

УДК: 621.397

DOI: 10.53816/23061456_2022_1-2_87

**ОПТИЧЕСКАЯ ТРИОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЕДИНОМОМЕНТНОГО
ОБНАРУЖЕНИЯ И ЦЕЛЕУКАЗАНИЯ МНОЖЕСТВЕННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ВОЗДУШНОЙ ПОЛУСФЕРЕ**

**OPTICAL TRIOSCOPIC SYSTEM OF SIMULTANEOUS DETECTION
AND TARGETING OF PLURAL UAVS IN THE AIR HEMISPHERE**

Канд. физ.-мат. наук В.А. Подгорнов, канд. техн. наук М.Ю. Науменко, С.В. Подгорнов

Ph.D. V.A. Podgornov, Ph.D. M.Y. Naumenko, S.V. Podgornov

ВНИИ технической физики им. акад. Е.И. Забабахина

В рамках решения задач по противодействию атакам множественных малоразмерных беспилотных летательных аппаратов как в военное, так и мирное время в инициативном порядке разработана и апробирована автоматическая оптическая триоскопическая система единомоментного обнаружения и целеуказания множественных воздушных объектов в воздушной полусфере над защищаемым объектом. Система обнаружения позволяет выявлять малоразмерные цели в условиях сложного динамически изменяемого фона в текущий момент времени, а не на основе видеопоследовательностей изображений. Работа системы скрытна и практически не обнаруживается, совместима с радиолокационным обнаружением. Для протяженного охраняемого объекта целесообразно рассмотреть возможность использования нескольких сопряженных между собой оптических систем обнаружения, распределенных по периметру охраняемой зоны и внутри нее с учетом застройки и рельефа местности.

Ключевые слова: оптическая триоскопическая система обнаружения, единомоментное обнаружение, беспилотный летательный аппарат.

Within the limits of the decision of problems on counteraction to attacks plural few dimensional UAVs as in military, and a peace time in an initiative order the automatic optical trioscopic system of simultaneous detection and targeting of plural air objects in an air hemisphere over protected object is developed and approved. The detection system allows to reveal few dimensional targets in the conditions of difficult dynamically changeable background at time present situation, instead of on the basis of video sequences of images. System work is reserved and practically is not found out, compatible to radar-tracking detection. For an extended protected object, it is advisable to consider the possibility of using several interlocking optical detection systems distributed along the perimeter of the protected area and inside it, taking into account the construction and topography of the area.

Keywords: optical trioscopic system of detection, simultaneous detection, unmanned aerial vehicle.

В настоящее время наблюдается бурное развитие беспилотных летательных аппаратов (БЛА) как гражданского, так военного назначения. Если БЛА военного назначения массово «ле-

гитимно» применяются США, Турцией, Израилем и другими странами в военных конфликтах, то коммерчески доступные БЛА гражданского назначения все чаще используются террориста-

ми. Очевидно, что весьма вероятно использование террористами малоразмерных военных БЛА, захваченных в ходе военных конфликтов, например, в Афганистане. Таким образом, актуальной задачей является противодействие БЛА, независимо от их исходного назначения как в мирное, так и военное время.

Однако, в настоящее время «имеющиеся в составе комплексов инженерно-технических средств охраны важных государственных объектов средства обнаружения и поражения не в полной мере могут противодействовать всем составляющим такого крайне опасного вида вооружения, каковым является система (комплекс) применения малоразмерных БЛА [1]. Проведенный в [2], сравнительный анализ современного состояния и возможностей средств противовоздушной обороны и средств воздушного нападения вероятного противника позволяет сделать вывод, что даже при высокой эффективности средств противовоздушной обороны вероятность защиты прикрываемых объектов может обеспечиваться лишь на уровне 0,4–0,8.

В силу исторического развития ракетные комплексы ПВО («Панцирь-С1», «Стрела-10 (М3)», «Бук-М3», «Тор-М2У») и современные артиллерийские комплексы ПВО (ЗАК-57 «Деривация-ПВО») показывают [3] высокую эффективность противодействия БЛА тяжелых и средних типов (близких по своим параметрам к традиционным летательным аппаратам), но среднюю и низкую эффективность противодействия БЛА легких, малых и мини типов.

