

УДК 621.373 (043.3)

Г.А. Моисеева

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА ОТ ЛОЖНОЙ ЦЕЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА РАЗМНОЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ ВЫСОКОТОЧНОМУ ОРУЖИЮ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

*Рассчитаны параметры системы постановки пассивных помех высокоточному оружию с оптически-ми и тепловыми головками самонаведения, позволяющие повысить энергетические характеристики сигнала от ложной цели при использовании голографического метода размножения изображений объектов в оптическом диапазоне длин волн.*

**Ключевые слова:** высокоточное оружие, голографические отражатели, ложная цель, вероятность наведения.

### Введение

В настоящее время особая роль при ведении широкомасштабных боевых действий отводится боеприпасам, оснащённым полуактивными лазерными системами наведения, образцы которых характеризуются высокой точностью попадания [1]. В связи с этим в последнее время для защиты объектов наблюдается тенденция применения средств противодействия полуактивным лазерным системам наведения управляемых боеприпасов, техническую реализацию которых возможно осуществлять на основе как активных подходов, так и пассивных [2, 3]. Вместе с тем, в известной литературе [4] обсуждается вопрос использования для защиты малоразмерных объектов метода, основанного на размножении изображений объектов в оптическом диапазоне длин волн и его использование при создании пассивных помех ВТО с лазерными головками самонаведения. Под малоразмерным объектом следует подразумевать объект, радиус поражения которого соизмерим с радиусом поражения ВТО.

При этом анализ доступной литературы [5 – 7] приводит к выводу, что на настоящий момент не существует достаточно эффективной математической модели, позволяющей рассчитать параметры такой системы защиты. Восполнению этого недостатка и посвящена данная статья.

**Цель работы:** усовершенствование методики расчета основных параметров системы постановки пассивных помех высокоточному оружию с оптическими и тепловыми головками самонаведения.

### Изложение основного материала

Как показано в [6], при отсутствии организованных помех вероятность поражения объектов самонаведения управляемыми ракетами с ЛГСН очень велика. Поэтому при решении задачи защиты от

ВТО представляется целесообразным затруднить противнику выполнение предварительного этапа применения ВТО и, в частности, решение задачи обнаружения целей.

В связи с этим, основной задачей при защите объектов от самонаводящихся ракет является разработка методов, позволяющих увеличить систематическую ошибку самонаведения. Эта задача и решается при создании ложной цели на основе метода с использованием голографических отражателей.

Суть метода защиты малоразмерных объектов от высокоточного оружия с лазерными головками самонаведения (ВТО с ЛГСН) на основе голографических отражателей [4] заключается в формировании на входе приемного устройства головки самонаведения (помимо сигнала от защищаемого объекта) сигнала от ложной цели, координаты которой отличаются от координат защищаемого объекта. Создание такой ложной цели приводит к наведению ВТО на энергетический центр сложной цели, которая является совокупностью малоразмерного объекта и ложной цели. При этом чем больше мощность излучения, принятого от ЛЦ, тем качественнее осуществляется процесс увода УР от защищаемого объекта. Желательно, чтобы выполнялось соотношение

$$\frac{P_{\text{ЛЦ}}}{P_{\text{Обь}}} \approx 1, \quad (1)$$

(в идеальном случае  $\frac{P_{\text{ЛЦ}}}{P_{\text{Обь}}} > 1$ ).

Поэтому важным является вопрос формирования мощного сигнала от ложной цели. Произведем сравнительную оценку двух предложенных в [4] схем формирования ложной цели: на диффузном и на зеркальном экранах.

