

# ТРАНСПОРТНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.384.3

*Глебов В.В., канд. техн. наук; Гордиенко В.И., канд. техн. наук*

## О РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАКИ ПРОТИВОТАНКОВЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

**Постановка проблемы.** С целью повышения защищённости основных боевых танков (ОБТ) были разработаны и получили широкое распространение информационные системы, предназначенные для обнаружения средств наведения оружия и боеприпасов. Большинство таких систем обеспечивают обнаружение только лазерного излучения, направленного на объект защиты, с целью измерения дальности или подсветки цели.

Появление противотанковых управляемых ракет (ПТУР) с головками самонаведения (ГСН), работающими в пассивном режиме, или управляемых по волоконно-оптическим линиям связи активизировало работы по снижению заметности объектов бронетанковой техники (БТТ), но это недостаточно для эффективной защиты от такого типа оружия. Контроль окружающего пространства, раннее получение информации о потенциальной опасности, до того как она превратится в реальную угрозу, позволит в дополнение к средствам маскировки принять адекватные меры противодействия.

**Анализ последних достижений и публикаций.** С развитием инфракрасных (ИК) технологий после 2-й мировой войны, приборы, сигнализирующие об излучающих тепло целях в воздухе и на земле, на воде и под водой, и их координатах, стали широко применяться в авиации [1]. Важным изобретением стала ИК система FLIR (Forward Looking Infra Red), позволяющая летчику наблюдать за окружающими объектами в условиях ограниченной видимости.

В это же время начались исследования по созданию систем наведения оружия, основанных на ИК излучении цели. Такие системы имеют ряд преимуществ:

- при работе не выдают своего присутствия;
- обладают высокой точностью наведения;
- невосприимчивы к средствам радиоэлектронного подавления.

Первая пассивная ИК система наведения была создана и установлена в 1950 г. на управляемые ракеты (УР) класса "воздух-воздух" AIM-9 Sidewinder, затем на AIM-4 Falcon (США), Firestreak (Великобритания) и др. ИК головками самонаведения оснащены российские ракеты этого класса Р-73Э (Р-73ЭЛ) (рис. 1).



Рис. 1. Ракета малой дальности Р-73Э.

Управляемые ракеты для поражения воздушных объектов совершенствуются и в 70-е годы создаются переносные зенитные ракетные комплексы (ПЗРК) [2]. Принятие эффективных мер противодействия против них зависит от своевременного получения информации о приближении ракеты к защищаемому объекту.

© В.В. Глебов, 2013

В 80-е годы для обнаружения атак ПЗРК типа "Стрела", SA-7 и Stinger разработаны бортовые системы предупреждения AN/AAR-44 (компания BAЕ Systems (США)), AN/AAR-44А (компания Raytheon (США)). Они были громоздкими и устанавливались только на вертолеты и военно-транспортные самолеты. Системы МАК/LO-82 (компания "Росвооружение" (Россия)), MIMS 2000 (компания Northrop Grumman (США)) и другие разработаны уже для боевых самолётов типа "Су", Tornаdo, Harrier. ИК датчики систем обнаруживают тепловое излучение не только факела ракеты (во время пуска или на активном участке полета), но и нагретого за счёт трения в атмосфере корпуса.

В системе предупреждения следующего поколения DAIRS для истребителя (программа Joint Strike Fighter) предполагается использовать конформные ИК датчики с высоким разрешением и мгновенным сферическим полем зрения. Разрабатываются высокочувствительные ИК датчики широкого спектрального диапазона (от 3 до 20 мкм) с фотоприёмными устройствами (ФПУ) на основе решеток с квантовыми ямами QWIP.

Для обнаружения пуска УР класса "воздух-воздух" и ПЗРК также используется излучение следов сгорания топлива при работе двигателей в ультрафиолетовой (УФ) части спектра. УФ датчики применены в системах AN/AAR-54 (Northrop Grumman) - четыре датчика с полем обзора 120° каждый, и AN/AAR-57 (компания Sanders (США)) [3]. Фирма EADS (Германия) на базе датчиков УФ излучения разработала систему обнаружения пуска ракет MILDS AN/AAR-60 (рис. 2) [4].



Рис. 2. Система MILDS на вертолете NH-90.

Компания Northrop Grumman проводит работы по созданию инфракрасной обзорной системы для истребителя F-35 [5]. Комплект датчиков AN/AAQ-37 обеспечит системе поле зрения 360° и позволит пилоту не только управлять самолетом ночью и в плохих погодных условиях, но и обнаруживать с любых ракурсов различные цели, включая баллистические и зенитные ракеты, огонь зенитной артиллерии, пилотируемые и беспилотные летательные аппараты. Стендовые испытания показали возможность системы обнаруживать танки по вспышке выстрела из пушки и осуществлять их захват.

Таким образом, получение информации о пуске УР широко используется в авиации [2]. В существующих и разрабатываемых бортовых системах предупреждения применяются пассивные электронно-оптические датчики, использующие один или несколько участков УФ части спектра, средне- и/или длинноволновый участки ИК диапазона.

С целью повышения защищённости объектов БТТ в настоящее время создаются системы защиты, в которых предусматривается раннее обнаружения пуска ПТУР с воздушных, наземных носителей или управляемых по волоконно-оптическим линиям. Для этого используются датчики УФ излучения, разработанные для бортовых авиационных систем предупреждения.

Модификация системы MILDS - P-MILDS (рис. 3) включена в состав разрабатываемой многофункциональной системы защиты объектов БТТ MUSS для обнаружения в пассивном режиме пуска или приближения ракет с угловой разрешаю-

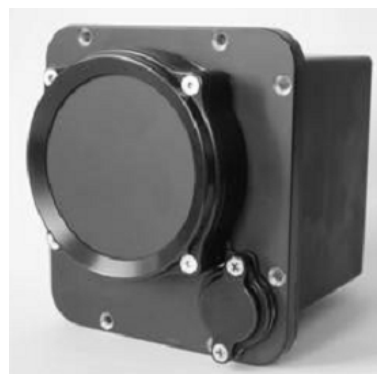


Рис. 3. УФ датчик системы P-MILDS

шей способностью  $\pm 2,5^\circ$  [6].

Фирмой GIAT (Франция), для установки на танки и другие боевые бронированные машины (БМ), разрабатывается комплект КВСМ (основной комплект мер противодействия) [7]. Для обнаружения ультрафиолетового излучения ракетных двигателей ПТУР предполагается использовать приборы MAW-200 и MAW-300, разработанные для авиации шведской фирмы SAAB.

