

Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона — проблемы и перспективы противостояния

Ростопчин В.В.

Введение

Излюбленным приёмом во все времена у государств, претендующих на доминирование в мире, является манипуляция, так называемой, террористической угрозой. Но тот, кто до сих пор считает, что террор является средством достижения определённых целей для отдельных радикально настроенных индивидуумов и их малых групп, является наивным человеком или желает таковым быть для того, чтобы не думать о плохом и с утра не портить себе настроение.

Точно также сегодня политики и чиновники правительств всех стран с нескрываемым удовольствием и напором рассуждают о, так называемой, гибридной войне и пугают ею население на завтрак, на обед и на ужин, стремясь сделать население управляемым и ручным, отвлекая от удручающих результатов своей деятельности.

Война является сложным социально – экономическим процессом и испытанием для всех её участников, без исключения. Во все времена, вероятно, начиная с момента, когда первобытный человек решил расширить ареал своего обитания за счёт соседа, в войне использовались все, доступные участникам этого процесса, средства. В эпоху отсутствия принципиальных различий в общественно – экономических устройствах государств нет войн справедливых или несправедливых. Есть только войны, направленные на поддержание статуса и благополучия доминирующего государства и имеющие два вида: первый — война за передел ресурсов и рынков сбыта, а второй — избиение государства – вассала за неправильное понимание политики доминирующего государства. Причём, для приведения государства – вассала «в чувство» широко привлекаются послушные государства – вассалы. Справедливые и несправедливые войны могут быть только при наличии не менее двух мировых общественно – политических систем и с распадом СССР они ушли в прошлое.

Стремление к достижению требуемого результата – победе, учитывая высокую экономическую нагрузку на страну, неизбежно приводит элиты доминирующего государства к осознанию необходимости использовать:

- средства информационного воздействия: искажение реальности, подмена понятий, переписывание истории, прямой обман и т.п.;
- средства экономического воздействия: санкционная политика, экономические диверсии, скупка стратегических активов, блокирование проектов, программ и т.п.;
- средства дестабилизации общества: путём внедрения представителей дружественной элиты во властные структуры и управление страны, террора и наращивания криминальности, подкуп представителей власти, поддержка коррупции, террористические акты, стимуляция экономической и социальной преступности, разрушение институтов формирования и развития общественного сознания, организация и поддержка деградации образовательной системы и т.д.;

— военное воздействие: организация этнических конфликтов в пределах и за границами государства, отторжение дружественных государств и превращение их в своих вассалов, втягивание во многочисленные мелкие вооружённые конфликты и т.д.

Всё это требует очень больших денег и направлено на решение задач по изматыванию и обескровливанию противника (непокорного государства), лишению его воли к сопротивлению и подготовки условий для военного вторжения с целью окончательного уничтожения страны как самостоятельного субъекта мировой политики и экономики. Гибридных войн не бывает. Бывают только войны с определённым набором этапов, последовательность и наличие которых определяется конкретными условиями. Население в этом случае никого не интересует. Как со стороны страны – агрессора, так и со стороны страны – жертвы. Кому интересен отработанный расходный материал? Каждая элита борется за своё. Вся история развития человечества (за исключением маленького периода в 70 лет) сплошной пример этому.

Очень редко начинающаяся война идёт по плану. И чем дольше она длится, тем меньше её результаты соответствуют планируемым. Поскольку человечество всё же чему-то учится, то перед каждой новой войной начинаются разработки систем вооружения и образцов военной техники, которые по мнению организаторов очередной бойни, должны сократить длительность военной фазы войны, снизить затраты и обеспечить сохранение высокой вероятности достижения требуемого результата. Сейчас для беспилотной техники наступило время стать «прорывной» системой оружия будущего.

Длительное время робототехнические системы военного назначения не рассматривались в качестве систем вооружения, способных оказывать существенное влияние на исход вооружённой борьбы. Несмотря на впечатляющие результаты отдельных случаев применения, их место в системе вооружения было таково, что они в принципе не могли претендовать на роль фактора, который мог привести к изменению тактики ведения боевых действий, снижению затрат и изменить систему взглядов на стратегию и тактику в войне. Например, после анализа результатов длительной эксплуатации беспилотной авиационной техники выяснилось, что ни одна из надежд: снижение аварийности, повышение боевой эффективности, снижение трудоёмкости подготовки к применению и т.п.... не оправдалась [27; 58].

Применение ударных БЛА пока можно признать успешным только при выполнении боевых задач при отсутствии организованной системы ПВО противника или при проведении боевых операций специального характера [26].

В начале третьего тысячелетия обозначилась новая идеология применения беспилотной авиационной техники: групповое (стайное) применение больших количеств ударных беспилотных летательных аппаратов, которые должны обеспечить достижение следующих целей:

- парализовать объектовую (войсковую) противовоздушную оборону объектов и войск;
- разрушить инфраструктуру и жизненно важные объекты на территории противника;
- обеспечить снижение потерь собственных войск.

Ударные БЛА (УБЛА) становятся мощным фактором в принятии решения на начало боевых действия, непрерывно развиваются, совершенствуются и это требует внимательного и детального анализа всех аспектов их применения.

1 Развитие ударных беспилотных летательных аппаратов и систем вооружения на их основе

УБЛА представляют собой весьма динамично развивающийся класс авиационной беспилотной техники и, исходя из истории их развития, можно применять следующую их классификацию ударных беспилотных авиационных систем (БАС) по кратности применения и принципам реализации функционального назначения БЛА (рисунок 1).

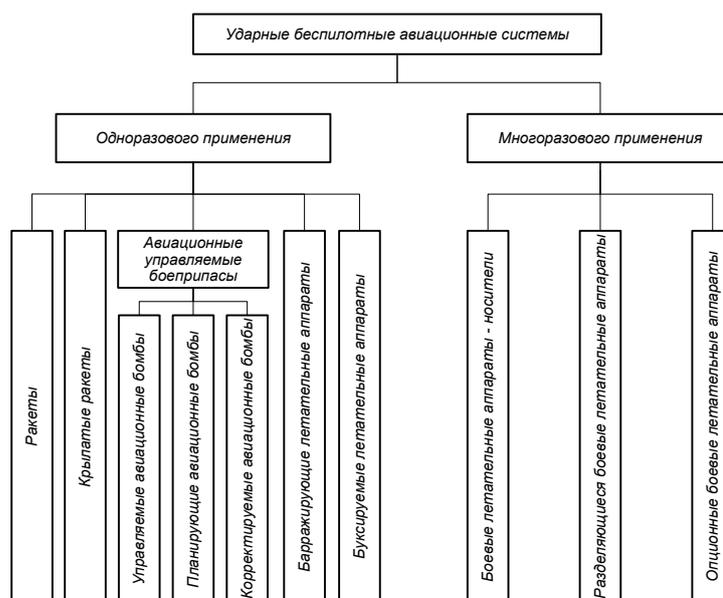


Рисунок 1 – Современная классификация БАС по кратности применения и принципам реализации функционального назначения БЛА

Такие БЛА: ракеты, крылатые ракеты и авиационные управляемые боеприпасы развиваются в составе систем вооружения более высокого уровня. Буксируемые, разделяющиеся и опционные ¹ боевые БЛА пока являются экзотикой. Поэтому в настоящей статье рассматриваются барражирующие ЛА (БЛА одноразового применения) и боевые ЛА – носители (БЛА многоразового применения). Ударные гиперзвуковые БАС (ГБЛА) в настоящей статье тоже не рассматриваются, так как они ещё не вышли за пределы НИОКР, а вопросы взаимодействия составных частей системы «ГБЛА — комплекс ПВО» требуют более глубокого и объёмного освещения. Вместе с тем в результате вооружённых конфликтов стал появляться отдельный вид БАС, который определяется способом изготовления — беспилотные авиационные системы с БЛА кустарного производства или с бытовыми, адаптированными под военные задачи, БЛА. Основными причинами, которые привели к появлению БАС с БЛА кустарного (бытового) изготовления явились:

- стремление нарастить количество одновременно применяемых БЛА;
- стремление к снижению затрат на ведение вооружённой борьбы;
- ограниченность в ресурсах (скорее квалификационных) и ограничения по закупкам для эксплуатации БАС военного назначения, выпускающихся промышленно.

¹опционные ЛА — ЛА, имеющие возможность применения в пилотируемом и беспилотном вариантах

БАС с барражирующими ЛА Барражирующий ЛА (БарЛА) — одноразовый беспилотный ЛА, осуществляющий нанесение удара по цели (подвижной, неподвижной) на земной поверхности из положения «дежурство в воздухе». Такие БЛА появились в результате развития радиоэлектронной промышленности и технологии создания малоразмерных малоскоростных БЛА.



Рисунок 2 – Барражирующий БЛА Hero – 30

В качестве примера на рисунке 2 показан барражирующий БЛА Hero – 30 [1]. Способ применения такого БЛА заключается в следующем. Перед запуском БарЛА в его бортовой комплекс управления вводится программа полёта в которой, в том числе, указываются:

- координаты зоны дежурства в воздухе,
- скорость и высота полёта в зоне дежурства,
- предельное время нахождения в зоне дежурства,
- кодированная информация для обеспечения связи с наземным оператором боевого управления (ОБУ).

ОБУ выдвигается в предполагаемую зону применения БарЛА, занимает скрытную позицию на территории противника и осуществляет поиск требуемой цели (рисунок 3).

При обнаружении цели или по сигналу от агентурного источника, ОБУ передаёт сигнал расчёту БАС с БарЛА на старт ЛА. После старта БарЛА направляется в ту область воздушного пространства, которая назначена зоной ожидания: зоной «дежурства в воздухе». В зоне «дежурства в воздухе» ЛА переходит на режим максимальной продолжительности полёта и, в зависимости от условий и заданной траектории, осуществляет полёт по замкнутой траектории не покидая пределы зоны «дежурства в воздухе». После обнаружения требуемой цели, ОБУ осуществляет определение её параметров: направление и скорость движения, координаты предполагаемой точки её поражения на местности. Затем передаёт эти координаты в бортовой комплекс БарЛА и даёт команду на поражение цели. БарЛА выходит из состояния ожидания и осуществляет полёт к точке встречи с целью. При этом бортовой комплекс БарЛА осуществляет обнаружение, захват цели и уточнение условий её поражения. В ходе полёта БарЛА к цели ОБУ осуществляет контроль процесса и факта поражения цели (рисунок 3).

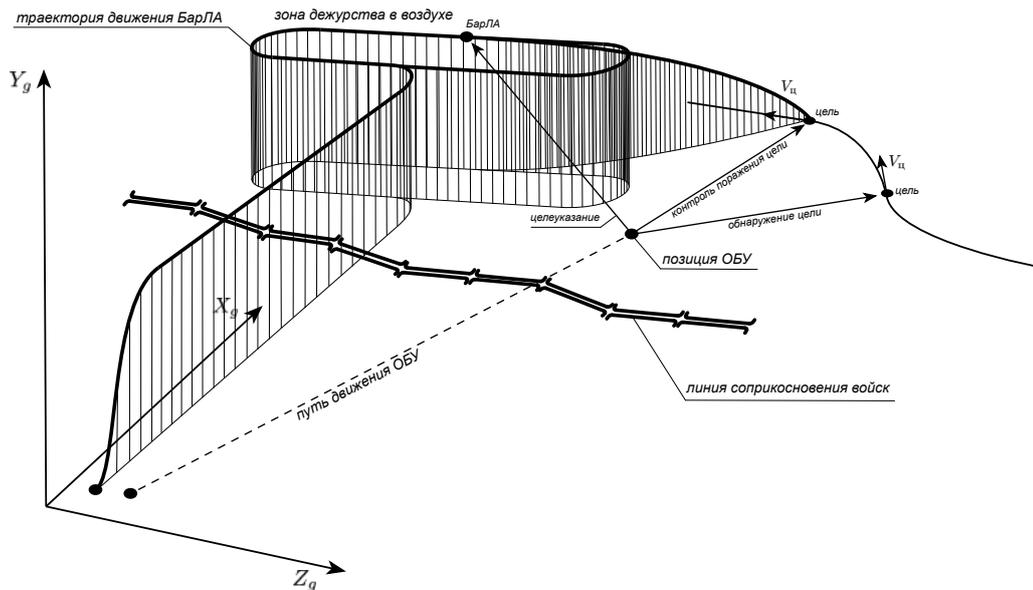


Рисунок 3 – Схема применения БарЛА

Для обеспечения эффективного применения БарЛА в состав бортового комплекса разведки и целуказания включаются:

- комплекс оптико – электронной разведки и целуказания;
- станция радиотехнической разведки и целуказания;
- высокоскоростной широкополосный канал связи с ОБУ и НПУ.

По глубине применения БарЛА могут быть:

- тактическими: дальность действия до 60 км,
- оперативно – тактическими с дальностью действия до 200...300 км и
- стратегическими с дальностью действия более 300 км.

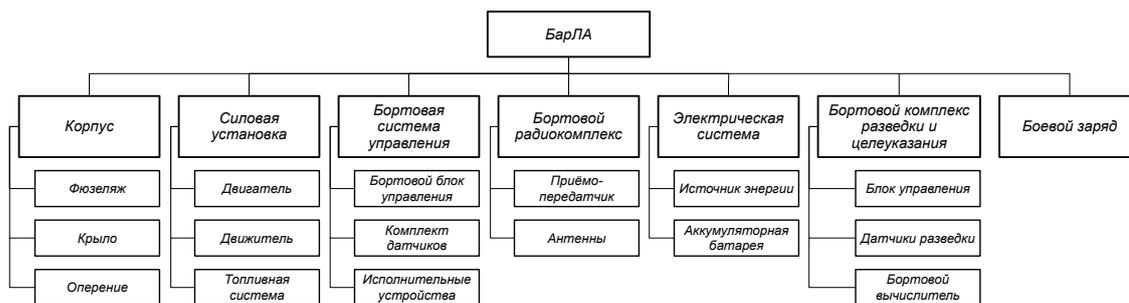


Рисунок 4 – Структура типового БарЛА

Для реализации функционального назначения БарЛА должен в свой состав включать соответствующий набор структурных элементов (рисунок 4). Учитывая требование обеспечения заданной продолжительности полёта, которое вытекает из условия:

$$\begin{cases} t_{ож} > k \cdot t_{ц} \\ t_{п} \geq 2t_{зо} + t_{ож} + t_{пор} \end{cases}, \quad (1)$$

где $t_{ц}$ — время нахождения цели в выбранном районе поражения; k — гарантийный коэффициент ($k > 1, 0$); $t_{ож}$ — время ожидания БарЛА в зоне дежурства в воздухе; $t_{п}$ — располагаемая

продолжительность полёта БарЛА; t_{30} — время полёта БарЛА в зону ожидания; $t_{пор}$ — время полёта БарЛА из зоны дежурства в воздухе к цели для её поражения, БарЛА обычно имеют самолётную схему с относительно высоким полётным аэродинамическим качеством. Силовая установка (СУ) БарЛА включает двигатель: поршневой (ПД), электрический (ЭД) или комбинированный двигатель² (КД), с движителем: воздушный винт (для двигателя непрямої реакции). Соответственно, топливная система присутствует при наличии в СУ двигателя внутреннего сгорания.

Поскольку БарЛА по степени автономности является дистанционно – управляемым ЛА, то на его бортовую систему управления возлагаются следующие функции:

- реализация заданных программы и профиля полёта;
- стабилизация углового положения ЛА и заданных параметров полёта;
- изменение режима полёта в зависимости от технического состояния ЛА и его систем согласно внутреннему алгоритму функционирования и в соответствии с командами ОБУ.

Функционально бортовая система управления связана со всеми бортовыми системами и использует для выработки управляющих сигналов данные от их датчиков и вычислителей. Бортовой комплекс разведки и целеуказания обеспечивает обнаружение цели (селекцию на фоне помех) с помощью оптико – электронной или радиотехнической аппаратуры (датчики разведки), сигналы от которой обрабатываются в вычислителе (повышается качество информации и определяются относительные или абсолютные координаты цели) и передаются по радиоканалу ОБУ для принятия решения. Блок управления бортового комплекса разведки и целеуказания обеспечивает стабилизацию датчиков и их поворот на заданные углы по командам бортовой системы управления или ОБУ.

Основные тактико – технические характеристики (ТТХ) типовых ударных БарЛА приведены в таблице 1. Назначение и функциональная специфика БарЛА отражаются на их ТТХ в виде относительно большой продолжительности и малой скорости полёта в нижних слоях атмосферы.

Таблица 1 – Основные ТТХ типовых ударных БарЛА

Параметр	БарЛА					
	НAROP	Warmate	CH-901	HERO-900	HERO-400	HERO-30
Стартовая масса, кг	135,0	4,0	9,0	97,0	40,0	3,0
Масса боевой части, кг	23,0	0,9	2,7	20,0	8,0	0,5
Максимальная скорость полёта, км/ч	185,0	150,0	150,0	120,0	120,0	160,0
Максимальная высота полёта, м	3 000	300,0	1 500	4 100	4 100	3 100
Максимальная продолжительность полёта, ч	6,0	0,5	2,0	7,0	4,0	0,5
Глубина применения	OT	T	T	OT	OT	T
Тип двигателя	РПД	ЭД	ЭД	ПД	ПД	ЭД

Фактически БАС с БарЛА являются образцом высокоточного оружия и первым шагом на пути создания ударных авиационных систем с функцией самостоятельного принятия решения на поражение наземной (надводной) цели без участия человека.