Низкая эффективность противодействия малоразмерным БЛА обусловлена: малой эффективной площадью рассеяния (ЭПР) БЛА; низким уровнем шума и тепловыделений, в случае применения в БЛА электродвигателей; возможностью полета на предельно малых высотах с огибанием поверхности или в складках пересеченной местности, среди застроек и низких скоростях, даже с зависанием отдельных типов БЛА; режимом группового полета с оперативным получением информации об опасных зонах и синхронным выходом в атаку на цель с разных направлений.

Наравне с малоразмерными множественными низковысотными ударными БЛА не меньшую опасность представляют малоразмерные управляемые авиационные бомбы (УАБ), доставляе-

мые БЛА — носителем или летательным аппаратом на границу зоны поражения ПВО и синхронно атакующие цель с разных направлений.

Из известных малоразмерных ударных БЛА следует отметить [4] MBDA TiGER (Textron, США) и HERO 30 (Wasp) (Израиль), имеющих размах крыльев 60 и 70 см, соответственно, при массе боевой части 0,45 и 0,5 кг. Известные малоразмерные УАБ [5] Hachet (США) и Shadow Hawk (Lockheed Martin, США) имеют размах крыльев 26 и 15 см при диаметре корпуса 6 и 5 см, соответственно, а скорость пикирования УАБ Shadow Hawk достигает 500 км/ч. Противодействие такого рода ударным средствам представляет собой сложную задачу, учитывая их постоянное развитие и совершенствование.

Обнаружение и целеуказание воздушных целей является первичным шагом к противодействию атак БЛА, УАБ. Для обнаружения и целеуказания БЛА традиционно используются радиолокационные станции (РЛС), оптические системы наблюдения и целеуказания, акустические векторные датчики [1]. В идеале, желательно совместное использование всех указанных систем.

Однако БЛА с импеллерным двигателем и, особенно, УАБ имеют низкий уровень шума и эффективность их обнаружения акустическими средствами контроля авторам не известна.

Использование РЛС по воздушным целям, имеющим малую ЭПР и возможность зависания, полета на предельно малых высотах с огибанием поверхности также может быть затруднено. Кроме того, работа РЛС обнаруживаема и может быть использована при задании маршрута наведения БЛА, УАБ.

Оптические системы наблюдения и целеуказания, особенно мультиспектральные, представляются более универсальными и информативными, работу их трудно обнаружить.

Оптические системы наблюдения и целеуказания делятся на сканирующие воздушную полусферу [6] и на обзорные, одновременно ее просматривающие [7].

На дальних подступах к защищаемому объекту, когда происходит изначальное обнаружение цели и достаточно времени для подготовки ПВО к ее перехвату, сканирующие оптические системы выигрывают по дальности обнаружения по сравнению с обзорными, даже в случае атаки множественных БЛА, УАБ.

На ближних подступах к защищаемому объекту, когда необходимо как можно более точное отслеживание воздушной цели и прогнозирование ее положения для целеуказания средствам поражения, большая дискретность во времени регистрации изображений сканирующей системой по сравнению с обзорной недопустима. Учитывая, что для малоразмерных БЛА возможности поражения ракетных комплексов ПВО («ТОР-М2У», «Панцирь-С1», «Панцирь-СМ») лежат в пределах 1–2 км [3], получим для поражения БЛА, УАБ, летящих на конечном этапе атаки со скоростью до 150 м/с, запас времени на целеуказание и противодействие множественным атакам с разных направлений 7...13 с, в то время как время азимутального поворота сканирующей системы составляет, как правило, несколько секунд.

Необходимым компонентом оптических систем наблюдения и целеуказания являются средства определения расстояния до цели. Расстояние до цели может быть получено за счет данных РЛС, при помощи лазерного дальномера [8] и оптической стереометрии [7, 8]. Сопряжение оптических систем с РЛС всегда позитивно, но не всегда возможно.

