

УДК 623.418

**Д.Г. Митрофанов, С.В. Шишков****ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСУ ОБНАРУЖЕНИЯ  
МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

*Рассматривается проблема обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов (МБЛА). Сложность обнаружения современных МБЛА с помощью радиолокационной станции (РЛС) заключается в том, что их запуск осуществляется в непосредственной близости от переднего края, а полет проходит на малой высоте. К тому же они имеют низкую отражательную способность ввиду малых размеров. При этом традиционное использование оптических и оптико-электронных приборов предусмотрено сегодня только в узких угловых секторах (при узком поле зрения), что даже при комплексировании с информацией РЛС противовоздушной обороны не обеспечивает эффективности в условиях применения противником средств радиоэлектронной борьбы и непредсказуемого изменения тактики применения МБЛА. Исследование посвящено разработке нового многоканального способа обнаружения МБЛА в пассивном и активном режимах работы обнаружителей. Частные задачи: изучить характеристики МБЛА, порядок их применения, возможность их обнаружения в режиме кругового обзора измерителями, работающими в различных диапазонах волн; предложить алгоритмы многоканального обнаружения МБЛА; определить порядок обработки полученной радио- и видеоинформации. На основе проведенного исследования: проведена классификация МБЛА, изучен порядок их применения, возможности их обнаружения в различных диапазонах волн; предложен новый подход к созданию многоканального способа обнаружения МБЛА и соответствующего устройства, объединяющего информацию оптического, звукового и радиолокационного диапазонов волн; разработан алгоритм идентификации МБЛА в оптическом диапазоне волн, основанный на установлении меры близости бинарного изображения МБЛА с эталонными изображениями, полученными в среде 3D-моделирования. Использование предлагаемого инновационного подхода к вопросу обнаружения и идентификации МБЛА способствует выбору наиболее эффективных средств борьбы с ними, что может понизить угрозу несанкционированного террористического применения МБЛА.*

*Способ; устройство; обнаружение; малогабаритные беспилотные летательные аппараты; круговой обзор.*

**D.G. Mitrofanov, S.V. Shishkov****INNOVATIVE APPROACH TO THE DETECTION OF SMALL-SIZED  
UNMANNED AERIAL VEHICLES**

*The problem of small-sized unmanned aerial vehicles (UAV) detection is considered. The complexity of modern UAV detection using radar station (RS) is that their launch is performed in the close vicinity of the front edge, and flight passes at low altitude. In addition, they have a low reflectivity in view of their small size. In this case, the traditional use of optical and optoelectronic devices provided today in the narrow angular sectors (with a narrow field of view) only, that even when complexation with the information of air defense RS does not provide efficiency in conditions of enemy use of electronic warfare and unpredictable changes in tactics of using UAV. The study is devoted to the development of a new multi-channel method of detecting UAV in the passive and active modes of detectors' operation. Particular tasks: to study the characteristics of UAV, the order of their application, the possibility of detecting them in a circular view by meters operating in different wave ranges; to offer algorithms of multi-channel detection of UAV; determine the procedure for processing the received radio and video information. On the basis of the conducted research: the UAV classification was carried out, the order of their application, the possibility of their detection in different wave ranges was studied; a new approach to creating a multichannel method of detecting UAV and a corresponding device combining information of the optical, sound and radar wave ranges is proposed; UAV identification algorithm of the optical*

wavelength range, based on proximity measures establishing UAV binary image with the reference images obtained in the 3-D modeling environment is developed. The use of the proposed innovative approach to the detection and identification of UAV helps choosing the most effective means of dealing with them, which can reduce the threat of unauthorized terrorist UAV application.

Method; device; detection; small unmanned aerial vehicles; circular survey.

**Введение.** Научно-технический прогресс за последние два десятилетия совершил несколько революций, которые привели к большому прорыву в вопросах использования ЭВМ, беспилотных летательных аппаратов (БЛА), искусственного интеллекта, роботизированных комплексов в новом витке «гонки» высокоточного вооружения между конфликтующими сторонами. В ближайшем времени будет полностью стерта грань между беспилотными летательными аппаратами, роботизированными комплексами и высокоточным оружием на основе использования технического (компьютерного) зрения и управления средствами поражения искусственным интеллектом. За последнее время во всех относительно крупномасштабных военных конфликтах в качестве обязательного элемента используются БЛА и крылатые ракеты морского и авиационного базирования, которые входят в состав большой классификационной системы летательных аппаратов (рис. 1).

