{АДЦ}}(R)$  – концентрация измеряемой компоненты в спутном следе

АДЦ;  $N_{ЛТЦ}(R)$  – концентрация измеряемой компоненты в следе, образованном при горении ЛТЦ.

Результаты расчета вероятности  $P_{Ср.Н}$  по формуле (1), с учетом (2) и (6), при условии, что концентрация  $N_{ЛТЦ}(R)$  больше концентрации той же газовой компоненты присутствующей в атмосфере, но меньше  $N_{АДЦ}(R)$  в 2–3 раза, представлены на рис. 1.

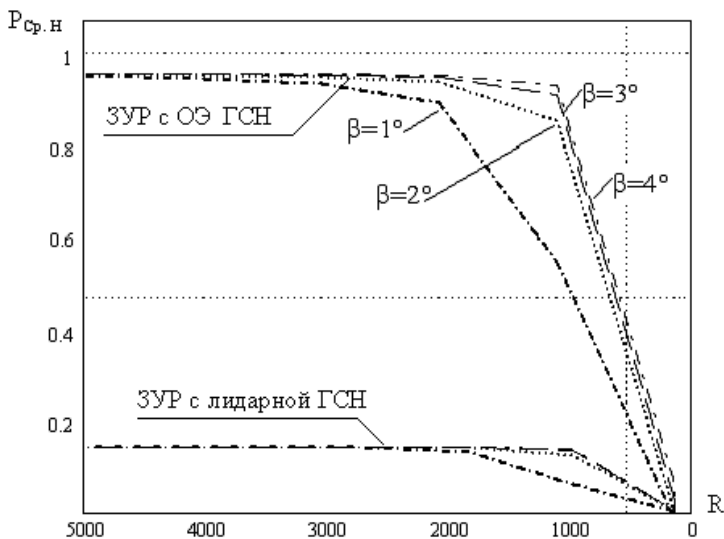


Рис. 1. Вероятность срыва наведения ЗУР с ОЭ и лидарной ГСН, в зависимости от угла поля зрения  $\beta$  и дальности между ГСН и АДЦ

Анализ полученных результатов, приведенных на рис. 1, показывает, что при различии концентрации измеряемого газа спутного следа АДЦ больше чем в 2–3 раза, по сравнению с концентрацией газа продуктов сгорания ЛТЦ вероятность  $P_{Ср.Н}$  уменьшается в 5 раз по сравнению с обычной ОЭ ГСН, в которой информация о спутном следе не используется.

**Выводы.** Таким образом, в качестве дополнительной информации в системе наведения ЗУР в условиях интенсивного применения ЛТЦ может быть предложено использование результатов лидарных измерений характеристик спутного следа АДЦ. В дальнейшем возникает задача оценки возможности применения лидарной ГСН в системе наведения ЗУР ЗРК войск ПВО СВ. Решение данной задачи возможно посредством разработки метода измерения

угловых координат АДЦ по ее спутному следу посредством лидарной ГСН ЗУР, а также технического обоснования требований к такой ГСН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Методы исследования и пути повышения точности и помехозащищенности систем самонаведения. Часть III. Способы повышения и методы исследования помехозащищенности систем самонаведения с оптическими головками самонаведения. Научно-методические материалы.* – К.: КВЗРИУ им. С.М. Кирова, 1982. – 68 с.
2. *Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. 2-е изд., перераб. и доп.* – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
3. *Тюрин С.В., Романюк В.А., Шурыгин С.В., Дзедань В.П. Оценка дальности обнаружения малозаметных целей лидарными средствами. // Системы обработки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 1 (39). – С. 34 – 38.
4. *Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД / Под ред. В.Е. Дорошенко.* – М.: Мир 1986. – 245 с.
5. *Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей.* – М.: Машиностроение 1984. – 327 с.
6. *Канило П.М., Подгорный А.Н., Христинич В.А. Энергетические и экологические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода.* – К.: Наук. думка, 1987. – 220 с.
7. *Большаков Г.Ф. Химия и технология компонентов жидкого ракетного топлива.* – Л.: Химия, 1983. – 320 с.
8. *Межерис Р.В. Лазерное дистанционное зондирование.* – М.: Мир, 1987. – 550 с.
9. *Козинцев В.И., Орлов В.М., Белов М.Л., Городничев В.А., Стрелков Б.В. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / Под ред. В.Н. Рождественца.* – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
10. *Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй.* – М.: Физматгиз, 1969. – 736 с.

Поступила 18.10.2004

**ТЕЛЮКОВ Сергей Николаевич**, адъюнкт Харьковского университета Воздушных Сил. В 1999 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – системы наведения зенитных управляемых ракет ПВО СВ и их помехозащита.

**СМИРНОВ Олег Леонидович**, канд. техн. наук, доцент Харьковского университета Воздушных Сил. В 1992 году окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. Область научных интересов – радиолокационные средства зенитного ракетного вооружения ПВО СВ.

**КОНДРАТ Виктор Витальевич**, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. В 1983 году окончил Киевское высшее инженерное училище. Область научных интересов – оптоэлектронные средства зенитного ракетного вооружения ПВО СВ.

**АКУЛИНИН Глеб Васильевич**, канд. техн. наук, преподаватель кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. В 1993 году окончил Киевское высшее зенитное ракетное инженерное училище. Область научных интересов – эксплуатационная надежность зенитного

*ракетного вооружения ПВО СВ.*