²комбинированный двигатель – двигатель, использующий силовой привод на основе электрического или поршневого двигателя для вращения одноступенчатого компрессора осевого или центробежного типа

БАС с боевыми ЛА – носителями БАС с ударными БЛА (УБЛА), которые являются носителями различного вооружения, постепенно становятся наиболее развиваемым подклассом беспилотной авиационной техники поскольку современный уровень и тенденции развития вычислительной, радиоэлектронной и измерительной техники позволяют воплотить в жизнь следующие цели:

- снижение стоимости поражения цели за счёт снижения расхода боеприпасов и их стоимости;
- повышение эффективности применения боевой авиации путём наращивания интенсивности её лётной эксплуатации и высокой селективности наземных (надводных) целей;
- повышение выживаемости ударных беспилотных ЛА за счёт использования режимов полёта, приводящих к снижению эффективности существующих и разрабатываемых средств ПВО.

По скорости УБЛА могут быть:

- малоскоростными: с функциональными скоростями полёта V_{ϕ} до 200 км/ч ($V_{max} \leq 250$ км/ч);
- среднескоростными: с функциональными скоростями полёта V_{ϕ} от 150 до 400 км/ч ($V_{max} \leq 450$ км/ч);
- скоростными: с функциональными скоростями полёта V_{ϕ} от 350 до 800 км/ч ($V_{max} \leq 900 \dots 980$ км/ч);

Основным критерием оценки эффективности применения ударных БЛА является приведенная стоимость выполнения типовой боевой задачи:

$$C_{\text{бз}}^{\text{пр}} = \frac{C_{\text{бз}}}{\bar{P}_{\text{бз}}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{бз}}$ — полная стоимость выполнения типовой боевой задачи, $\bar{P}_{\text{бз}}$ — средняя вероятность выполнения боевого задания. Очевидно, что указанный критерий по своей природе является величиной, базирующейся на статистических данных. Полная стоимость выполнения боевой задачи определяется как

$$C_{\text{бз}} = N_{\text{пот}} C_{\text{ла}}^1 + C_{\text{п}}^1 t_{\text{п}} (N_{\text{ла}} - N_{\text{пот}}) + C_{\text{бп}} + C_{\text{об}}, \quad (3)$$

где

$N_{\text{пот}}$ — количество потерянных ЛА,

$C_{\text{ла}}^1$ — стоимость одного ЛА,

$C_{\text{п}}^1$ — стоимость одного часа полёта,

$t_{\text{п}}$ — продолжительность полёта при выполнении типового боевого задания,

$N_{\text{ла}}$ — наряд БЛА для выполнения типового боевого задания,

$C_{\text{бп}}$ — стоимость израсходованных боеприпасов,

$C_{\text{об}}$ — стоимость обеспечения выполнения типового боевого задания.

Вероятность выполнения боевого задания $P_{\text{бз}}$ является произведением частных критериев эффективности p_i выполнения этапов боевого задания [39]:

$$P_{\text{бз}} = \prod_{i=1}^n p_i. \quad (4)$$

Выражение 2 можно представить виде $C_{\text{бз}}^{\text{пр}} = C_{\text{бз}} \cdot 1/\bar{P}_{\text{бз}}$. При условии, что стоимость выполнения боевого задания $C_{\text{бз}}$ при $P_{\text{бз}} = 1, 0$ остаётся неизменной, то характер $C_{\text{бз}}^{\text{пр}}$ будет определяться

зависимостью $1/P_{б3}$ (рисунок 5). Очевидно, что низкий уровень боевой эффективности применения ударных БЛА будет являться серьёзным сдерживающим фактором на пути развития и внедрения в системы вооружения боевой беспилотной техники. Во время перманентных военных конфликтов: Сирия, Афганистан, Ирак, Ливия и Украина, осуществляется непрерывное изучение места и роли ударной беспилотной техники и уточняются тактико – технические требования к БЛА и средствам поражения для них, отрабатываются вопросы тактики применения БЛА.

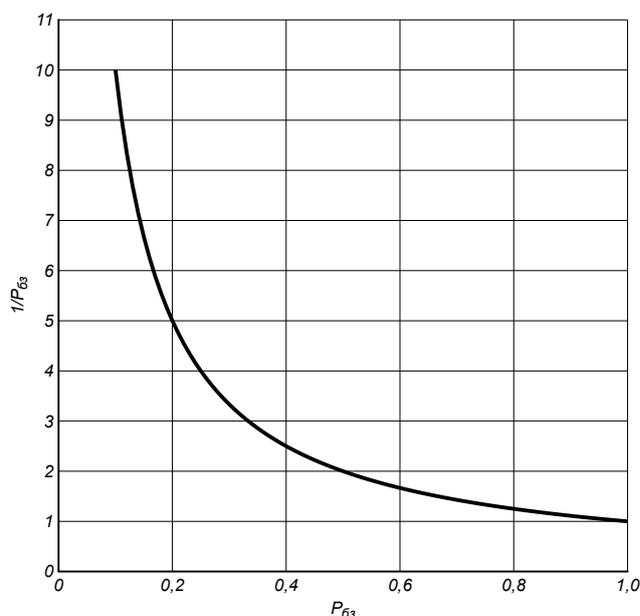


Рисунок 5 – Зависимость $1/P_{б3}$

По результатам анализа конструктивно – схемных решений и ТТХ существующих и перспективных ударных БАС [24] по методикам и на основании исследований [33; 66] получена классификация ударных БЛА – носителей, показанная на рисунке 6. Тёмным цветом выделены типы и подклассы БЛА которые теоретически возможны, но практически, с точки зрения боевой эффективности или затратности, не целесообразны. В качестве признаков, определяющих принадлежность к подклассу и типу приняты:

- функциональная скорость полёта $V_{ф}$: малоскоростные, среднескоростные и скоростные,
- способ взлёта и посадки: вертикальный взлёт и посадки (ВВП), обычный взлёт и посадки (ОВП);
- глубина применения: тактические, оперативные (оперативно – тактические) и стратегические.

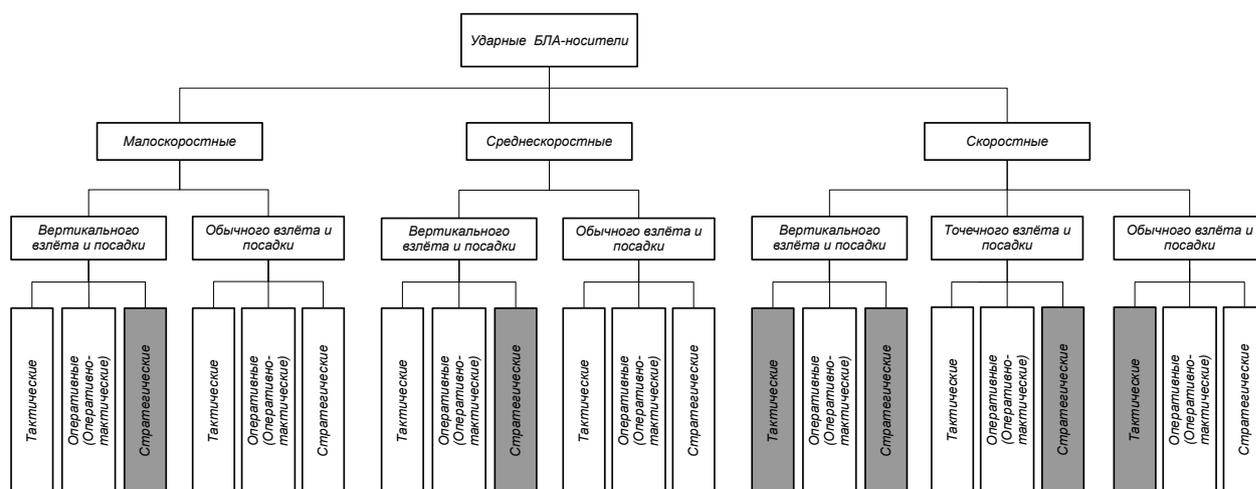


Рисунок 6 – Классификация ударных БЛА – носителей



7.1: Tактический ударный малоскоростной БЛА ВВП [55]



7.2: Оперативно – тактический ударный малоскоростной БЛА ОВП [11]

Рисунок 7 – Примеры малоскоростных ударных БЛА – носителей

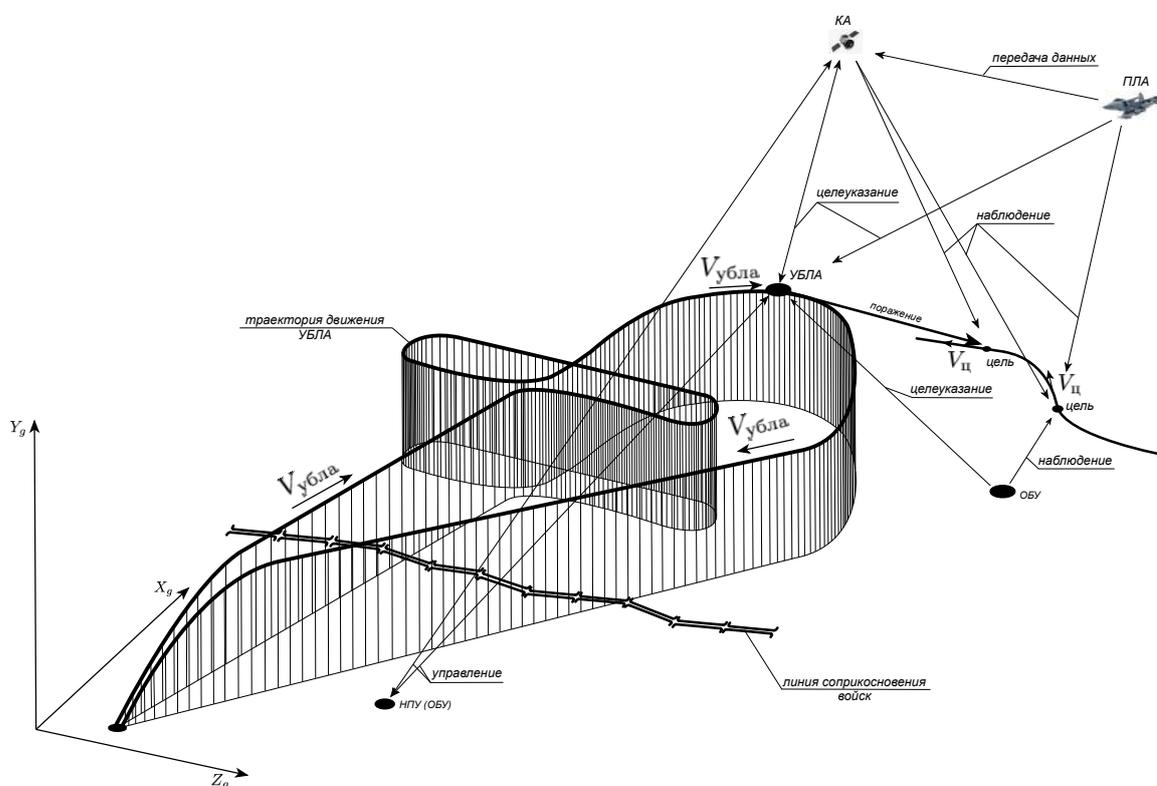


Рисунок 8 – Схема применения малоскоростных и среднескоростных ударных БЛА – носителей

Функциональная скорость полёта V_{ϕ} в сочетании с видом взлёта в наибольшей степени определяют технический облик ЛА, глубина применения оказывает решающее влияние на его размерность по взлётной (стартовой) массе M_o при фиксированной массе полезной нагрузки. Масса полезной нагрузки $M_{пн}$ определяется исходя из назначения ЛА, номенклатуры целей и возлагаемых задач.

Особую группу ударных БАС составляют БАС с БЛА, имеющие точечный взлёт и посадку. Старт таких БЛА осуществляется с применением стартовых ускорителей на основе РДТТ, а посадка — на парашюте. Очевидными достоинствами таких БАС были:

- отсутствие потребности в аэродромах и стартовых площадках;
- высокая мобильность и, как следствие, гибкость в применении;

— высокая оперативность.

Однако таким БАС присущи и непреодолимые недостатки:

— высокая стоимость вылета;

— громоздкость комплекса с БЛА;

— большое количество пиротехнических устройств и применение РДТТ: сложность хранения, зависимость тяговых характеристик от температуры;

— невозможность использования при отсутствии или некондиционности РДТТ.

В настоящее время развитие таких БАС отсутствует. А в РФ, несмотря на высокие показатели боевой эффективности и готовность к принятию на снабжение войск, все работы над подобными УБЛА прекращены.

В силовых установках (СУ) малоскоростных БЛА, в основном, используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Для малоскоростных УБЛА с небольшими полезными нагрузками используются ЭД, а в СУ среднескоростных БЛА — ДВС с турбонаддувом [30], ТВД [23] и ВРД (ТРДД) [36].

В таблицах 2 – 4 приведены основные ТТХ типовых ударных БЛА различных подклассов по скорости. Приведенные данные позволяют оценить взаимосвязь размерности ЛА по массе с его максимальной скоростью полёта, массой полезной нагрузки и глубиной применения.

Таблица 2 – Основные ТТХ типовых малоскоростных ударных БЛА

Параметр	Малоскоростной УБЛА			
	Rotem - L	Карнивора	Буревестник МБ	Bayraktar TB2
Стартовая масса, кг	4,5	40,0	400,0	650,0
Масса полезной нагрузки, кг	1,0	10,0	60,0	50,0
Максимальная скорость полёта, км/ч	45,0	150,0	200,0	222,0
Максимальная высота полёта, м	2 000	3 000	5 000	6 750
Максимальная продолжительность полёта, ч	0,5	15,0	8,0	24,0
Глубина применения	Т	Т	Т	ОТ
Тип двигателя	ЭД	ПД	ПД	ПД

Таблица 3 – Основные ТТХ типовых среднескоростных ударных БЛА

Параметр	Среднескоростной УБЛА			
	Gray Eagle	CASC CH-5	MQ-9A Reaper	Wing Loong 1
Стартовая масса, кг	1 637,0	2 720,0	4 763,0	1 200,0
Масса полезной нагрузки, кг	261,0	1 000,0	1 724,0	200,0
Максимальная скорость полёта, км/ч	309,0	480,0	463,0	280,0
Максимальная высота полёта, м	4 100	9 000,0	15 000	7 000
Максимальная продолжительность полёта, ч	25,0	<60,0	30,0	20,0
Глубина применения	ОТ	О,С	ОТ	ОТ
Тип двигателя	ТВД	РПД	ТВД	ПД

На рисунке 8 показана схема применения малоскоростных (рисунок 7) и среднескоростных ударных БЛА – носителей (УБЛА, рисунок 9). После взлёта, УБЛА летит в зону ожидания, в которой находится до команды ОБУ на полёт в район цели. ОБУ находится на наземном пункте



9.1: Оперативно – тактический ударный среднескоростной БЛА 9.2: Оперативно – тактический ударный малоскоростной БЛА ОВП [30]

Рисунок 9 – Примеры среднескоростных ударных БЛА – носителей

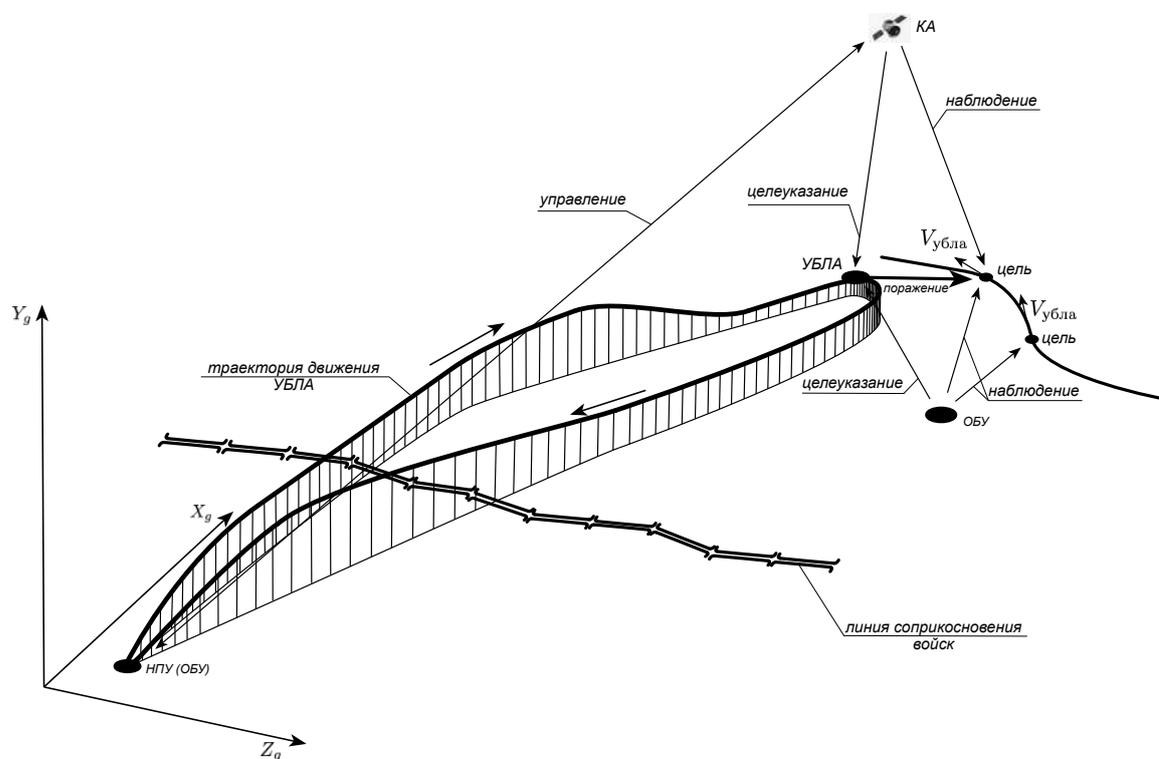


Рисунок 10 – Схема применения скоростных ударных БЛА – носителей

управления (НПУ), который формально может не совпадать с местом старта ЛА. Целеуказание для УБЛА может осуществляться:

- ОБУ с помощью бортовых средств разведки и наблюдения: оптико – электронных, радиолокационных или радиотехнических устройств;
- ОБУ с помощью средств разведки и наблюдения космических аппаратов (КА);
- ОБУ по результатам попутной разведки пилотируемых ЛА (ПЛА) непосредственно на БЛА или через космические каналы связи на НПУ;
- подвижным ОБУ на территории противника непосредственно на БЛА.