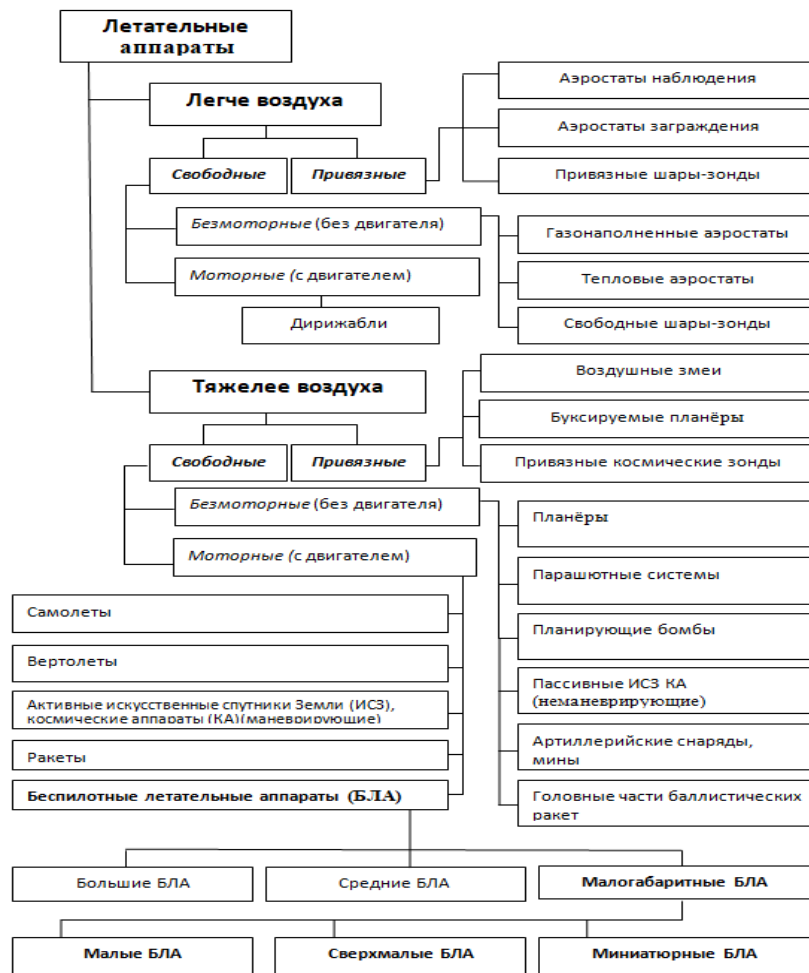


Рис. 1. Классификация летательных аппаратов

Зарубежная система классификации предусматривает подразделение военных БЛА по предназначению на разведывательные, боевые (ударные) и БЛА обеспечения (для выполнения) других задач [1–3]. К основным объектам разведки БЛА относятся: пусковые установки тактического ядерного оружия; командные пункты противовоздушной обороны; средства противовоздушной обороны, развернутые на позициях; аэродромы, мосты и туннели; зенитные ракетные комплексы (ЗРК) и зенитные самоходные установки на марше; танки и т.д.

**Постановка задач исследования.** Для разработки инновационного подхода к вопросу обнаружения МБЛА необходимо решить следующие задачи: провести анализ МБЛА, порядок их применения, возможность их обнаружения с учетом кругового обзора обнаружителями работающих в различных диапазонах электромагнитных волн; разработать новый способ многоканального обнаружения МБЛА; разработать порядок обработки полученной обнаружителями информации.

Исследование вопросов классификации показывает, что, несмотря на некоторую очевидность признаков и классов, вопрос классификации МБЛА является достаточно принципиальным. Вариант классификации МБЛА приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Классификация МБЛА**

Класс		Предназначение БЛА
1	Миниатюрные БЛА	М Б Л А
2	Сверхмалые (переносные) БЛА	
3	Малые БЛА	

Практически полная невидимость в различных спектрах волн и бесшумность. Применяются для ведения разведки в условиях, требующих максимальной скрытности (включая возможность проникновения в помещения, занятые противником). Это очень актуально при ведении боевых действий в городе и в ходе антитеррористических операций

Обеспечение разведывательной информацией небольших подразделений – до батальона включительно, групп специального назначения, других подразделений, выполняющих боевые задачи автономно. Их принадлежность определяет взлетная масса 2–10 кг, полезная нагрузка 0,5–2 кг, продолжительность полета – до одного часа

Ведение разведки в интересах звена бригады, наведение (целеуказание) огневых средств, корректирование их огня, патрулирование местности, выполнение ударных задач, борьба с БЛА противника. БЛА данного класса имеют массу 10–50 кг, полезная нагрузка – 15–20 кг, радиус действия – до 60 км, продолжительность полета – 4–5 ч. На борту БЛА этого класса возможно применение РЛС миллиметрового диапазона. Запуск БЛА требует наличия пусковой установки

Проведенный анализ классификации МБЛА показал, что по их основным характеристикам с учетом существующих комплексов ПВО и их возможности обнаружения БЛА для последующего их поражения или захвата МБЛА разделяются на две основные группы:

1. МБЛА, масса которых достигает от нескольких грамм до 2 кг, имеющие большую массовость производства (соответственно использования) и низкую уязвимость к существующим средствам борьбы с воздушными целями.

2. МБЛА, масса которых находится в диапазоне от 2 кг и выше, имеющие большую стоимость производства и уязвимость. С учетом новейших средств защиты и связи некоторые из этих МБЛА можно отнести к первой группе.