Применение лазерных дальномеров имеет, согласно [8], свои недостатки:

– «Главный из недостатков любой системы управления огнем (СУО) со средствами лазерного дальнометрирования и целеуказания заключается в активном принципе действия лазерного излучателя». Т.к. в состав цели «как правило, входят индикаторы лазерного излучения, позволяющие определить сам факт облучения и направление на излучающий объект. В натовской терминологии такие приемники получили название LWR. Кроме этого, приемниками LWR оснащены все типы военных самолетов и вертолетов армий стран НАТО». Логично предположить возможное оснащение такого типа датчиками и БЛА;

– «Следующим недостатком (СУО), использующих лазерные дальномеры (ЛД), можно указать то, что они, по сути, являются «одноцелевыми». Между тем, растущая динамичность современных боевых действий требует от СУО, прежде всего, возможности автоматических обнаружения, сопровождения во всем периметре своего радиуса действия одновременно всех обнаруженных целей, автоматического или полуавтоматиче-

ских целеуказаний наводчику и целераспределения между боевыми машинами звена»;

– «Еще одним недостатком ЛД является то, что с его помощью очень сложно, а иногда и практически невозможно осуществлять замеры дальности до целей с малым угловым размером и эффективной поверхностью рассеяния, таких как тонкие провода, антенны, находящиеся на большом расстоянии, объекты с низким коэффициентом отражения, зеркальные поверхности».

Несмотря на все преимущества лазерных дальномеров, они относятся к сканирующим системам и их применение может быть затруднительно на ближних подступах к защищаемому объекту в случае множественных атак с разных направлений малоразмерных БЛА, УАБ.

В случае использования стереоскопической оптической системы наблюдения и целеуказания обнаружение объектов будет автоматически проводиться с селекцией целей по дальности и оценкой расстояния до них [7]. Применение стереоскопических методов, несмотря на дополнительную техническую сложность реализации, позволяет существенно снизить уровень регистрации ложных целей и не приводит к обнаружению самой системы наблюдения и целеуказания.

На основе проведенного анализа в РФЯЦ-ВНИИТФ в инициативном порядке была разработана и испытана автоматическая оптическая триоскопическая система единомоментного обнаружения и целеуказания множественных БЛА в воздушной полусфере (в дальнейшем, ОСЦ), предназначенная как для апробирования в полевых всепогодных условиях алгоритмов обнаружения целей, так и для решения целого круга эксплуатационных задач систем обнаружения БЛА в полевых условиях.

ОСЦ включает в себя оптическую цифровую регистрирующую аппаратуру (рис. 1) и вычислительную сеть.

Регистрирующая аппаратура состоит из шести видеомодулей (рис. 1), каждый из которых включает в себя до пяти 5-ти мегапиксельных CMOS видеокамер, обеспечивающих регистрацию видеоизображений в диапазоне длин волн — 0,45...1 мкм. Видеомодули установлены согласно патента [7]. Видеомодули располагаются в вершинах правильного шестиугольника. Видеокамеры в трёх соседних видеомодулях поочередно ориентированы в одном из шести



Рис. 1. Оптическая цифровая регистрирующая аппаратура ОСЦ

радиальных направлений, образуя три разнонаправленные стереопары. Вертикально вверх направлены три видеокамеры, также образующие три стереопары. Таким образом цифровая регистрирующая аппаратура единомоментно обзревает всю верхнюю полусферу.

Регистрирующая аппаратура ОСЦ установлена на испытательной производственной площадке на специализированном отапливаемом блок-контейнере, внутри которого размещается вычислительная сеть ОСЦ, на высоте 2,5 м.

Вычислительная сеть объединяет четыре независимо работающих персональных компьютера (ПК), по одному на 1–2 направления ведения наблюдения, подключенных к серверу.

Задачи ПК в системе обнаружения сводятся к управлению цифровыми затворами видеокамер (синхронизации их работы), обработке поступающего сигнала с целью селекции образов воздушных объектов на удалённом фоне и передаче полученных результатов на сервер. Задачи сервера заключаются в визуализации, хранении и воспроизведении результатов обнаружения воздушных объектов.

Принцип обработки поступающих видеосигналов представлен в патенте [9]. Триоскопический способ селекции по дальности множественных объектов заключается в формировании изображений тремя идентичными видеокамерами, установленными на небольшом базисе относительно удалённого фона, при этом главные оптические оси их объективов параллельны друг другу, а сами видеокамеры образуют три разнонаправленные стереопары. Видеокамеры одновременно регистрируют три изображения, после чего их поочерёдным вычитанием друг из друга формируют

три разностных изображения. Удалённый фон на разностных изображениях взаимно вычитается, так как не смещён, остаются только параллактически смещённые образы воздушных объектов. Поочерёдным перемножением разностных изображений друг на друга формируются очищенные изображения, содержащие ненулевые области в местах, где располагались образы объектов на исходных изображениях. Анализ расположения данных сегментированных областей, позволяет оценить расстояние до каждого из воздушных объектов. В ходе анализа используется условие нахождения центров областей, принадлежащих образам одного объекта на трёх исходных изображениях, заключающееся в пропорциональности их параллактического смещения соответствующим стереоскопическим базисам.

