

УДК: 623.746.519

DOI: 10.53816/23061456\_2022\_3-4\_62

**АСПЕКТЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ МАССИРОВАННЫМ АТАКАМ  
МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**ASPECTS OF COUNTERING A MASSIVE ATTACKS  
BY SMALL-SIZED UNMANNED AERIAL VEHICLES**

*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*

*РФЯЦ – ВНИИТФ*

В статье в комплексе рассмотрены основные способы и современные тенденции противодействия массированным атакам малоразмерных беспилотных летательных аппаратов и управляемых авиационных бомб на всех этапах их применения, начиная со старта и кончая боевым воздействием на защищаемый объект. Приведенные оценки и подходы могут позволить, в первом приближении, оценить эффективность существующих и проектируемых систем противовоздушной обороны для отражения нового типа современных воздушных угроз. Сформулированы общие предложения по отражению одновременных атак малоразмерных беспилотных летательных аппаратов с разных направлений на малой высоте для широкого круга защищаемых военных и гражданских объектов в условиях мирного и военного времени.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, управляемая авиационная бомба, средство воздушного нападения, оптико-электронная система.

The article in a complex considers the main methods and modern trends of countering massive attacks by small-sized unmanned aerial vehicles and guided aerial bombs at all stages of their use, from the start to the combat impact on the protected object. The above assessments and approaches can allow, in a first approximation, to assess the effectiveness of existing and projected air defense systems for repelling a new type of modern air threats. General proposals are formulated for repelling simultaneous attacks of small-sized unmanned aerial vehicles from different directions at low altitude for a wide range of protected military and civilian objects in peacetime and wartime.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, guided aerial bomb, air attack means, optoelectronic system.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в том числе малоразмерных, в настоящее время прочно вошло в тактику действия как воинских подразделений, так и террористических группировок. «Угрозу представляют мини-БПЛА как ведущие разведку, так и ударные. Применение по объектам Вооруженных Сил Российской Федерации высшей категории мини-БПЛА в мирное время возможны со стороны террористических и

преступных элементов, а в период нарастания военной угрозы — диверсионно-разведывательными группами. Объекты в настоящее время не готовы к эффективному парированию данной угрозы» [1].

Современные ударные и разведывательные малоразмерные БПЛА в совокупности отличаются следующие черты:

– низкая заметность в радиолокационном и оптических диапазонах;

– низкое тепловыделение и бесшумность в случае использования электродвигателей;

– возможность полета на предельно малых высотах с огибанием поверхности (в недалеком будущем, вероятно, через лес и между зданиями);

– высокая степень маневренности и возможность зависания (для БПЛА вертолетного типа), изменения скорости полета;

– возможность группового полета и взаимодействия в группе с оперативным получением и анализом информации об опасных зонах; синхронным выходом в атаку на цель с разных направлений;

– полет в режиме «радиомолчания» и использование оптической навигации;

– широкий ассортимент полезной нагрузки — от средств разведки до поражения, постановки радиолокационных помех и т.п.;

– насыщенность средствами искусственного интеллекта (ИИ) для управления полетом, навигации и наведения на цель;

– меньшая стоимость по сравнению с ракетами современных зенитно-ракетных комплексов (ЗРК) противовоздушной обороны (ПВО);

– относительная скрытность их запуска из портативных пусковых установок.

Причем во многих странах мира в настоящее время происходит дальнейшее активное качественное и технологическое развитие БПЛА, тактики их применения.

Наравне с угрозой ударных малоразмерных БПЛА не меньшую опасность представляют малоразмерные управляемые авиационные бомбы (УАБ), доставляемые БПЛА — носителем или летательным аппаратом на границу зоны поражения ПВО, например, Hachet (США) и Shadow Hawk (Lockheed Martin, США) [2]. Современные малоразмерные УАБ отличает:

– низкая заметность в радиолокационном и оптическом диапазонах;

– отсутствие тепловыделения и бесшумность полета;

– маневренность и возможность группового применения;

– наличие навигационной системы и головки самонаведения (ГСН).

Противодействие такого рода средствам воздушного нападения (СВН) представляет собой сложную задачу, учитывая их постоянное развитие и совершенствование. «С целью формулирования долгосрочной стратегии по борьбе

с нарастающими угрозами применения БПЛА, разработана и утверждена «Концепция развития систем интегрированных комплексов технических средств охраны (ТСО) объектов Вооруженных Сил Российской Федерации высшей категории для защиты верхней полусферы. Положения концепции предполагают разработку нового поколения ТСО — роботизированного и интегрированного комплекса обнаружения и борьбы с мини-БПЛА (группой мини-БПЛА)» [1].

Целью статьи является систематизация и анализ возможных способов и тенденций противодействия массированным атакам малоразмерных БПЛА и УАБ (в наиболее опасном варианте их применения), а также формирование общих предложений по эффективному решению данной проблемы для широкого круга защищаемых военных и гражданских объектов в условиях мирного и военного времени.