ИК датчики находят применение в системах противодействия и активной защиты БТТ в качестве одного из каналов обнаружения подлетающих боеприпасов, но, как правило, дальность их действия невелика [8].

В активной системе защиты от противотанкового управляемого оружия ARPAM (фирма TAAS - Israel Industries (Израиль)) для раннего предупреждения совместно с индикаторами лазерного облучения LWS-2 предполагается использование пассивной электронно-оптической системы Piano [9]. При расположении датчиков вокруг башни, она может сканировать  $360^\circ$  по горизонту, обнаруживать подлетающие ракеты и определять направление атаки.

Компания United Defense (США) работает над системой противодействия в ближней зоне для уничтожения противотанковых реактивных гранат, в которой используется микроболометрическая приёмная тепловизионная камера обнаружения пуска реактивных противотанковых гранат [10].

Активная система обороны от боеголовок SPATEM создана фирмой GIAT (Франция) для танка Leclerc. Обнаружение приближающихся угроз обеспечивается инфракрасными и электромагнитными датчиками на дистанции около 50 м.

Шведской фирмой Vofors разрабатывается активная защита для боевых бронированных машин (БМ), кораблей и других подобных целей, включающая ИК, лазерную или радиолокационную системы обнаружения подлетающих боеприпасов.

Система наземной электронной обороны LEDS 150 (фирм Saab (Швеция) и Avitronics (ЮАР)) включает в себя комплект датчиков, выявляющих потенциальную угрозу. В его составе РЛС миллиметрового диапазона и тепловизионные датчики, объединённые в блок MCTS 150 (рис. 4). При установке 2-х блоков на бортах корпуса бронетранспортёра Piranha обеспечивается обзор по азимуту -  $360^\circ$ , по вертикали -  $(-15...+45)^\circ$ .



Рис. 4. Блок MCTS 150 на корпусе БМ Piranha.

**Целью статьи** является анализ направлений решения проблемы обнаружения атаки ПТУР для повышения уровня защищённости объектов БТТ.

**Основная часть.** Проблема имеет два основных аспекта - обнаружение факта пуска/полёта ракеты и определение положения атакующего боеприпаса.

**Обнаружение пуска/полёта ракеты.** В настоящее время для получения информации в пассивном режиме о применении противником ПТУР с ГСН или управляемых по волоконно-оптическим линиям могут быть использованы два способа:

- обнаружение излучения следов сгорания топлива в ультрафиолетовом диапазоне спектра электромагнитных волн;
- обнаружение теплового излучения ракеты в инфракрасном диапазоне.

Использование ультрафиолетового диапазона. Для двигателей противотанковых

ракет используется топливо с добавлением специальных присадок, которое при сгорании оставляет характерный след в УФ диапазоне спектра. Это явление может быть использовано для обнаружения факта атаки и идентификации применения такого типа боеприпасов. Наиболее предпочтительным является коротковолновый участок или диапазон UVC с длиной волны 100÷280 нм. Это т.н. солнечно-слепой диапазон ("solar blind"). В нём отсутствует фоновое излучение, благодаря чему достигается высокая чувствительность приёмников излучения, принципы построения которых разнообразны [11].

*Твердотельные фотоприемники на основе широкозонных материалов* представляют собой фоторезисторы, фотодиоды на *p-n* основе переходов, *p-i-n* структур и диодов Шоттки, полевых фототранзисторов с барьером Шоттки или на базе МДП-структур [12].

Фоторезисторы, созданные на основе слоев GaP:Cu, имеют высокий коэффициент усиления (рис. 5).



Рис. 5. Характеристика фоторезистора GaP:Cu.

Перспективными считаются фоторезисторы на основе нитрида галлия, нитрида алюминия и твердых растворов  $Al_xGa_{1-x}N$  [13]. Варьируя соотношением Al/Ga в твердом растворе, можно получать датчики с различной спектральной чувствительностью в широком диапазоне спектра от 3,4 эВ (GaN) до 6,2 эВ (AlN).

Разработана технология изготовления датчиков коротковолнового УФ излучения на базе композиции AlN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которая обеспечивает высокую спектральную чувствительность в диапазоне 180÷280 нм (рис. 6). В этом случае не требуется нанесения защитных слоев, которые имеют негативное влияние.

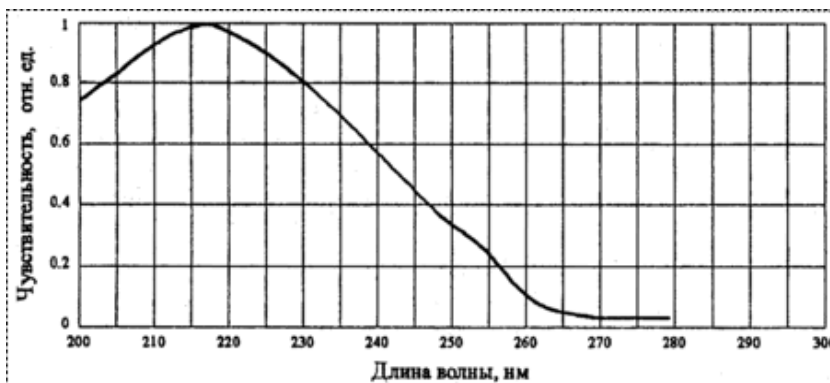


Рис. 6. Спектральная чувствительность датчика на основе AlN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Фоторезисторы на основе природных и синтетических монокристаллов алмаза обладают оптимальным сочетанием большой ширины запрещенной зоны, высокой теплопроводности и химической стойкости. Освоена технология изготовления УФ фоторезисторов на природном алмазе для спектрального диапазона 190÷300 нм.

Фотодиоды имеют спектральную характеристику подобную фоторезисторам, но являются более быстродействующими.

Применение фотоприёмников на основе GaP обеспечивает селективное детектирование. Фотодиоды с барьером Шоттки на основе GaP чувствительны в диапазоне 200÷500 нм (рис. 7). Линейная зависимость фототока от падающего излучения сохраняется в широком диапазоне, фоточувствительность с повышением температуры изменяется слабо.

