

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ СПУТНОГО СЛЕДА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ ДЛЯ НАВЕДЕНИЯ ЗУР

Г.В. Ермаков, С.Н. Телюков
(Харьковский университет Воздушных Сил)

В статье предложен метод оценки эффективности использования результатов лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа аэродинамической цели для наведения зенитной управляемой ракеты, основанный на анализе характеристик лидарного координатора, как измерителя угловых координат цели для системы наведения, и оценке точности наведения ракеты по спутному следу маневрирующей цели в условиях оптоэлектронного противодействия противника ложными тепловыми целями.

лидарные измерения, выхлопные газы, спутный след, аэродинамическая цель, зенитная управляемая ракета

Введение. Опыт ведения боевых действий показал, что в условиях оптоэлектронного противодействия противником эффективность функционирования координатора зенитной управляемой ракеты (ЗУР), работающего в инфракрасном диапазоне, существенно снижается.

Для повышения эффективности функционирования системы наведения ЗУР в условиях применения ложных тепловых целей (ЛТЦ) предлагается использовать в качестве дополнительной информации лидарные измерения характеристик спутного следа аэродинамической цели (АДЦ) для наведения на нее ЗУР. Проведенные оценки эффективности функционирования системы наведения ЗУР с использованием лидарного координатора цели показали преимущество в использовании лидара по сравнению с обычной оптоэлектронной головкой самонаведения (ОЭ ГСН) ЗУР, что позволяет обосновать необходимость использования лидарных измерений в системе наведения ракеты зенитного ракетного комплекса (ЗРК) противовоздушной обороны сухопутных войск (ПВО СВ) в условиях оптоэлектронного противодействия противником.

Отметим, что в настоящее время не существует способов и методов оценки характеристик лидара как измерителя угловых координат цели для системы наведения ЗУР, а также способов оценки точности наведения с использованием информации о спутном следе маневрирующей цели.

Анализ литературы. Известные способы и методы повышения эффективности функционирования оптоэлектронного координатора цели системы наведения ЗУР в условиях оптоэлектронного противодействия противником представлены в [1 – 6]. В настоящее время известны методы обнаружения малозаметных целей, выполненных по технологии "Стелс", при помощи лидарных измерений [7]. За последнее время проведены исследования возможностей обнаружения целей методами лазерной анемометрии, основанные на результатах измерения скорости истечения выхлопных газов из сопла двигательной установки (ДУ), а также измерения параметров атмосферы, "возмущенной" пролетом в ней АДЦ [8,9]. Проведена оценка влияния ЛТЦ, способов их применения на функционирование ОЭ ГСН и лидарного координатора цели представлены в [10].

Цель статьи. Разработка метода оценки эффективности использования результатов лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа АДЦ для наведения ЗУР.

В данном методе необходимо учитывать:

- эффективность функционирования лидарного (КЦ) ЗУР в условиях оптоэлектронного противодействия;
- оценку характеристик лидарного КЦ, как измерителя угловых координат АДЦ для системы наведения ЗУР;
- оценку точности наведения ЗУР по спутному следу АДЦ.

Кроме этого, метод должен предусматривать:

- возможность определения технических характеристик лидарного КЦ при заданных характеристиках помеховой обстановки и спутного следа АДЦ и наоборот;
- разработку практических рекомендаций по созданию лидарного КЦ системы наведения ЗУР.

Основная часть. В [10] представлен порядок оценки эффективности функционирования ЗУР с лидарным КЦ в условиях оптоэлектронного противодействия за счет усовершенствованной методики расчета вероятности срыва наведения ЗУР в условиях применения ЛТЦ. В рассматриваемом методе такой способ оценки необходим для определения возможности функционирования лидарного КЦ в условиях оптоэлектронного противодействия.

Для оценки технических характеристик лидарного КЦ и принятия решения об их достаточности для измерения угловых координат АДЦ по ее спутному следу в процессе наведения ЗУР в [11] разработан критерий оценки угловых размеров зоны секторного обзора лидарного КЦ системы наведения ЗУР:

$$P_{\text{вых.АДЦ}}(T_{\text{лидар.КЦ}}, \Psi_{\text{лидар.КЦ}}) \Big|_{V_{\text{ц}}}^{n_y} > P_{\text{порог}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{лидар.КЦ}}$ – время измерения угловых координат АДЦ по ее спутному следу; $\Psi_{\text{лидар.КЦ}}$ – угол поля зрения приемной системы лидарного КЦ; n_y – перегрузка летательного аппарата по направлению действия подъемной силы; $V_{\text{ц}}$ – скорость полета АДЦ; $P_{\text{порог}}$ – задаваемая пороговая вероятность.