Таким образом целью может считаться лишь воздушный объект, одновременно присутствующий во взаимосвязанных позициях на трех независимых изображениях разных видеокамер. Это позволяет существенным образом как поднять эффективность обнаружения малоразмерных объектов на сложном динамически изменяемом фоне, так и понизить вероятность ложного срабатывания. Одновременный анализ изображений по трем разнонаправленным стереопарам позволяет также различать множественные идентичные БЛА в группе, тогда как при использовании одной стереопары возможны ошибки в случае нахождения БЛА в плоскости стереосдвига.

Использование стереоскопических и триоскопических методов обработки изображений позволяет выявлять цели, в т.ч. малоразмерные, точечные, в условиях сложного динамически изменяемого фона в текущий момент времени, а не на основе видеопоследовательностей, как в [6], когда для обнаружения БЛА-нарушителя требуется обработать около 10 кадров, при этом время обнаружения составляет примерно 0,2 с, а полное сканирование указанного сектора ответственности занимает около 11 с.

Назначение ОСЦ:

– автоматическое круглосуточное обнаружение (в темное время суток — с применением распределенной системы ночной подсветки воздушного пространства над и вокруг охраняемого района) типовых воздушных целей различных классов одновременно во всей воздушной полусфере (360×1900) на дальности и высоте, ограни-

чиваемых пространственным разрешением видеокамер (0,73 м на расстоянии 1 км), метеорологической видимостью и рельефом местности;

- единомоментное автоматическое определение в воздушной полусфере угловых координат (с дискретностью $0,04^\circ$) множественных целей с селекцией каждой из них по дальности (до 2 км) и по траектории с частотой 4 кадра/с;

- автоматическая классификация обнаруженных типовых целей по размеру, скорости и высоте полета;

- автоматическое опознавание «своих» БЛА по известным световым бортовым маякам (кодированным или спектральным).

В случае применения ОСЦ нет возможности априорного описания обнаруживаемых объектов, параметры и ракурс которых в проекции наблюдения ОСЦ может динамически изменяться. В идеале для распознавания обнаруженных динамических объектов необходимо знание параметров изображения динамических объектов, таких как замкнутая контурная кривая, длина контура, площадь, геометрический центр, кривизна контурной кривой и другие [10], однако это все практически неприменимо для малоразмерных БЛА, УАБ изображение которых будет составлять несколько пикселей и позволит только оценить размер, площадь цели.

Программный пакет Tg10 для ОСЦ разработан в среде инженерных вычислений Matlab R2020a под управлением ОС Windows 10. Пакет позволяет осуществить первоначальную настройку ОСЦ, поиск воздушных объектов, запись и воспроизведение результатов.

Поиск воздушных объектов производится в двух режимах — терминальном и панорамном. В терминальном режиме осуществляется контроль воздушного пространства в одном из направлений, в панорамном контролируются все направления.

Запись результатов поиска воздушных объектов, осуществляемая в терминальном режиме, сохраняет весь видеопоток данных. В панорамном режиме сохраняются только кадры с выявленными на них объектами, что расширяет возможности хранения.

Воспроизведение записей в панорамном режиме осуществляется разработанной программой, позволяющей синхронно просматри-

вать все сохранённые видеопотоки в записанной сессии.

При первоначальной настройке программного пакета ОСЦ (перед началом эксплуатации системы) его специальные программные модули:

- автоматически определять линию горизонта для каждого направления, после чего формировать выше неё маску рабочей области кадра, где будет происходить селекция образов воздушных объектов. Данные сохраняются и вызываются при последующих запусках программы;

- выполнить программными средствами, а не механическими подвижками, автоматическую юстировку главных оптических осей видеокамер по каждому направлению обзора по параллактическому совмещению удалённого фона (облаков) на стереопарах, задействованных в направлении обзора. Выполняется как смещение, так и поворот изображений. Данные сохраняются и вызываются при последующих запусках программы;

- автоматически выравнять баланс белого и яркость изображений в видеокамерах, образующих стереопары.

