

УДК 621.391

А.И. Стрелков<sup>1</sup>, Т.А. Стрелкова<sup>2</sup>, С.А. Лисовенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков*

<sup>2</sup>*Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБНАРУЖИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

*Проведен анализ возможности повышения обнаружительной способности оптико-электронных систем обнаружения и сопровождения воздушных объектов.*

**оптико-электронные системы, отношение сигнал/шум, повышение чувствительности**

### **Введение**

**Постановка проблемы.** Опыт локальных конфликтов последних лет (в зоне Персидского залива, Югославии и Афганистана) показывает, что роль средств воздушного нападения (СВН) в достижении целей войны постоянно растет. Программа развития СВН, которая проводится большинством развитых стран мира позволила увеличить до 2006 года боевой потенциал СВН в 2-3 раза за счет глубокой модернизации существующего парка самолетов и принятия на вооружение перспективных образцов СВН, усовершенствования их прицельно-навигационного оборудования. Применение в ходе боевых действий [1] высокоточного оружия (ВТО) малой, средней и большой дальности действия, использования систем

дальнего радиолокационного обнаружения и управления (ДРЛО), разведывательно-ударных комплексов (РУК) [2], а также применения дистанционно пилотируемых летальных аппаратов (ДПЛА) разного назначения, снижения заметности носителей ВТО и их элементов в условиях интенсивного огневого и радиоэлектронного противодействия во много раз увеличивает эффективность применения СВН. Именно по этому в условиях современного боя основными задачами систем ПВО становится эффективное противодействие ВТО и ДПЛА. Для увеличения эффективности борьбы с СВН необходимо разрабатывать новые комплексы, которые бы соответствовали реалиям современного боя, либо модернизация старых комплексов. В составе многих комплексов ПВО есть

оптико-электронные системы (ОЭС) обнаружения и наведения. У ОЭС много преимуществ над радиолокационными системами, но есть и недостатки. Это большая зависимость характеристик от погодных условий и от времени суток. Одной из таких ОЭС является телевизионно-оптический визир (ТОВ) “Карат”. Для модернизации этой ОЭС необходимо провести анализ регистрации оптического излучения и принятия решения об обнаружении воздушного объекта.

**Анализ литературы.** В литературе [2 – 4] дана полная методика расчета основных характеристик оптических приборов и методы их улучшения в одномодовом режиме. В [1] дана оценка преимуществ работа в многомодовом режиме. Однако трудов посвященных направлениям модернизации систем технического зрения, работающих в различной помеховой обстановке в разных режимах практически нет [5].

**Целью данной работы** является анализ возможности увеличения чувствительности ТОВ “Карат” без существенных изменений в конструкции.

### Результаты исследований

**Основные формулировки.** Для соответствия требованиям ведения современного боя необходимо, чтобы современные ОЭС обнаруживали средства высокоточного оружия на максимальном удалении при любой помеховой обстановке. Определим направления модернизации ОЭС, для этого выделим наиболее важные факторы, влияющие на качество выполнения задач обнаружения и сопровождения средств воздушного нападения ОЭС. Задача обнаружения СВН в ОЭС заключается в выделении сигнала на выходе ОЭС, создаваемого СВН, из сигнала помехи, создаваемого внешними и внутренними шумами [2, 4].

**Освещенность, создаваемая целью на мишени фотокатода.** Освещенность, создаваемая целью на мишени фотокатода, зависит от ряда параметров и, прежде всего от отражающих свойств объекта. Отражающие свойства объекта характеризуются эффективной площадью рассеяния (ЭПР), которая определяет связь интенсивности падающей волны у объекта и отраженной волны. При расчетах будем использовать ТГХ крылатой ракеты “Томагавк”. Воспользуемся формулой ЭПР для крылатой ракеты с параметрами: радиус ( $r_k$ ) 0,15 м; угол при вершине ( $2\alpha$ ) равен  $90^\circ$ ; длина головки ракеты ( $l_k$ ) 0,15 м; длина (1) 1,5 м, приведенной в [3]:

$$\sigma = 4\pi R_g r_k^2 \sin \alpha \cos \phi, \quad (1)$$

где  $R_g$  – коэффициент диффузного отражения;  $\phi$  – фазовый угол подсвета.