При оценке мощности излучения, попадающего на апертуру приёмника (ЛГСН) при отражении от

диффузной ложной цели, уравнение лазерной локации будет записано в виде [8]:

$$P_{ан1} = \frac{P_0 \tau_{a3} \tau_{a4} k_{эфф} k_2 k_{отр} k_3 \tau_{пр} S_{ан} \sigma_2}{m 4\pi R_4^2}, \quad (2)$$

где  $P_{ан1}$  – мощность излучения на входе фотоприёмника ЛГСН при отражении от диффузного экрана;  $P_0$  – мощность излучения подсвета на поверхности объекта;  $R_4$  – расстояние от ложной цели до приёмника (ЛГСН);  $\sigma_2$  – эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) ложной цели;  $\tau_{a3}, \tau_{a4}$  – коэффициенты пропускания атмосферы при распространении излучения на участках трассы  $R_3$ : станция подсвета – защищаемый объект и  $R_4$ : голографический отражающий экран – фотоприёмник ЛГСН;  $S_{ан}$  – площадь апертуры приёмника лазерного излучения;  $\tau_{пр}$  – коэффициент пропускания приёмного тракта;  $k_{отр}$  – коэффициент отражения экрана в месте расположения ЛЦ;  $k_{эфф}$  – коэффициент, характеризующий дифракционную эффективность голограммы;  $k_2$  – коэффициент использования голографической отражающей поверхности (соотношение площади голограммы и всей освещённой площади в месте расположения голографического отражательного экрана);  $k_3$  – коэффициент использования поверхности отражающего экрана, на котором формируется ложная цель;  $m$  – количество голограмм, записанных на одном фрагменте голографического отражательного экрана.

Рассмотрим более подробно четыре последних коэффициента.

Для формирования максимально яркого отражённого луча необходимо обеспечить максимальную дифракционную эффективность голограммы. Анализ теоретических и экспериментально достигнутых значений максимальной дифракционной эффективности различных типов объёмных и плоских голограмм [9] показывает, что предпочтительными с точки зрения дифракционной эффективности являются объёмные голограммы, а с точки зрения решаемой тактической задачи – отражательные объёмные голограммы.

Дифракционная эффективность таких голограмм  $k_{эфф} = 0,8$ .

Рассмотрим возможность увеличения коэффициента использования голографической отражающей поверхности  $k_2$ . Луч подсвета обладает расходимостью  $\Omega_1$ . В общем случае, размеры (площадь) голограммы отличаются от площади  $S_1$  пятна, формируемого станцией подсвета. Обозначим размеры и соответствующую площадь голографического отражательного экрана  $L \times L = S_{гол}$ . Эффективная площадь голограммы в зависимости от взаимной ориентации ее и расположения источника подсвета

будет  $S_{эфф}$ . Тогда

$$k_2 = \frac{S_{эфф}}{S_1}. \quad (3)$$

Коэффициент использования поверхности отражающего экрана, на котором формируется ложная цель,  $k_3$ , характеризует долю излучения от голографического отражательного экрана, формирующего ЛЦ.

Ложная цель должна быть сформирована на безопасном для защищаемого объекта расстоянии  $R_3$ . Поэтому величина  $R_3$  будет составлять десятки метров ( $30\text{м} \leq R_3 \leq 100\text{м}$ ).

Обозначим через  $\Omega_2$  расходимость луча, отражённого от голографического отражательного экрана. Тогда сечение луча, отражённого от голографического отражательного экрана плоскостью, совпадающей с плоскостью отражающего экрана, будет представлять собой эллипс площадью  $S_{элл1}$ . Размеры диффузного экрана ограничены, в связи с этим в реальной ситуации ложной целью следует считать освещённую часть диффузного экрана, площадь ложной цели обозначим  $S_{лц}$ . Тогда соответствующие потери в мощности излучения описываются коэффициентом  $k_3$ :

$$k_3 = \frac{S_{лц}}{S_{элл1}}. \quad (4)$$

Для того чтобы при произвольном угле подсвета получить восстановленное голографическое изображение (ложную цель) в фиксированном месте (на экране), следует сформировать многолепестковую диаграмму обратного рассеяния. В этом случае хотя бы один из лепестков диаграммы обратного рассеяния обязательно будет попадать на зеркальный управляемый экран, формируя ЛЦ. Переход от одного лепестка к другому происходит вследствие изменения угла подсвета при движении самолёта – носителя станции подсвета.