МБЛА применяются в различных тактических условиях. Способы их применения включают в себя не только полет на предельно малых высотах, но и использование разнообразных помех, а также снижение радиозаметности, уровня инфракрасного излучения и акустического шума. Отличие от существующих беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов заключается в том, что МБЛА имеют большую манёвренность даже в сложных условиях рельефа местности. Движение в пространстве МБЛА могут осуществлять на предельно малых высотах, в широком диапазоне скоростей (до 400 км/ч), в ущельях и оврагах, в тени от местных возвышенностей и за горизонтом. Поэтому их обнаружение РЛС войсковых ЗРК является затруднительным или невозможным.

Кроме МБЛА военного назначения все большее развитие получают МБЛА с коммерческими задачами – «дроны» (квадрокоптеры, мультикоптеры) с дистанционным управлением. Популярность и доступность «дронов» стремительно растут. За два года, с 2013 по 2015, рынок «дронов» увеличился на мировом рынке в 7 раз, а в России – в 9 раз, что соответствует численности около 40 000 штук. Вместе с ростом продаж «дронов» [4] растет количество правонарушений их применения (рис. 2).

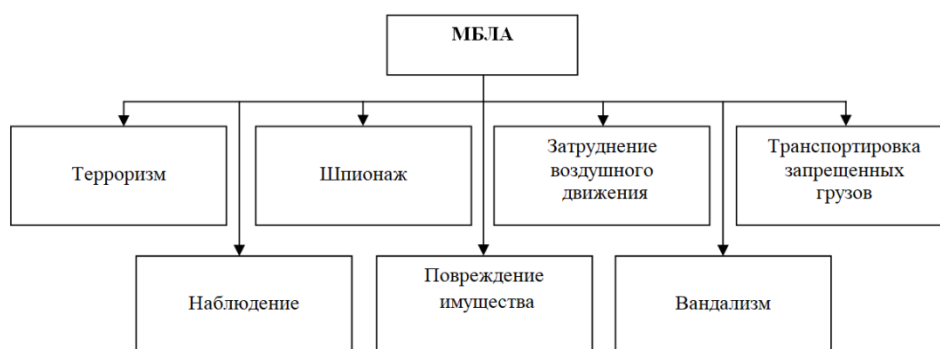


Рис. 2. Классификация правонарушений, связанных с применением МБЛА

Основным правонарушением, связанным с применением МБЛА в виде «дронов», является терроризм. Это выражается в осуществлении террористических актов путём воздушного заброса самодельных взрывных устройств [5–7] в места скопления людей, вооружения и боеприпасов (рис. 3).

Использование террористами доработанного гражданского «дрона» против мирного населения и сброс самодельного взрывного устройства приведен на рис. 3,а.

Примером являются МБЛА фирмы DJI, которая в данный момент времени выпускает самые распространенные в мире «беспилотники». Такие МБЛА позволяют нести на себе самодельные взрывные устройства и малые боеприпасы (например, 40-миллиметровые гранаты от подствольных гранатометов).



а – заброс самодельного взрывного устройства в места скопления людей



б – заброс самодельного взрывного устройства на легко-бронированную технику



в – заброс самодельного взрывного устройства на танк



г – заброс самодельных взрывных устройств на склад боеприпасов (заброшенный стадион)

*Рис. 3. Применение МБЛА террористами*

Применение таких взрывных устройств может принести вооружению и технике незначительные повреждения, если случайно не попадут в боеукладку, как показано на рис. 3,б. Против танков эти взрывные устройства неэффективны, однако в приведённом на рис. 3,в случае, по счастливой случайности, взрывное устройство не попало внутрь танка, а всего лишь ранило военнослужащего, находившегося в открытом люке. На рис. 3,г приведен заброс самодельных взрывных устройств на склад боеприпасов (заброшенный стадион). При этом боеприпасы на стадионе складировались под открытым небом и возникший пожар распространился очень быстро. Снаряды начали детонировать, и в результате был уничтожен весь арсенал оружия [5].

Приведенные факты использования МБЛА террористами не очень показательны и носят в основном случайный характер. Но это только до тех пор, пока у террористов не появится возможность использования ударных «беспилотников», которые уже стоят на вооружении многих стран. Известны примеры, когда начиненные небольшим количеством тротила и взрывателем ударного действия, купленные «беспилотники» вручную по стандартному каналу управления типа Lightbridge направлялись на позиции противника на дальности устойчивого изображения бортовой камеры, т.е. на дистанции порядка километра. Такие МБЛА, управляемые террористами, обычно несут до двух взрывных устройств, снабженных стабилизаторами, или применяются как разведчики (рис. 4).



а – захваченные МБЛА у террористов



б – самодельные взрывные устройства



в – варианты крепления самодельных взрывных устройств на МБЛА

*Рис. 4. МБЛА и самодельные взрывные устройства террористов*

Взрывные устройства, носимые МБЛА, как правило, самодельные. Они снабжены простейшим контактным взрывателем ударного действия, заключены в легкий пластмассовый корпус и снабжены небольшим количеством поражающих элементов, чтобы не превышать массогабаритную нагрузку «дрона». Сброс таких

самодельных взрывчатых устройств в подавляющем большинстве случаев приводит к незначительным осколочным повреждениям вооружения и легким ранениям (контузиям) личного состава, оказавшегося на удалении порядка 10 м от места подрыва. Своевременное срабатывание таких самодельных взрывных устройств происходит примерно в 60–70 % случаев [5–7].