Определим освещенность, создаваемую крылатой ракетой на апертуре оптико-электронной системы (ОЭС):

$$E_{ВХ} = \frac{E_0 \sigma \cos \omega}{4\pi R^2} \cdot \tau_{ср}, \quad (2)$$

где  $E_0$  – освещенность, создаваемая на объекте источником излучения;  $\omega$  – угол между нормалью к головке ракеты и направлением на приемник;  $R$  – расстояние до цели;  $\tau_{ср}$  – коэффициент ослабления излучения средой распространения.

Угол между нормалью к головке ракеты и направлением на приемник определяется углом при вершине головки ракеты  $\pi/2 - \alpha$  [3] и углом наблюдения ракеты  $\theta$ . Угол наблюдения ракеты определяется известной формулой [3]:

$$\theta = \arctg\left(\frac{H}{R}\right), \quad (3)$$

где  $H$  – высота цели.

Как известно, освещенность фотокатода зависит от площади входной апертуры  $S_{ВХ}$  и площади изображения цели  $S_{ИЗ}$ .

$$E_{ИЗ} = \frac{E_0 \sigma S_{ВХ} \cos \omega}{4\pi R^2 S_{ИЗ}} \cdot \tau_{ср} \tau_{ос}, \quad (4)$$

где  $S_{ВХ} = \pi D_{ВХ}^2 / 4$ ;  $D_{ВХ}$  – диаметр входной апертуры;  $\tau_{ос}$  – коэффициент ослабления оптической системы.

Для ТВ – систем освещенность также зависит от того, является ли изображение цели точечным или протяженным. Если изображение является точечным, т.е. площадь его изображения меньше площади 1 элемента разрешения фотоприемника, то [4]

$$S_{ИЗ} = \Delta \varpi f_{ЭКВ}^2, \quad (5)$$

где  $\Delta \varpi$  – угловое разрешение оптической системы;  $f_{ЭКВ}$  – эквивалентное фокусное расстояние оптической системы.

Если изображение является протяженным, то [3]

$$S_{ИЗ} = S_{Об} \frac{f_{ЭКВ}^2}{R^2}, \quad (6)$$

где  $S_{Об}$  – площадь объекта.

В этом случае

$$E_{ИЗ} = \frac{E_0 \sigma S_{ВХ} \cos \omega}{4\pi S_{Об} f_{ЭКВ}^2} \cdot \tau_{ср} \tau_{ос}. \quad (7)$$

Из формул (4) и (7) видно, что освещенность изображения будет возрастать до тех пор, пока цель не будет разрешаться оптической системой, при дальнейшем приближении цели освещенность будет зависеть от светосилы оптической системы.

Определим  $r^*$  – расстояние на котором ТОВ “Карат” будет разрешать крылатую ракету с заданными параметрами, т.е.  $S_{ИЗ} > S_{ЭЛ.р.} = 4 \times 10^{-10} \text{ м}^2$ .

Из рис.1 видно, что крылатая ракета разрешаться ТОВ «КАРАТ» до расстояния 6,6 км.

**Оценка освещенности, создаваемой фоном.** При обнаружении воздушных объектов фоном являются небо, облака либо звездное небо. Яркость фона зависит от метеоусловий, времени года и суток.

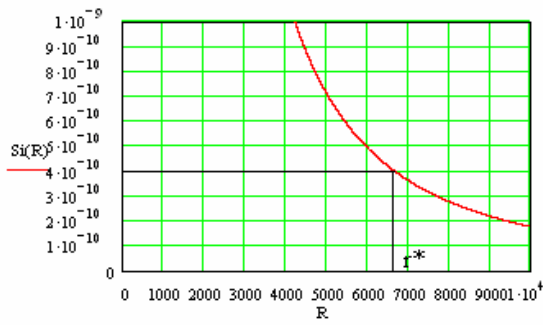


Рис.1. Зависимость площади изображения ракеты от расстояния до нее

Освещенность, создаваемая фоном в одном элементе разрешения, зависит от [6] яркости фона, диаметра входной апертуры; эквивалентного фокусного расстояния оптической системы, коэффициента ослабления оптической системы и коэффициента ослабления излучения средой распространения.