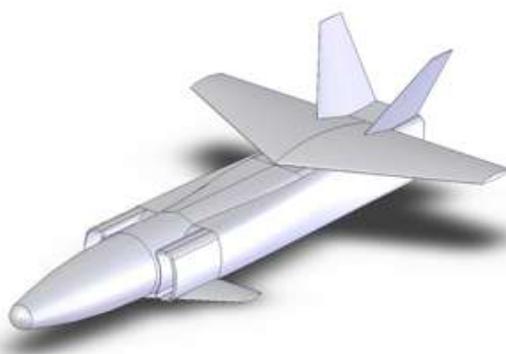
После получения координат и параметров движения цели бортовой комплекс управления УБЛА выводит летательный аппарат на боевой режим и по команде ОБУ осуществляет применение СП по заданной цели. Контроль результатов применения СП УБЛА осуществляется с помощью

бортового оптико – электронного оборудования с использованием штатных или космических каналов передачи данных.

В СУ скоростных УБЛА используются ТРДД с различной степенью двухконтурности с разной степенью реализации мероприятий по снижению заметности.



11.1: Оперативно – тактический ударный скоростной БЛА ТВП [41] 11.2: Оперативно – тактический ударный скоростной БЛА ОВП (морской) [57]



11.3: Оперативно – тактический ударный среднескоростной БЛА ВВП [36]

Рисунок 11 – Примеры скоростных ударных БЛА – носителей

Схема применения скоростного УБЛА (рисунок 11) приведена на рисунке 10. После старта, УБЛА осуществляет полёт к месту применения СП на режимах, обеспечивающих высокую вероятность преодоления ПВО противника. Во время атаки стационарной (неподвижной) цели выход в точку применения СП осуществляется по координатам, введённым в бортовую систему автоматического управления (САУ). При применении бортовых СП по подвижным и ограниченно подвижным наземным (надводным) целям применяется целеуказание через КА или с помощью мобильного ОБУ, который может находиться в районе цели. В общем случае положение НПУ может не совпадать с местом старта УБЛА. В зависимости от назначения и «идеологии» реализации функционального назначения ударного БЛА способ коррекции траектории движения ЛА на боевом режиме может осуществляться по разному. Например, на УБЛА Ту – 300 (рисунок 11.1, [41]) в носовой части установлена высокоскоростная телевизионная камера, через которую предполагалось осуществлять доразведку наземной цели и по её результатам вносить коррекцию в траекторию движения. Очевидно, что это вынужденная мера, обусловленная применением неуправляемого ракетного и бомбового бортового вооружения и существующего

на время разработки ЛА уровня совершенства радиоэлектронного и радиосвязного оборудования. Применение управляемого бортового вооружения на X – 47В позволило существенно расширить диапазон условий применения УБЛА и существенно повысить точность нанесения ударов по наземным (надводным) целям, как по стационарным, так и по подвижным (рисунок 11.2, [57]).

Таблица 4 – Основные ТТХ типовых скоростных ударных БЛА

Параметр	Скоростной УБЛА				
	Зимородок	X-47B	Avenger	Ty – 300	nEUROn
Стартовая масса, кг	1 470,0	20 215,0	8 255,0	3 000,0	7 000,0
Масса полезной нагрузки, кг	267,0	2 000,0	2 900,0	1 500,0	500,0
Максимальная скорость полёта, км/ч	800,0	950,0	740,0	950,0	980,0
Максимальная высота полёта, м	7 000	3 000,0	15 000	6 000	14 000
Максимальная продолжительность полёта, ч	1,0	15,0	18,0	2,0	3,0
Глубина применения	ОТ	О	ОТ	ОТ	ОТ
Тип двигателя	ТРДД	ТРДД	ТРДД	ТРДД	ТРДД

БАС с боевыми ЛА – носителями кустарного (бытового) производства Доступность изделий радиоэлектронной промышленности для бытовых БЛА привели к появлению нового класса БАС с УБЛА — БАС с боевыми ЛА – носителями кустарного (бытового) производства, которые начали широко применяться в различных локальных конфликтах XXI века.

Современный конфликт на Ближнем Востоке, инициированный международной коалицией во главе с США, отличается широким использованием технических средств вооружённой борьбы, изготавливаемых в полевых условиях с применением комплектующих для радиотехнических и вычислительных средств, свободно распространяемых через торговую сеть в интернете [12].

Кроме неуправляемого оружия в арсенале боевиков, например ИГ (САР), широко используются полноценные высокотехнологичные малоресурсные БЛА производства различных стран. На рисунках 12.1 и 12.3 представлены БЛА свободной продажи (Phantom) и БЛА Fly Eye, для решения задач разведки в системе вооружений МО Польши. С 2016 года двум субъектам боевых действий ИГ из Польши начались крупномасштабные поставки многоцелевых БЛА «Warmate» (рисунок 12.2, основные ТТХ в таблице 1). В ИГ - непосредственно из Польши, в Украину (через Публичное акционерное общество (ПАТ) «Чезара», г. Чернигов, 2016 год [2]) в виде лицензионного производства с правом дальнейшей модернизации под собственные нужды. Основные технические показатели БЛА Phantom 4 Pro приведены в таблице 5 [22].

Таблица 5 – Основные технические характеристики БЛА Phantom 4 Pro

№ п/п	Параметр	Значение
1	Стартовая масса БЛА максимальная, кг	1.388
2	Масса полезной нагрузки, кг	до 0.25
3	Размер БЛА по диагонали, м	0.35

4	Крейсерская скорость, км/ч	50.0
5	Максимальная скорость, км/ч	72.0
6	Максимальная высота полёта, м	до 6 000.0
7	Дальность полёта (по управлению), км	до 15.0
8	Максимальная продолжительность полёта, ч	до 0.5
9	Двигатели	электр.
10	Точность выдерживания координат без GPS, м	±0.1
11	Используемые внешние навигационные сигналы	GPS/GLONASS

На рисунке 13 приведены фотоснимки БЛА, который использовался в налёте на российскую авиабазу Хмеймим в январе 2018 года [50]. Анализ конструкции рассматриваемого БЛА показал следующее:

- конструкция БЛА в максимальной степени приспособлена для изготовления, ремонта и восстановления в полевых условиях,
- технологические решения, реализованные в конструкции ЛА, отличаются тщательной продуманностью с точки зрения функционального назначения ЛА и соотношения «стоимость – эффективность»,
- уровень лётно–технических характеристик полностью соответствует боевой задаче.

На основании данных СМИ и результатов использования расчётных методик были оценены основные технические характеристики БЛА (таблица 6).

Таблица 6 – Основные технические характеристики БЛА

№ п/п	Параметр	Значение
1	Стартовая масса БЛА максимальная, кг	12...15
2	Масса полезной нагрузки, кг	до 3.5
3	Длина БЛА, м	≈1.5
4	Размах крыла БЛА, м	≈3.5
5	Крейсерская скорость, км/ч	70.0
6	Максимальная скорость, км/ч	90.0
7	Максимальная высота полёта, м	до 1 500.0
8	Дальность полёта (по управлению), км	до 50.0
9	Максимальная продолжительность полёта, ч	до 2.0
10	Двигатель	ДВС
11	Мощность двигателя максимальная ³ , кВт	1.5
12	Полезная нагрузка	авиабомбы

³ оценка расчётная



12.1: Трофейные БЛА, захваченные бойцами армии САР



12.2: Многоцелевые БЛА «Warmate»[10]



12.3: Ремонтный фонд квадрокоптеров Phantom боевиков ИГ

Рис. 12 – Беспилотная техника боевиков ИГ



13.1: БЛА, разработки (предположительно) на территории вне ИГ



13.2: Конструктивные особенности БЛА



13.3: Сбрасываемые с БЛА боеприпасы калибром 0.4 кг

Рис. 13 – Беспилотная техника боевиков ИГ, принявшая участие в налёте АБ Хмеймим

2 Ударный беспилотный летательный аппарат как цель для противовоздушной обороны

К настоящему времени, исходя из анализа развития отечественных средств воздушного нападения (СВН) и СВН вероятного противника, сформировались следующие группы в номенклатуре воздушных целей ПВО:

- группа 1: ударные, ударно – транспортные вертолёты, конвертопланы и БЛА с вертолётным принципом полёта со скоростями полётов 0...200 км/ч на высотах 0...4 000 м;
- группа 2: разведывательные, разведывательно – ударные БЛА, БЛА – постановщики помех, БЛА – ретрансляторы и БЛА другого функционального назначения со скоростями полёта 120...800 км/ч в диапазоне от 50 до 3 500...7 000 м;
- группа 3: ударная авиация: штурмовики, фронтовые бомбардировщики, самолёты – разведчики и ударные БЛА со скоростями полётов 400...800 км/ч на высотах от 50 до 8 000...10 000 м⁴;
- группа 4: перспективные многофункциональные боевые самолёты (5 - е и последующие поколения) со сверхзвуковыми крейсерскими скоростями полёта. Эта номенклатура воздушных целей летает на скоростях от 600 до 1 800 км/ч и использует высоты от 50 до 11 000...12 000 м [16];
- группа 5: самолёты – перехватчики ПВО, летающие на скоростях 1 600...2 600 км/ч в диапазоне высот 8 000...25 000 м;
- группа 6: сверхзвуковые крылатые ракеты, ПАБ и КАБ, сбрасываемые в диапазоне скоростей 600...800 км/ч с высот 6 000...12 000 м и приходящие в зону наземной цели со скоростями 800...1 000 м/с [8; 15];
- группа 7: дозвуковые крылатые ракеты большой дальности полёта [14], летающие на скоростях 600...850 км/ч и использующие высоты 50...1 000 м;
- группа 8: ПЛА и БЛА оперативной и стратегической разведки: типа МиГ - 25Р [60], SR - 71[52], GTD - 21 [21]; перспективные СВН (гиперзвуковые БЛА) и боевых блоков баллистических и оперативно – тактических ракет. Эта группа ВЦ в силу значительных технических и материальных трудностей массового применения (за исключением боевых блоков баллистических и оперативно – тактических ракет) отличается низким номенклатурным насыщением. Но занимает достаточно обширный диапазон высот и скоростей: скорости от 2 500 до 7 000 км/ч (у земной поверхности) и высоты от 10 000 до 30 000...40 000 м.

Из данных на рисунке 14 видно, что функциональные зоны СВН, различающихся по принципу применения, перекрываются как по высоте так и по скорости до приборных скоростей $\approx 1\ 800$ км/ч. Соответственно, наибольшая плотность образцов СВН приходится именно на эту зону и именно эта группа СВН представляет наибольшую трудность для противодействия ПВО. УБЛА постепенно развиваются и занимают все зоны, ранее принадлежавшие пилотируемой авиации [19], до скоростей 1 000 км/ч и в ближайшей перспективе уже претендуют на зону, относящуюся к ударной авиации 5 поколения.

Учитывая широкую номенклатуру УБЛА по скорости полёта и размерности по массе, можно утверждать, что они являются достаточно сложной целью для существующих и перспективных средств ПВО. Это определяется тем, что:

⁴Функциональные диапазоны скоростей и высот полёта определены исходя из анализа тактики применения военной авиации и авиационных средств поражения (АСП) в последних войнах и вооружённых конфликтах

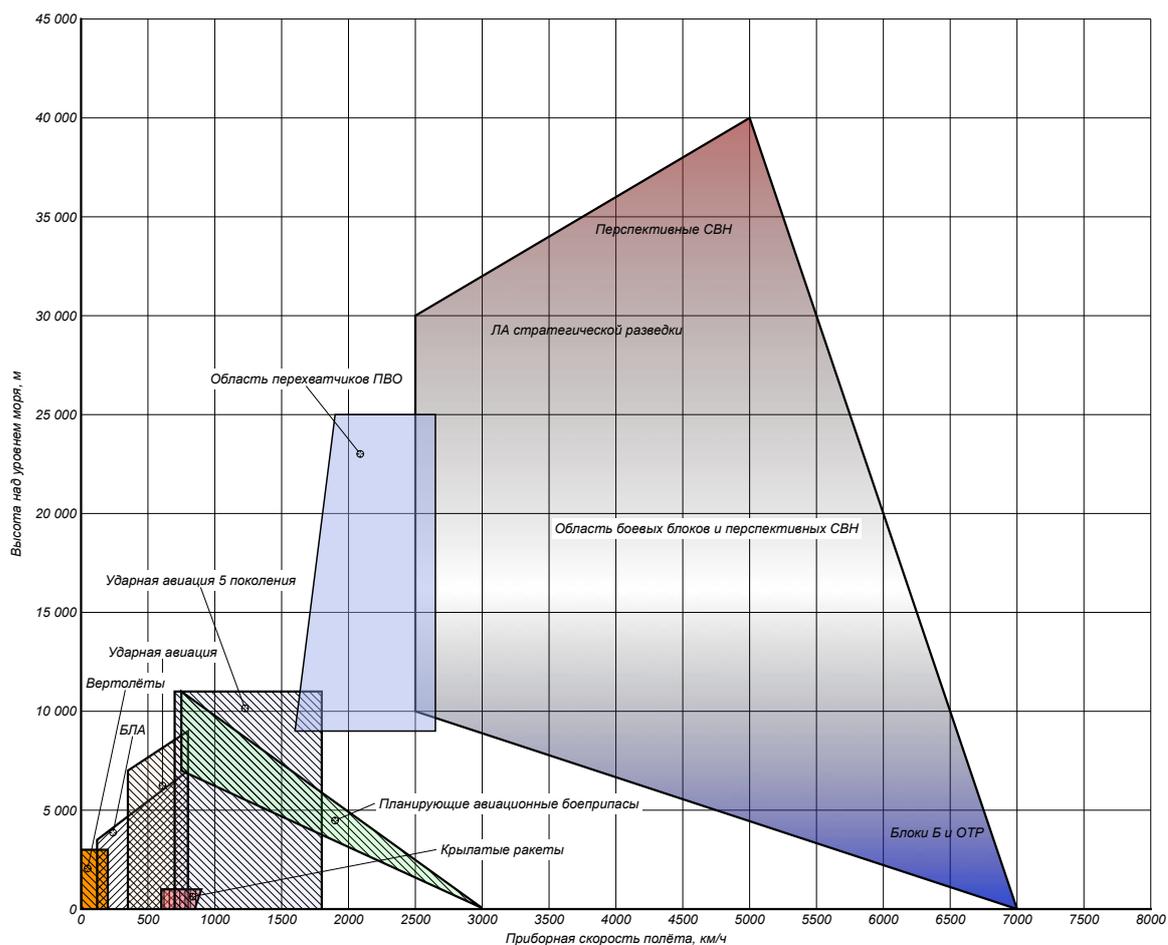


Рисунок 14 – Области функционирования СВН вероятного противника

- до недавнего времени БЛА различного назначения с размерностью по стартовой массе до 300...400 кг не входили в номенклатуру средств ПВО;
- малые скорости полёта не обеспечивают надёжный захват, селекцию и сопровождение современными радиолокационными станциями ПВО малоразмерных БЛА;
- малоразмерные УБЛА имеют низкие значения тепловых и радиолокационных сигнатур и в этом же направлении идёт развитие и усовершенствование УБЛА близких по характеристикам к ПЛА;
- средства поражения современных и перспективных сухопутных (морских) и авиационных комплексов ПВО не позволяют обеспечивать гарантированное поражение УБЛА, особенно малоскоростных и малоразмерных;
- применение упорядоченных групп и стай [9] УБЛА существенно снижает эффективность современной ПВО [70];
- разработка теоретических основ и методов противодействия применению малоразмерных УБЛА в мирное время в условиях социальной инфраструктуры и борьбы с ними в военное время до сих пор не вышла за пределы обсуждения малообоснованных мнений, суждений и предположений [45; 70].

Критерием целесообразности применения средства ПВО по воздушной цели типа УБЛА является экономический показатель — соотношение стоимостей:

$$K_c = \frac{C_{убла} + C_y}{C_{пор}}, \text{ при } P_{бз}^{убла} = 1, \quad (5)$$

где

$C_{убла}$ — стоимость УБЛА;

C_y — стоимостное выражение ущерба от применения УБЛА;

$C_{пор}$ — стоимость гарантированного поражения УБЛА средствами поражения ПВО;

$P_{бз}^{убла}$ — вероятность выполнения боевого задания УБЛА.

Очевидно, что

$$C_{пор} = \frac{1}{P_{пор}} C_{сп}, \quad (6)$$

где

$C_{сп}$ — стоимость средства поражения ПВО;

$P_{пор}$ — вероятность поражения цели средством поражения ПВО.

При допущении, что ошибки начального наведения отсутствуют, вероятность поражения воздушной цели будет иметь вид:

$$P_{пор} = P_{обн} P_{сп} P_{поп}, \quad (7)$$

где

$P_{обн}$ — вероятность обнаружения цели;

$P_{сп}$ — вероятность своевременного пуска СП;

$P_{поп}$ — вероятность попадания СП в круг с радиусом r в который укладывается не менее 50% ПЭ, имеющих кинетическую энергию достаточную для нанесения критических повреждений воздушной цели (ВЦ).