Сформировать такую диаграмму обратного рассеяния возможно, если голографический отражательный экран будет представлять собой не одну отражательную голограмму, а будет набран из отдельных голограмм – фрагментов. Размеры одного фрагмента  $1 \times 1$ . На одном фрагменте может быть записано  $m$  голограмм. Таким образом, каждый фрагмент голографического отражательного экрана представляет собой суперпозицию объёмных голограмм, полученных методом многократного экспонирования одного и того же объёма толстослойного светочувствительного материала. При экспонировании длина световой волны для всех голограмм остаётся постоянной, однако среднее значение угла между предметным и опорным пучками меняется при переходе к каждому последующему экспонированию. Таким образом, между циклами экспонирования изменяется только

направление опорного пучка. Любая из наложенных друг на друга объёмных голограмм селективно откликается на освещение в соответствии с законом Брэгга [9]. Следовательно, каждая из них дифрагирует падающий свет с достаточной эффективностью только при освещении коллимированным пучком, направление распространения которого совпадает с направлением распространения опорного пучка при записи этой или сопряжённой ей голограммы. Если при восстановлении изображения используется свет с такой же длиной волны, как и для записи, искажения восстановленной волны минимальны. Количество голограмм, записанных на одном фрагменте голографического отражательного экрана  $m$ , можно выразить в явном виде.

Направление подсвета задаётся с помощью двух углов: азимута  $\varphi$  и угла места  $\theta$ . Диапазон изменения этих углов:  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\theta$ .

Необходимое количество голограмм:

$$N_1 = \frac{\Delta\varphi}{\Omega_1}; \quad N_2 = \frac{\Delta\theta}{\Omega_1}.$$

Т.е. для того, чтобы перекрыть сектор углов  $\Delta\varphi \times \Delta\theta$ , необходимо  $N = N_1 + N_2$  голограмм. На одном фрагменте, следовательно, должно быть записано  $m = \frac{N}{m_1^2}$  голограмм, причём  $m_1 = \frac{L}{l}$ . Окончательно:

$$m = \frac{N_1 + N_2}{m_1^2} = \frac{(\Delta\varphi + \Delta\theta) \cdot l^2}{\Omega_1 \cdot L^2}. \quad (5)$$

Количество голограмм, которые могут быть записаны на одном фрагменте, ограничено.

Восстановленное изображение должно быть инвариантно к направлению подсвета в достаточно большом секторе углов  $\Delta\varphi \times \Delta\theta$ ; это означает, что, во-первых, на одном фрагменте должно быть записано значительное количество голограмм; во-вторых – количество фрагментов голографического отражательного экрана должно быть достаточно большим. Очевидно, что размер каждой отдельной голограммы должен быть мал. Влияние размеров голограммы на качество изображения аналогично влиянию линзы конечных размеров.

Например, чтобы перекрыть сектор углов  $60^\circ \times 60^\circ$  при  $L = 1\text{м}, l = 0,1\text{м}, \Omega_1 = 10^{-4}$  рад потребуется на одном фрагменте голографического экрана записать  $m = 210$  голограмм, чтобы перекрыть сектор углов  $5^\circ \times 5^\circ$  при тех же условиях потребуется на одном фрагменте голографического экрана записать  $m = 17$  голограмм.

Сравним мощность излучения, приходящего на апертуру фотоприемника ЛГСН, для случаев отражения от ложной цели, сформированной на диффуз-

ном экране (2):  $P_{an2}$ , и от защищаемого объекта

$$\left( P_{an1} : P_{an1} = \frac{P_0 k_1 \tau_{np} \sigma_1 \tau_{a2} S_{an}}{4\pi R_2^2} \right);$$

$$\frac{P_{an2}}{P_{an1}} = \frac{\tau_{a3} \tau_{a4} k_{эфф} k_2 k_{отр} k_3 R_2^2 \sigma_2}{m R_4^2 k_1 \sigma_1 \tau_{a2}}. \quad (6)$$