Воспользуемся значениями яркостей различных фонов, приведенных в справочниках (табл. 1), для оценки освещенности, создаваемой на мишени фотокатода.

Таблица 1  
Значения яркости различных фонов

	ясное небо	облака	сумерки	полная луна
освещенность фотокатода, лк	$10^3$	76	0,36	$1,6 \times 10^{-3}$

**Оценка возможности обнаружения крылатой ракеты при различной фоновой обстановке.**

Для выделения изображений объектов из шумов, фоновых или внутренних, существует два подхода в зависимости от метода обработки изображений: автоматический или визуально оператором. Первый, это вычисление отношения сигнал/шум в каждом элементе разрешения, и, второй, вычисление отношения сигнал/шум по всему полю зрения ОЭС, в зависимости от площадей, занимаемых объектом и шумами.

Для выделения сигнала от крылатой ракеты из сигнала помехи, создаваемого фоном и внутренними шумами, сигнальная составляющая тока в цепи нагрузки должна в  $\Phi_{\min}$  раз превышать среднеквадратичное значение помехи [3]. В ТОВ “Карат”  $\Phi_{\min} = 5$ .

$$i_c > \Phi_{\min} \sqrt{i_n^2}, \tag{8}$$

где  $i_n^2$  – дисперсия тока помехи в цепи нагрузки, определяется дисперсией его составляющих:

$$i_n^2 = i_c^2 + i_T^2 + i_T^2, \tag{9}$$

где  $i_c^2$  – дисперсия тока сигнальной составляющей;  $i_T^2$  – дисперсия тока, обусловленного внешним фоном;

$i_T^2$  – дисперсия тока, обусловленного тепловыми шумами.

Значения  $i_T^2$  и минимальное значение  $\Phi_{\min}$  приводятся в паспорте фотоприемника,  $i_c^2$  и  $i_\Phi^2$  зависят от освещенности, создаваемой объектом и фоном соответственно.

Рассмотрим автоматический метод обработки изображений – отношение сигнал/шум вычисляются в каждом элементе разрешения. При обнаружении точечных изображений считают, что фотоприемник работает в режиме одномодового оптического излучения. В качестве модели выступает модель точечного фотоприемника. Величину сигнальной составляющей в одном элементе разрешения можно рассчитать по формуле [3]:

$$i_{CO} = E_c \Delta l_{из}^2 S \frac{T_H}{\tau_k} \sigma N, \tag{10}$$

где  $\Delta l_{из}^2$  – площадь изображения объекта на одном элементе разрешения; S – токовая чувствительность фотокатода;  $T_H$  – время накопления сигнала;  $\tau_k$  – время коммутации одного элемента разрешения электронным лучом;  $\sigma$  – коэффициент усиления мишени; N – количество периодов накопления сигнала.

Дисперсия тока сигнала в одном элементе разрешения определяется на основе формулы Шоттки:

$$i_{CO}^2 = 2e i_c \Delta f, \tag{11}$$

где e – заряд электрона;  $\Delta f = 1/\tau_k$  – полоса пропускания.

Дисперсия тока в одном элементе разрешения, обусловленного внешним фоном равна [3]:

$$i_{\Phi}^2 = 2e i_{\Phi} \Delta f, \tag{12}$$

где  $i_{\Phi} = E_\Phi \Delta l_\Phi^2 S \frac{T_H}{\tau_k} \sigma N$  – сила тока в одном элементе разрешения, обусловленного внешним фоном;  $\Delta l_\Phi^2 = \Delta l_{эл}^2 - \Delta l_{из}^2$  – площадь изображения фона на одном элементе разрешения.