Обнаружение ВЦ может осуществляться различными по физической природе средствами: оптическими, радиолокационными, акустическими и акустосейсмическими. В любом случае средство обнаружения должно обеспечить не только фиксацию факта наличия ВЦ в контролируемом пространстве, но и решить следующие задачи:

- идентификация ВЦ,
- определение параметров движения ВЦ: высоты полёта, скорости полёта, курса полёта цели, текущей дальности до ВЦ от места стояния комплекса ПВО;
- селекция ВЦ в условиях помех и повышенной сложности оперативной обстановки.

В таблице 7 приведены для сравнения основные возможности средств обнаружения УБЛА. Радиотехнические средства обнаружения не рассматриваются, поскольку их можно рассматривать только как вспомогательные для перечисленных. Следует иметь в виду, что идеальных, с точки зрения надёжности, всепогодности и точности определения координат, средств обнаружения ВЦ не существует.

Таблица 7 – Основные возможности средств обнаружения ВЦ

Характеристика	Средства обнаружения ВЦ		
	Оптические	Радиолокационные	Акустические
Обнаружение	без ограничений	ограниченно	ограниченно
Идентификация	без ограничений	ограниченно	ограниченно
Селекция	без ограничений	ограниченно	ограниченно
Измерение дальности	ограниченно	без ограничений	ограниченно

Измерение угла места	без ограничений	без ограничений	ограниченно
Измерение скорости	ограниченно	ограниченно	ограниченно
Зависимость от погодных условий	сильная	слабая	средняя
Зависимость от внешней освещённости	сильная	не зависит	не зависит
Точность измерения параметров ВЦ	высокая	удовлетворительная	низкая

Оптические средства обнаружения Оптические средства обнаружения (ОСО) ВЦ (УБЛА) представляют собой достаточно надёжное средство обнаружения малоразмерных, малоскоростных и имеющих малые значения тепловой и радиолокационной сигнатур БЛА.

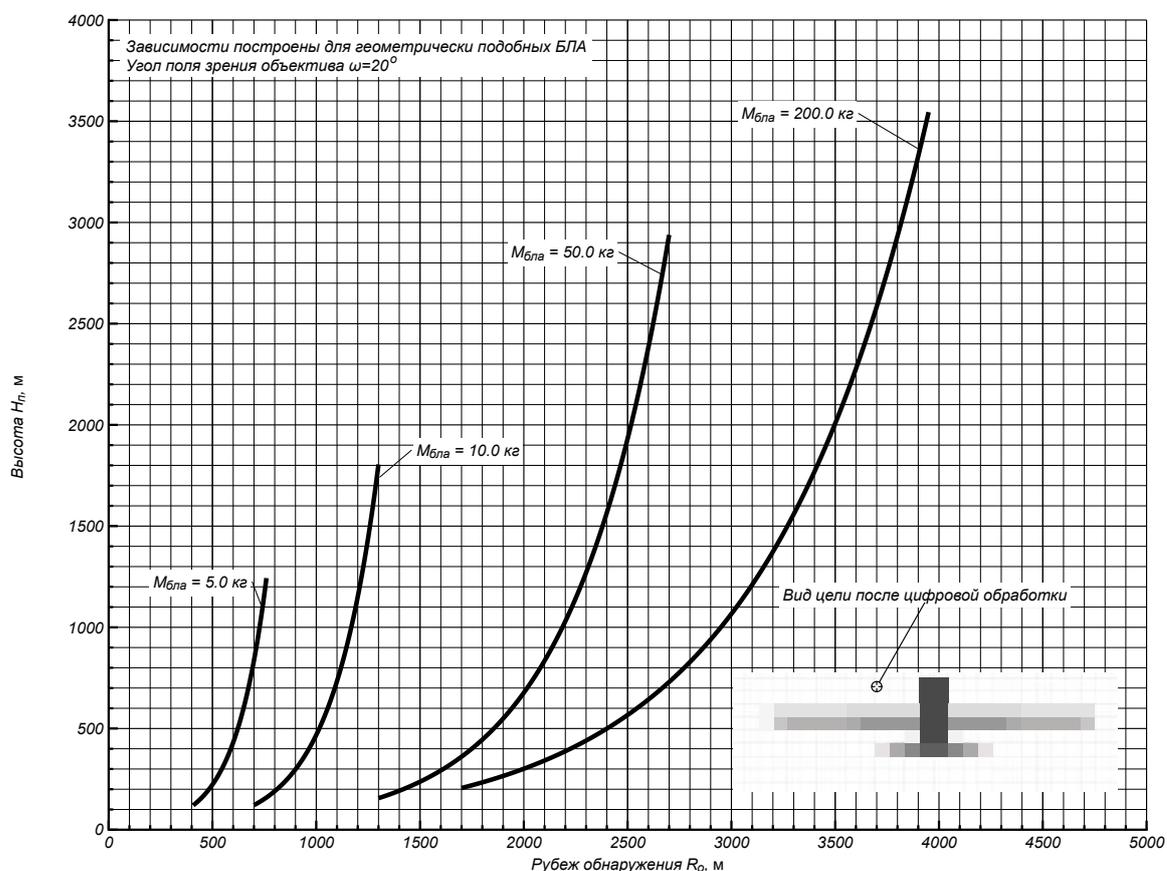


Рисунок 15 – Рубежи обнаружения УБЛА различной размерности с помощью ОЭС

На рисунке 15 показаны рубежи обнаружения УБЛА различной размерности по стартовой массе M_o для объектива оптико – электронной системы (ОЭС) с углом поля зрения 20° и фокусным расстоянием $f=230$ мм при метеорологической дальности видимости $D_v \geq 100$ км (коэффициент рассеяния в видимой области спектра $\gamma_v \leq 0,0392$). Уменьшение рубежа обнаружения в конкретных условиях по отношению к рубежу в идеальных условиях приближённо можно оценить по изменению силы излучения $I(\xi, \eta)$ (мощность излучения на единицу телесного угла) для приёмника излучения (объектив ОЭС) по выражению:

$$I_\lambda = I_{o\lambda} \sigma = I_{o\lambda} \sigma_p \sigma_{H_2O} \sigma_{CO_2}, \quad (8)$$

где

$I_{o\lambda}$ — сила излучения объекта с длиной волны λ ;

σ_p — коэффициент пропускания атмосферы с учётом аэрозольного рассеивания для длины волны λ ;

σ_{H_2O} — коэффициент пропускания атмосферы с учётом поглощения водой;

σ_{CO_2} — коэффициент пропускания атмосферы для длины волны λ с учётом поглощения CO_2 .

Пример изменения спектрального коэффициента пропускания атмосферы по длинам волн при различных погодных условиях показан на рисунке 16. Видно, что дымка и влажность приво-

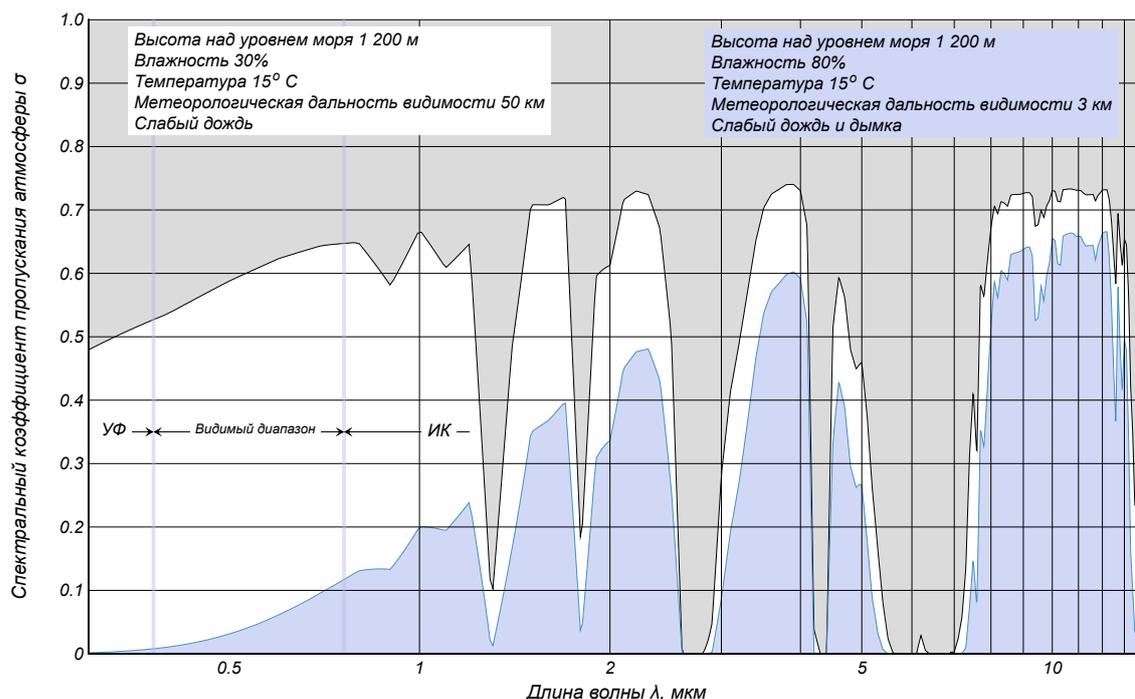


Рисунок 16 – Спектральный коэффициент пропускания атмосферы при различных погодных условиях (расчёт, [48; 68])

дят к существенному снижению прозрачности атмосферы в областях спектра в которых работают приёмники излучения ОЭС и делает её применение проблематичным. Особенно заметным является снижение заметности ВЦ в инфракрасном диапазоне длин волн излучения ($\lambda = 0,76 \dots 5,0$ мкм), поскольку, за исключением полёта УБЛА с ВРД на форсированных режимах и УБЛА с РДГТ, основным источником теплового излучения являются элементы корпуса ЛА, которые прикрывают отсеки с силовой установкой и детали выхлопной системы. Эти участки конструкции УБЛА, тем не менее, отличаются невысокими значениями тепловых потоков ($q \leq 25 \dots 50$ Вт/см²) и, соответственно, низкая сила излучения с учётом снижения прозрачности атмосферы не позволяет использовать ИК – технику для повышения вероятности обнаружения УБЛА. УБЛА с ЭД в СУ отличаются предельно низкими уровнями ИК – заметности.

Обнаружение УБЛА допустимо при возможности построения его визуального облика проекции на картинную плоскость после использования всех возможных способов повышения контрастности и восстановления пропущенных элементов графического образа.

Радиолокационные средства обнаружения Контроль воздушного пространства с помощью радиолокационных станций (РЛС) является достаточно эффективным в том случае, когда заметность (отражающая способность) ВЦ в диапазоне радиоволн соответствует разрешающей способности РЛС. Отражающие свойства ВЦ в РЛС оцениваются по эффективной площади рассеяния (ЭПР) цели [34]

$$S_o = \frac{\xi P_{отр}}{\Pi_1} = \frac{\xi D_o P_{рас}}{\Pi_1} = SD_o\xi, \quad (9)$$

где

ξ — коэффициент деполаризации вторичного поля ($0 \leq \xi \leq 1$);

$P_{отр}$ — мощность отражённого сигнала;

Π_1 — плотность потока энергии радиолокационного сигнала на сфере радиусом равным дальности до ВЦ;

D_o — значение диаграммы обратного рассеяния в направлении на РЛС;

S — полная площадь рассеяния цели.

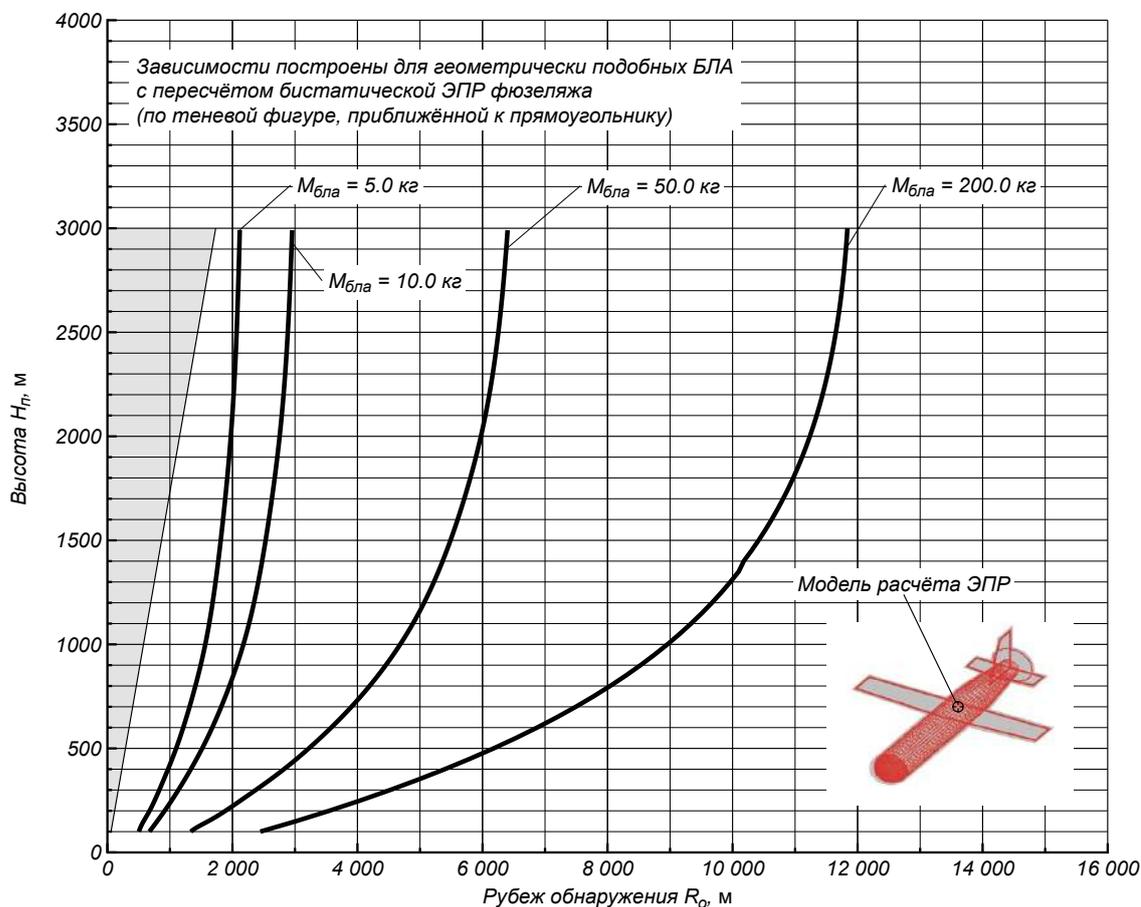


Рисунок 17 – Рубежи обнаружения УБЛА различной размерности с помощью РЛС

ЭПР ВЦ представляет собой коэффициент, который учитывает отражающие свойства цели и зависит от конфигурации ВЦ, электрических свойств её материала и отношения линейных размеров цели к длине волны. В радиолокационных задачах распознавания и классификации целей обычно пользуются радиолокационным портретом ВЦ (сигнатура), который связан с геометрическими, физическими и кинематическими свойствами цели. В зависимости от соотношения между элементами разрешения РЛС по дальности в радиальном и поперечном направ-

лениях и линейным размером цели, ВЦ делятся на точечные и протяжённые (распределённые). Точечные цели бывают элементарными и сложными. В свою очередь распределённые цели могут быть поверхностными и объёмными.

На рисунке 17 показаны характерные рубежи обнаружения гипотетического УБЛА (масса – геометрические характеристики построены на основе результатов обработки статистики) для РЛС с длиной волны 3 см. Для наглядности расчётные сигнатуры подобных УБЛА под различными относительными углами пересчитаны на ЭПР плоской фигуры близкой к прямоугольной с учётом рекомендаций [43; 61]. Диапазон используемых ЭПР от 0,05 м² до 0,5 м². Несмотря на то, что РЛС является достаточно надёжным средством контроля воздушного пространства и построения образа оперативной воздушной обстановки в районе прикрываемого объекта, задача обнаружения и идентификации малоразмерного малоскоростного УБЛА с малыми ЭПР остаётся нерешённой до сих пор. Рисунок 17 показывает, что уменьшение размерности УБЛА по массе до значений менее 5,0 кг приводит к уменьшению рубежа их обнаружения, а при высокой доли радиопрозрачных материалов в конструкции ЛА делает их обнаружение с помощью РЛС невозможным. Следует отметить, что РЛС являются активными средствами сканирования воздушного пространства и их излучение во время работы является сильным демаскирующим фактором. В этом случае появление БЛА может служить инициирующим фактором для вскрытия структуры, боевых порядков объектовой ПВО и последующего нанесения удара по объектам ПВО.

Акустические и акустосейсмические средства обнаружения Акустическая заметность является важным дополняющим фактором, который позволяет повысить надёжность обнаружения УБЛА в условиях при которых «традиционные» средства: оптические и радиолокационные, не могут обеспечить требуемого уровня вероятности обнаружения ВЦ.

ВЦ в полёте генерирует акустические (звуковые) волны, воспринимающиеся акустическими микрофонами, которые преобразуют акустическое давление в электрический сигнал. Источниками звуковых волн, обычно, являются двигательные установки и лопасти воздушных винтов. Частота генерируемого звука кратна частоте вращения коленвала ПД (частота выхлопа горячих газов), количеству и частоте вращения лопастей воздушного винта. Интенсивность звука зависит от скорости обтекания лопастей.

В реальных средах звуковые волны затухают вследствие вязкости воздушной среды и молекулярного затухания. Полное затухание N представляет собой сумму:

$$N = N_v + N_m, \quad (10)$$

где

N_v — затухание вследствие вязкости среды;

N_m — молекулярное затухание.

Звуковые волны дополнительно затухают при распространении вдоль поглощающей поверхности и, чем выше коэффициент поглощения этой поверхности, тем большее затухание она вносит в распространяющуюся волну. Однако более существенную роль в затухании звуковых волн играет турбулентность воздуха. В немалой степени в этом играет ветер и восходящие потоки воздуха. На низких частотах дополнительное затухание не зависит от расстояния до источника звука. А на дальних (более 4 км) расстояниях высоких частот практически не слышно. Акустические волны распространяются в воздушном пространстве. При соприкосновении с поверхностью земли акустические волны возбуждают в ней сейсмические волны.