Для организации борьбы с МБЛА, в первую очередь, необходимо обеспечить их достоверное обнаружение. Процесс обнаружения МБЛА связан с решением задач по определению его демаскирующих признаков. К основным демаскирующим признакам МБЛА относятся: нелинейные электромагнитные свойства электронной аппаратуры МБЛА; проявление в отраженном сигнале эффекта Доплера; собственное электростатическое поле за счет трения МБЛА о воздух; отражающие свойства некоторых металлонесущих элементов в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ); отражения в оптическом диапазоне; инфракрасное отражение (тепловое поле двигателя); акустическое поле винта и двигателя (может отсутствовать при планировании). Анализ перспективных методов и средств обнаружения и борьбы с МБЛА приведен в табл. 2 [8, 9].

Таблица 2

**Перспективные средства обнаружения и борьбы с МБЛА**

Наименование производителя	Основные характеристики средств обнаружения	Основные характеристики средств борьбы
<b>Система обнаружения и нейтрализации БЛА «Анти Дрон»</b>		
Detect	РЛС – радар Harrier: 360-градусный охват территории, обнаружение БЛА/БПЛА на расстоянии до 16 км, МБЛА до 5 км, с последующим видеозахватом МБЛА	Система направленной постановки радиоэлектронных помех включает в себя три интегрированные антенны с круговой поляризацией и высоким коэффициентом усиления
<b>Система акустического обнаружения МБЛА и сигнализация об их проникновении</b>		
DroneShield	Акустические детекторы ближнего обнаружения. Дальность обнаружения: 100 м по расстоянию до цели и 100 м по высоте цели. Угол охвата – 180°	Акустическая пушка DLRAD позволяет временно нейтрализовать оператора МБЛА, отвлечь его от управления летательным аппаратом и дать сотрудникам отдела безопасности время для поимки виновника инцидента
	Акустические детекторы дальнего обнаружения. Дальность обнаружения: 1000 м по расстоянию до цели и 500 м по высоте цели. Угол охвата – 30°	Пневмосеть оснащена сменными картриджами и заряжается при помощи стандартных баллончиков CO <sup>2</sup>

Из табл. 2 следует, что основные характеристики перспективных систем обнаружения МБЛА и способов борьбы с ними позволяют проводить обнаружение МБЛА в радиолокационном, визуальном и звуковом диапазонах электромагнитных волн. При этом круговой обзор обеспечивают РЛС с последующим видеозахватом и направленной постановкой помех. Система акустического обнаружения МБЛА позволяет обнаруживать их на расстоянии 100 м в секторе обзора, равном



180°, и сигнализировать охране о несанкционированном проникновении в зону контроля. Демаскирующие признаки МБЛА в условиях их обычного применения отличаются в случае применения противником средств РЭБ. В этих условиях, когда РЛС кругового обзора будет подавлена, наиболее эффективными средствами обнаружения МБЛА становятся звуковые или оптические обнаружители.

Все вышесказанное еще раз подтверждает, что требования, предъявляемые к точности определения координат и параметров МБЛА, для сложных и даже обычных условий обстановки в настоящее время не удовлетворяются, и требуется поиск путей альтернативного дублирования радиолокационных каналов звуковыми и оптическими каналами. В результате возникла необходимость разработки инновационного подхода к обнаружению МБЛА, основанного на использовании многоканального устройства системы (комплекса), которое позволяет обнаруживать МБЛА и определять их местоположение в пространстве. При этом необходимо учесть применение в перспективном комплексе обнаружения следующих показателей: круговой обзор на 360° по горизонтали и на 180° по вертикали, параллельная работа в оптическом, звуковом и радиолокационном диапазонах волн, возможность размещения на подвижных объектах; возможность создания достоверного трехмерного объемного изображения МБЛА и определения его дальнейшего направления движения для прицеливания.

Многоканальное устройство обнаружения МБЛА и прицеливания предлагается строить на следующих принципах. Три и более пространственно разнесенные точки обнаружения (рис. 5) должны размещаться на гиросtabilизированных платформах 1, связанных между собой рабочими базами 2 [10–12].

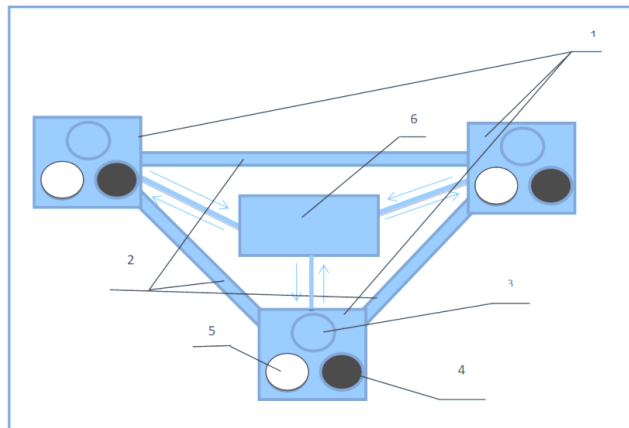


Рис. 5. Многоканальное устройство обнаружения МБЛА и прицеливания

Используемые в комплексе разнесенные устройства обнаружения автоматически определяют расстояния между собой и свои пространственные координаты, что позволяет адаптивно располагать их в любых удобных местах как на подвижных, так и на стационарных объектах.