Показателем для оценки технических характеристик лидарного КЦ является вероятность выхода АДЦ за пределы поля зрения лидарного КЦ за время измерения угловых координат цели по ее спутному следу:

$$P_{\text{вых.АДЦ}} = \frac{4 \cdot \frac{V_{\text{ц}}^2}{g \cdot \sqrt{n_y^2 - 1}} \cdot \sin^2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{T_{\text{лидар.КЦ}} \cdot g \cdot \sqrt{n_y^2 - 1}}{2 \cdot V_{\text{ц}}} \right)}{2 \cdot \left(R \cdot \text{tg} \left(\frac{\Psi_{\text{лидар.КЦ}}}{2} \right) \right)}, \quad (2)$$

где R – текущая дальность; g – ускорение свободного падения.

В критерии (1) учитываются размеры области сканирования лучом передатчика лидара, маневренные возможности АДЦ, а также время измерения угловых координат и процесс сближения ракеты с целью. В предлагаемом методе полученный показатель и критерий используются для оценки характеристик лидарного КЦ, как измерителя угловых координат АДЦ системы наведения ЗУР.

Для определения положения ДУ АДЦ, соответствующего максимуму концентрации измеряемой газовой компоненты, на основании метода статистических испытаний (Монте-Карло) разработана математическая модель распределения концентрации газа спутного следа АДЦ в пределах поля зрения лидарного КЦ [12]. Данная модель учитывает динамические характеристики спутного следа маневренной цели, позволяет точно рассчитывать максимальное значение концентрации анализируемой газовой компоненты спутного следа цели (сопло ДУ) в поле зрения лидарного координатора. Разработанная математическая модель позволяет провести оценку точности наведения ЗУР по спутному следу АДЦ.

Для оценки точности наведения ЗУР по спутному следу АДЦ разра-

ботана методика расчета промаха ЗУР при ее наведении по спутному следу АДЦ [13]. Выражения для определения промаха ЗУР в области поражения АДЦ на встречном (В) и догонном (Д) курсе записываются в следующем виде:

$$h_{\text{В}}^{\text{ослеп}} = \left[r_{\text{ослеп}}^{\text{лидар.КЦ}} - \left(\frac{r_{\text{ослеп}}^{\text{лидар.КЦ}} \cdot V_{\text{р}}}{\cos(\varepsilon') \cdot V_{\text{ц}} + V_{\text{р}}} \right) \right] \cdot \text{tg}(\varepsilon'); \quad (3)$$

$$h_{\text{Д}}^{\text{ослеп}} = \left[\left(-\frac{r_{\text{ослеп}}^{\text{лидар.КЦ}} \cdot V_{\text{р}}}{\cos(\varepsilon') \cdot V_{\text{ц}} - V_{\text{р}}} \right) - r_{\text{ослеп}}^{\text{лидар.КЦ}} \right] \cdot \text{tg}(\varepsilon'), \quad (4)$$

где $r_{\text{ослеп}}^{\text{лидар.КЦ}}$ – дальность ослепления лидарного КЦ; $V_{\text{р}}$ – скорость полета ЗУР; ε' – угол между направлениями движения АДЦ и ЗУР в угломестной плоскости.

Общее выражение для определения промаха ЗУР в области поражения АДЦ имеет следующий вид:

$$h^{\text{ослеп}} = \begin{cases} h_{\text{В}}^{\text{ослеп}}, & \text{если } \varepsilon' < 90; \\ h_{\text{Д}}^{\text{ослеп}}, & \text{если } \varepsilon' > 90. \end{cases} \quad (5)$$

Усовершенствована методика определения вероятности вывода ЗУР в область поражения цели [13]:

$$P_{\text{вывод}}^{\text{лидар.КЦ}} = 1 - \exp \left\{ -\frac{R_{\text{эфф}}^2}{2 \cdot (h^{\text{ослеп}})^2 + (\Delta r_{\text{NADЦ}}^{\text{н}})^2} \right\}, \quad (6)$$

где $\Delta r_{\text{NADЦ}}^{\text{н}}$ – максимальный размер области концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа АДЦ по уровню n ; $R_{\text{эфф}}$ – эффективный радиус разлета осколков.