Распространение акустических волн зависит от состояния атмосферы [54], а распространение сейсмических волн - от структуры, состава и состояния поверхностного слоя земли [49].

Применение акустических систем обнаружения обеспечивает:

- определение пеленга летательного аппарата;
- определение класса (типа) летательного аппарата.

Акустосейсмические системы, использующие естественные поля, обладают достоинствами [46]:

- обеспечивают устойчивое автоматическое обнаружение малоскоростных маловысотных ВЦ в любых погодных условиях, в условиях плохой оптической видимости и в условиях сложных рельефов местности;
- скрытность работы и сохранение работоспособности в условиях радиоэлектронного противодействия;
- малые габариты, низкое энергопотребление и лучше других систем (радиолокационных, оптико-электронных) удовлетворяют критерию «эффективность – стоимость».

Акустические и акустосейсмические системы нашли своё применение в охранных системах, пограничных структурах и неплохо себя зарекомендовали при обнаружении одиночных целей в относительно незашумлённых условиях.

Основными недостатками, ограничивающими применение акустических и акустосейсмических систем при решении задач борьбы с УБЛА, являются:

- низкая точность определения координат ВЦ;
- небольшие рубежи обнаружения ВЦ: до 1,5...2,0 км по дальности и до 1 км по высоте;
- низкая чувствительность.

3 Особенности взаимодействия средств перехвата и поражения ПВО с малоразмерной воздушной целью типа БЛА

Задача поражения УБЛА кажется рутинной только на первый и весьма поверхностный взгляд. На самом деле УБЛА представляют собой весьма специфические ВЦ и оценка их выживаемости в боевых условиях показывает, что они могут представлять собой довольно эффективное средство ведения вооружённой борьбы. Сложность обнаружения, перехвата и поражения УБЛА привели к тому, что к настоящему времени определились следующие способы борьбы с УБЛА:

- обнаружение, перехват и поражение штатными средствами ПВО: ракетами ПВО, зенитными пушками и пулемётами;
- обнаружение и радиотехническое подавление навигационных сигналов для полёта УБЛА;
- обнаружение, перехват и поражение с помощью БЛА – истребителей;
- обнаружение, перехват и накрытие сетью – улавливателем с земной поверхности или с борта ЛА;
- обнаружение, перехват и подбор сетью с БЛА или ПЛА (вертолёт);
- вывод УБЛА из положения устойчивого полёта в закритические условия путём накрытия спутным следом от пролетающего ЛА (ПЛА или БЛА);
- обнаружение и поражение УБЛА лазерным оружием;

- обнаружение, перехват ВЦ и распыление горючего вещества в виде аэрозоли в области её нахождения.

Использование аэрозольного облака горючего вещества Роль топлива могут выполнять: окись этилена и окись пропилена, бутилнитрит и пропилнитрит, МАРР: техническая смесь метилацетилена, аллена (пропадиена) и пропана. Возможно использование смесей горючих (включая лёгкие бензины) и мелкодисперсного порошка алюминий – магниевого сплава в пропорции 10:1. Этот способ борьбы с УБЛА достаточно прост, однако имеет недостатки, которые делают его малопригодным для практического применения:

- сильная зависимость от погодных и ветровых условий;
- невозможность применения в городских условиях при проведении мероприятий антитеррористической направленности;
- отсутствие селективности ВЦ;
- сложность управления моментом подрыва аэрозольного облака;
- сложность процесса формирования аэрозольного облака в нужном месте, в нужное время с требуемым уровнем концентрации горючего вещества;
- малый «срок жизни» аэрозольного облака;
- ограниченность применения против активно маневрирующих УБЛА и т.д.

Использование лазерного оружия Лазерное оружие, возможно со времён книги А.Н.Толстого «Гиперболоид инженера Гарина», является вожделенной целью научно – технических разработок во всех промышленно развитых странах. Развитие технологий позволило инициировать большое количество работ в направлении создания мобильных комплексов для борьбы, в том числе, с беспилотной техникой [5]. На рисунке 18 приведены внешний вид демонстратора мобильной установки высокоэнергетического лазера фирмы Boeing (США) и фото воздействия лазерного луча на летящую мину.



18.1: Внешняя компоновка демонстратора мобильной установки высокоэнергетического лазера [5]



18.2: Воздействие лазерного луча на летящую мину [17]

Рисунок 18 – Демонстратор мобильной установки высокоэнергетического лазера Boeing

В РФ в 2018 году был анонсирован и позже публично представлен МО РФ мобильный комплекс с боевым лазером «Пересвет» [59; 64] (рисунок 19).



19.1: Общий вид полуприцепа с лазерной установкой в походном положении [64]



19.2: Лазерная установка в боевом положении [64]

Рисунок 19 – Мобильная боевая лазерная установка России

Лазерное оружие, несмотря на все заверения разработчиков и заказчиков, потрясающие воображение рекламные буклеты и видеоролики, в силу своих физических принципов [40], остаётся оружием ближнего действия (не более 3...4 км). Очень дорогим, совершенно бесполезным в плохую погоду и, в реальности, малоэффективным. Лазерное оружие делится на две группы:

- ослепляющее лазерное оружие;
- лазерное оружие прямого разрушения.

Ослепляющее лазерное оружие предназначено для поражения элементов ОЭС путём выжигания приёмников фото-и видеоинформации при попадании лазерного луча в объектив.

Лазерное оружие прямого разрушения позволяет нарушить целостность, прочность конструкции ЛА, инициировать путём передачи тепловой энергии взрыв или интенсивное горение взрывчатых или легковоспламеняющихся веществ находящихся на ВЦ: боевой заряд, топливо.

Особенностью боевых лазерных установок является низкий коэффициент полезного действия: $\approx 0,10...0,12$. Поэтому, если для ослепления ОЭС УБЛА достаточно установок с мощностью 20 кВт, то для прямого поражения ВЦ и 200 кВт будет недостаточно. Соответственно современные мобильные боевые лазерные комплексы должны быть и, как видно из рисунков 18 и 19, являются весьма солидными по массе, габаритам и стоимости сооружениями на колёсах. И всё это для того, чтобы бороться, в том числе, и против УБЛА массой до 10 кг? Например, для того, чтобы попасть в отсек с двигателем БЛА с размахом крыла 1 м на удалении 2 000 м требуется угловая точность выставки лазерного луча не хуже $0,00145^\circ$. Поскольку БЛА находится в движении и маневрирует, а для нанесения повреждения конструкции необходимо удерживание луча в точке в течение времени от 3 с (для корпуса из композиционного материала) и до 5 с (для корпуса из крашеного металла), то реальная точность выставки лазерного луча для получения результата должна быть на порядок выше. Выдержать это требование в ближайшее время вряд ли удастся и не имеет смысла, поскольку это не самая большая проблема в применении лазерного оружия против УБЛА.

Вероятность поражения УБЛА без отражателей и защитных экранов $P_{\text{пор}}$ с помощью лазерного оружия можно определить по выражению:

$$P_{\text{пор}} = P_{\text{обн}} P_{\text{нав}} P_{\text{уд}} P_{\text{разр}}, \quad (11)$$

где

$P_{\text{обн}}$ — вероятность обнаружения УБЛА в четверти сферы с радиусом R . Для однообъективной сканирующей ОЭС вероятность обнаружения БЛА массой 5 кг на дальности 2 000 м в прозрачной атмосфере не превышает 0,1. При использовании РЛС эта величина возрастает до 0,3;

$P_{\text{нав}}$ — вероятность наведения луча на ВЦ. Для механической следящей системы этот показатель применительно к рассмотренным выше условиям находится на уровне 0,8...0,87;

$P_{\text{уд}}$ — вероятность удержания лазерного пятна в заданной точке в течение заданного времени. Для БЛА летящего прямолинейно с постоянной скоростью $P_{\text{уд}} \approx 0,9$. Для маневрирующего БЛА с перегрузкой $n_y \geq 1,7$ со сменой курса $P_{\text{уд}} \leq 0,3$;

$P_{\text{разр}}$ — вероятность того, что воздействие лазерного луча на конструкцию приведёт к её разрушению, взрыву горючего или боеприпаса. При возможности точной идентификации ВЦ эта величина может достигать значения 1,0. В других случаях прожиг пустотелого корпуса или плоскости крыла к фатальным последствиям для ВЦ никогда не приведёт. По крайней мере все попытки повредить вращающийся воздушный винт БЛА во время экспериментов окончились безрезультатно.

Высокая зависимость лазерного оружия от погодных условий и низкий уровень $P_{\text{пор}}$ не позволяют рассматривать его как средство эффективной борьбы с УБЛА.

Вывод УБЛА из положения устойчивого полёта в закритические условия путём накрытия спутным следом от пролетающего ЛА (ПЛА или БЛА) Этот способ противодействия применению УБЛА является достаточно эффективным несмотря на всю свою экзотичность. Высокая эффективность способа связана с тем, что бортовые САУ современных БЛА не могут обеспечивать устойчивость и управляемость на закритических (за пределами линейных зависимостей $C_y(\alpha)$) режимах полёта. Вывод ВЦ на закритические условия полёта за счёт воздействия спутным следом [47] приводит к тому, БЛА оказывается на очень больших по модулю углах атаки α во вращающемся потоке воздуха. В авиации хорошо известны случаи аварий и катастроф из-за попадания ЛА в спутный след от пролетевшего самолёта [38]. Тем не менее, вывод ЛА из сложных условий, вызванных попаданием в спутный след представляет очень тяжёлую задачу для экипажа и автоматике она пока неподвластна. Однако, этот способ, при острой необходимости, может быть применён, но только в исключительных ситуациях поскольку требует:

- очень высокого уровня лётной подготовки экипажа или ОБУ;
- достаточного пространства для перехватывающего ЛА.

Использование сетей – улавливателей и сетей для опрокидывания или подхвата с земли или БЛА (ПЛА) В настоящее время это наиболее активно развиваемое направление противодействия применению БЛА различного назначения. На рисунках 20 и 21 показано применение сетей для перехвата летящего БЛА.

В целом, такой способ пресечения применения БЛА (УБЛА) является весьма эффективным, особенно в условиях городской застройки. Однако этому способу присущи недостатки, которые ограничивают его применение при ведении боевых действий или проведении специальных операций:

- малая дальность применения — не более 200...300 м;
- пригодность только для малоскоростных и зависающих ВЦ;
- возможность применения только в пределах визуального наблюдения;
- сильная зависимость от погодных, и особенно ветровых, условий.



20.1: Накрытие БЛА сетью при перехвате [18]



20.2: Подхват БЛА сетью при перехвате [6]

Рисунок 20 – Примеры использования сети для перехвата БЛА



21.1: Накрытие БЛА сетью при перехвате с земли [13]



21.2: Опрокидывание БЛА сетью с другого БЛА при перехвате [31]

Рисунок 21 – Примеры использования сети для перехвата БЛА

Применение БЛА – истребителей

борьбы с применением УБЛА. Однако, в 2000 – х годах автором проводилась инициативная работа по оценке целесообразности разработки и применения беспилотного истребителя БЛА различного назначения. В качестве платформы рассматривался многофункциональный БЛА [44]. Внешний вид и компоновка гипотетического беспилотного истребителя (БИ) приведена на рисунке 22. Целями для БИ рассматривались:

- воздухоплавательная техника;
- БЛА со скоростями полёта до 300 км/ч.

Наименее проработанное направление развития средств

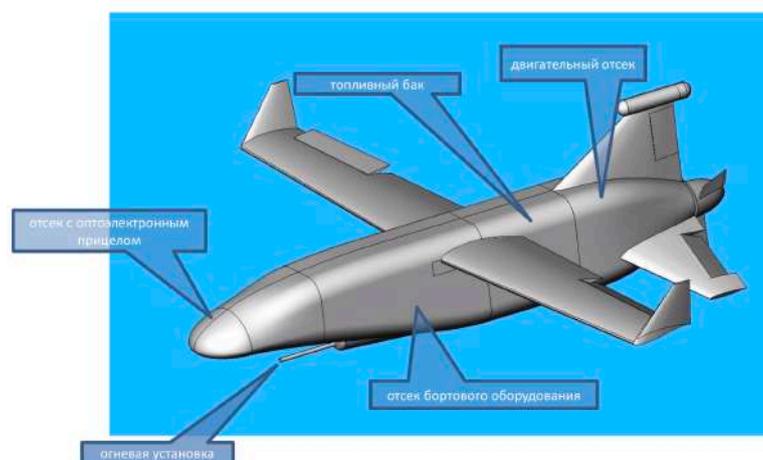


Рис. 22 – Компоновка беспилотного истребителя (вариант)

Предполагалось двухэтапное применение в автоматическом и полуавтоматическом режимах. Предварительное целеуказание осуществлялось с НПУ. Огневая установка — малокалиберная лёгкая гладкоствольная пушка. В качестве поражающих элементов рассматривалась композитная дробь. Результаты исследований показали приемлемый уровень боевой эффективности при перехвате одиночных целей: для свободно дрейфующего воздушного шара диаметром 4 м ($V=33,5 \text{ м}^3$) $P_{\text{пор}} \geq 0,7$. Для одиночного БЛА, маневрирующего с перегрузкой $n_y=1,5$ и изменением курса («змейка») на скорости 150 км/ч $P_{\text{пор}} \approx 0,67$. Однако оказалось, что применение беспилотного истребителя для пресечения группы БЛА из 4 единиц не привело к успешному перехвату всех целей: половина перехватываемой группы БЛА успешно выполнила свою задачу. Замена огневой установки на комплект управляемых малогабаритных ракет с ГСН не привела к улучшению результата. Критическим для принятия решения по продолжению дальнейших исследований явился результат:

- в среднем, стоимость поражения ВЦ существенно (до двух порядков) превышает стоимость самой ВЦ;
- невозможность применения БИ против групп малогабаритных маневренных БЛА;
- существенное усложнение структуры воинского формирования которому должен быть придан комплекс с БИ и, как результат, утрата оперативности и мобильности этого воинского формирования;
- быстрое и резкое снижение эффективности комплекса с беспилотным истребителем по мере убития БИ из комплекта в потери.

Рассмотренный способ пресечения применения УБЛА значительно опередил своё время и в ближайшее время вряд ли найдёт применение. В связи с полученными результатами все работы по этому направлению были прекращены, а применение БИ признано бесперспективным.

Радиотехническое подавление навигационных сигналов для полёта и каналов управления УБЛА В настоящее время этот способ, ввиду использования подавляющим большинством БЛА с массой менее 50 кг внешних навигационных сигналов, стал достаточно «модным» и распространённым. В малоразмерных БЛА используются САУ, которые не имеют встроенных инерциально – курсовых систем и систем коррекции ошибок счисления курса и пути (они требуют объёма, массы и энергии). В качестве источника данных о собственных координатах используются сигналы GPS или ГЛОНАСС. Сопоставление полученных данных с заданными в памяти позволяет САУ выработать управляющие сигналы на органы управления и таким образом реализовывать программу и профиль полёта в соответствии с имеющимися в памяти САУ. Бытовые (изготавливаемые для применения в быту) БЛА очень часто используют ручное управление от оператора через пульт управления. В этом случае бортовые САУ реализуют алгоритм стабилизации текущих параметров полёта (курс ψ , скорость v , высота h) между управляющими сигналами от оператора, которые поступают на борт по радиоканалу. Радиотехническое подавление каналов управления БЛА и каналов получения навигационных сигналов приводит к тому, что САУ не может вычислить соответствующие поправки и, в соответствии с заложенным алгоритмом, либо приземляет ЛА, либо направляет ЛА в сторону точки, координаты которой соответствуют точке старта. При этом возврат происходит по прямой и с очень большой ошибкой. На рисунке 23 показаны мобильные станции радиотехнического подавления навигационных сигналов и каналов управления БЛА (в том числе и УБЛА) размещаемые на шасси.



23.1: Станция радиотехнического подавления каналов БЛА AUDS [4] 23.2: Станция радиоэлектронной борьбы с беспилотными летательными аппаратами «Гроза-С» (на шасси МЗКТ-V1) РБ [65]

Рисунок 23 – Примеры станций подавления каналов управления и навигационных сигналов БЛА

На рисунке 24 показаны переносные станции подавления каналов управления и навигационных сигналов российского производства. За 2018 г. на мировом рынке резко выросло количество предложений подобных изделий. Многие разработчики заявляют серьёзные боевые показатели своих изделий и обещают «приземлить» любой летающий объект на сколь угодно большом удалении. Однако результаты реальных испытаний и применения в соответствующих условиях показывают, что реальные дальности применения не превышают 1 000...1 400 м для переносных станций подавления БЛА, а для мобильных на шасси — до 3 000 м. При этом заявления некоторых разработчиков о том, что они могут обнаруживать ВЦ с ЭПР не более $1 \cdot 10^{-3}$ м на дальностях более 20 км вызывают очень большие сомнения.



24.1: Защита от дронов REX 1 [51]



24.2: Переносной комплекс подавления БЛА «Ступор» [71]

Рисунок 24 – Примеры переносных станций подавления каналов управления и навигационных сигналов БЛА

Обилие предложений станций подавления каналов управления и навигационных сигналов БЛА свидетельствует о принципиальной нерешаемости проблемы. Тем более, что этот способ абсолютно непригоден для БЛА, которые совершают полёт в автономном режиме и не используют внешние навигационные сигналы и радиоканалы управления оператором. Прямым подтверждением этого вывода является ситуация с полётами БЛА неустановленной принадлежности в пределах ВПП аэропортов Гатвик и Хитроу [56]. Примечательно, что никакие, имевшиеся

в распоряжении средства не смогли помешать полётам БЛА.