Рассмотрению подлежат малоразмерные БПЛА от нано-БПЛА ближнего радиуса действия до легких БПЛА малого радиуса действия по российской классификации (дальность действия до 70 км и взлетной массой до 50 кг), а также БПЛА I и II типов по американской классификации БПЛА (массой до 25 кг, высотой полета до 1,07 км и скоростью до 460 км/ч) [3].

В работе [4] для мини-БПЛА типа «квадрокоптер» предложены методические основы для оценки эффективности противодействия массированному применению мини-БПЛА, позволяющие проводить предварительную оценку по критерию «эффективность — стоимость» традиционных и нетрадиционных систем противодействия мини-БПЛА. Однако рассмотрение ограничено мини-БПЛА типа «квадрокоптер», атакующим цель с одного направления. Математическое моделирование противодействия беспилотным летательным аппаратам, выполненное в [5], носит оценочный характер и использует ряд частных предположений.

Рассмотрение способов противодействия массированному применению малоразмерных СВН (БПЛА и УАБ) должно включать в себя противодействие СВН на всех этапах их применения, начиная со старта, полета в зоне ПВО, наведения и боевого воздействия на защищаемый объект. Современной тенденцией боевого применения БПЛА, как показали события в Нагорном Карабахе и в Ливии, является то, что среднее

число БПЛА одновременно атакующих ПЗРК в реальных боевых условиях составляет три и более, причем БПЛА атакуют ПЗРК одновременно и с разных направлений [3], а при вхождении в зону ПВО производят пуск средств поражения. Таким образом, наиболее вероятной представляется следующая тактика применения малоразмерных СВН в боевых условиях — доставка их на воздушных носителях (например, БПЛА среднего и большего классов или летательных аппаратах) на границу зоны ПВО защищаемого объекта и последующий пуск СВН с возможным кратковременным нахождением воздушного носителя в зоне ПВО без угрозы его поражения.

Вероятность  $P_{в.с}$  успешного старта СВН с воздушного носителя в этом случае определяется с учетом вероятности поражения воздушного носителя  $P_{нос}$  системой ПВО и вероятности  $P_{в.зап}$  успешного старта с него СВН как  $P_{в.с} = (1 - P_{нос}) \cdot P_{в.зап}$ . Оценка вероятности поражения воздушного носителя  $P_{нос}$  системой ПВО не рассматривается в статье. Однако необходимо учитывать, что стоимость воздушного носителя, как правило, гораздо больше доставляемых им СВН и противник будет стремиться сохранить воздушный носитель всеми доступными средствами, в том числе с применением средств радиоэлектронного подавления (РЭП). Так, в Сирии, по утверждению турецких средств массовой информации средствами РЭП, размещенным на БПЛА «Анка», почти всегда удавалось успешно подавлять РЛС ЗРПК «Панцирь-С1», что позволяло ударным БПЛА «Bayraktar TB2» входить в зону поражения этих ЗРПК и успешно их атаковать [3].

Альтернативой воздушному старту малоразмерных БПЛА является наземный старт, как это имело место в Сирии и в ряде террористических актов. В случае наземного старта малоразмерных БПЛА вероятность  $P_{н.с}$  успешного старта определяется с учетом вероятности поражения стартовой установки  $P_{с.у}$  и вероятности  $P_{н.зап}$  успешного запуска с нее как  $P_{н.с} = (1 - P_{с.у}) \cdot P_{н.зап}$ . Если в условиях боевых действий значение  $P_{н.с}$  определяется конкретными условиями противодействия сторон, то в мирное время — своевременным обнаружением подготовки террористического акта. Вероятности успешного старта  $P_{в.зап}$  и  $P_{н.зап}$  можно считать близкими к 1.

После старта СВН им предстоит преодоление системы ПВО. Вероятность преодоления

СВН системы ПВО  $P_{пол}$  определяется вероятностью  $P_{обн}$  обнаружения СВН и вероятностью его поражения  $P_{пор}$  как  $P_{пол} = (1 - P_{обн}) \cdot (1 - P_{пор})$ .

Определение момента и места старта СВН в результате проводимого сопровождения и контроля состояния воздушного носителя или обнаружения следов запуска с наземных пусковых установок может позволить на первое время сузить сектор контроля воздушного пространства средств обнаружения системы ПВО. Обнаружение старта малоразмерных СВН позволит своевременно активировать средства противодействия массированной атаке СВН еще на дальних подступах к защищаемому объекту. В дальнейшем весьма вероятно, что СВН выйдут за первоначальный сектор контроля воздушного пространства — вплоть до полета с разных азимутальных направлений на защищаемый объект.

Дальнейший полет СВН определяется запрограммированными в них маршрутами и режимами полетов. Полет малоразмерного УАБ проходит в основном в режиме планирования [6], в то время как малоразмерным БПЛА доступен полет на минимальной высоте в режиме огибания поверхности по маршруту, учитывающему складки местности, наличие лесов, застроек и т.п., в обход заранее обнаруженных зон противодействия. Кроме того, малоразмерные БПЛА могут выполнять специальные маневры, направленные на затруднение их обнаружения, например с периодическим зависанием или резким снижением скорости.