Учтём, что  $R_2 \approx R_4, \tau_{a2} \approx \tau_{a4}, \tau_{a3} \approx 1$ , кроме того, для типичной ситуации

$$k_{эфф} = 0,8, k_2 \approx 3 \cdot 10^{-3}, k_3 \approx 1, k_{отр} = 0,9, k_1 = 0,3,$$

$$\sigma_1 \approx 5\text{м}^2, \sigma_2 \approx 3\text{м}^2.$$

Тогда при  $m = 20$  получим:

$$\frac{P_{an2}}{P_{an1}} = \frac{k_{эфф} k_2 k_{отр} k_3 \sigma_2}{m k_1 \sigma_1} \approx 2 \cdot 10^{-4}; \text{ при } m = 200$$

$$\frac{P_{an2}}{P_{an1}} \approx 2 \cdot 10^{-5}.$$

То есть

$$\frac{P_{an2}}{P_{an1}} \ll 1. \quad (7)$$

В случае формирования ЛЦ на диффузном экране необходимое соотношение мощностей отраженного излучения для увода УР от защищаемой цели получить затруднительно.

Рассмотрим ситуацию, когда экран формирования ложной цели будет зеркальным. Для зеркального экрана необходимо обеспечить управление. В целях обеспечения для него необходимого количества степеней свободы следует поднять его на некоторую высоту  $h$  над поверхностью земли

Расходимость луча, формируемого зеркальным управляемым экраном  $\Omega_3$ , должна быть больше, чем расходимость луча подсвета  $\Omega_1$ . Это связано с необходимостью сопряжения управления зеркальным управляемым экраном с внешним целеуказанием.

Для случая формирования ЛЦ с помощью зеркального управляемого экрана уравнение лазерной локации приобретёт вид:

$$P_{ан3} = \frac{4P_0 \tau_{a3} \tau_{a4} \tau_{np} k_{эфф} k_2 k_{отр} k_3 S_{ан}}{m \cdot \pi \cdot \Omega_3^2 \cdot R_4^2}, \quad (8)$$

где  $P_{ан3}$  – мощность на входе фотоприемника ЛГСН при отражении от зеркального управляемого экрана;

$\Omega_3$  – расходимость луча, сформированного при помощи зеркального управляемого экрана.

Если сравнить мощность излучения, приходящего на апертуру фотоприемника ЛГСН для случаев отражения от ложной цели, сформированной на зеркальном управляемом экране (18):  $P_{ан3}$  и от защищаемого объекта ( $P_{ан1}$ ), то:

$$\frac{P_{ан3}}{P_{ан1}} = \frac{4\tau_{a3} \tau_{a4} k_{эфф} k_2 k_{отр} k_3 4\pi R_2^2}{m\pi \Omega_2^2 R_4^2 k_1 \sigma_1 \tau_{a2}}. \quad (9)$$

Учитывая, что  $R_2 \approx R_4$ ,  $\tau_{a2} \approx \tau_{a4}$ ,  $\tau_{a3} \approx 1$ , кроме того, для типичной ситуации  $k_{эфф} = 0,8$ ,  $k_2 \approx 3 \cdot 10^{-3}$ ,  $k_3 \approx 1$ ,  $k_{отр} = 0,9$ ,  $k_1 = 0,3$ ,

$\sigma_1 \approx 5 \text{ м}^2$ ,  $\Omega_2 = 3,5 \cdot 10^{-2}$  рад; при  $m = 20$  получим

$$\frac{P_{анз}}{P_{ан1}} = \frac{4k_{эфф}k_2k_{отр}k_3^4}{m\Omega_2^2k_1\sigma_1} = 0,94; \text{ при } m = 200 \text{ полу-}$$

чим  $\frac{P_{анз}}{P_{ан1}} \approx 0,1$ .

Это означает, что количество голограмм, записанных на одном фрагменте голографического отражательного экрана, должно быть  $m \leq 20$ . При соблюдении этого условия, и в случае формирования ложной цели на зеркальном управляемом экране, соотношение (1) выполняется, т.е. оказывается возможным получить сигнал от ложной цели, мощность которого будет сравнима с мощностью сигнала от защищаемого объекта:  $P_{лц} \approx P_{обь}$ .