Штатные средства ПВО: ракеты, зенитная артиллерия и пулемёты Кинетическое оружие до сих пор является единственным действенным средством надёжного пресечения полёта УБЛА и их групп.

Основными средствами противодействия применению УБЛА со стороны ПВО являются:

- ЗРК средней дальности с дальностью перехвата до 100 км;
- ЗРК малой дальности с дальностью перехвата до 30 км;
- ЗРК ближнего действия с дальностью перехвата до 10 км;
- ЗРПК с РЛС с дальностью перехвата до 10 км;
- ЗРПК с оптической станцией наведения (ОПТ) с дальностью перехвата до 5 км;
- ПЗРК с дальностью перехвата до 7 км;
- ЗСАУ с дальностью перехвата до 2 км;
- ЗАУ с дальностью перехвата до 1,5 км;
- ЗПУ с дальностью перехвата до 1,5 км.

Целесообразность применения конкретного средства ПВО определяется по выражению для критерия целесообразности цели для ПВО:

$$K_{\text{пво}} = \left[\frac{P_{\text{пор}}^{\text{нц}}}{P_{\text{пор}}^{\text{бла}}} \right] \frac{\frac{C_{\text{бла}}}{n_{\text{в}}} \left(1 + N_{\text{сп}} \frac{C_{\text{сп}}^1}{C_{\text{бла}}} + \frac{U_{\text{н}}}{C_{\text{бла}}} \right)}{C_{\text{р}}}, \quad (12)$$

где

- $P_{\text{пор}}^{\text{бла}}$ – вероятность гарантированного поражения УБЛА одним средством поражения ПВО;
- $P_{\text{пор}}^{\text{нц}}$ – вероятность гарантированного поражения наземной цели (НЦ) средствами поражения УБЛА в одном вылете;
- $N_{\text{сп}}$ – расход бортовых СП УБЛА в одном вылете;
- $C_{\text{сп}}^1$ – стоимость единицы СП УБЛА;
- $U_{\text{н}}$ – непосредственный ущерб, наносимый при применении одного УБЛА;
- $C_{\text{бла}}$ – стоимость одного УБЛА;
- $C_{\text{р}}$ – стоимость единицы СП ПВО;
- $n_{\text{в}}$ – выживаемость БЛА в количестве вылетов до сбития.

Типовыми целями для УБЛА рассматриваемой размерности являются:

1. Неподвижные (стационарные) наземные цели — $\frac{T_{\text{ож}}}{T_{\text{поиска}}} \geq 1$, $T_{\text{ож}}$ – время ожидания (нахождения) НЦ в конкретной точке пространстве, $T_{\text{поиска}}$ – время поиска НЦ перед нанесением по ней удара БЛА:
 - 1.1. бронетехника (танки, САУ, БПМ и т.п.) в капонирах и на огневых позициях;
 - 1.2. долговременные огневые точки;
 - 1.3. развёрнутые наземные пункты управления;
 - 1.4. радиолокационные станции и пункты управления огнём и т.п.
2. Подвижные (мобильные) наземные цели — $\frac{T_{\text{ож}}}{T_{\text{поиска}}} \ll 1$:
 - 2.1. бронетехника на марше, в боевых порядках при наступлении;
 - 2.2. артиллерийские комплексы на марше;
 - 2.3. комплексы ПВО на марше и в боевых порядках;
 - 2.4. движущиеся одиночные цели: штабные автомобили, разведывательные машины и т.п.

Для примера ориентировочные стоимости типовых наземных целей для УБЛА и значения критерия целесообразности цели для применения ЗРК малой дальности ПВО приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Оценочные значения $K_{\text{пво}}$ для применения ЗРК малой дальности

Наземная цель	Цена, млн. \$ США	$K_{\text{пво}}$
Танк [3]	2,60—12,60	>70
САУ	3,0—5,0	>50
НПУ	1,5—2,0	>30
БМП	0,5—1,0	>20

Очевидно, что для каждого средства ПВО имеется своя цель. Соответственно из выражения 12 видно, что между затратами на поражение БЛА в виде воздушной цели и непосредственным ущербом⁵, который может нанести БЛА существует соотношение: цель является целесообразной для средства ПВО при $K_{\text{пво}} \leq 60$.

Зенитная артиллерийская (пулемётная) установка Оценка эффективности применения артиллерийского вооружения для поражения малоразмерной воздушной цели типа УБЛА производилась по результатам численного моделирования движения артиллерийского снаряда калибра 23 мм на основе расчётной схемы моделирования динамики поведения системы «ЗАУ – снаряд» при выстреле (рисунок 25). В данном случае ЗАУ представляет собой платформу, установленную на четыре опоры, с неподвижно закрепленным на ней под углом φ^c стволом. Задачей опор является восприятие внешних (сила отдачи, моменты сил) силовых воздействий от платформы, рассеивание энергии и гашение колебаний. Ствол представляет собой упругую систему, изменяющую свою внутреннюю геометрию под воздействием сил и реакций, возникающих при прохождении снаряда вдоль канала. Снаряд рассматривается как твёрдое тело вращения, покидающее ствол с заданными начальными параметрами, которые формируются по результатам моделирования совместного поведения платформы и ствола. Геометрические, массо – инерционные и аэродинамические характеристики снаряда соответствуют ОФЗ снаряду 23 мм пушки ЗУ-23-2 [63]. Для ЗПУ все особенности поведения системы «ЗАУ – снаряд» практически идентичны.

При этом учитывались следующие допущения:

- структурные элементы системы «ЗАУ – снаряд» недеформируемы, имеют постоянную массу и геометрию,
- внутренняя баллистика снаряда в стволе ЗАУ неизменна,
- аэродинамическая интерференция снарядов в очереди не учитывается,
- изменение массы ЗАУ при стрельбе снарядами не учитывается,
- угол наклона ствола относительно платформы φ^c определяется условиями прицеливания по воздушной цели,
- расход снарядов в очереди соответствует секундному расходу снарядов при заданной скорострельности.

⁵Правильно учитывать непосредственный и опосредованный ущерб. Однако подсчёт опосредованного ущерба является достаточно сложным и всегда может быть признан субъективным

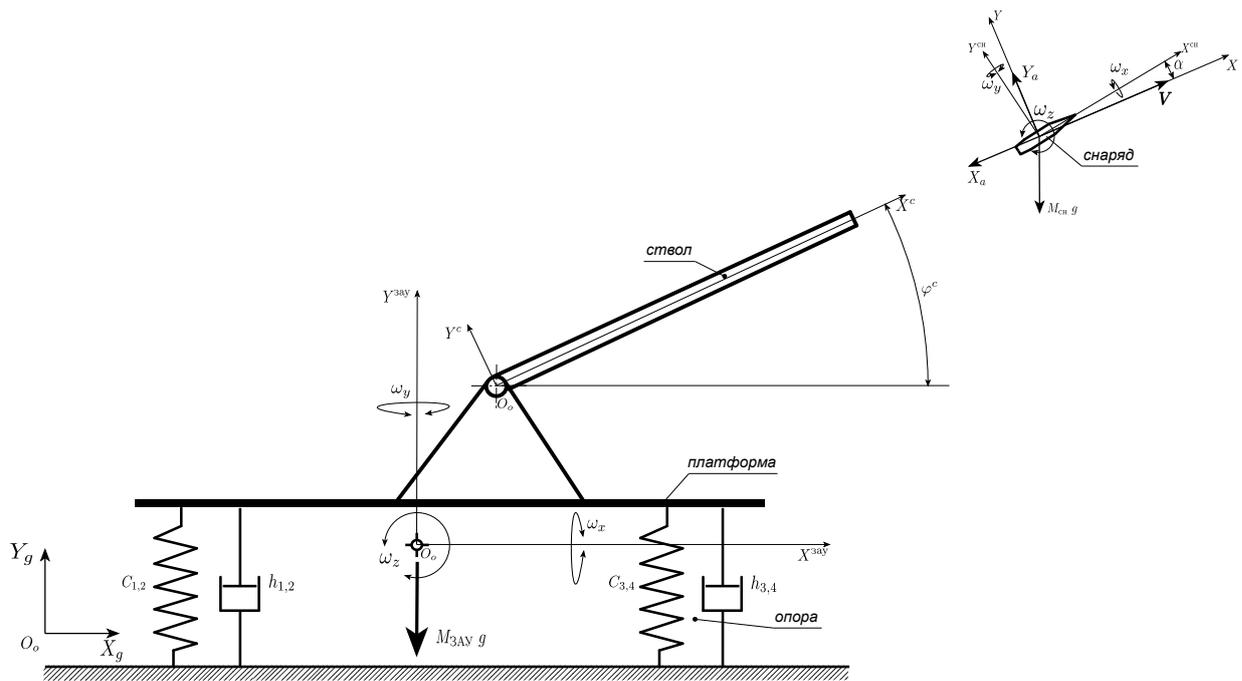


Рисунок 25 – Расчётная схема моделирования динамики поведения ЗАУ при выстреле

Правило знаков и определение промаха снаряда D_p при прохождении окрестности ВЦ показано на рисунке 26. Исходя из конструктивно – компоновочных особенностей УБЛА выделяется две области поражения, попадание снаряда в которые приводит к различным последствиям. Первая – область гарантированного поражения. Это область, попадание снаряда в которую приводит к неизбежному разрушению конструкции ЛА. Например, для многодвигательного (МД) УБЛА со взлётной массой 100...150 кг диаметр этой области составляет 0,95 м.

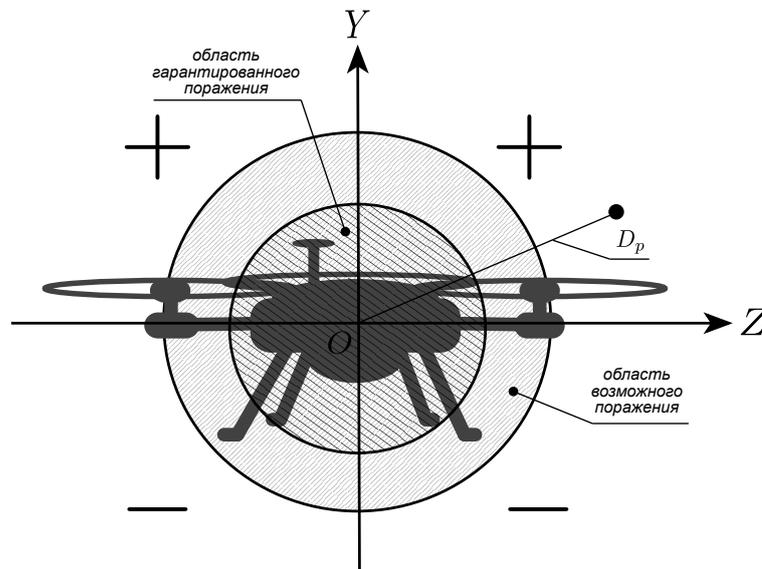


Рисунок 26 – К определению правила знаков и величины промаха снаряда

Вторая — область возможного поражения обусловлена низкой конструктивной плотностью ЛА, что существенно снижает вероятность попадания снаряда в в какой – либо элемент конструкции и его разрушения. При этом разрушение периферийного элемента конструкции может привести к нарушению его целостности и потере функциональной работоспособности, но не

всегда может привести к такому же эффекту для всего УБЛА. Например, поражение лопасти и её разрушение одного из воздушных винтов УБЛА (количество воздушных винтов не менее 4) приведёт к полной утрате функциональной работоспособности одного винта, а для всего БЛА МД это приведёт к снижению его эксплуатационных возможностей.

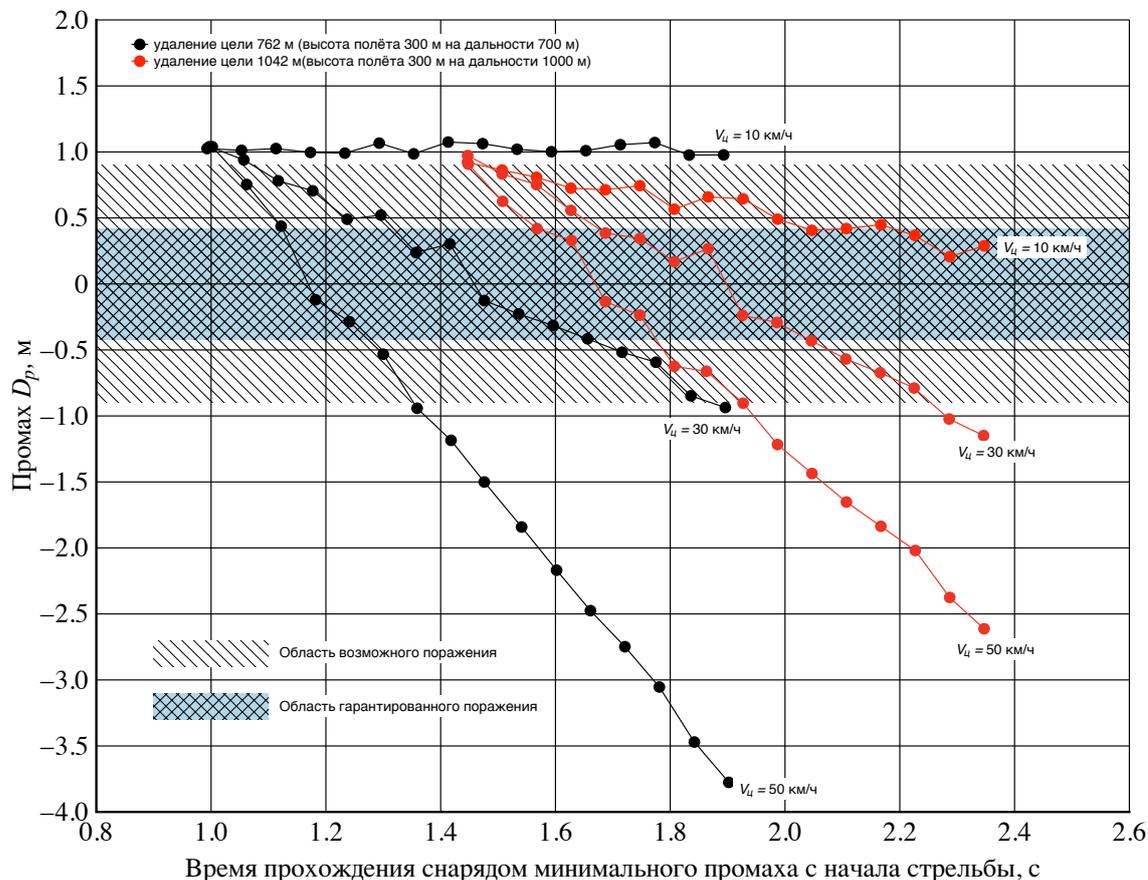


Рисунок 27 – Промахи снарядов в очереди из 16 снарядов для условий точного прицеливания с упреждением

На рисунке 27 показаны результаты численного эксперимента по оценке величин промахов снарядов для различных дальностей стрельбы и скорости полёта БЛА МД. По горизонтальной оси отложено время прохождения минимального значения D_p с начала стрельбы. По вертикальной оси отложены значения промахов D_p с учётом выбранного правила знаков. Из результатов модельных исследований следует:

- стрельба по УБЛА МД с малых дистанций более эффективна при малых и околонулевых скоростях полёта воздушной цели;
- применение ЗАУ (ЗПУ) не может быть эффективным при стрельбе по малогабаритным УБЛА в любых условиях;
- точность прицеливания оказывает определяющее значение для эффективности стрельбы. Требуется использование инструментальных средств наведения и автоматический вычислитель углов упреждения.

Переносная зенитная ракетная установка (ПЗРК)

Оценка поражаемости УБЛА управляемым ракетным вооружением осуществлялась путём моделирования системы «ракета ПЗРК — воздушная цель». При этом моделировалось движение ракеты как твёрдого тела с учётом изменения во времени массы, экваториального момента

инерции и тяги порохового двигателя. Рассматривались ракеты ПЗРК [42]:

Таблица 9 – Основные ТТД ракет ПЗРК

Наименование	Наведение	Высота, км	Скорость, м/с	Дальность $D_{ц}$, км
Javelin	ПА РК	0,01–3,0	578,5	0,3–5,5
Starburst	ПА РК	0,01–4,0	850,0	0,4–6,0
Starstreak	ПА ЛК	0,01–5,0	857,0	0,3–6,0
Стрела-2М	ИК, ФК	0,01–2,3	630,0	0,8–4,2
Стрела-2М	ИК, ФК	0,01–2,3	630,0	0,8–4,2
Стрела-3	ИК, ФК	0,015–3,0	470,0	0,5–4,5
Стрела-3	ИК, ФК	0,01–3,5	570,0	0,5–5,0
RBS-70	ПА ЛК	0,01–3,0	525,0	0,2–5,0

В качестве модельного образца использовалась гипотетическая ракета ПЗРК с усреднёнными характеристиками (таблица 10):

Таблица 10 – Основные ТТД модельной ракеты ПЗРК

Показатель	Размерность	Значение
Стартовая масса	кг	12,0
Начальная скорость полёта	м/с	28,0
Максимальная скорость полёта	м/с	600,0
Продолжительность полёта до самоликвидации	с	14,0
Дальность стрельбы	км	0,2-4,0
Высота полёта цели	км	0,2-3,0
Способ наведения		пропорц.
Тип ГСН		А, ИК, ФК
Максимальная поперечная перегрузка		24
Угол поля зрения ГСН		20°

Моделирование осуществлялось при следующих допущениях:

- ветер отсутствует,
- характеристики ГСН идеальны и постоянны,
- атмосфера прозрачна, МДВ > 20 км,
- тяга ПД постоянна от старта до самоликвидации,
- ВЦ движется с постоянной скоростью по заданной траектории,

т.е. рассматривается задача построения траектории движения ракеты ПЗРК при выдерживании условия:

$$D < 0.5 \text{ м.} \quad (13)$$

и принятых допущений.