Для регистрации УФ излучения используются полевые фототранзисторы, в основе функционирования которых лежит изменение проводимости в зависимости от освещенности [14]. Фототранзисторы на основе МДП структур и барьера Шоттки обла-

дают чувствительностью, обеспечивающей высокое быстродействие (рис. 8).

Интегральные УФ датчики представляют собой микросхемы, изготовленные по технологии SOI-CMOS (Silicon-On-Insulator Complementary Metal Oxide Semiconductor). Вместо обычной кремниевой используется подложка с интегрированным слоем диэлектрика, за счет чего удастся понизить напряжение питания и токи утечки. В состав прибора входит приемный элемент и аналоговые выходные цепи, сформированные на одном кристалле. Это позволяет уменьшить количество компонентов, стоимость и габариты устройств.

УФ приёмники обеспечивают детектирование излучения без специального охлаждения; имеют высокую чувствительность, линейную зависимость выходного тока от уровня излучения, малые шумы, низкое энергопотребление; обладают компактностью, прочностью, долгим сроком службы, простотой в обслуживании; интегрируются с вычислительной техникой. С другой стороны, имеют место значительная инерционность, температурная и временная нестабильность характеристик. Большинство приёмников предназначены для регистрации или "жесткого" УФ излучения космических объектов, или имеют небольшую дальность действия и используются в спектрофотометрии, калориметрии, охранно-пожарных системах, для проведения медико-биологические исследований.

Использование инфракрасного диапазона. Наличие факела работающего двигателя в момент пуска и на участке разгона - основной демаскирующий признак, по которому может быть осуществлён процесс выделения ПТУР на окружающем фоне. При общей длине факела до 4÷5 м, его часть с максимальной силой излучения составляет 2÷3 м. Поперечный размер факела 0,6÷1,2 м. Температура в зоне догорания  $\approx 2700$  К.

Коротковолновая область ИК диапазона спектра (0,7÷1,6 мкм) может быть использована для обнаружения горячих выхлопных газов и двигателя ракеты; длинноволновая область (8÷14 мкм) – для обнаружения излучения относительно "холодных" ведущих кромок ракеты, летящей с дозвуковой скоростью; средневолновая (3÷5 мкм) – для идентификации атакующего боеприпаса.

Теоретические аспекты обнаружения (выделения) объекта на окружающем фоне в ИК диапазоне достаточно изучены [15, 16]. Разработаны фотоприёмники на основе пленочных (PbS, PbSe и др.) и монокристаллических (In, Sb, HgCdTe) фоторезисторов [17].

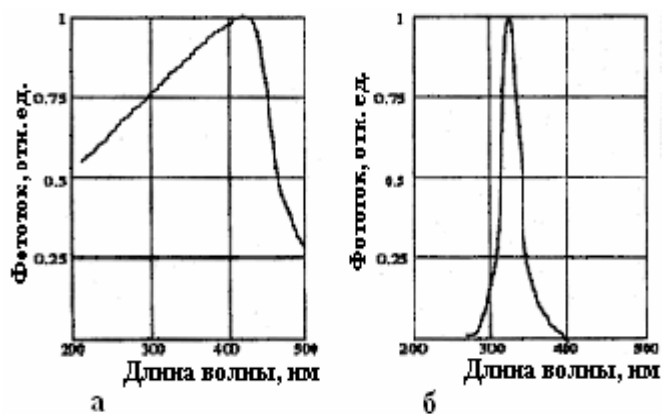


Рис. 7. Спектральные характеристики фотоприемников на основе барьера Шоттки с GaP: а – широкополосного; б – селективного.

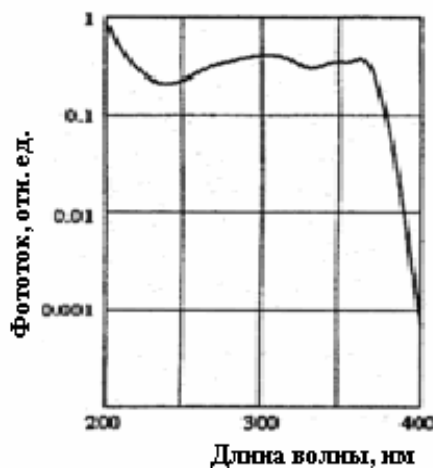


Рис. 8. Спектральная характеристика транзистора с барьером Шоттки на основе AlGaIn/GaN.

Относительные спектральные чувствительности ряда из них представлены на рис. 9. Простота конструкции обуславливает узкий диапазон линейности их световой характеристики, сильную зависимость параметров от температуры и инерционность. Постоянная времени для различных материалов - от десятков микросекунд до десятков миллисекунд.

Анализ публикаций показывает, что не охлаждаемые матричные ФПУ по параметрам обнаружения теплового излучения приближаются, а в некоторых случаях и превосходят охлаждаемые приёмники аналогичного назначения [18, 19], имея при этом меньшие габариты, массу, энергопотребление. Их температурная чувствительность достигает 0,05 К. Так, ФПУ, разработанное с применением технология микромеханических преобразователей (ММП) на основе ZnSe и SiO<sub>2</sub> обеспечивает поглощение излучения в полосе 8÷14 мкм при температуре окружающей среды без криостатирования [20]. При использовании оптики с  $f/1$  чувствительность - 0,15 К/Гц, время срабатывания – менее 30 мс.

Решением проблемы может быть использование многодиапазонных фотоприёмников, охватывающих диапазоны 1÷3 мкм, 3÷5 мкм и 8÷14 мкм (рис. 10) [18, 21]. Технология "сендвич"-структур с использованием кремния, германия, сульфида или селенида свинца, антимонида индия, тройных соединений кадмий-ртуть-теллур или свинец-олово-теллур позволяет в двух и более спектральных диапазонах контролировать окружающую обстановку в различных погодных условиях, при задымлении наблюдаемого пространства и воздействии активных контрмер (помех), применяемых противником.

**Определение положения атакующего боеприпаса.** Для принятия адекватных мер противодействия необходимо не только обнаружить факт пуска ПТУР, но и определить направление атаки с учётом сложной фоновой обстановки и тактики применения:

- как правило, пересечённая местность с наличием растительности (кустарник, деревья);
- маскировка наземных пусковых установок ПТУР в местах перехода "лес-поле" (рис. 11), атака авиационных ПТУР с максимальной дальности и предельно малых высот на фоне пригоризонтных естественных образований.