В режиме поиска воздушных целей программный пакет ОСЦ не только выявляет цели, но и определяет медианное значение местоположения каждой цели на трёх последних кадрах и вычисляет ее упреждённое местоположение на следующем изображении. Оператору на экран монитора для каждой выявленной цели выводится (рис. 2) ее положение в виде прямоугольной рамки, окрашенной в пурпурный цвет и соответствующей размерам цели. Одновременно отображаются и выявленные на четырёх предыдущих кадрах положения цели,

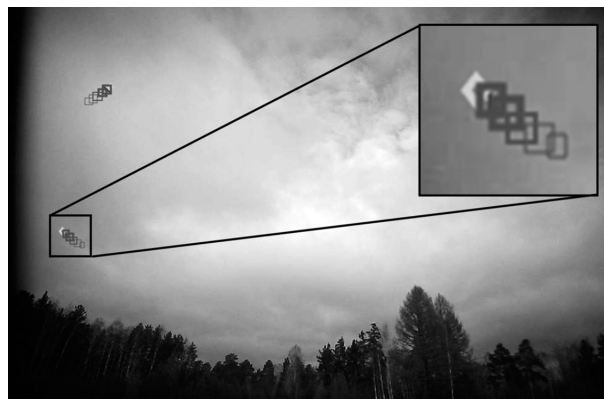


Рис. 2. Отображение выявленных воздушных объектов

обрисованные рамками с меньшими толщинами. Упреждённые положения целей отмечаются зелёным ромбом.

На монитор оператору выводится панорама по направлениям наблюдения и радарная сетка с выявленными целями. Оператор может зуммировать изображения в окнах видео панорамы посредством скроллинга мыши.

Созданные в РФЯЦ-ВНИИТФ ОСЦ и программный пакет Tгiо проходили натурные испытания и отработку с 2019 г. по 2021 г. на испытательной производственной площадке РФЯЦ-ВНИИТФ с использованием в качестве тестовой воздушной цели малогабаритного БЛА весом 280 г, лобовым сечением 0,6 дм², размахом крыльев 96 см.

Испытания проводились в разные времена года и в разных погодных условиях, включая дождь, снег, дымку. Оптическая цифровая регистрирующая аппаратура, вычислительная сеть и программный пакет Tгiо подтвердили соответствие расчетным параметрам и свою надежную длительную работу по обнаружению тестовой воздушной цели с минимальным количеством ложных срабатываний даже в условиях наличия контрастных подвижных облаков и различных ракурсах их освещения Солнцем.

Натурные испытания ОСЦ позволили сформулировать дополнительные требования и предложить технические решения по дальнейшему совершенствованию ОСЦ в части:

- повышения максимальной дальности обнаружения мини БЛА (характерный размер цели 0,2 м) до 1800 м и дистанции селекции по дальности до 13 км, за счет более современных CMOS-матриц и оптики;

- уменьшения массо-габаритных параметров ПК, сервера и повышения их вычислительных возможностей;

- реализации эффективной солнцезащиты и противодействия диверсионному ослеплению;

- оперативного автоматического контроля состояния стереоскопических базисов ОСЦ в результате эксплуатационных воздействий;

- климатической защиты регистрирующей аппаратуры ОСЦ.

Для протяженного охраняемого объекта (зоны) целесообразно рассмотреть возможность использования нескольких сопряженных между собой ОСЦ, распределенных по периметру ох-

раняемой зоны и внутри нее с учетом застройки и рельефа местности. В этом случае может быть обеспечено:

- одновременное многоракурсное наблюдение воздушной цели, в т.ч. в наиболее выгодном направлении, когда проекция цели максимальна. Кроме того можно будет избежать регистрации цели на фоне солнца;

- триангуляционное определение координат воздушных целей, например, с погрешностью определения расстояния до цели 7,3 м на дистанции 1 км при расстоянии 100 м между ОСЦ.

Предложенный РФЯЦ-ВНИИТФ подход по реализации оптической триоскопической системы единомоментного обнаружения и целеуказания множественных БЛА в воздушной полусфере подтвердил свою реализуемость и перспективность для включения в интеллектуальную систему мониторинга состояния защищенности объекта, предлагаемой в [11] в интересах национальной гвардии РФ, как в пределах внутренней зоны ответственности, так и на подступах к ней.

Литература

1. Черных А.К., Шиленин Д.А., Усиков Р.Ф. Современные угрозы для важных государственных объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1–2 (151–152). С. 74–78.