Оценка вероятности перехвата ВЦ по её тепловому следу не рассматривалась: общий тепловой поток выхлопной системы через входной патрубок выхлопной системы диаметром 0,05 м составляет до 2 кВт/с, а через выхлопной коллектор специальной конструкции производится

понижение до уровня 0,0029 кВт/ср. Потребное угловое разрешение ОЭС наведения ПЗРК для обнаружения БЛА МД и последующего сопровождения на дальности 3 000 м должно быть не хуже 0,009°.

На рисунке 28 показаны, в качестве примера, результаты моделирования движения ракеты ПЗРК при перехвате ВЦ: УБЛА МД. Чёрным цветом показана траектория движения ракеты при точном определении координат ВЦ в момент пуска. Синим цветом — траектория ракеты при старте с начальной ошибкой наведения. Видно, что высокая скорость полёты ракеты ПЗРК, даже при высокой располагаемой поперечной перегрузке, не позволяет исправить ошибку наведения и ракета проходит на дистанции, которая не позволяет поразить цель [35]. При этом следует учитывать, что ВЦ на малых дальностях от ракеты «выпадает» из поля захвата ГСН ракеты [69].

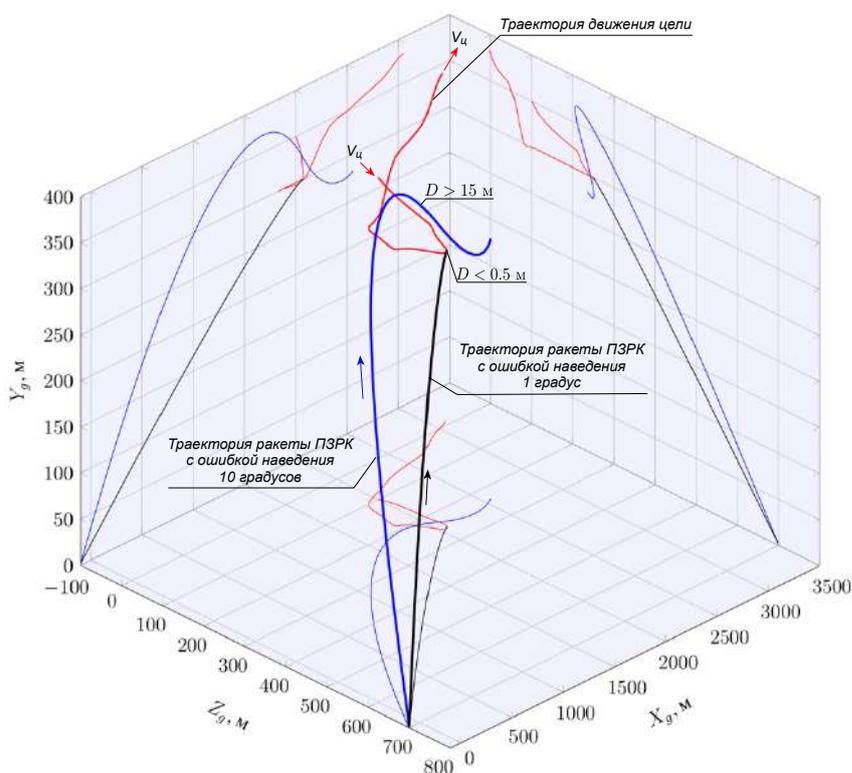


Рисунок 28 – Траектории ракеты ПЗРК и воздушной цели при различных условиях

Для примера, на рисунке 29 показаны расчётные данные из результатов исследований по оценке эффективности использования штатных средств ПВО для сбития одиночной воздушной цели типа «боевой квадрокоптер» одной очередью из ствольного оружия или одной ракетой для ПЗРК и ЗРК. Под сбитием понимается событие, при котором ЛА в результате внешнего воздействия лишается возможности продолжать полёт. Исследования проводились для условий отсутствия помех и вероятности обнаружения ВЦ $P_{обн}=1$. При этом тепловыделение СУ ВЦ отсутствует. Рассмотрено влияние маневрирования ВЦ на её выживаемость в условиях противодействия современной ПВО. Несмотря на то, что приведены данные для одного типа ВЦ и достаточно идеальных условий, для УБЛА самолётного типа и однодвигательных УБЛА (типа вертолёт) уровень эффективности штатных средств ПВО не будет сильно отличаться. Наличие теплового следа для ракет ПЗРК позволяет несколько повысить вероятность сбития ВЦ, однако её интенсивное маневрирование может свести на нет возможность использования фактора за-

метности. Основными причинами низкой эффективности средств ПВО при стрельбе по УБЛА являются:

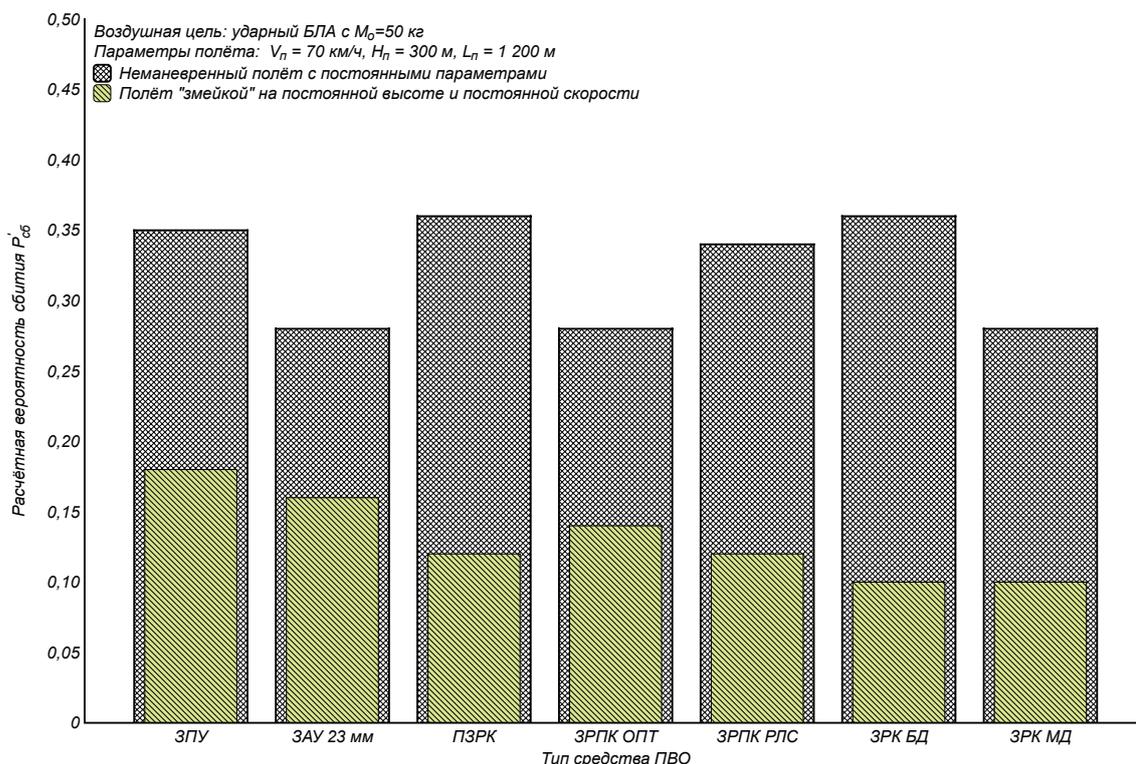


Рисунок 29 – Расчётные вероятности сбития ВЦ типа «боевой квадрокоптер» штатными средствами современной ПВО

- для зенитных ракет: высокая скорость полёта средства поражения и невозможность управления ею при наведении на ВЦ;
- для ствольной артиллерии: низкая плотность средств поражения (снарядов, пуль) в объёме пространства внутри которого находится ВЦ из-за рассеивания, обусловленного колебаниями ствола, платформы, на которой установлена установка и зависимостью внутренней баллистики от состояния и температуры ствола.

В последнее время появляются разработки средств поражения, которые используют дробовой заряд, размещаемый в снаряде, а момент его подрыва программируется во время выстрела [20; 37; 53; 62]. Анализ и исследования по оценке эффективности использования этих средств ПВО против УБЛА показали, что особого эффекта достичь вряд ли удастся ввиду невозможности устранить особенности, присущие ствольной артиллерии (см. выше).

Из полученных данных можно сделать вывод, что современные средства ПВО очень слабо приспособлены к борьбе против УБЛА, особенно малоскоростных, способных осуществлять активное маневрирование на боевом режиме. Для гарантированного пресечения применения УБЛА требуются другие, интегральные, подходы к решению проблемы.

4 Групповое (стайное) применение ударных БЛА — эффективный путь достижения успеха... тактического или стратегического?

Разработка теоретических основ применения БЛА в составе групп и практическая реализация их группового полёта при решении различных (главным образом военных и специальных) задач являются логическим продолжением идеи достижения требуемых результатов малыми затратами сил и средств [25]. Основными задачами применения групп БЛА являются:

- нарушение и дезорганизация функционирования объектовой и войсковой ПВО путём формирования виртуальной оперативной обстановки;
- истощение ресурсов ПВО за счёт принуждения её к стрельбе по виртуальным целям;
- нанесение удара по группам наземных малоразмерных целей: живой силе, легкобронированной технике, артиллерийским позициям, инфраструктурным объектам боевых порядков противника и т.п.;
- деморализация и подрыв воли живой силы противника.

С целью отработки технологии применения групп БЛА (УБЛА) ведутся исследования на математических моделях и натуральных макетах, проводятся натурные эксперименты [29] в модельных условиях [9] и в реальных боевых действиях [67].

Группы УБЛА по принципу построения боевого порядка могут быть:

- *упорядоченными (стай)*: боевой порядок строится на основании алгоритма управления группой, который реализуется внутри группы или НПУ (ВПУ) через каналы связи;
- *неупорядоченная*: боевой порядок определяется условиями старта — последовательностью старта ЛА и индивидуальными алгоритмами функционирования каждого БЛА.

Упорядоченные группы могут быть *автономными*: после старта реализуют свой (заданный при старте или формируемый в процессе полёта) алгоритм функционирования или *связанными*: после старта реализуется алгоритм, который формируется и контролируется извне — с НПУ (ВПУ).

По боевому составу группы БЛА могут быть:

- *однородными*: в состав группы входят БЛА одного функционального назначения;
- *неоднородными*: в состав группы входят БЛА разного функционального назначения.

По боевой специализации группы БЛА могут быть:

- *целевыми*: ударные, разведывательные, истребительные и т.д.;
- *многоцелевыми*: разведывательно – ударными, истребительно – ударными и т.п.

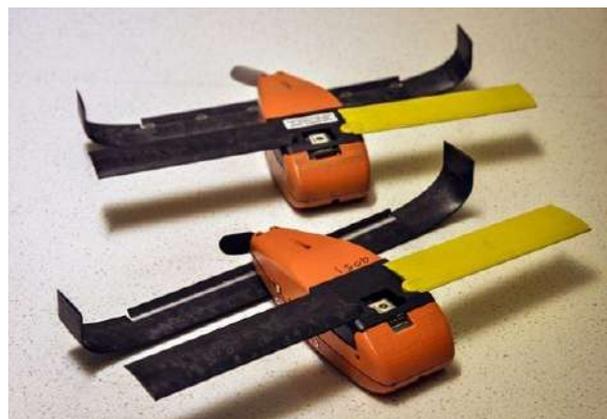
Основными объектами для реализации технологии группового применения могут быть (по хронологии и целесообразности развития):

- малоразмерные БЛА различного назначения (рисунок 30): разведывательные, ударные, постановщики помех, имитационные...;
- ударные авиационные средства типа планирующих авиационных бомб и крылатых ракет;
- перспективные автономные БЛА различного назначения.

Очевидно, что чем выше автономность и неоднородность группы БЛА, тем серьёзнее и сложнее задача, которую она должна выполнить. Соответственно, чем сложнее алгоритм функционирования, тем сложнее бортовой комплекс управления каждого БЛА. Вершиной в ближайшем обозримом будущем, вероятнее всего, будет создание автономных смешанных целевых и многоцелевых групп. Промежуточным и весьма коротким этапом рассматривается со-



30.1: УБЛА «Coyote» [28]



30.2: Экспериментальный БЛА «Perdix» [7]

Рисунок 30 – Примеры БЛА, используемых при обработке упорядоченных автономных групп

здание смешанных групп БЛА на основе опционных ЛА. Физиологическая и психологическая слабость человека как ключевого элемента системы управления группы: зависимость качества управления (в большом смысле) от физиологического состояния и текущей нагрузки (физической, информационной и психической) приведёт к быстрому исключению человека из всех промежуточных этапов управления БЛА, оставив ему одну функцию – функцию принятия решения и постановки задачи на боевое применение групп БЛА для реализации оперативного замысла.

Тем не менее, несмотря на впечатляющие перспективы развития ударной беспилотной техники, для ПВО важно обеспечить надёжную защиту прикрываемого объекта путём минимизации количества УБЛА или других СВН, достигающих рубежа гарантированного нанесения ущерба прикрываемому объекту. С этой точки зрения групповое применение УБЛА представляет достаточно реальную угрозу. Рассмотрим условно элементарную задачу отражения налёта группы УБЛА на прикрываемый ЗРПК объект.

Прикрываемый объект представляет собой участок местности, в центре которой находится ЗРПК. Задачей ЗРПК является сбитие всех ВЦ, стремящихся войти в зону ответственности с радиусом 2 км (см. рисунок 32) для применения бортовых СП (рисунок 31).

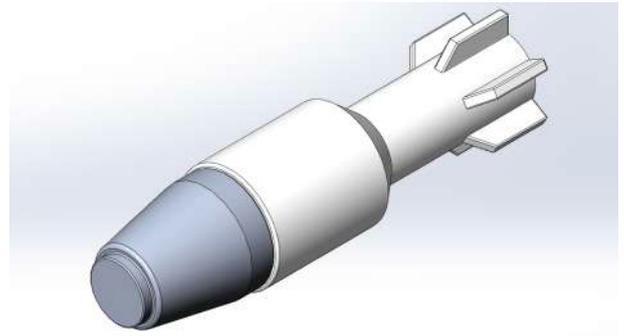
На удалении 25 км от ЗРПК располагается 10 – километровая зона (светло – зелёное кольцо) из которой одновременно стартует неупорядоченная однородная целевая группа УБЛА — ВЦ для ЗРПК. Каждый УБЛА имеет свой номер. Полёт каждого УБЛА осуществляется автономно в секторе 90° и не синхронизируется с другими членами группы. ВЦ представляет собой УБЛА самолётного типа со стартовой массой 10 кг. Дальность обнаружения ВЦ с помощью ОЭС и РЛС, входящих в состав ЗРПК, в зависимости от высоты полёта составляет 1 500...2 500 м. Наряд ВЦ составлял 15 единиц, летящих со скоростями от 100 до 300 км/ч на высотах 200...800 м. Среднее значение $P_{пор}$ ВЦ огневыми средствами ЗРПК 0,26. Запас средств поражения ЗРПК составляет 16 единиц: 16 очередей по 100 снарядов или 16 зенитных ракет или их сочетания в разном соотношении.