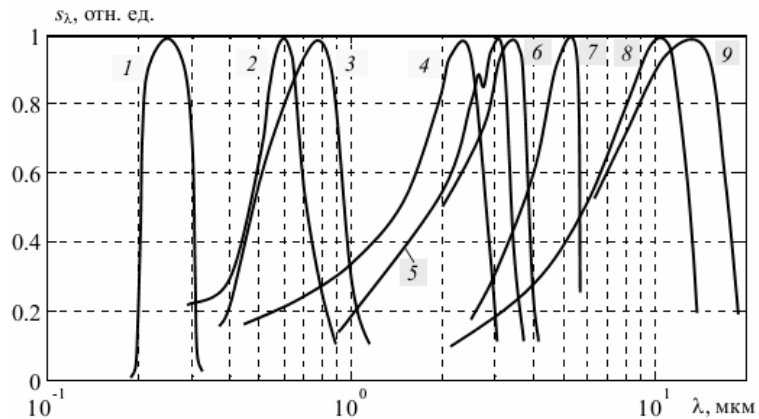


Рис. 9. Спектральные чувствительности фоторезисторов на основе: 1, 2 - сульфида кадмия (СФ2-18 и ФСК1); 3 – селенида кадмия (ФСД-1); 4, 5 - сульфида свинца (ФСА-1, 5 и ФСА-18АА, охл.); 6 - селенида свинца (СФ4-1В); 7 – антимонида индия (ФРО-146, охл.); 8 – германия, легированного ртутью (ФСГ-28РТА, охл.); 9 - CdHgTe (ФРО-Х1-142, охл.).

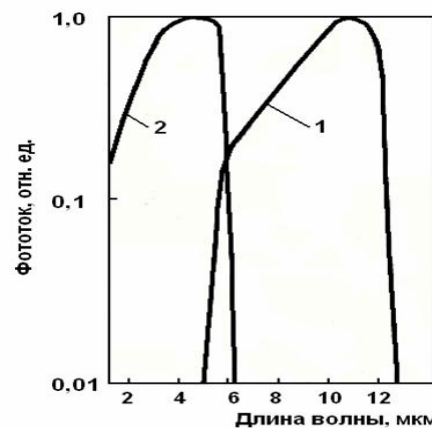


Рис. 10. Характеристики двухдиапазонного приёмника: 1-PbSnTe, 2 – InSb.

Задача обнаружения/селекции и определения положения атакующего боеприпаса, как малоразмерного объекта, на пространственно-неопределённом фоне может быть решена с помощью теории обработки информации в оптико-электронных системах пеленгации [22].



Рис. 11. Пуск ПТУР Javelin с ИК ГСН.

При пеленгации подвижного объекта существенным является изменение его поля энергетической яркости во времени. Первичная задача системы пеленгации состоит в обнаружении/селекции излучающего объекта (установлении факта присутствия в поле зрения), после чего возможно измерение его положения и скорости перемещения.

Для обеспечения селекции малоразмерный объект представляется в виде модели "точечного" источника излучения с распределением энергетической яркости в виде пространственных импульсов. Математическое выражение пространственного импульса описывается двумерной  $\delta$ -функцией:

$$\left. \begin{aligned} b(\vec{r}) &= J_c \delta(\vec{r} - \vec{r}_0) \\ \delta(\vec{r}) &= \begin{cases} \infty, & \vec{r} = 0 \\ 0, & \vec{r} \neq 0 \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\vec{r}_0$  - радиус-вектор центра идеального изображения точечного источника в фокальной плоскости объектива;  $\vec{r}$  - текущее значение радиус-вектора,  $J_c$  - энергетическая сила света (интегральная по площади излучателя).

При равномерном распределении энергетической силы света

$$b(\vec{r}) = \begin{cases} b_c & \text{при } \vec{r} \in \mathcal{E}_c \\ 0 & \text{при } \vec{r} \notin \mathcal{E}_c \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_c$  - область, лежащая внутри контура объекта.

Модель объекта как "точечного" источника излучения круглой формы с радиусом  $r_c$  может быть представлена в виде выражения

$$b(\vec{r}) = \begin{cases} b_c & \text{при } |\vec{r}| \leq r_c \\ 0 & \text{при } |\vec{r}| \geq r_c \end{cases}, \quad (3)$$

Модель случайного фона со скачкообразным изменением яркостного поля  $b$ , приведенная ниже, обеспечивает достаточно простую оценку размерной селекции, но обладает регулярностью структуры, т.к. основана на статистическом подходе.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b^2 &= \frac{(b_1 - b_2)^2}{4} \\ x_\phi &= \frac{1}{2\sqrt{2g_x}} \\ y_\phi &= \frac{1}{2\sqrt{2g_y}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $\sigma_b^2$  - дисперсия неоднородностей фона.

Применение теории Марковских процессов позволяет построить модель случайного процесса, обладающего свойством независимости энергетической яркости в дан-

ной точке от её значений в ближайшей окрестности (вероятность  $0 \leq p_y \leq 1$ ). При этом закон распределения макроструктуры фона будет иметь вид:

$$W(N) = \left(1 - \frac{B_o}{10}\right) \cdot \delta \cdot (N - \bar{N}_p) + \frac{B}{10} \sum_{k=0}^{N_m} \delta[(N - N_{on}) - k] \frac{(\sigma_{np}^2)^{(N-N_{on})}}{(N - N_{on})} \exp(\sigma_{np}^2), \quad (5)$$

здесь  $N = b/\Delta b$  - дискретное значение яркости фона, отнесённое к интервалу квантования  $\Delta b$ ;  $k$  - целое число при этом  $N - N_{on} \geq 0$ , где  $N_{on}$  - смещение математического ожидания неоднородной компоненты относительно среднего значения;  $B$  - бальность облачности.  $N$  ограничиваются  $N_m$ , соответствующей малым величинам вероятности  $- W(N_m) \leq 0,005$ .

Объект поиска на больших дистанциях имеет малый угловой размер и если флуктуациями фона на затенённой им площади и фона пренебречь, то учёт неаддитивности фона может быть сведен к использованию в качестве полезного сигнала величины среднего контраста  $b_0$  объекта на фоне. Тогда

$$b(\bar{r}) \approx b_o(\bar{r}) + b_\phi(\bar{r}), \quad (6)$$

В случае изотропного фона при нормальном законе распределения сигнал/фон характеристика оптимального линейного пространственного фильтра (ОПФ) с селекцией типа кубической гиперболы может быть представлена в виде

$$q = \frac{1}{4} \frac{b_o^2}{\sigma_b^2} \frac{r_c^2}{r_\phi^2} \int_0^\infty (1 + \omega_r^2 r_\phi^2)^{3/2} \exp\left(-\frac{\omega_r^2 r_c^2}{2}\right) \omega_r d\omega_r, \quad (7)$$

где  $k_\phi = r_\phi/r_c$  - относительный радиус корреляции фона;  $\sigma_b^2$  - дисперсия неоднородностей фона;  $\omega_r$  - модуль вектора пространственной частоты.