Полет малоразмерного БПЛА на малой высоте позволяет уйти из прямой видимости средств обнаружения ПВО, тем более если их дислокация будет известна противнику. Дальность прямой видимости  $D_r$ , км (геодезическая дальность горизонта, без учета рефракции, складок местности и высокой растительности) достаточно точно [7] определяется формулой  $D_r = 3,84 \sqrt{h_{гл}}$ , где  $h_{гл}$  — высота глаза наблюдателя, м. В рассматриваемом случае  $h_{гл} = (H_{БПЛА} + H_{пво})$ , где  $H_{БПЛА}$  — высота полета БПЛА,  $H_{пво}$  — высота расположения средства обнаружения. Однако учет рельефа местности существенно снижает дальность прямой видимости до значений, указанных в таблице 3.2.1 работы [8], если предположить  $H_{пво} \sim 3 \dots 5$  м и  $H_{БПЛА} \sim 10 \dots 15$  м (над уровнем растительности). Дальность обнаружения  $R_{обн}$  систем обнаружения, как правило, меньше дальности прямой видимости.

Другим способом повысить вероятность обнаружения малоразмерных БПЛА на приемлемой для ЗРК дальности является размещение существующих радиолокационных станций (РЛС) на летно-подъемных средствах — аэростатах, дирижаблях и даже БПЛА в составе ЗРК [3], при этом минимальная высота размещения РЛС для обнаружения низколетящих целей типа БПЛА (на высоте 50 м) на дальности, приемлемой для их своевременного обнаружения, для ЗРК малой дальности составит около 200 м, для ЗРК средней дальности — около 700 м. Однако данное решение может быть более затратным, существенно зависящим от погодных условий, само подверженном первичному нападению СВН противника, технически и алгоритмически более сложным.

Более надежным способом организации сплошного контроля окружающего пространства в условиях пересеченной местности может быть использование распределенной сети средств обнаружения [9], из которых средства оптико-электронной разведки (ОЭР) представляются более доступными по стоимости, чем РЛС. Против низколетящих БПЛА могут быть эффективны распределенные пункты акустической разведки (АР) [10] и средства радио- и радиотехнической разведки (РРТР), в этом случае локализующие СВН по их пеленгам [3].

Другой проблемой обнаружения малоразмерных СВН является их незначительная эффективная площадь рассеивания (ЭПР), что критически важно для РЛС, и малые геометрические размеры, критичные для ОЭР. Согласно [3], расчетные дальности для обнаружения малоразмерных БПЛА со стороны РЛС, находящимися на вооружении формирований ПВО, при различных значениях ЭПР БПЛА составляют:

- для РЛС МВ диапазона 0,1–1,5 км для БПЛА с ЭПР около 0,01 м<sup>2</sup>;
- для РЛС ДЦМВ диапазона 0,8–2 км для БПЛА с ЭПР около 0,01 м<sup>2</sup>;
- для РЛС СВМ диапазона 1,4–2,8 км для БПЛА с ЭПР около 0,01 м<sup>2</sup>.

Учитывая, что основной упор в Концепции [1] по обнаружению БПЛА делается на радиолокационное обнаружение мини-БПЛА (группы мини-БПЛА) на дальности не менее 10 000 м от охраняемого объекта и идентификацию цели; обнаружение радиосигналов мини-БПЛА (груп-

пы мини-БПЛА), предстоит существенная модернизация традиционных РЛС, несомненно доказавших высокую эффективность противодействия БПЛА тяжелых и средних типов (близких по своим параметрам к традиционным летательным аппаратам), или, возможно, переход к их использованию в режиме распределенной сети с  $R_{\text{обн}} \sim 1\text{--}3$  км. Для эффективного обнаружения перспективных СВН с высокой долей радиопрозрачных (пластиковых и композиционных) или радиопоглощающих материалов в их конструкции необходимо обнаруживать объекты с ЭПР до 0,001 м<sup>2</sup>, в том числе в условиях пассивных помех и отраженных сигналов от стационарных объектов.

Оптико-электронные системы (ОЭС), реализующие ОЭР, особенно мультиспектральные (регистрирующие изображения в видимом и инфракрасном диапазонах света), представляются более информативными в части идентификации целей, работа их практически не обнаруживаема. ОЭС различаются на сканирующие воздушную полусферу [11] и на обзорные, одновременно ее просматривающие [9, 12]. На границах зоны ПВО, когда имеется запас времени, сканирующие оптические системы за счет их значительно более узкого поля зрения выигрывают по дальности обнаружения по сравнению с обзорными даже в случае атаки множественных СВН, и могут, в принципе, определить момент старта СНВ с их воздушного носителя. Однако на ближних подступах к защищаемому объекту, когда «для успешного решения задачи сопровождения БЛА точность выходных данных алгоритма обработки информации должна обеспечивать постоянное нахождение БЛА в стробе сопровождения» [13], большая дискретность во времени регистрации изображений сканирующей системой по сравнению с обзорной недопустима. Снижение радиуса обнаружения с  $R_{\text{обн}} \sim 1\text{--}2$  км обзорной ОЭС по сравнению со сканирующей с  $R_{\text{обн}} \sim 5\text{--}10$  км может быть скомпенсировано при использовании распределенной сети ОЭС [9], обеспечивающей сплошной контроль окружающего пространства в условиях пересеченной местности, или размещением ОЭС на соответствующем БПЛА-носителе, инспектирующем окружающее пространство на дальних подступах.