2. Балоев В.А., Ильин Г.И., Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Эффективность, помехозащищенность и помехоустойчивость видовых оптико-электронных систем. Монография. — Казань: Изд-во Казан. Гос. Техн. Ун-та. 2015. 11 с.

3. Зайцев Д.В., Болдырев М.С. Математическое моделирование противодействия беспилотным летательным аппаратам. Монография. — Сергиев Посад: 12 ЦНИИ Минобороны России. 2021. С. 23, 101.

4. Камикадзе ... возвращаются. (Отличный обзор малых БПЛА-камикадзе). URL: <https://kanaev55.livejournal.com/644818.htm> (Дата обращения 30.10.2021).

5. Семенов С. Новые разработки управляемых авиационных бомб сверхмалого калибра. URL: <https://otvaga2004.ru/kaleydoskop/kaleydoskop-ammo/minibomb/> (Дата обращения 30.10.2021).

6. Каляев А.И., Коровин Я.С. Комплекс обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей с помощью БПЛА-перехватчиков // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3–4 (153–154). С. 101–107.

7. Бровкин В.Ф., Подгорнов В.А., Подгорнов С.В. Устройство для селекции объектов на удалённом неоднородном фоне. Патент Российской Федерации № 2390039. 26.11.2007.

8. Зубарь А.В. Оптико-электронная система определения параметров целей. Теоретические основы построения. Монография. — Омск: ОАБИИ. 2018. С. 5–7.

9. Подгорнов В.А., Подгорнов С.В. Способ селекции по дальности множественных объектов. Патент Российской Федерации № 2498336. 13.03.2012.

10. Катуплев А.Н., Храмычев А.А., Ягольников С.В. Цифровая обработка 2D слабоконтрастных изображений, формируемых оптико-электронным прибором в сложных фоновых условиях. Обнаружение, распознавание, сопровождение динамических объектов. Монография. — М.: Радиотехника. 2018. 104 с.

11. Корой И.Г., Токарев М.С., Лисицын Ю.Е. Определение параметров целевой функции системы при управлении ресурсами антитеррористической защищенности специальных и административных объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1–2 (151–152). С. 79–83.

References

1. Chernykh A.K., Shilenin D.A., Usikov R.F. Current threats to important state facilities // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 1–2 (151–152). P. 74–78.

2. Baloev V.A., Ilyin G.I., Ovsyannikov V.A., Filippov V.L. Efficiency, noise immunity and a noise stability of specific optiko-electronic systems. The

monography. — Kazan: Publishing house of the Kazan state technical university. 2015. 11 p.

3. Zajtsev D.V., Boldyrev M.S. Mathematical modelling of counteraction to UAV. The monography. — Sergiev Posad: 12 CNII of the Minister of Defence of Russia. 2021. P. 23, 101.

4. Kamikazes ... come back. (The excellent review of small UAV-KAMIKAZES). URL: <https://kanaev55.livejournal.com/644818.htm> (Accessed: 30.10.2021).

5. Semenov. S. New workings out of operated aviation bombs of midget calibre. URL: <https://otvaga2004.ru/kaleydoskop/kaleydoskop-ammo/minibomb/> (Accessed: 30.10.2021).

6. Kalyaev A.I., Korovin Ya.S. Complex for detecting and defeating intruder UAVs using interceptor UAVs // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 3–4 (153–154). P. 101–107.

7. Brovkin V.F., Podgornov V.A., Podgornov S.V. Device for selecting objects on gon-uniform remote background. Patent RU 2390039. 26.11.2007.

8. Zubar A.V. Optiko-electronic system of definition of parametres of the targets. Theoretical bases of construction. The monography. — Омск: ОАБИИ. 2018. P. 5–7.

9. Podgornov V.A., Podgornov S.V. The Way of selection on range of plural objects. Patent RU 2498336. 13.03.2012.

10. Katulev A.N., Hramichev A.A., Jagolnikov S.V. Digital processing 2D poorly contrast images formed by the optiko-electronic device in difficult background conditions. Detection, recognition, support of dynamic objects. The monography. — М: Radio engineering. 2018. 104 p.

11. Koroi I.G., Tokarev M.S., Lisicin Yu.E. Determination of the parameters of the target function of the system in the management of anti-terrorist security resources of special and administrative facilities // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 1–2 (151–152). P. 79–83.