Рис. 5, как вариант, показывает, что на каждой базе может быть размещено по три датчика: датчик 3 (камера кругового обзора), работающий в оптическом диапазоне; датчик 4, работающий в акустическом диапазоне; датчик 5, работающий в трех и более настраиваемых радиолокационных диапазонах электромагнитных волн. Управление работой и обработкой полученной информации предлагается осуществлять с помощью ЭВМ 6 с элементами искусственного интеллекта, который должен выбирать наиболее эффективные датчики для более достоверного



обнаружения и определения пространственных координат МБЛА в различных условиях. Одновременная регистрация кадров видеопоследовательности и определения геометрических и цветовых изменений сформированных изображений, контрольное и сравниваемое цифровые изображения регистрируют одновременно для каждого фрагмента изображений тремя и более идентичными видеосистемами 3 (обнаружителями) на основе многоэлементных высокоскоростных фотоприемников (рис. 5).

Способ обнаружения МБЛА основан на использовании новых подходов создания информационного поля, применения различных платформ, связанных между собой рабочими базами, которые автоматически определяют расстояния между собой и свои пространственные координаты, что позволяет размещать измерители в различных точках пространства с учетом рельефа местности [13].

Используя  $i$ -й обнаружитель ( $i = 1, \dots, l$ ), реализующий некоторую решающую функцию  $\delta_i(y_{it})$ , в результате наблюдения на отрезке  $[O, T]$  процесса  $y_{it}$  принимается решение  $\delta_i(y_{it})=1$  о наличии сигнала и решение  $\delta_i(y_{it})=0$  об его отсутствии с вероятностями правильного обнаружения  $D_i$  и ложной тревоги  $F_i$ . На выходах обнаружителей имеем случайный вектор  $\delta_1, \dots, \delta_l$ , компоненты которого принимают значение 0 или 1 с вероятностями

$$\begin{aligned} P(\delta_i = 1|v = 0) &= F_i, P(\delta_i = 0|v = 0) = 1 - F_i, \\ P(\delta_i = 1|v = 1) &= D_i, P(\delta_i = 0|v = 1) = 1 - D_i. \end{aligned} \tag{1}$$

С использованием отношения правдоподобия по наблюдениям  $\delta_1, \dots, \delta_l$  выносятся решение  $\delta_l$  о наличии сигнала  $\delta_l$  или его отсутствии  $\delta_0$  в соответствии с правилом

$$\Lambda \equiv \frac{P(\delta_1, \dots, \delta_l|v=1)}{P(\delta_1, \dots, \delta_l|v=0)}. \tag{2}$$

Конкретизируя отношения правдоподобия  $\Lambda_l$ , можно показать, что

$$\sum_{i=1}^l \delta_i \ln \left[ \frac{D_i(1-F_i)}{F_i(1-D_i)} \right] \leq h.$$

Приведенный алгоритм дает решение задачи оптимального комплексирования обнаружителей на этапе вторичной обработки. Согласно алгоритму (рис. 6) выносимые обнаружителями решения суммируются с весами [14, 15]

$$\mu_i = \ln \frac{D_i(1-F_i)}{F_i(1-D_i)}. \tag{3}$$

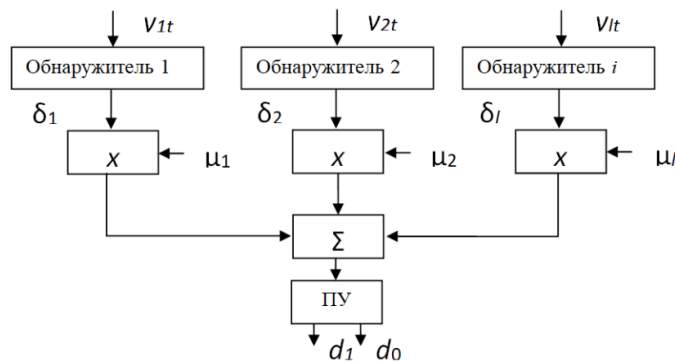


Рис. 6. Схема алгоритма обнаружения МБЛА

На основе полученных результатов обнаружения и измерения пространственных координат МБЛА разработана модель их идентификации. Современные системы классификации или идентификации (распознавания) МБЛА не позволяют обеспечить требуемую достоверность [16–21]. Отличие от уже существующих аналогов состоит в том, что сравнение бинарного изображения МБЛА проводят по мере его близости с эталонным изображением, полученным на основе 3D-моделирования.

Для идентификации МБЛА предлагается использовать выражение

$$\tilde{\nu} = \arg \text{ext}R\{U_1, U_2(\nu)\}, \quad (4)$$

где  $R$  – мера близости текущего изображения  $U_1$  и эталонного  $U_2(\nu)$  3D-изображений.