Исполнение ОЭС в стереоскопическом варианте [9, 12, 14] позволит значительно сократить ложные срабатывания, даст возможность

проводить селекцию целей по дальности и оценивать расстояния до них [9, 12]. ОЭС целесообразно комплектовать лазерными дальномерами, которые, помимо всего, могут использоваться для повышения ИК-сигнатуры малоразмерных БПЛА, то есть для их «подогрева» с целью повышения эффективности наведения зенитных управляемых ракет (ЗУР) на них [3].

РЛС имеют преимущество перед ОЭС при работе в ночное время, однако при использовании инфракрасного диапазона или при наличии подсветки [9] это преимущество нивелируется. Сложные погодные условия оказывают негативное влияние как на ОЭС, так и на РЛС, однако при использовании распределенной сети средств обнаружения они сказываются в меньшей степени из-за меньших дистанций контроля.

Акустическая разведка (АР) может применяться для определения пеленга на цель; определения класса (типа) БПЛА», при этом дальность обнаружения БПЛА  $R_{\text{обн}}$  средствами АР составляет для планерного БПЛА с электрическим двигателем — 100–200 м; вертолетного БПЛА с электрическим двигателем — 200–300 м; БПЛА с поршневым двигателем — до 2 км [3].

Важным параметром, определяющим возможность обнаружения малоразмерного БПЛА, является скорость его полета в зоне ПВО. Так, малая скорость полета БПЛА  $V_{\text{БПЛА}} \sim 10\text{--}30$  м/с, рассматриваемая в [3] как одно из преимуществ БПЛА, несомненно позволяет осуществить полет на минимально возможной высоте, что затруднит обнаружение и поражение БПЛА. Однако малые значения скорости БПЛА приводят к увеличению времени нахождения БПЛА в зоне ПВО, что потенциально повышает вероятность обнаружения БПЛА и дает большее время для активизации средств противодействия. Так время полета БПЛА в направлении на защищаемый объект с границы обнаружения БПЛА  $R_{\text{обн}}$  при средней скорости  $V_{\text{БПЛА}}$  составит  $t_{\text{пол}} = R_{\text{обн}} / V_{\text{БПЛА}}$ . При маневрировании БПЛА это время можеткратно увеличиться. В общем случае,  $t_{\text{пол}} = R_{\text{обн}} / V_{\text{рад}}$ , где  $V_{\text{рад}}$  — проекция средней скорости  $V_{\text{БПЛА}}$  в направлении на защищаемый объект.

Если предположить вариант атаки множественных малоразмерных БПЛА, разлетающихся от точки их старта за пределы узкого сектора обзора и направляющихся на защищаемый объект с разных азимутальных направлений, то си-

стема обнаружения вынуждена сканировать все окружающее воздушное пространство. Характерные значения периода кругового сканирования составляют  $T_{\text{скан}} \sim 2\text{--}4$  с [15], что может затруднить не только обнаружение, но и сопровождение/целеуказание цели, которое должно быть непрерывным. Для корректного определения траектории цели система обнаружения должна зарегистрировать не менее  $n \geq 3$  ее мест нахождения. Таким образом, для успешного противодействия одновременной атаке множественных БПЛА должно выполняться следующее условие для встречи БПЛА на дистанции поражения  $R_{\text{пор}}$  в прогнозируемой точке:

$$(T_{\text{пор}} + n \cdot T_{\text{скан}}) \cdot V_{\text{рад}} \leq R_{\text{обн}} - R_{\text{пор}},$$

где  $T_{\text{пор}}$  — время, затрачиваемое на поражение цели после расчета точки ее встречи.

Таким образом, система обнаружения будет способна выполнить целеуказание средствам поражения при  $V_{\text{рад}}$ , не большей

$$V_{\text{max}} = (R_{\text{обн}} - R_{\text{пор}}) / (T_{\text{пор}} + n \cdot T_{\text{скан}}). \quad (1)$$

Из (1) следует, что наиболее опасной может быть атака малоразмерного БПЛА не с малой скоростью полета, а с максимально возможной на минимальной высоте полета.

Возможным решением по уменьшению величины  $T_{\text{скан}}$  может стать использование обзорной ОЭС [9, 12], одновременно просматривающей воздушную полусферу. В этом случае, с учетом цифровой обработки изображений,  $T_{\text{скан}} \sim 0,1\text{--}0,2$  с. Использование распределенной сети обзорных ОЭС позволит увеличить  $R_{\text{обн}}$  системы обнаружения ПВО в целом и даст возможность увеличить порог  $V_{\text{max}}$  по (1).

Не менее важным является уменьшение времени поражения  $T_{\text{пор}}$  СВН. Величина  $T_{\text{пор}}$  складывается из времени наведения (поворота)  $T_{\text{пов}}$  пускового ствола, антенны, излучателя и т.п. в направлении на цель, времени  $T_{\text{возд}}$  полета средства поражения к цели или времени воздействия на нее (длительность лазерного воздействия, очереди выстрелов снарядов), то есть  $T_{\text{пор}} = T_{\text{пов}} + T_{\text{возд}}$ . При этом время возможной перезарядки боекомплекта средств поражения в рассматриваемом случае не учитывается, полагая боекомплект достаточным для отражения массированной атаки.