Отношение сигнал/шум в одном элементе разрешения равно [1]:

$$\Phi = i_{CO} / \sqrt{i_{CO}^2 + i_{\Phi}^2 + i_{TO}^2}, \tag{13}$$

Для определения зависимости отношения сигнал/шум в одном элементе разрешения от расстояния до цели при различных условиях обнаружения воспользуемся значениями яркости фонов приведенных в табл. 1.

Из формул (10), (12) и рис. 2, 3 видно, что сигнальная составляющая будет увеличиваться, а фоновая уменьшаться до момента пока ОЭС не начнет разрешать объект.

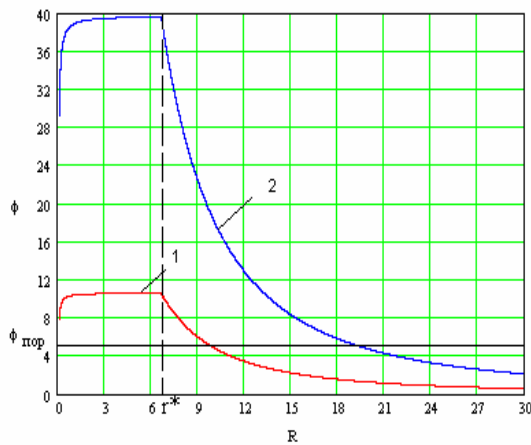


Рис. 2. Зависимость отношения сигнал/шум от расстояния при выделении сигнала цели из сигнала от ясного неба (2) и облаков (1)

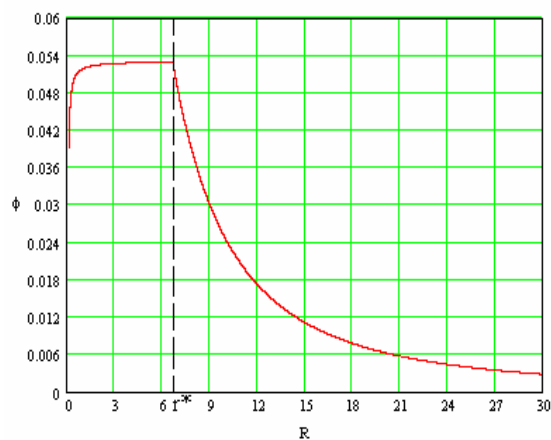


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал/шум от расстояния при выделении сигнала цели из сигнала от неба при освещении полной луной

Следовательно, при регистрации сигнала от объекта в одном элементе разрешения для точечных объектов сигнальную составляющую необходимо выделить из фоновой составляющей дисперсии тока. Для регистрации сигнала от протяженных объектов в одном элементе разрешения необходимо выделить сигнал из внутренних шумов приемника, так как фоновая составляющая в элементе, который полностью заполнен изображением объекта, отсутствует.

Из рис. 2 видно, что ТОВ “Карат” успешно выделяет сигнал от цели типа “крылатая ракета” в условиях освещения ясным днем и облаков из сигнала от шумов. Однако, в условиях освещения полной луной выделение сигнала от цели невозможно, поэтому для выделения сигнала от цели из сигнала от шумов необходима дополнительная обработка.

Рассмотрим случай обработки изображений оператором – отношение сигнал/шум определяется в зависимости от площадей, занимаемых объектом и шумами на устройстве отображения изображений.

Для регистрации протяженных источников излучения модель точечного фотодетектора не подходит, так как появляется большое количество пространственных мод на приемнике. Поэтому для

оценки характеристик изображений необходимо учитывать вклад каждой пространственной моды в формирование сигнальной и шумовой компонент. Перепишем выражение для отношения сигнал/шум с учетом вклада каждой пространственной моды в формирование сигнальной и шумовой компонент:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{M_c i_{CO}}{\sqrt{M_c i_{CO}^2 + M_\phi i_{\phi O}^2 + M_\Pi i_{TO}^2}} = \\ &= \frac{M_c i_{CO}}{\sqrt{M_c i_{CO}^2 + (M_\Pi - M_c) i_{\phi O}^2 + M_\Pi i_{TO}^2}} \end{aligned} \quad (14)$$

где  $M_c$  – количество пространственных мод, занимаемых изображением объекта;  $M_\phi$  – количество пространственных мод, занимаемых изображением фона;  $M_\Pi$  – количество пространственных мод, которое укладывается в поле зрения приемника.