Решение проблемы определения положения объекта может быть оптимальным при базировании на тех же предпосылках, что и при решении проблемы обнаружения/селекции. Для этого используются т.н. "прямой" и "косвенный" методы получения координат.

"Прямой" метод соответствует принципу действия широкопольных обзорно-поисковых систем. Для обеспечения требуемых характеристик по всему полю обзора необходимо создавать сплошную двухмерную мозаику ОПФ с бесконечно мелкой структурой, что физически трудноосуществимо

Контроль окружающего пространства можно осуществлять последовательным просмотром (поиск, сканирование) с помощью систем пеленгации, как правило, с узким полем зрения. Изображение предметов формируется в фокальной плоскости. В этом случае вместо координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  можно рассматривать угловые координаты  $\alpha$  и  $\delta$  или соответствующие им линейные координаты идеального изображения в фокальной плоскости  $x_0$  и  $y_0$  ( $x_0 \approx \alpha f$ ;  $y_0 \approx \beta f$ , где  $f$  - фокусное расстояние объектива). Тогда  $T(U)$  - функционал ортогонального разложения двухмерного процесса, зависящего от характеристик входного сигнала, представляется в виде

$$T[U(x_0, y_0)] = \int_a^b \int_c^d U(x, y) h(x - x_0, y - y_0) dx dy, \quad (8)$$



где  $h(x_0 - x_1; y_0 - y_1)$  - весовая функция ОПФ обнаружения сигнала;  $x_0, y_0$  - положение полезного сигнала относительно начала координат.

В указанных системах определение положения объекта излучения производится "косвенным" методом получения координат. При этом функция правдоподобия  $T(x_0, y_0)$  может быть воспроизведена с требуемой точностью. Разложив выражение (9) в ряд Тейлора в окрестности точки  $x_0, y_0$  и решая полученную систему уравнений относительно составляющих рассогласования  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , получим

$$\left. \begin{aligned} \Delta x = x_{0\phi} - x_{0m} &\approx \frac{\frac{dT}{dx_0} \frac{d^2T}{dy_0} - \frac{dT}{dy_0} \frac{d^2T}{dx_0 dy_0}}{\frac{d^2T}{dx_0^2} \frac{d^2T}{dy_0^2} - \left[ \frac{d^2T}{dx_0 dy_0} \right]^2} \Bigg|_{x_{0\phi}}^{y_{0\phi}} \\ \Delta y = y_{0\phi} - y_{0m} &\approx \frac{\frac{dT}{dy_0} \frac{d^2T}{dx_0} - \frac{dT}{dx_0} \frac{d^2T}{dx_0 dy_0}}{\frac{d^2T}{dx_0^2} \frac{d^2T}{dy_0^2} - \left[ \frac{d^2T}{dx_0 dy_0} \right]^2} \Bigg|_{x_{0\phi}}^{y_{0\phi}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Математические ожидания составляющих рассогласования совпадают с истинными значениями соответствующих отклонений

$$M(\Delta x) = x_{0\phi} - M(x_{0m}) = x_{0\phi} - x_{0m}, \quad (10)$$

Аналогично для  $\Delta y$ .

Дисперсия ошибки не отличается от ошибки измерения координат "прямым" методом [23]:

$$\sigma^2 = \frac{1}{(2\pi)^2} \left[ \int_{\mathfrak{E}_{\bar{\omega}}} \frac{|B(\bar{\omega})|^2}{G_b(\bar{\omega})} |\bar{\omega}|^2 d\mathfrak{E}_{\bar{\omega}} \right]^{-1}, \quad (11)$$

где  $B(\bar{\omega})$  и  $G_b(\bar{\omega})$  - пространственный спектр объекта и фона соответственно;  $|\bar{\omega}|$  - модуль вектора пространственной частоты.

Полученные соотношения подтверждают, что данный метод также является эффективным, обеспечивающим минимальное рассеивание при измерении координат.

Соблюдение условия надёжного наблюдения в следящих устройствах с узким полем зрения обеспечивается текущей подстройкой нуля дискриминационной характеристики за счёт обратной связи.

В настоящее время разработаны алгоритмы оптимальной обработки сигналов при пеленгации малоразмерных воздушных и космических целей [24], которые могут быть основой синтеза системы пеленгации малоразмерных целей на пространственно-неопределённых фонах, которыми являются пересечённая местность и пригоризонтные образования.

Учитывая вышеизложенное, одним из направлений решения проблемы обнаружения атаки ПТУР является создание оптико-электронной системы пеленгации (ОЭСП) с узким полем зрения в качестве средства, которое обеспечило бы обнаружение и определение положения атакующего боеприпаса, с последующей интеграцией её в комплекс защиты объекта БТТ. Вариант обобщённой структурной схемы ОЭСП для объекта БТТ представлен на рис. 12.