Значения времен  $T_{\text{пов}}$ ,  $T_{\text{возд}}$  и дистанции поражения  $R_{\text{пор}}$  отличаются для различных средств поражения малоразмерных СВН.

В качестве средств поражения СВН традиционно рассматриваются:

- зенитно-ракетные комплексы [3];
- зенитно-пушечное вооружение [1];
- средства РЭП [1];
- лазерные средства поражения [4, 16];
- средства функционального поражения электромагнитным излучением (ФП ЭМИ) [3];
- средства противодействия с воздушного перехватчика [4, 16].

Отечественные комплексы войсковой ПВО (ЗРК «Тор-М1» и «Тор-2Э», «Бук-М2Э» и «Бук-М32», «Морфей», «Витязь», ЗРПК «Панцирь-С1» и «Сосна») могут эффективно противодействовать БПЛА — время реакции ( $T_{\text{пор}}$ ) составляет 4–8 с для ЗРПК «Панцирь-С1», 7,4 с для ЗРК «Тор-М1» и 7–10 с для ЗРПК «Сосна» [3]. «При этом недостатком системы управления огнем этих ЗРК «Тор-М1/М2» и ЗРПК «Панцирь-С1/С2» является то, что их ракеты требуют управления на всем протяжении полета, а количество одновременно обстреливаемых целей ограничено 3 для ЗРПК «Панцирь-С2» и 4 для ЗРК «Тор-М2». При этом одновременно обстреливаемые цели должны находиться в зоне обзора РЛС наведения. В результате невозможна одновременная работа по целям, атакующим с разных направлений. Данная проблема носит системный характер, и увеличение боекомплекта ЗУР не будет являться выходом из ситуации» [3]. Кроме того, ЗРК имеют «мертвую зону» ~ 1 км [15] вблизи пускового устройства, которая сравнима с  $R_{\text{обн}}$  малоразмерных БПЛА для РЛС, находящихся на вооружении формирований ПВО. Актуальным представляется дальнейшее совершенствование и разработка ракет ЗРК, ориентированных на поражение низколетящих малоразмерных высокоманевренных СВН в режиме «пустил-забыл» с минимальной стоимостью.

Зенитно-пушечное вооружение в настоящее время рассматриваются как наиболее перспективные для борьбы с малогабаритными БПЛА, а также как средство перекрытия «мертвой зоны» ракетного вооружения ЗРК ПВО [3]. Так, основной упор в Концепции [1] в части противодействия мини-БПЛА (группы мини-БПЛА) делается на огневое поражение средств воздушного

нападения зенитно-пушечным вооружением (от 50 до 1500 м по дальности с вероятностью не ниже 0,9). При этом у зенитно-пушечного противодействия малоразмерным СВН существует ряд недостатков:

- повышенный расход боеприпасов по причине малых размеров СВН и низкой плотности средств поражения (снарядов, пуль) в объеме пространства, внутри которого находится БПЛА из-за рассеивания, обусловленного колебаниями ствола, платформы, на которой установлена установка, и зависимостью внутренней баллистики от состояния и температуры ствола [3], а также, в ряде случаев, недостаточной точности сопровождения и наведения ствола на цель. Стоимость затраченных боеприпасов в ряде случаев может существенно превышать стоимость СВН;
- использование для обеспечения безопасности защищаемых объектов в мирное время нецелесообразно, поскольку связано с опасностью поражения мирного населения и инфраструктуры, а также высокой стоимости их применения. Кроме того, задействование ЗРПК в указанных целях может привести к демаскированию скрытого защищаемого объекта [16].

Повышение эффективности зенитно-пушечного вооружения возможно при использовании снарядов типа ANEAD [17] или MEFP (Multiple Explosive Formed Penetrator) [18]. Однако в момент поражения СВН один ствол должен быть направлен на одно СВН, то есть  $T_{\text{возд}}$  будет соответствовать времени стрельбы по одному СВН, а для наведения на другое СВН потребуется время  $T_{\text{пов}}$ , составляющее 4–8 с [19].

Радиоэлектронное подавление систем управления, навигации и наведения оружия (принуждение к отказу от выполнения полетного задания) занимает важное место в Концепции [1] в части противодействия мини-БПЛА (группы мини-БПЛА). Вместе с тем, средствам РЭП свойственные и определенные недостатки [3]:

- воздействие средств РЭП возможно только при условии соблюдения электромагнитной доступности БПЛА;
- подавление канала управления и навигации БПЛА возможно только при условии активного дистанционного управления БПЛА. Полет БПЛА в режиме «радиомолчания» по заранее заложеной программе, как правило, не позволяет вскрыть факт полета такого БПЛА

средствами РРТР и, соответственно, сформировать целеуказание средствам РЭП на противодействие таким БПЛА.