Текущее (бинарное изображение МБЛА) и эталонное (3D-изображение, изменяемое с установленным шагом, позволяющим сгладить промежуточное несоответствие с соседними) изображения представляют собой интегрированные изображения, синтезированные на основе сопоставления силуэтов от различных датчиков обнаружения. Эталонное 3D-изображение хранится в базе данных и пополняется в процессе обнаружения и выявления отсутствующих эталонов.

Алгоритм идентификации определен следующей последовательностью:

- 1) от источника информации в программы обработки информации поступает поток видеопоследовательностей;
- 2) при появлении МБЛА получают его бинарные изображения;
- 3) извлекаются «характерные черты» – геометрические размеры бинарных изображений согласно выражениям (1)–(3);
- 4) проводится выбор ближайшего изображения МБЛА из базы данных (выражение (4)).

**Заключение.** Основными целями и задачами, стоящими перед предлагаемым комплексом, являются обнаружение МБЛА в пассивном и активном режимах работы в оптическом, звуковом и радиолокационном диапазонах волн, создание достоверного трехмерного объемного изображения МБЛА на экране ЭВМ, которое указывает оператору направление движения МБЛА.

Использование предлагаемого комплекса обнаружения и измерения координат МБЛА может обеспечить выбор наиболее эффективных средств борьбы с ними, что снизит угрозу несанкционированного террористического применения МБЛА.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Roberge V.; Tarbouchi, M., Labonte G.* Comparison of Parallel Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Real-Time UAV Path Planning // *IEEE Transactions on Industrial Informatics.* – 1 February 2013. – No. 9 (1). – P. 132-141.
2. *Floreano, Dario; Wood, Robert J.* Science, technology and the future of small autonomous drones // *Nature.* 521 (7553). – P. 460-466.
3. *Kennedy C., Rogers J.I.* Virtuous drones? // *The International Journal of Human Rights.* – 2015. – No. 19 (2). – P. 211-227.
4. *Баканев С.А.* Робототехнические комплексы военного назначения для ракетных войск и артиллерии Сухопутных войск // *Робототехника.* – 2017. – № 2 (44). – С. 7-14.
5. *Заводченков В.* Террористы устроили в Сирии войну дронов. – Режим доступа: <https://yandex.ru/video/search?filmId=14348528443641910193-sas1-5624-V>.
6. *David G. Lowe* Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // *International Journal of Computer Vision.* – November 2004. – Vol. 60, Issue 2.
7. *Trimble S.* DARPA selects two firms to compete for sea-based UAV // *Flightglobal, Reed Business Information,* retrieved 27 March 2015.

8. *Fasano G., Accardo D., Anna E., Moccia A.* Radar/electro-optical data fusion for non-cooperative UAS sense and avoid // *Aerospace Science and Technology*. – 2015. – Vol. 46. – P. 436-450.
9. *Yanguo S.; Huanjin W.* Design of Flight Control System for a Small Unmanned Tilt Rotor Aircraft // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2009. – No. 22 (3). – P. 250-256.
10. Пат. РФ № 2559332. МПК G01S 17/00. Метод обнаружения МБЛА / *Шишков С.В.* Заявл. 25.02.2014. Оpubл. 10.08.2015. Бюл. № 22.
11. Пат. РФ № 2497063. МПК F41H11/04. Способ противодействия выполнению задач беспилотным летательным аппаратом / *Митрофанов Д.Г., Гаврилов А.Д., Майбуров Д.Г., Котов Д.В., Злобинова М.В.* Заявл. 15.10.2012. Оpubл. 27.10.2013. Бюл. № 30.
12. *Студитский А.С., Кекин А.Г.* Повышение эффективности интегрированных многоканальных наблюдательных систем // *Приборы*. – 2013. – № 9. – С. 52-55.
13. *Митрофанов Д.Г., Злобинова М.В.* Совершенствование процесса управления комплексом математических моделей в системах поддержки принятия решений реального времени // *Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского*. – СПб., 2014. – № 645. – С. 44-51.
14. *Годунов А.И.* Взаимосвязь машинного (технического) зрения с компьютерным зрением при идентификации МБЛА // *Надежность и качество*. – Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2015. – Т. 1. – С. 213-217.
15. *Митрофанов Д.Г., Перехожев В.А.* Вариант построения двухуровневого нейросетевого идентификатора летательных аппаратов // *Известия института инженерной физики*. – 2014. – Т. 1, № 1. – С. 47-52.
16. *Годунов А.И., Шишков С.В., Юрков Н.К.* Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритных беспилотных летательных аппаратов // *Сб. трудов международного симпозиума «Надежность и качество – 2014»*. – Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2014. – Т. 1. – С. 90-95.
17. *Годунов А.И., Шишков С.В., Бикеев Р.Р.* Модель движения малогабаритного беспилотного летательного аппарата в пространстве // *Проблемы автоматизации и управления в технических системах*. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. – Т. 1. – С. 328-331.
18. *Годунов А.И., Шишков С.В., Бикеев Р.Р.* Модель определения геометрических изменений на кадрах видеопоследовательности для обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов // *Проблемы автоматизации и управления в технических системах*. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. – Т. 1. – С. 331-335.
19. *Шишков С.В., Синяев Е.Г., Петренко В.И.* Алгоритм принятия решений по достоверному обнаружению малогабаритных беспилотных летательных аппаратов противника // *Сер. 1. Наука и военная безопасность*. – 2015. – № 3 (3). – С. 10-16.
20. *Шишков С. В., Черный С.В., Музауи К.* Алгоритм определения геометрических изменений на кадрах видеопоследовательности для обнаружения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов: Т. 1 // *Сб. XVII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности»*. – СПб.: РАН, 2014. – С. 275-281.
21. Пат. РФ № 149412. МПК F41H 11/02, F41H 13/00. Малогабаритный роботизированный комплекс для борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / *Шишков С.В.* Заявл. 25.02.2014. Оpubл. 27.12.2014. Бюл. № 36.