Из формулы (14) видно, что отношение сигнал/шум будет тем больше, чем больше пространственных мод приходится на объект.

Как известно, при обработке изображений оператором сбор энергии пространственных мод человеческого глаз выполняет подсознательно [4]. Т.е. большой объект воспринимается при более низкой пороговой яркости, чем маленький. Так же осуществляется и временная суммация, в результате которой глаз воспринимает не мгновенные значения случайного шума, а его среднеквадратическую величину, усредненную за конечный период времени, равный постоянной времени глаза. Т.е. при одинаковой от кадра к кадру дисперсии шума отношение сигнал/шум увеличивается пропорционально корню квадратному из числа независимых кадров. Следовательно, глаз выполняет пространственно-временную обработку изображений, что увеличивает отношение сигнал/шум и соответственно эффективность ОЭС обнаружения СВН. Применяв данную обработку в системах технического зрения можно значительно повысить чувствительность системы. Проведя аналитический анализ применения законов пространственной и временной суммации в ТОВ “Карат” можно предположить возможность обнаружения целей типа “крылатая ракета” в условиях освещения полной луной. На рис. 4 приведены предполагаемые зависимости отношения сигнал/шум от расстояния до цели в условиях освещения полной луной, при применении оптимального сбора энергии пространственных и временных мод.

### Вывод и направление дальнейших исследований

Из аналитических расчетов следует, что при оптимальном использовании энергии пространственных и временных мод возможно увеличение чувствительности ОЭС в 8-10 раз. Поэтому основной задачей становится разработка оптимальной процедуры сбора энергии пространственных мод и временного накопления сигнал автоматическим методом в ТОВ “Карат”.

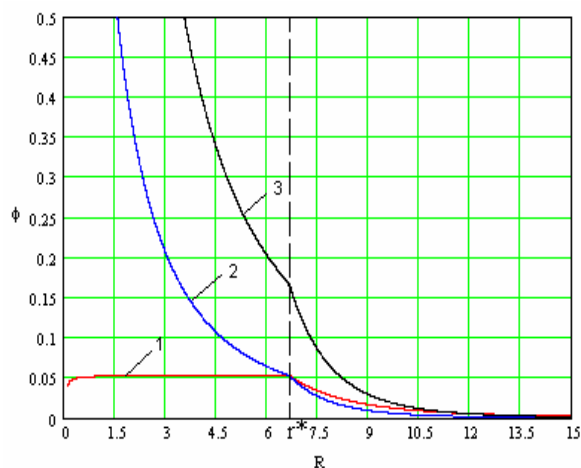


Рис. 4. Аналитические расчеты зависимости отношения сигнал/шум от расстояния до цели в условиях освещения полной луной (1 – зависимости отношения сигнал/шум от расстояния при обнаружении в одном элементе разрешения; 2 – зависимости отношения сигнал/шум от расстояния при оптимальном сборе энергии пространственных мод; 3 – зависимости отношения сигнал/шум от расстояния при оптимальном сборе энергии пространственных и 10 временных мод)

Направлением дальнейших исследований будет оценка эффективности корреляционных методов и методов межкадрового накопления сигнала для увеличения чувствительности ОЭС.

### Список литературы

1. Гальярди Р. М., Карп Ш. *Оптическая связь*. – М.: Высш. шк., 1978. – 524 с.
2. Якушенко Ю.Г. *Теория и расчет оптикоэлектронных приборов*. – М.: Машиностроение, 1989. – 360 с.
3. Москвитин С.В., Стрелков А.И. *Теоретические основы оптической локации*. – Х.: ВИРТА ПВО, 1992. – 369 с.
4. Мирошников М.М. *Теоретические основы оптико-электронных приборов*. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. – 696 с.
5. Писаревский А.Н., Черняевский А.Ф. *Системы технического зрения*. – Л.: Машиностроение, 1988. – 432 с.
6. *Прикладная оптика: Учебн. пос. для приборостроительных специальностей ВУЗов: Под ред. Н.П. Заказнова*. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

Поступила в редколлегию 10.09.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Е.Д. Прилепский, Харьковский университет Воздушных сил им. И. Кожедуба, Харьков.