Таким образом, в случае принятия противником мер по защите СВН от воздействия РЭП поражение СВН может стать проблематичным. Эффективность радиоэлектронного подавления СВН может быть существенно повышена при использовании узконаправленных средств РЭП [16], наводимых по целеуказанию ОЭС и РЛС.

Особое развитие в последние годы получили лазерные средства противодействия [16], которые наряду с несомненными достоинствами имеют явные недостатки [3].

«К недостаткам и проблемным вопросам использования лазерных средств поражения можно отнести следующее:

1. Эффективность лазерных средств поражения существенно зависит от метеоусловий. Низкая облачность, дымка, туман, осадки, все это резко снижает эффективность применения данных средств;

2. Лазерные средства поражения требуют высокоточного внешнего целеуказания, как правило, от РЛС или ОСЦ обнаружения БПЛА;

3. Для достижения эффекта поражения БПЛА требуется удержание лазерного луча на цели в течение 0,5–15 с, что на высоких дальностях и при маневренном полете БПЛА является достаточно сложной технической задачей;

4. С развитием и широким распространением технологий лазерного поражения ожидается переход к использованию в корпусах БПЛА материалов, специально ориентированных на отражение или рассеивание лазерного излучения.

Таким образом, дистанция поражения  $R_{пор}$  лазерных средств поражения может совпасть с радиусом  $R_{обн}$  используемых систем обнаружения (РЛС, ОЭС), в идеальных условиях совпадающим с дальностью прямой видимости, но время наведения  $T_{пов}$  зеркал излучателя, вероятно, будет не менее 1 с при разнонаправленном нападении, длительность  $T_{возд}$  лазерного воздействия на одно СВН, по всей видимости, будет больше 1 с.

Средства функционального поражения электромагнитным излучением (ФП ЭМИ) СВН могут, в отличие от других средств поражения, предоставить возможность группового поражения малоразмерных СВН, попадающих в зону их

действия независимо от их типа, режима управления, типа навигационной системы [3]. Существенным ограничением применения ФП ЭМИ является его влияние как на защищаемый объект, так и на окружающие его объекты.

В отличие от рассмотренных стационарных средств противодействия существенное преимущество может дать использование БПЛА-перехватчиков с огневыми средствами, сетями, клейкими и горючими аэрозолями [4]. Применение интеллектуальных БПЛА-перехватчиков, патрулирующих заданный район или вылетающих по целеуказанию наземных средств обнаружения (например, на встречу с воздушным носителем СВН), в режиме поиска и поражения СВН позволяет существенно расширить зону обнаружения и поражения СВН, выходя далеко за ограничения прямой видимости. Учитывая, что стоимость БПЛА-перехватчиков может быть сравнима со стоимостью СВН, их количество может быть также значительным при отражении массированной атаки СВН. При этом БПЛА-перехватчик, в свою очередь, сам является носителем средств поражения одного и более СВН, например:

– устройства выстрела сетью из пускового устройства, установленного на БПЛА-перехватчике, для захвата СВН [16]. В одном из вариантов [20] сеть разворачивается при помощи запускаемых с БПЛА-перехватчика малогабаритных ракет, которые вместе с БПЛА-перехватчиком продолжают полёт с развернутой сетью и «собирают» СВН;

– устройства выстрела (выброса) снаряда с разворачивающимися металлическими тросами или высокопрочными нитями, режущими аэродинамические поверхности СВН [21];

– устройства выстрела картечью, дробью, в том числе многозарядного [22];

– устройства выброса боевой части с взрывчатым веществом (осколочной или термобарической гранаты), например многократного, при помощи порохового двигателя [23].

В обозримой по времени среднесрочной перспективе следует ожидать создание и принятие на вооружение линеек различных БПЛА, оснащаемых мощными малогабаритными бортовыми устройствами сверхвысокочастотного оружия функционального поражения (СВЧО ФП), к которым относятся многие средства поражения:

– электронные» бомбы и гранаты, сбрасываемые на объекты противника или запускаемые в виде управляемых реактивных снарядов с борта БПЛА;

– ударное СВЧО ФП направленного энергетического воздействия на объекты противника;

– СВЧО ФП самозащиты БПЛА направленного энергетического воздействия на ракеты и летательные аппараты противника, атакующие БЛА [24].

Необходимо отметить возможность противодействия малоразмерным БПЛА при помощи средств противовоздушного минирования или развертывания сетей с земли [16], но их эффективность может быть нивелирована изменением высоты полета БПЛА.

Важным аспектом противостояния массированному применению малоразмерных СВН является противодействие работе их головок самонаведения на конечном этапе полета, например за счет аэрозольного противодействия [1] или маскировки, установки ложных целей, но наиболее действенным представляется использование комплекса активной защиты (КАЗ) самого объекта (в том числе гражданского или промышленного), как последнего рубежа защиты от рассматриваемых малоразмерных СВН. В КАЗ для отражения одновременных атак малоразмерных СВН с разных направлений их обнаружение осуществляют посредством нескольких оптических стереоскопических систем обнаружения с селекцией по дальности, одновременно обзорающей всю верхнюю полусферу, а поражение обнаруженных СВН осуществляют при помощи средств поражения, запускаемых из установленных под разными углами возвышения и азимута стволов пускового контейнера, установленного на вращающейся платформе.