## REFERENCES

1. *Roberge V.; Tarbouchi, M., Labonte G.* Comparison of Parallel Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Real-Time UAV Path Planning, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1 February 2013, No. 9 (1), pp. 132-141.
2. *Floreano, Dario; Wood, Robert J.* Science, technology and the future of small autonomous drones, *Nature*, 521 (7553), pp. 460-466.
3. *Kennedy C., Rogers J.I.* Virtuous drones?, *The International Journal of Human Rights*, 2015, No. 19 (2), pp. 211-227.
4. *Bakaneev S.A.* Robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya dlya raketnykh voysk i artillerii Sukhoputnykh voysk [Robotic technical complexes for military purposes for missile troops and artillery of the Ground Forces], *Robototekhnika* [Robototechnics], 2017, No. 2 (44), pp. 7-14.

5. *Zavodchenkov V.* Terroristy ustroili v Sirii voynu dronov [Terrorists staged a war of drones in Syria]. Available at: <https://yandex.ru/video/search?filmId=14348528443641910193-sas1-5624-V>.
6. *David G. Lowe* Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, November 2004, Vol. 60, Issue 2.
7. *Trimble S.* DARPA selects two firms to compete for sea-based UAV, *Flightglobal, Reed Business Information*, retrieved 27 March 2015.
8. *Fasano G., Accardo D., Anna E., Moccia A.* Radar/electro-optical data fusion for non-cooperative UAS sense and avoid, *Aerospace Science and Technology*, 2015, Vol. 46, pp. 436-450.
9. *Yanguo S; Huanjin W.* Design of Flight Control System for a Small Unmanned Tilt Rotor Aircraft, *Chinese Journal of Aeronautics*, 2009, No. 22 (3), pp. 250-256.
10. *Shishkov S.V.* Metod obnaruzheniya MBLA [The method of detection of MBLA]. Patent RF No. 2559332. MPK G01S 17/00. Declared 25.02.2014. Publ. 10.08.2015. Bull. No. 22.
11. *Mitrofanov D.G., Gavrilov A.D., Mayburov D.G., Kotov D.V., Zlobinova M.V.* Sposob protivodeystviya vypolneniyu zadach bespilotnym letatel'nyim apparatom [The way to counteract the tasks of an unmanned aerial vehicle]. Patent RF № 2497063. MPK F41H11/04. Declared 15.10.2012. Publ. 27.10.2013. Bull. No. 30.
12. *Studitskiy A.S., Kekin A.G.* Povyshenie effektivnosti integrirovannykh mnogokanal'nykh nablyudatel'nykh sistem [Increasing the efficiency of integrated multi-channel observational systems], *Pribory [Devices]*, 2013, No. 9, pp. 52-55.
13. *Mitrofanov D.G., Zlobinova M.V.* Sovershenstvovanie protsessa upravleniya kompleksom matematicheskikh modeley v sistemakh podderzhki prinyatiya resheniy real'nogo vremeni [Perfection of the process of managing a complex of mathematical models in real-time decision-making support systems], *Trudy VoЕННО-kosmicheskoy akademii im. A.F. Mozhayskogo [Proceedings of the Military Space Academy. A.F. Mozhaysky]*. Saint Petersburg, 2014, No. 645, pp. 44-51.
14. *Godunov A.I.* Vzaimosvyaz' mashinnogo (tekhnicheskogo) zreniya s komp'yuternym zreniem pri identifikatsii MBLA [Interrelation of machine (technical) vision with computer vision in the identification of MBLA], *Nadezhnost' i kachestvo [Reliability and quality]*. Penza: Izd-vo Penz. GU, 2015, Vol. 1, pp. 213-217.
15. *Mitrofanov D.G., Perekhozhev V.A.* Variant postroeniya dvukhurovneвого neyrosetevogo identifikatora letatel'nykh apparatov [Variant of construction of a two-level neural network identifier of aircraft], *Izvestiya instituta inzhenernoy fiziki [Izvestiya Institute of Engineering Physics]*, 2014, Vol. 1, No. 1, pp. 47-52.
16. *Godunov A.I., Shishkov S.V., Yurkov N.K.* Kompleks obnaruzheniya i bor'by s malogabaritnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Complex for detection and control of small unmanned aerial vehicles], *Sb. trudov mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo – 2014» [Collected Works of the International Symposium "Reliability and Quality - 2014"]*. Penza: Izd-vo Penz. GU, 2014, Vol. 1, pp. 90-95.
17. *Godunov A.I., Shishkov S.V., Bikeev R.R.* Model' dvizheniya malogabaritnogo bespilotnogo letatel'nogo apparata v prostranstve [Model of motion of a small unmanned aerial vehicle in space], *Problemy avtomatizatsii i upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh [Problems of Automation and Control in Technical Systems]*. Penza: Izd-vo PGU, 2015, Vol. 1, pp. 328-331.
18. *Godunov A.I., Shishkov S.V., Bikeev R.R.* Model' opredeleniya geometricheskikh izmeneniy na kadrakh videoposledovatel'nosti dlya obnaruzheniya malogabaritnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Model for the determination of geometric changes on the frames of the video sequence for the detection of small unmanned aerial vehicles], *Problemy avtomatizatsii i upravleniya v tekhnicheskikh sistemakh [Problems of automation and control in technical systems]*. Penza: Izd-vo PGU, 2015, Vol. 1, pp. 331-335.
19. *Shishkov S.V., Sinyaev E.G., Petrenko V.I.* Algoritm prinyatiya resheniy po dostovernomu obnaruzheniyu malogabaritnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov protivnika [Algorithm for making decisions on the reliable detection of small unmanned aerial vehicles of the enemy], *Ser. 1. Nauka i voennaya bezopasnost' [Journal Series 1 Science and Military Security]*, 2015, No. 3 (3), pp. 10-16.