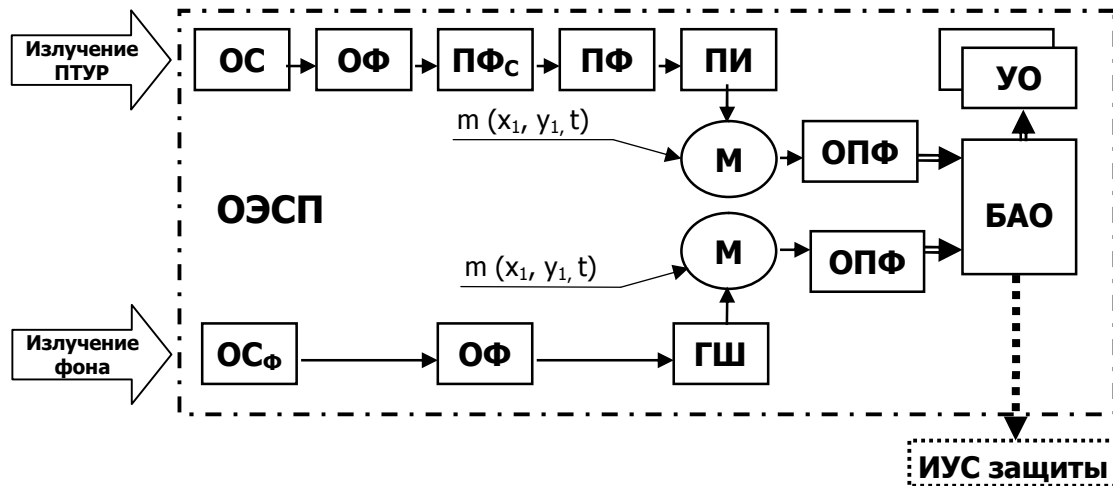


Рис. 12. Вариант обобщенной структурной схемы ОЭСП: ОС – оптическая система; ОФ – оптический фильтр; ПФ<sub>с</sub> – пространственный фильтр смаза изображения; ПФ – пространственный фильтр; ПИ – приемник излучения; М – модулятор; ОС<sub>ф</sub> – оптическая система преобразования фонового сигнала; ГШ – генератор шума; ОПФ – оптимальный фильтр; БАО – блок анализа, обработки информации; УО – устройства отображения информации (аудиосистема, видеомониторы); ИУС защиты – информационно-управляющая система.

Следует учесть, что эффективность работы ОЭСП будет определяться качеством развязки её оптической оси от колебаний корпуса защищаемого объекта. Наибольшее влияние могут оказать возмущения с частотами от единиц до нескольких десятков Гц. Отношение сигнал/помеха  $q_\phi$  при периодическом колебании оптической оси можно представить в виде

$$q_\phi = \frac{E_{\max}(\Delta\lambda) \cdot K_n \left(1 + \frac{ak_x}{\delta} \cdot \sin 2\pi ft\right)}{\Delta B \frac{ak_x b}{(F_0)^2}}, \quad (12)$$

где  $E_{\max}(\Delta\lambda)$  – облученность входного окуляра от цели в диапазоне спектра  $\Delta\lambda$ ;  $K_n$  – коэффициент положения, определяющий какая часть потока излучения от цели воспринимается элементарным полем зрения пеленгатора в зависимости от координат цели, принимается  $K_n = 0,16...1$ ;  $ak_x$  – размах колебаний оптической оси;  $f$  – частота колебаний;  $\Delta B$  – перепад энергетической яркости фона;  $F_0$  – фокусное расстояние объектива;  $ak_x \cdot b / (F_0)^2$  – величина элементарного поля зрения пеленгатора;  $\delta$  – размер круга рассеяния.

При приближении размаха колебаний оптической оси ОЭСП к нулю, отношение сигнал/помеха всё более обуславливается внутренними шумами системы. Увеличение отношения может быть осуществлено формированием соответствующей амплитудно-частотной характеристики ОПФ в тракте селекции системы. Таким образом, необходимая для оптимальной работы ОЭСП величина  $q_\phi$  определяется сочетанием требований к качеству стабилизации и параметрами спектральной, пространственной и частотной фильтрации.

**Выводы.** В результате анализа направлений решения проблемы обнаружения атаки ПТУР выявлено:

1. Для получения информации об окружающей обстановке в пассивном режиме могут быть использованы ультрафиолетовый и инфракрасный диапазоны спектра электромагнитных волн.

2. Основными демаскирующими признаками ПТУР являются:  
- следы сгорания ракетного топлива, оставляющие характерный след в УФ диапазоне спектра;

- тепловое излучение горячих выхлопных газов и двигателя ракеты при запуске пуска и разгоне; ведущих кромок корпуса ракеты, нагреваемых в полёте.

3. Для обнаружения факта атаки и идентификации типа боеприпаса может быть использован участок УФ излучения с длиной волны 100÷280 нм. Приёмники, работающие в этом диапазоне, обеспечивают детектирование излучения с высокой чувствительностью без специального охлаждения, в то же время обладают инерционностью, температурной и временной нестабильностью характеристик.

4. Теоретические основы обнаружения (выделения) объекта на окружающем фоне в ИК диапазоне достаточно изучены. Параметры современных неохлаждаемых матричных ФПУ сопоставимы с характеристиками охлаждаемыми приёмниками аналогичного назначения. Перспективными являются многодиапазонные фотоприёмники, изготавливаемые по технологии "сендвич"-структур.

5. Для обнаружения и определения положения атакующего боеприпаса, как малоразмерного подвижного объекта на пространственно-неопределённом фоне, применимы положения теории обработки информации в оптико-электронных системах пеленгации.

Проведенные исследования показывают, что физические принципы, заложенные в оптико-электронных системах пеленгации с узким полем зрения позволяют произвести селекцию и определить положение ПТУР с использованием "косвенного" метода получения координат с достаточной точностью. Эффективность работы ОЭСП, установленной на подвижном объекте, определяется качеством стабилизации оптической оси системы.

Интеграция ОЭСП в информационно-управляющую систему защиты объекта обеспечит повышение его уровня защищённости не только за счёт индикации об атаке ПТУР, но и посредством использования средств противодействия: пассивных – постановка маскирующей завесы; активных - нарушение процесса наведения, подавление систем наведения.

**Литература:** 1. ИК средства [Электронный ресурс] / 2012. - Режим доступа к статье "Радиоэлектронная война" Марио де Арканжелис.htm. 2. Щербак Н. Противодействие зенитным управляемым ракетам с инфракрасным наведением / Н. Щербак // ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес. – 2000. - № 5. – С. 52-55. 3. Щербинин Р. Системы индивидуальной защиты летательных аппаратов от ПЗРК / Р. Щербинин // Зарубежное военное обозрение. – 2005. - № 12. - С. 37-42. 4. Ackermann Rainer. Current Trends in Electronic Self-Protection of Helicopters and Fixed / Rainer Ackermann // Wing Aircraft Military Technology. – 2002. - № 11. - P. 59. 5. Истребители смогут искать танки по выстрелам [Электронный ресурс] / Военное обозрение. – 21.02.2013. - Режим доступа на сайт Военная авиация.htm. 6. Multifunction Self Protection System (MUSS) [Электронный ресурс] / DEFENSE UPDATE (International Online Defense Magazine). – 15.08.2006. - Режим доступа на muss англ.htm. 7. Системы оптико-электронного подавления [Электронный ресурс] / Современная бронетанковая техника. – 2012. - Режим доступа на сайт Wargaming.net. 8. Системы активной защиты бронетехники / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления. Серия: "Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал". – 2008. - № 4. – С. 22-37. 9. Foss C.F. ARPAM demonstrator unveiled [Электронный ресурс] / C.F. Foss // Janes Defence. – 1995. - Weekly 4, November. - Режим доступа на arpat.html. 10. Средства активной обороны бронированных машин / Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств – участников СНГ и технических средствах его выявления. Серия: "Вооруженные силы и военно-промышленный потенциал". – 2006. - № 3. – С. 18-28. 11. Виноградова Е.П. Современные средства детектирования УФ излучений и их применение / Е.П. Виноградова, Р.С. Грошев, В.Д. Зотов // Труды конференции "Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения". – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, октябрь 2010. - С. 533-541. 12. Корляков А.В. Сенсоры "жесткого" ультрафиолетового излучения на