## Выводы

Предложенная методика расчета основных параметров системы постановки пассивных помех высокоточному оружию с оптическими и тепловыми головками самонаведения при использовании голографического метода размножения изображений объектов в оптическом диапазоне длин волн позволяет оценить возможности повышения энергетических характеристик сигнала от ложной цели. Проведенная на основе анализа возможностей голографических отражателей и экранов формирования ложной цели оценка свидетельствует о том, что при условии формирования ложной цели на зеркальном управляемом экране и выполнении условий по сопровождению ложной цели оказывается возможным получить мощность излучения, отраженного от ложной цели  $P_{лц}$ , приблизительно равную мощности излучения, отраженного от защищаемого объек-

та  $P_{обь}$ :  $P_{лц} \approx P_{обь}$ . Это позволяет формировать ложную цель на заданном расстоянии от защищаемого объекта.

## Список литературы

1. Широкоград А.Б. История авиационного вооружения / А.Б. Широкоград. – Минск: Харвест, 1999. – 560 с.
2. Масалов С.А. Физические основы диапазонных технологий типа «Стелс» / С.А. Масалов, А.В. Рыжак, О.И. Сухаревский, В.М. Шкиль. – С.-Пб.: ВИКУ имени А.Ф. Можайского, 1999. – 163 с.
3. Ковтуненко А.П. Основы построения и оценки потенциальной эффективности систем зенитного управляемого ракетного оружия: моногр. / А.П. Ковтуненко, А.Ф. Козлов, О.П. Коростелёв, Н.А. Шеринев – К.: Фитосоциоцентр, 2003. – 296 с.
4. Моисеева Г.А. К вопросу о влиянии ложной цели на вероятность наведения высокоточного оружия на малоразмерный объект / Г.А. Моисеева // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2014. – Вып. 1 (117). – С. 37-40.
5. Мусьянов М.П. Проблемы ближней лазерной локации: учеб. пособ. / М.П. Мусьянов, И.Д. Миценко, Г.Г. Ванев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 295 с.
6. Кулалаев В.В. Состояние и перспективы разработок системы защиты самолетов гражданской авиации от террористических пусков ракет с тепловыми головками самонаведения / В.В. Кулалаев, А.В. Кулалаев, П.О. Науменко // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х.: ХАІ, 2003. – Вып. 40/5. – С. 13-18.
7. Ольгин С. Проблемы оптоэлектронного противодействия (по взглядам зарубежных военных специалистов) / С. Ольгин // ЗВО. – 2002. – №9. – С. 35-40.
8. Оптическая локация. Теоретические основы приёма и обработки оптических сигналов. Под ред. заслуженного изобретателя Украины, доктора технических наук, профессора А.И. Стрелкова: моногр. – Х.: Вировец А.П. «Апостроф», 2010. – 312 с.
9. Кольер Р. Оптическая голография / Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Луин. – М.: Мир, 1973. – 688 с.

Поступила в редколлегию 13.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛУ ВІД ХИБНОЇ МЕТИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГОЛОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ РОЗМНОЖЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПАСИВНИХ ПЕРЕШКОД ВИСОКОТОЧНІЙ ЗБРОЇ В ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ ДОВЖИН ХВИЛЬ

Г.О. Моисеева

*Розраховані параметри системи постановки пасивних перешкод високоточної зброї з оптичними та тепловими головками самонаведения, що дозволяють підвищити енергетичні характеристики сигналу від хибної мети при використанні голографічного методу розмноження зображень об'єктів в оптичному діапазоні довжин хвиль.*

**Ключові слова:** високоточна зброя, голографічні відбивачі, хибна ціль, ймовірність наведення.

## WAYS TO IMPROVE THE ENERGY PERFORMANCE SIGNAL FROM DECOYS WHEN USING HOLOGRAPHIC METHOD OF OBJECTS IMAGE REPRODUCTION TO CREATE A CLUTTER FOR PRECISION WEAPONS IN THE OPTICAL WAVELENGTH RANGE

G.O. Moiseeva

*The parameters of passive cluttering for precision weapons with optical and thermal homing that improve the energy characteristics of the signal from the false target using the holographic method of reproduction of images of objects in the optical wavelength range were calculated.*

**Keywords:** high-precision weapons, holographic reflectors, false targets, guidance probability.