Таким образом, комплексно рассмотрены основные способы и современные тенденции противодействия массированным атакам малоразмерных БПЛА и УАБ на всех этапах их применения, начиная со старта и кончая боевым воздействием на защищаемый объект. Приведенные оценки и подходы могут позволить, в первом приближении, оценить эффективность существующих и проектируемых систем ПВО для отражения нового типа современных воздушных угроз.

В целях повышения эффективности систем ПВО по отражению одновременно с разных на-

правлений на малой высоте атаки множественных малоразмерных БПЛА можно сформулировать следующие технически реализуемые предложения:

– использование в условиях пресеченной местности распределенной сети средств обнаружения малоразмерных СВН — РЛС кругового обзора и мультиспектральных стереоскопических оптико-электронных систем, одновременно просматривающих воздушную полусферу над ними;

– применение интеллектуальных БПЛА-перехватчиков, патрулирующих заданный район или вылетающих по целеуказанию наземных средств обнаружения, в режиме поиска и поражения одного и более СВН бортовыми средствами поражения;

– разработка комплексов активной защиты от малоразмерных СВН как для гражданских, так и военных объектов.

## Литература

1. Новокшенов И.Е., Михайлова О.Б., Рогожин С.С. Интегрирование комплексов технических средств охраны объектов Вооруженных Сил Российской Федерации высшей категории для защиты от мини-беспилотных летательных аппаратов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 5–6 (143–144). С. 3–7.

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

3. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. — СПб.: Научное издание, 2020. 204 с.

4. Гусева А.С., Дурнев Р.А., Кудряшов А.С., Свиридов Е.В. Оценка эффективности систем противодействия массированному применению мини-БПЛА: методические основы // Известия РАН. 2021. № 1 (116). С. 57–61.

5. Зайцев Д.В., Болдырев М.С. Математическое моделирование противодействия беспилотным летательным аппаратам. Монография. — Сергиев Посад: 12 ЦНИИ Минобороны России. 2021. 141 с.

6. Калабин А. «Дрель» для бомбардировщика: супероружие России. URL: <https://>

[www.popmech.ru/weapon/468542-drel-dlya-bombardirovshchika-superoruzhie-rossii/](http://www.popmech.ru/weapon/468542-drel-dlya-bombardirovshchika-superoruzhie-rossii/) (Дата обращения 12.11.2021).

7. Филиппов В.Л., Иванов В.П., Яцык В.С. Атмосфера и моделирование оптико-электронных систем в динамике внешних условий. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. С. 47

8. Шипунов А.Г., Семашкин Е.Н. Дальность действия, всесуточность и всепогодность телевизионных и тепловизионных приборов наблюдения. — М.: Машиностроение, 2011. 69 с.

9. Подгорнов В.А., Бровкин В.Ф., Подгорнов С.В., Щербина А.Н. Анализ воздушных угроз для промышленных радиационно-опасных объектов // Четвертая Российская Международная конференция по учету, контролю и физической защите ядерных материалов. 2009. — Обнинск. Доклад № 058. 8 с.

10. «Атака-Шорох»: В России испытали систему, способную по звуку обнаруживать дроны-разведчики. URL: <https://topwar.ru/188260-ataka-shoroh-v-rossii-ispytali-sistemu-sposobnuju-po-zvuku-obnaruzhivat-drony-razvedchiki.html> (Дата обращения 12.11.2021).

11. 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.

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

13. Фалилеев В.Ю., Шатовкин Р.Р. Технологии обработки информации при сопровождении и распознавании типа беспилотного летательного аппарата // Научно-технические технологии. 2020. Т. 21. № 5. С. 5–19.

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

15. Зенитный ракетно-пушечный комплекс «Панцирь-С1». URL: <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/artilleriya/pancir-s1/> (Дата обращения 30.10.2021).

16. Егурнов В.О., Ильин В.В., Некрасов М.И., Сосунов В.Г. Анализ способов противодействия летательным аппаратам для обе-

спечения безопасности защищаемых объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 1–2 (115–116). С. 51–58.

17. Снаряды воздушного подрыва АHEAD. URL: <https://warinform.ru/News-view-270.html> (Дата обращения 12.11.2021).

18. Федоров Е. «Умные калибры» для борьбы с асимметричными угрозами. URL: <https://tehnovar.ru/128381-umnye-kalibry-dlja-borby-s-asimmetrichnymi-ugrozami.html> (Дата обращения 12.11.2021).

19. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Петров С.В., Привалов А.А. Анализ опыта боевого применения групп беспилотных летательных аппаратов для поражения зенитно-ракетных комплексов системы противовоздушной обороны в военных конфликтах в Сирии, в Ливии и в Нагорном Карабахе // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 4. С. 163–191.

20. Подгорнов В.А., Кипкаев А.Е., Крестьянинов Г.А., Науменко М.Ю. Способ захвата воздушной цели сетью. Патент Российской Федерации № 2745590. 03.04.2020.

21. Подгорнов В.А., Науменко М.Ю. Снаряд для борьбы с беспилотными летательными аппаратами. Патент Российской Федерации № 2758282. 16.03.2021.