основе широкозонных материалов [Электронный ресурс] / А.В. Корляков, В.В. Лучинин, М.В. Четвергов // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. Центр микротехнологии и диагностики. - 2013. - Режим доступа на сайт [cmid@eltech.ru](mailto:cmid@eltech.ru). 13. Ferguson. An Investigation of Breakdown Mechanisms in Al(GaN) MSM Photodetectors / Ferguson, S. Liang, C.A. Tran [at alias] // Materials Science Forum. Vols. 264-268 (1998). - Tram Tech Publications, Switzerland, 1998. - P. 1437-1440. 14. Edmond. High Temperature Rectifiers, UV Photodiodes, and Blue LEDs in 6H-SiC / Edmond, H.S. Kong, C.H. Carter [at alias] // Proc. 4th Intl. Conf. Amorph. & Crystal SiC & Other IV-IV (October 1991). - Materials Santa Clara, CA, 1991. - P. 344-351. 15. Криксунов Л.З. Инфракрасные системы обнаружения, пеленгации и автоматического сопровождения движущихся объектов / Л.З. Криксунов, И.Ф. Усольцев. - М.: Советское радио, 1964. - 224 с. 16. Физика и техника ИК-излучения / [Джемсон Д.Э., Макфи Р.Х., Пласс Д.Н. и др.]; пер. с англ.; под ред. Н.В. Васильченко. - М.: Советское радио, 1965. - 642 с. 17. Фираго В.А. Приемники излучения: Конспект лекций по одноименному спецкурсу для студ. спец. G 31 04 02 "Радиофизика" / В.А. Фираго. - Мн.: Белгосуниверситет, 2004. - 116 с. 18. Бараночников М.Л. Приёмники инфракрасного излучения. Состояние разработок и промышленного выпуска, перспективы развития и прогнозы: аналитический обзор / М.Л. Бараночников. - Москва, 1985. - 94 с. 19. Певцов Е.Ф. Моделирование характеристик тепловых приемников ИК-излучения [Электронный ресурс] / Е.Ф. Певцов, Р.И. Аль-Намах, М.И. Малето // Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет). - 2013. - Режим доступа на сайт [pevtsov@mirea.ru](mailto:pevtsov@mirea.ru). 20. Гельфанд А.В. Неохлаждаемый матричный приемник ИК-излучения на основе термопневматического микромеханического преобразователя с оптоэлектронной системой считывания / А.В. Гельфанд, А.Г. Паулиш, В.Н. Федоринин // Прикладная физика. - 2009. - № 2 - С. 109-114. 21. Козёлкин В.В. Основы инфракрасной техники: Учебник для техникумов / В.В. Козёлкин, И.Ф. Криксунов. - М.: Машиностроение, 1985. - 264 с. 22. Левшин В.Л. Обработка информации в оптических системах пеленгации // В.Л. Левшин.- М.: Машиностроение, 1978. - 168 с. 23. Векслер В.М. Оптимальное измерение параметров оптического сигнала на фоне пространственных помех / В.М. Векслер, А.А. Казамаров, Д.М. Хорол // А и Т. - 1975. - № 3. - С. 47-51. 24. Савинков В.В. Исследование и разработка алгоритмов обработки сигналов в оптико-электронных пеленгаторах: автореф. дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.11.07 "Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы" / В.В. Савинков. - Москва, 2007. - 19 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. IK sredstva [Jelektronnyj resurs] / 2012. - Rezhim dostupa k statje "Radiojelektronnaja vojna" Mario de Arkangelis.htm. 2. Tsherbak N. Protivodejstvie zenznym upravljatnymv raketam s infrakrasnym navedeniem / N. Tsherbak // JELEKTRONIKA: nauka, tehnologija, biznesc. - 2000. - № 5. - S. 52-55. 3. Tcherbinin R. Sistemy individualnoj zatchity letetelnyh apparatov ot PZRK / R. Tcherbinin // Zarubezhnoet voennoe obozrenie. - 2005. - № 12. - S. 37-42. 4. Ackermann Rainer. Current Trends in Electronic Self-Protection of Helicopters and Fixed / Rainer Ackermann // Wing Aircraft Military Technology. - 2002. - № 11. - P. 59. 5. Istrebiteli smogut iskat tanki po vystrelam [Jelektronnyj resurs] / Voennoe obozrenie. - 21.02.2013. - Rezhim dostupa na sajt Военная авиация.htm. 6. Multifunction Self Protection System (MUSS) [Jelektronnyj resurs] / DEFENSE UPDATE (International Online Defense Magazine). - 15.08.2006. - Rezhim dostupa na muss англ.htm. 7. Sistemy optiko-jelektronnogo podavljensja [Jelektronnyj resurs] / Sovremennaja bronetankovaja tehnika. - 2012. - Rezhim dostupa na sajt Wargaming.net. 8. Sistemy aktivnoj zatchity bronetehniki / Inostrannaja pechat ob jekonomicheskom, nauchno-tehnicheskom s voennom potencie gosudarstv - uchastnikov SNG s tehniceskikh sredstvah ego vyjavljensja. Sersja: "Vooruzhtnnye sily i voenno-promyshlennyj potencial". - 2008. - № 4. - S. 22-37. 9. Foss C.F. ARPAM demonstrator unveiled [Jelektronnyj resurs] / C.F. Foss // Janes Defence. - 1995. - Weekly 4, November. - Rezhim dostupa na arpam.html. 10. Sredstva aktivnoj oborony bronirovannyh mashin / Inostrannaja pechat ob jekonomicheskom, nauchno-tehnicheskom s voennom potencie gosudarstv - uchastnikov SNG s tehniceskikh sredstvah ego vyjavljensja. Sersja: "Vooruzhtnnye sily i voenno-promyshlennyj potencial". - 2006. - № 3. - S. 18-28. 11. Vinogradova E.P. Sovremennye sredstva detektirovanija UF izluchenij i ih primenenie / E.P. Vinogradova, R.S. Groshev, V.D. Zotov // Trudy konferencii "Tehniceskije i programnye sredstva sistem upravlenija, kontrolja i izmerenija". - Moskva: Institut problem upravlenija im. V.A. Trapeznikova RAN, oktjabr 2010. - S.533-541. 12. Korljakov A.V. Sensory "zhestkogo"ultrafioletovogo izluchenija na osnove shirokozonnih materialov [Jelektronnyj resurs] / A.V. Korljakov, V.V. Luchinin, M.V. Cetvergov // Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj jelektrotechnicheskij universitet. Centr mikrotehnologii i diagnostiki. - 2013. - Rezhim dostupa na sajt