Данная вероятность является показателем для оценки точности наведения ЗУР и учитывает ошибки наведения ЗУР и радиус разлета осколков ее боевой части (БЧ). В отличие от ранее предложенного [14], данный подход к оценке точности наведения ЗУР по результатам лидарных измерений спутного следа АДЦ получен с использованием системного подхода за счет комплексного анализа:

- характеристик полета ракеты и цели;
- динамических характеристик спутного следа цели;
- процесса сближения ЗУР с АДЦ;
- характеристик БЧ ЗУР.

Таким образом, совокупность действий: по оценке эффективности функционирования ЗУР с лидарным КЦ в условиях оптоэлектронного противодействия; по оценке угловых размеров зоны секторного обзора лидарного КЦ системы наведения ЗУР; по оценке точности наведения ЗУР по спутному следу АДЦ; математическое моделирование распределения концентрации газа спутного следа АДЦ – представляют собой метод оценки эффективности использования результатов лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа АДЦ для наведения ЗУР.

Этот метод позволяет учесть особенности различия цели на фоне ЛТЦ, характеристики лидарного координатора как устройства измерения угловых координат цели системы наведения ЗУР и ошибки наведения ракеты по спутному следу АДЦ.

Необходимо отметить, что разработанный метод позволяет не только дать ответ о целесообразности дальнейшего использования лидаров в интересах войск ПВО и ПВО СВ, но также позволяет разработать практические рекомендации по техническому обоснованию требований к характеристикам лидарного координатора системы наведения ЗУР, определить условия, в которых данный КЦ может выполнить свои функции, а также выбрать способы обстрела АДЦ и методы наведения, удовлетворяющие требованиям к системе наведения ЗУР.

Отметим, что при выборе технических характеристик лидарного КЦ при его проектировании необходимо учитывать характеристики лидарного КЦ как элемента системы автоматического управления, которой является система наведения ЗУР. Кроме этого, лидарный КЦ должен иметь технические параметры, характеризующие его как устройство измерения угловых координат по спутному следу АДЦ, которые обеспечивают точное наведение ЗУР, а чувствительность лидарного КЦ должна обеспечивать как требуемую точность измерения ее угловых координат, так и возможность функционирования лидарного КЦ в условиях применения вероятным противником ЛТЦ.

Также необходимо учитывать то, что в ОЭ ГСН происходит ее ослепление при сближении ракеты с целью, т.к. при малых расстояниях увеличиваются воспринимаемые ОЭ координатором размеры излучения от цели. Для ликвидации данной ситуации в ОЭ ГСН ЗУР переносного зенитного ракетного комплекса (ПЗРК) «Игла» в электронном блоке реализована схема «ближней зоны» [15]. Данный подход при необходимости может быть реализован также и в лидарном КЦ системы наведения ЗУР, что, в свою очередь, увеличит возможность по обстрелу АДЦ с использованием информации о спутном следе. Кроме этого, стрельба ЗУР

по АДЦ выполняется не прямо в сопло или навстречу, а под некоторым углом. Расчеты показали, что при сближении ЗУР с АДЦ смещается максимальное значение концентрации анализируемой газовой компоненты спутного следа относительно ДУ АДЦ. Однако и в ОЭ ГСН ЗУР ПЗРК «Игла» для повышения эффективности поражения при пусках по реактивным самолетам предусмотрена «схема смещения» центра группирования попадания в направлении полета самолета, т.е. в его корпус [15]. Это вызвано тем, что район среза сопла является малоуязвимой областью для поражения ракетой ПЗРК «Игла».

Данный подход также может быть использован и в системе наведения ЗУР, оснащенной лидарным КЦ. В этом случае необходимы дополнительные исследования и расчеты с использованием модели распределения концентрации анализируемой газовой компоненты в пределах поля зрения координатора и метода оценки эффективности использования результатов лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа АДЦ для наведения ЗУР в условиях оптоэлектронного противодействия.