УДК 537.874.7

И.А. Черепнев

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства  
им. П. Василенко, Харьков

## КОНЦЕПЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

*В статье рассматривается процесс эволюции живой природы и влияние внешних импульсных электромагнитных полей на клетку живого организма.*

### *импульсные электромагнитные поля, клетка живого организма*

Метаболические процессы, происходящие в биологических объектах, подчиняются закону сохранения энергии по первому закону термодинамики. Однако из рассмотрения этого закона выпадает фактор времени, характеризующий метаболические процессы.

Однако, используя принципы информационной теории (принцип Даламбера), доказаны фундаментальные свойства живых систем, т.е. биологических объектов, формировать на воздействие импульсных электромагнитных полей (ЭМП) собственные ответные сигналы о свойствах живого организма в реальном масштабе времени. В связи с тем, что биологическая система является открытой и неравновесной, постоянно происходит обмен энергией из окружающей среды.

Рассматривая живой организм с позиции Шредингера [1] и учитывая второй закон термодинамики, который вводит величину, называемую энтропией, установлено, что энтропия вещества, выделяемая биологическим объектом, выше энтропии потребляемых им веществ. Следовательно, отток энтропии в окружающую среду приводит к формированию неравновесной системы живого организма. Поэтому в открытых системах энергетическое состояние характеризуется трансформацией энергии в единицу времени.

Изменение энтропии в открытых системах может происходить только в результате обмена системы с внешней средой либо за счет возникновения энтропии в самой системе за счет внутренних необратимых процессов

$$dS = d_c S + d_i S,$$

т.е. энтропия открытой системы складывается с энтропией  $d_c S$  внешней среды и энтропии  $d_i S$  внутренних необратимых изменений в организме (в частности, различных заболеваний или различных химических процессов).

Продифференцировав полученное выражение,

получим, что  $d_c S/dt$  равно скорости энергии энтропии между системой и окружающей средой плюс скорость возникновения энергии внутри системы.

Итак, член  $d_c S/dt$  учитывает процессы обмена со средой, который может быть положительным  $d_c S/dt > 0$  и отрицательным  $d_c S/dt < 0$ , т.е. общая энтропия может как возрастать, так и убывать.

В реальных условиях развитие биологических объектов сопровождается уменьшением общей величины их энтропии, т.е.

$$d_c S/dt < 0; \quad d_c S/dt > d_i S/dt,$$

где  $d_i S/dt$  учитывает процесс обмена системы со средой. Она может быть как положительной, так и отрицательной, если  $d_i S/dt > 0$ , т.е. систематически происходит обмен информацией внешней среды с биологическим объектом. Известно, что живая природа использует информацию естественных электромагнитных полей (ЭМП) для деятельности организма. Беспрерывно происходит обмен этой информацией, следовательно, изменение энтропии.

Наиболее интересным является развитие новых современных моделей жизнедеятельности организмов, моделей их самореализации, эволюции с учетом взаимодействия физических процессов, происходящих в разных масштабах пространственных и энергетических в реальном интервале времени [2].

Следует отметить, что процессы, происходящие в клетках животного и растения в значительной мере тождественны. Данное обстоятельство позволяет в ряде случаев расширить сферу экспериментов и частично перенести их на растительные объекты [3].

В настоящее время существует несколько основных утверждений, объясняющих физический механизм воздействия ЭМП на биологические объекты, в частности биологические эффекты имеют пороговый характер, например, по мощности он составляет порядка от 5 до 10 мВт/см<sup>2</sup> [5].

При достаточно большом объеме практических данных не решена до конца задача разработки физико-математических моделей воздействия МП на жи-