22. Испытания стреляющего беспилотного летательного аппарата. URL: <https://bmpd.livejournal.com/3583656.html> (Дата обращения 12.11.2021).

23. Подгорнов В.А., Кипкаев А.Е., Крестьянинов Г.А., Науменко М.Ю. Способ фиксации и сброса грузов для беспилотных летательных аппаратов. Патент Российской Федерации № 2719703. 01.08.2019.

## References

1. Novokshonov I.E., Mikchailova O.B., Rogozhin S.S. Integration of complexes of technical mean of protection of objects of armed forces of the Russian Federation of the highest category for protection against mine unmanned aerial vehicles // Military Enginery. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2020. № 5–6 (143–144). P. 3–7.

2. Semenov. S. New workings out of operated aviation bombs of midget caliber. URL: <https://>

otvaga2004.ru/kaleydoskop/ kaleydoskop-ammo/ minibomb/ (Accessed: 30.10.2021).

3. Makarenko S.I. Countering unmanned aerial vehicles. The monography. — SPb: Naukoemkie tekhnologii. 2020. 204 p.

4. Guseva A.S., Durnev R.A., Kudryashov A.S., Sviridok E.V. Assessment of effectiveness of countermeasures systems mass use of mini-UAVs: methodological bases // Izvestia RARAN. 2021. № 1 (116). P. 57–61.

5. 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. 141.

6. Kalabin A. «Drill» for a bomber: Russia's Superweapon. URL: <https://www.popmech.ru/weapon/468542-drel-dlya-bombardirovshchika-superoruzhie-rossii/> (Accessed: 12.11.2021).

7. Filippov V.L., Ivanov V.P., Yatsyk V.S. Atmosphere and modeling of optoelectronic systems in the dynamics of external conditions. — Kazan: Kazan university Publishing house. 2015. P. 47.

8. Shipunov A.G., Semashkin E.N. Range, all-day and all-weather capability of television and thermal imaging surveillance devices. — M.: Mechanical engineering, 2011. P. 69.

9. Podgornov V.A., Brovkin V.F., Podgornov S.V., Scherbina A.N. Analysis of air threats for industrial radiation-hazardous facilities // The 4th Russian International Conference on Nuclear Material Protection, Control and Accounting. 2009. Obninsk. Report № 058. P. 8.

10. «Ataka-shoroh»: In Russia, they tested a system capable of detecting reconnaissance drones by sound. URL: <https://topwar.ru/188260-ataka-shoroh-v-rossii-ispytali-sistemu-sposobnuju-po-zvuku-obnaruzhivat-drony-razvedchiki.html> (Accessed: 12.11.2021).

11. Kalyaev A.I., Korovin Ya.S. Complex for detecting and defeating intruder UAVs using interceptor UAVs // Military Enginery. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2021. № 3–4 (153–154). P. 101–107.

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

13. Falileev V.Yu., Shatovkin R.R. Information processing technology for drone tracking and recognition // Science Intensive Technologies / Naukoemkie tekhnologii. 2020. V. 21. № 5. P. 5–19.

14. Zubar A.V. Optiko-electronic system of definition of parameters of the targets. Theoretical bases of construction. The monography. — Omsk: OABII. 2018. P. 5–7.

15. Anti-aircraft missile and gun complex «Pantsir-S1». URL: <https://militaryarms.ru/voennaya-tekhnika/artilleriya/pancir-s1/> (Accessed: 12.11.2021).

16. Egunov V.O., Ilyin V.V., Nekrasov M.I., Sosunov V.G. Unmanned aerial vehicles countermeasures to ensure the protected sites safety analysis // Military Enginery. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2018. № 1–2 (115–116). P. 51–58.

17. Air — detonation projectiles AHEAD. URL: <https://warinform.ru/News-view-270.html> (Accessed: 12.11.2021).

18. Fedorov E. «Smart calibers» to combat asymmetric threats. URL: <https://tehnovar.ru/128381-umnye-kalibry-dlja-borby-s-asimmetrichnymi-ugrozami.html> (Accessed: 12.11.2021).

19. Afonin I.E., Makarenko S.I., Petrov S.V., Privalov A.A. Analysis of combat experience as groups of unmanned aerial vehicles are used to defeat anti-aircraft missile means of the air defense system in Syria, Libya and Nagorno-Karabakh wars. Systems of Control, Communication and Security, 2020. №. 4. P. 163–191.

20. Podgornov V.A., Kipkaev A.E., Krestyaninov G.A., Naumenko M.Y. Method for capture of air target with a net. Patent RU 2745590. 03.04.2020.

21. Podgornov V.A., Naumenko M.Y. Method for capture of air target with a net. Patent RU 2758282. 16.03.2021.

22. Tests of a shooting unmanned aerial vehicle. URL: <https://bmpd.livejournal.com/3583656.html> (Accessed: 12.11.2021).

23. Podgornov V.A., Kipkaev A.E., Krestyaninov G.A., Naumenko M.Y. Cargo fixation and dropping method for unmanned aerial vehicles. Patent RU 2719703. 01.08.2019.