20. *Shishkov S. V., Chernyy S.V., Muzau K.* Algoritm opredeleniya geometricheskikh izmeneniy na kadrah videoposledovatel'nosti dlya obnaruzheniya malogabaritnykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Algorithm for determining geometric changes on frames of a video sequence for the detection of small unmanned aerial vehicles]: Vol. 1, *Sb. XVII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy zashchity i bezopasnosti»* [The collection of the XVII All-Russian Scientific and Practical Conference "Actual problems of protection and safety "]. Saint Petersburg: RARAN, 2014, pp. 275-281.
21. *Shishkov S.V.* Malogabaritnyy robotizirovannyy kompleks dlya bor'by s malogabaritnymi bespilotnymi letatel'nymi apparatami [A small-sized robotic complex for combating small unmanned aerial vehicles]. Patent RF No. 149412. МПК F41H 11/02, F41H 13/00. Declared 25.02.2014. Publ. 27.12.2014. Bull. № 36.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.В. Абраменков.

**Митрофанов Дмитрий Геннадьевич** – Военная академия войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза А.М. Василевского; e-mail: mdgvapvo@yandex.ru; г. Смоленск, ул. Котовского, 2; тел.: 89043653864; д.т.н.; профессор; старший научный сотрудник НИЦ.

**Шшков Сергей Викторович** – Филиал Военной академии материально-технического обеспечения (г. Пенза), e-mail: sergej.shishkov.75@mail.ru; 440005, г. Пенза-5; тел.: 89648669855; полковник; д.т.н.; доцент; начальник кафедры.

**Mitrofanov Dmitry Gennadievich** – Military Academy of the Armed Forces of the Russian Federation. A.M. Vasilevsky; e-mail: mdgvapvo@yandex.ru; 2, Kotovskogo street, Smolensk, Russia; phone: +79043653864; dr. of eng. sc.; professor; senior researcher of the Research Center.

**Shishkov Sergey Viktorovich** – Filial of the Military Academy of Material and Technical Support (Penza); e-mail: sergej.shishkov.75@mail.ru; Penza-5, 440005, Russia; phone: +79648669855; Colonel; dr of eng. sc.; associate professor; head of the department.

УДК 004.896+629.58+001.891.57

**А.В. Инзарцев, А.М. Павин, Г.Д. Елисеенко, М.А. Панин**

### **ОБНАРУЖЕНИЕ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ДОННЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ГРУППЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ\***

*Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), оснащенные гидролокаторами бокового обзора (ГБО) и фотосистемами, могут применяться для автоматического обнаружения и обследования локальных донных объектов. ГБО позволяет эффективно распознавать донные объекты на значительном удалении, в то время как фотосистема используется для детального документирования состояния объектов в ближней зоне. При этом для выполнения мониторинга возможны сценарии использования как одного универсального АНПА, циклически выполняющего этапы обнаружения и фотосъемки, так и группы специализированных АНПА, выполняющих эти действия одновременно (параллельно). Обнаружение на акустических изображениях заданных объектов в реальном времени осуществляется с помощью алгоритмов, которые включают построение карты градиентов, выделение границ объектов и выделение самих объектов с использованием процедур кластеризации. Затем выбираются объекты, соответствующие заданным характеристикам, и определяются их координаты. Полученные координаты используются для организации выхода АНПА к обнаруженному объекту и проведения его фотообследования. Рассматривается модельное решение задачи мониторинга, включающее исследование алгоритмов*

\* Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания на 2018 г. № 264-2018-0001, а также при поддержке РФФИ (проект № 16-07-00350) и РНФ (проект № 14-50-00034).