*cmid@eltech.ru*. 13. Ferguson. *An Investigation of Breakdown Mechanisms in Al(GaN) MSM Photodetectors* / Ferguson, S. Liang, C.A. Tran [at alias] // *Materials Science Forum*. Vols. 264-268 (1998). - Tram Tech Publications, Switzerland, 1998. - P. 1437-1440. 14. Edmond. *High Temperature Rectifiers, UV Photodiodes, and Blue LEDs in 6H-SiC* / Edmond, H.S. Kong, C.H. Carter [at alias] // *Proc. 4th Intl. Conf. Amorph. & Crystal SiC & Other IV-IV (October 1991)*. - Materials Santa Clara, CA, 1991. - P. 344-351. 15. Kriksunov L.Z. *Snfrakrasnye sistemy obnaruzhenija, pelengacii i avtomaticheskogo soprovozhdenija dvizhutchihsjaja objektov* / L.Z. Kriksunov, I.F. Usolcev. - M. : Sovetskoe radio, 1964. - 224 s. 16. *Fizika i tehnika IK izluchenija* / [Gemson D.J., Makfi R.H., Plass D.N. i dr.]; per.s angl.; pod red. N.V. Vasilchenko. - M. : Sovetskoe radio, 1965. - 642 c. 17. Firago V.A. *Priemniki izluceniya: Konspekt lekcij po odnoimennomu speckursu dlja stud. spec. G 31 04 02 "Radiofizika"* / V/A/ Firago. - Mn. : Belgosuniversitet, 2004. - 116 s. 18. Baranochnikov M.L. *Priemniki infrakrasnogo izluchenija. Sostojanie razrabotok i promyshlennogo vypuska, perspektivy razvitija i prognozy: analiticeskij obzor* / M.L. Baranochnikov. - Moskva, 1985. - 94 s. 19. Pevcov E.F. *Modelirovanie harakteristik teplovyh priemnikov IK-izluceniya [Jelektronnyj resurs]* / T/F/ Pevcov, R.I. Al-Natah, M.I. Maleto // *Moskovskij gosudarstvennyj institut radiotehniki, jelektroniki i avtomatiki (tehniceskij universitet)*. - 2013. - Rezhim dostupa na sajt [pevtsov@mirea.ru](mailto:pevtsov@mirea.ru). 20. Gelfand A.V. *Neohlazhdaemyj matricnyj priemnik IK-izluceniya na osnove termopnevmaticheskogo mikromehaniceskogo preobrazovatelja s optojelektronnoj sistemoj schityvanija* / A.V. Gelfand, A.G. Paulish, V.N. Fedorinn // *Prikladnaja fizika*. - 2009. - № 2 - S. 109-114. 21. Kozelkin V.V. *Osnovy infrakrasnoj tehniki: Uchebnik dlja tehnikumov* / V.V. Kozelkin, I.F. Kriksunov. - M. : Mashinostroenie, 1985. - 264 s. 22. Levshin V.L. *Obrabotka informacii v opticheskix sistemah pelengacii* // V.L. Levshin. - M. : Mashinostroenie, 1978. - 168 s. 23. Veksler V.M. *Optimalnoe izmerenie parametrov opticeskogo signala na fone prostranstvennyh pomeh* / V.M. Veksler, A.A. Kazamarov, D.M. Horol // *A i T*. - 1975. - № 3. - S. 47-51. 24. Savinkov V.V. *Issledovanie i razrabotka algoritmov obrabotki signalov v optiko-jelektronnyh pelengatorah: avtoref. dis. na soisk. uch. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.11.07 "Opticeskie i opto-jelektronnye pribory i komplekсы"* / V.V. Savinkov. - Moskva, 2007. - 19 s.

Глебов В.В., Гордієнко В.І.

#### ПРО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВИАВЛЕНИЯ АТАКИ ПРОТИТАНКОВИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ

Проведено аналіз напрямків рішення проблеми виявлення атаки протитанкових керованих ракет. Розглянуто способи і засоби виявлення пуску та польоту ракети в ультрафіолетовому й інфрачервоному діапазонах спектра електромагнітних хвиль. У результаті теоретичних досліджень підтверджена можливість створення оптико-електронної системи пеленгації для селекції та визначення положення боєприпасів, що атакують.

Глебов В.В., Гордиенко В.И.

#### О РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АТАКИ ПРОТИВОТАНКОВЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

Проведен анализ направлений решения проблемы обнаружения атаки противотанковых управляемых ракет. Рассмотрены способы и средства обнаружения пуска и полета ракеты в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах спектра электромагнитных волн. В результате теоретических исследований подтверждена возможность создания оптико-электронной системы пеленгации для селекции и определения положения атакующего боеприпаса.

Glebov V.V., Gordienko V.I.

#### ON SOLVING THE PROBLEM OF DETECTING THE ATTACKING ANTI-TANK GUIDED MISSILES

The analysis of ways of solving the problem of detecting the attacking anti-tank guided missiles has been carried out. The methods and means of detecting the launch and flight of the missile in the ultraviolet and infrared bands of the spectre of electromagnetic waves have been analyzed. As a result of the theoretical research, the possibility of developing a direction-finding optronic system to select and determine the position of the attacking ammunition has been confirmed.