Выводы. Предложенный метод оценки эффективности использования результатов лидарных измерений концентрации выхлопных газов спутного следа аэродинамической цели для наведения ЗУР учитывает ограничения технических параметров лидарного КЦ, характеризующих его как элемент системы автоматического управления, а также предлагаемый метод обладает прогностическими свойствами по оценке технических характеристик лидара при заданных характеристиках помеховой обстановки и спутного следа АДЦ и наоборот.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Методы исследования и пути повышения точности и помехозащищенности систем самонаведения. Ч. III. Способы повышения и методы исследования помехозащищенности систем самонаведения с оптическими головками самонаведения // Научно-методические материалы КВЗРИУ им. С.М. Кирова. – К.: КВЗРИУ, 1982. – 68 с.*
2. *Методы исследования и пути повышения точности и помехозащищенности систем самонаведения. Ч. III. Способы повышения и методы исследования помехозащищенности систем самонаведения с радиолокационными головками самонаведения // Научно-методические материалы КВЗРИУ им. С.М. Кирова. – К.: КВЗРИУ, 1982. – 156 с.*
3. *Ольгин В.А. Проблемы оптоэлектронного противодействия // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 9. – С. 35 – 41.*
4. *Баранов Н.В. Перспективы развития оптических и оптикоэлектронных средств СВ // Военный парад. – 2001. – № 3. – С. 48 – 50.*

5. *Пособие по изучению правил стрельбы. (Ч. 8). Переносные зенитные ракетные комплексы "ИГЛА" ("ИГЛА-1"), "СТРЕЛА-2М" ("СТРЕЛА-3").* – М.: Воениздат, 1987. – 120 с.
6. *Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін.* – К.: МО України, Х:ХВУ, 2003. – 368 с.
7. *Тюрин С.В., Романюк В.А. Шурыгин С.В., Дзєбань В.П. Оценка дальности обнаружения малозаметных целей лидарными средствами // Зб. наук. праць ХВУ.* – Х.: ХВУ. – 2002. – Вип. 1 (39). – С. 108 – 110.
8. *Дзєбань В.П., Кондрат В.В. Ножєнко А.Н. Гиголаєв А.К. Применение методов лазерной доплеровской анемометрии для обнаружения малозаметных АДЦ // Вестник НТУ «ХПИ»., Колесные и гусеничные машины специального назначения.* – 2003. – № 27. – С. 107 – 111.
9. *Доля Г.Н., Пащенко Р.Э., Дзєбань В.П., Шаповалов В.П. Обнаружение изменения состояния газового потока по оценке фрактальной размерности выходного сигнала лидара // Восточный Европейский журнал передовых технологий.* – 2004. – № 4 (10). – С. 128 – 131.
10. *Тєлюков С.Н., Смирнов О.Л., Кондрат В.В., Акулинин Г.В. Оценка эффективности функционирования системы наведения ЗУР с использованием лидарной ГСН // Системи обробки інформації.* – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 11 (39). – С. 203 – 208.
11. *Тєлюков С.Н. Техническое обоснование требований к лидарной ГСН, измеряющей угловые координаты АДЦ по ее спутному следу в процессе наведения зенитной управляемой ракеты // Зб. наук. праць ХУ ПС.* – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вип. 1 (1). – С. 81 – 84.
12. *Тєлюков С.Н., Смирнов О.Л., Зубрицкий Г.Н., Акулинин Г.В. Математическая модель распределения концентрации измеряемой газовой компоненты спутного следа аэродинамической цели в пределах поля зрения лидарной головки самонаведения зенитной управляемой ракеты // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии».* – Х.: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 41. – С. 113 – 120.
13. *Оценка точности измерения угловых координат АДЦ по ее спутному следу посредством лидарной ГСН ЗУР / С.Н. Тєлюков, О.Л. Смирнов, А.А. Наконечный, О.Н. Ставицкий, В.В. Кондрат // Зб. наук. праць.* – Х.: ХУ ПС. – 2005. – Вип. 2 (2). – С. 76 – 81.
14. *Неупокоєв Ф.К. Стрельба зенитных ракетных комплексов: 2-е издание переработанное и дополненное.* – М.: Воениздат, 1987. – 221 с.
15. *Переносной зенитный ракетный комплекс "ИГЛА" (9М38). ТО и ИЭ.* – М: Военное издательство, 1987. – 120 с.

Поступила 26.10.2005

Рецензент: доктор технических наук, профессор В.И. Карпенко,
Харьковский университет Воздушных сил.