Приоритетность цели определяется по критерию приоритетности, который является минимально располагаемым временем для применения СП ЗРПК:

$$\bar{t} = \min \left\{ \frac{D \cos \nu}{V_{ц} \cos \Theta \cos \psi_{ц}} + \frac{\psi_{пов}}{\omega_{пов}} \right\}, \quad (14)$$



31.1: Авиационные СП – самодельные свободнопадающие авиационные бомбы [32]



31.2: 3-d модель СП для определения его характеристик

Рисунок 31 – Самодельная свободнопадающая авиационная бомба, используемая в Ираке, Сирии и Судане

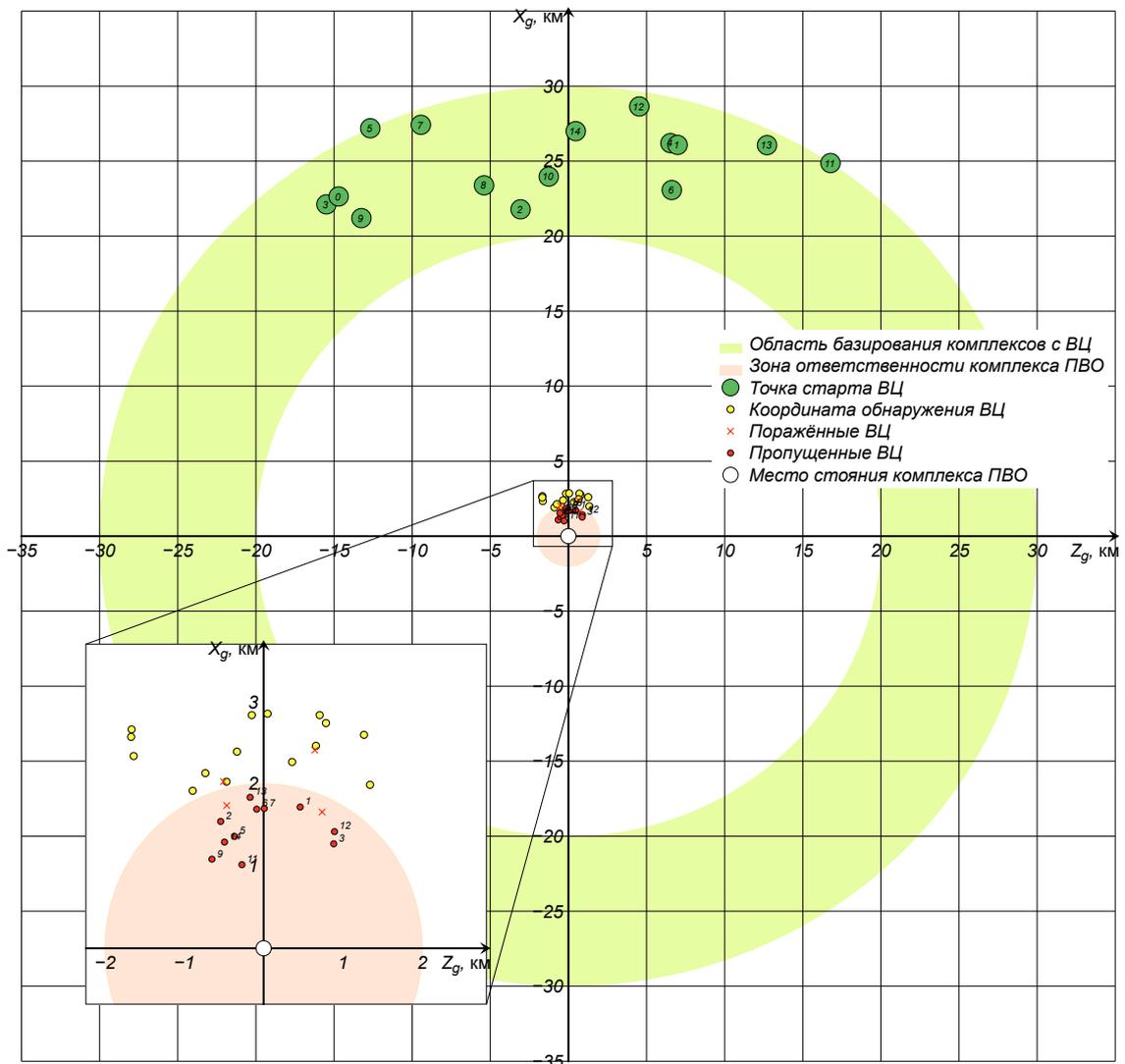


Рисунок 32 – Результаты моделирования налёта группы УБЛА

где

D — наклонная дальность до цели;

ν — угол места ВЦ;

$V_{ц}$ — скорость полёта цели;

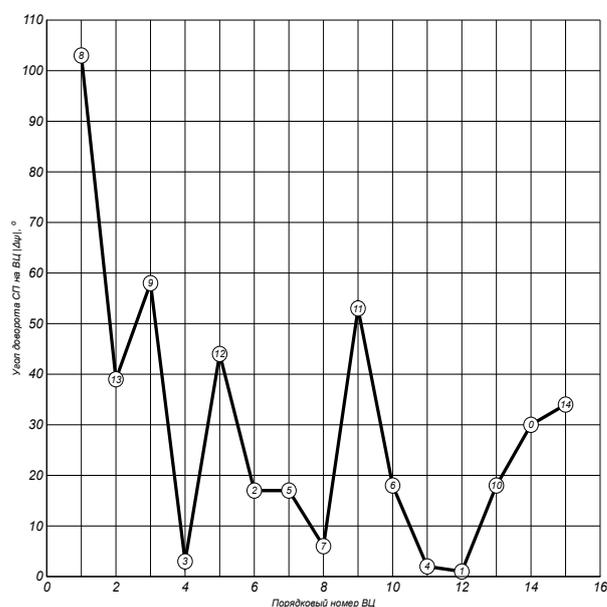
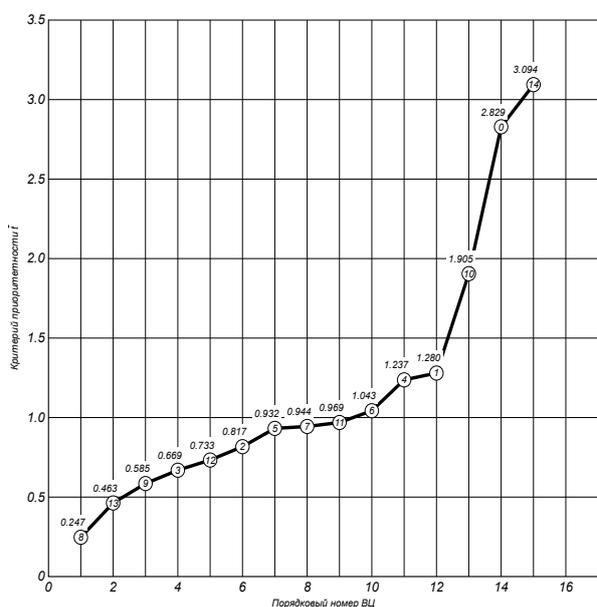
Θ — угол наклона траектории движения ВЦ;

$\psi_{ц}$ — относительный курс полёта ВЦ;

$\psi_{пов}$ — угол рассогласования оси СП и азимута ВЦ;

$\omega_{пов}$ — угловая скорость поворота оси СП.

Результаты ранжировки ВЦ по критерию приоритетности \bar{t} показаны на рисунке 33.1, а на рисунке 33.2 — необходимые углы доворота осей СП ЗРПК (стволов зенитных пушек или направляющих зенитных ракет) для стрельбы по ВЦ.



33.1: Результаты определения приоритетности ВЦ в группе УБЛА

33.2: Результаты определения углов доворота осей СП ЗРПК на ВЦ по их приоритетам в группе УБЛА

Рисунок 33 – Результаты моделирования условий поражения ВЦ

Физическое время моделируемого налёта группы УБЛА на прикрываемый объект составило 10 минут. Результатом моделирования явились выводы:

- ЗРПК не обеспечил прикрытие объекта: 10 из 15 УБЛА вошли в зону ответственности ЗРПК и смогли применить бортовые СП;
- ЗРПК израсходовал весь свой боезапас, не выполнив поставленную задачу по прикрыванию объекта;
- большие углы доворота осей СП ЗРПК на первые 10 ВЦ (рисунок 33.2) привели к физической невозможности поражения этих УБЛА;
- затраты на уничтожение всей группы УБЛА могут оказаться очень большими;
- применение нескольких волн налётов групп дешёвых УБЛА может ПАРАЛИЗОВАТЬ ЛЮБУЮ ПВО.

Приведенные результаты, даже с учётом многих допущений, являются достаточно наглядной иллюстрацией того, что групповое применение УБЛА уже сегодня является серьёзным фактором для достижения военного превосходства малыми затратами. Развитие технологии

группового применения БЛА существенно усложняет условия функционирования ПВО и требует кардинального пересмотра идеологии создания перспективных систем оружия и средств поражения ПВО.

Заключение

Ударная беспилотная техника является закономерным путём развития авиационной роботехники, поскольку именно она является заключительным звеном в цепочке средств решения задачи при ведении боевых действий. Внимательный анализ особенностей применения УБЛА, результатов моделирования группового применения УБЛА в условиях противодействия ПВО и событий в Сирии показывает, что организация применения групп УБЛА не может обойтись без грамотных специалистов, консультативной и технической помощи технологически развитых государств. Это лишний раз подтверждает, что терроризм не является делом радикально настроенных одиночек. Терроризм — тщательно организованный и культивируемый инструмент достижения требуемых результатов государством, которое преследует конкретные цели и имеет конкретные интересы в конкретном регионе. Такой подход существенно снижает затраты на получение желаемого результата и позволяет малыми затратами вести отработку перспективных систем вооружения. Поэтому ударная беспилотная авиационная техника в этом процессе начинает играть одну из ключевых ролей.

Обозначения

	ЗРК	— зенитный ракетный комплекс	
БАС	— беспилотная авиационная система	ЗРПК	— зенитный ракетно–пушечный комплекс
БИ	— беспилотный истребитель		
БЛА	— беспилотный летательный аппарат	ЗСАУ	— зенитная самоходная артиллерийская установка
БарЛА	— барражирующий летательный аппарат	ИК	— инфракрасный (диапазон, излучение...)
БиОТР	— баллистические и оперативно – тактические ракеты	КД	— комбинированный двигатель
ВВП	— вертикальный взлёт и посадка	ЛК	— лазерный канал
ВРД	— воздушно – реактивный двигатель	МД	— многодвигательный
ВЦ	— воздушная цель	НПУ	— наземный пункт управления
ГСН	— головка самонаведения	НЦ	— наземная цель
ДВС	— двигатель внутреннего сгорания	ОБУ	— оператор боевого управления
ЗАУ	— зенитная артиллерийская установка	ОВП	— область возможного поражения
ЗПУ	— зенитная пулемётная установка	ОВП	— обычный взлёт и посадка

ОГП — область гарантированного поражения	РПД — роторно – поршневой двигатель
ОСО — оптические средства обнаружения	САУ — система автоматического управления
ОТ — оперативно – тактический	СП — средство поражения
ОЭС — оптико – электронная система	СУ — силовая установка
ПА — полуавтоматический	Т — тактический
ПВО — противовоздушная оборона	ТВП — точечный взлёт и посадка
ПД — поршневой двигатель	ТРДД — турбореактивный двухконтурный двигатель
ПЗРК — переносной зенитно – ракетный комплекс	ТТХ — тактико – технические характеристики
ПЛА — пилотируемый летательный аппарат	УБЛА — ударный беспилотный летательный аппарат
ПЭ — поражающий элемент	ФК — фотоконтрастный
РДТТ — ракетный двигатель твёрдого топлива	ЭД — электрический двигатель
РК — радиоканал	ЭПР — эффективная площадь рассеяния
РЛС — радиолокационная станция	

Список литературы

1. URL: <https://uvisionuav.com>.
2. URL: <https://www.facebook.com/zbroya.ua/photos/a.1757795424444764.1073741828.1757732341117739/2026527800904857/?type=3&theater>. — (Дата обр. 31.05.2016).
3. 10 самых дорогих танков по стоимости. — 2014. — 17 сент. — URL: <http://total-rating.ru/453-10-samyh-dorogih-tankov-v-mire-po-stoimosti.html> (дата обр. 10.06.2017).
4. AUDS Anti-UAV Defence System. — URL: <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html> (дата обр. 10.12.2018).
5. Boeing High Energy Laser Mobile Demonstrator Advances to High-power Testing. — 2012. — URL: <https://boeing.mediaroom.com/2012-10-03-Boeing-High-Energy-Laser-Mobile-Demonstrator-Advances-to-High-power-Testing> (дата обр. 10.01.2019).
6. Cooper D. Tokyo's solution to rogue drones? Drones with nets. — 2015. — URL: <https://www.engadget.com/2015/12/11/tokyo-drone-net/> (дата обр. 15.11.2015).

7. *David S.* LOCUST: Autonomous, swarming UAVs fly into the future. — URL: <https://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/Press-Releases/2015/LOCUST-low-cost-UAV-swarm-ONR> (дата обр. 15.04.2015).
8. *Davis C. H.* JDAM. The Kosovo Experience and DPAS : пер. с англ. — 04.2000. — URL: <http://guidebook.dcsa.mil/38/dpas/12DavisPres.pdf> (дата обр. 07.01.2014).
9. *Drew J.* DARPA selects industry teams for 'Gremlins' UAV project. — 2016. — Апр. — URL: <https://www.flightglobal.com/news/articles/darpa-selects-industry-teams-for-gremlins-uav-proj-423819/> (дата обр. 06.04.2016).
10. *Glowacki B.* Warmate expendable UAV in production for two customers. — URL: <https://www.flightglobal.com/news/articles/warmate-expendable-uav-in-production-for-two-custome-424735/> (дата обр. 28.04.2016).
11. Gray Eagle UAS. — URL: <http://www.ga-asi.com/gray-eagle> (дата обр. 12.12.2018).
12. *Henningan W.J.* Islamic State's deadly drone operation is faltering, but U.S. commanders see broader danger ahead // <http://www.latimes.com/world/la-fg-isis-drones-20170928-story.html>. — 2017. — Сент. — URL: <http://www.latimes.com/world/la-fg-isis-drones-20170928-story.html> (дата обр. 27.09.2017).
13. Homemade drone catcher. — 2017. — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mi3Ed-paCE4>.
14. *Kopp C.* Cruise missiles. Part I. The Strategic Cruise Missile : пер. с англ. // Australian Aviation. — 1985. — URL: <http://www.ausairpower.net/TE-Cruise-Missiles-1985.html> (дата обр. 07.01.2014).
15. *Kopp C.* JDAM Matures. Parts 1 and 2 : пер. с англ. // Australian Aviation. — 2003. — URL: <http://www.ausairpower.net/TE-JDAMPt1.html> (дата обр. 07.01.2014).
16. *Kopp C.* Lockheed-Martin / Boeing F-22 Raptor. Assessing the F-22A Raptor : тех. отч. : пер. с англ. / AFAIAA, SMIEEE, PEng. — 2007. — APA-TR-2007-0105. — URL: <http://www.ausairpower.net/APA-Raptor.html> (дата обр. 07.01.2014).
17. Legacy of Expertise. — 2014. — URL: <https://www.boeing.com/defense/missile-defense/directed-energy/> (дата обр. 10.01.2019).
18. *Liszewski A.* Watch a Drone-Hunting Quadcopter Attack Its Prey. — 2016. — URL: <https://gizmodo.com/watch-a-drone-hunting-quadcopter-attack-its-prey-1787762611> (дата обр. 13.10.2016).
19. *Malyan D.* Chinese state broadcaster unveils first image of new stealth drone // Defence Blog: online military magazine. — 2019. — URL: <https://defence-blog.com/news/chinese-state-broadcaster-unveils-first-image-of-new-stealth-drone.html>.
20. NBS MANTIS Air Defence Protection System, Germany. — 2013. — URL: <http://www.army-technology.com/projects/mantis/> (дата обр. 03.01.2016).
21. *Peebles C.* Dark Eagles : a history of top secret U.S. aircraft programs : пер. с англ. — Novato : Presidio Press, 1999. — 378 с. — ISBN 0-89141-535-1.
22. Phantom 4 Pro / Pro+ User Manual / DJI. — V1.4-е изд. — 14th Floor, West Wing, Skyworth Semiconductor Design Building, No.18 Gaoxin South 4th Ave, Nanshan District, Shenzhen, China, 518057, 10.2017.

23. Predator® B UAS. — URL: http://www.ga-asi.com/products/aircraft/predator_b.php (дата обр. 14.06.2015).
24. RPAS Yearbook — 2018. The Global Perspective. — 15-е изд. — 75016 Paris - France : Bluenburg & Co, 2018. — 291 с. — ISBN 2270-6062. — URL: <https://rps-info.com/publications/rpas-yearbook-2018/> (дата обр. 10.10.2018).
25. *Scharre P.* Army of None. Autonomous Weapons and the Future of War. — New York : W.W. Norton, 2018. — 436 с.
26. *Sloggett D.* Drone Warfare: The Development of Unmanned Aerial Conflict. — Pen, Sword Books Ltd., 2014. — 223 с. — ISBN 978-1-78346-187-5.
27. *Susini A.* A Technocritical Review of Drones Crash Risk Probabilistic Consequences and its Societal Acceptance // RIMMA Risk Information Management, Risk Models, and Applications. T. 7. — Berlin, 11.2005. — С. 27—38. — URL: <http://rimma.org>.
28. The Gremlins Program Fact Sheet. — URL: https://www.dynetics.com/_files/strike-systems/Dynetics%20Gremlins.pdf (дата обр. 25.01.2017).
29. U.S. Navy Plans to Fly First Drone Swarm This Summer. — URL: <https://www.military.com/defensetech/2016/01/04/u-s-navy-plans-to-fly-first-drone-swarm-this-summer> (дата обр. 04.01.2016).
30. Unmanned Combat Aerial Vehicle: CASC CH-5 Rainbow. — 10.12.2017. — URL: https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1927#media (дата обр. 20.12.2018).
31. US. Military Drone Detection and Take-down Challenge. — 2017. — URL: <https://www.youtube.com/watch?v=3btsZqCakXw>.
32. Weapons of the Islamic state. A three-year investigation in Iraq and Syria. — Conflict Armament Research. London : Conflict Armament Research Ltd., 12.2017.
33. *Whitford R.* Design for Air Combat. — London : Jane's Information Group, 1987. — 224 с. — ISBN 0-7106-0426-2.
34. *Бакулев П.А.* Радиолокационные системы. Учебник для вузов. — М. : Изд-во «Радиотехника», 2004. — 320 с. — ISBN 5-93108-027-9.
35. *Балаганский И.А., Мерзиевский Л.А.* Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2004. — 408 с. — («Учебники НГТУ»). — ISBN 5-7782-0467-1.
36. Беспилотный летательный аппарат ВВП «Зимородок» : пояснительная записка НИЭР / ООО «РостИнтелАвиа». — М., 2016. — № 18367/16.
37. Беспощадная 2С38: новейшая ”Деривация ПВО”раскрывает секреты: самоходный зенитный артиллерийский комплекс по ОКР ”Деривация-ПВО”с боевой машиной 2С38. — URL: <https://defence.ru/article/besposhadnaya-2s38-noveishaya-derivaciya-pvo-raskrivaet-sekreti/> (дата обр. 28.08.2017).

38. *Бирюков В.В.* Предотвращение попадания самолётов транспортной категории в сложные пространственные положения, сваливания и вывод из них - новый подход к обучению пилотов. — Жуковский : ЛИИ имени М.М.Громова, 2016. — 34 с. — URL: <https://www.favt.ru/public/pup/nais2016/10%20%D0%9B%D0%98%D0%98%20-%20%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D1%82%D0%B2%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%20%D0%BF%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B2%20%D0%A1%D0%9F%D0%9F.pdf>.
39. Боевые авиационные комплексы и их эффективность / О. В. Болховитинов [и др.] ; под ред. О.В.Болховитинова. — М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990. — 99 с.
40. *Борейшо А.С.* Лазеры: Устройство и действие: Учеб. пособие. — СПб : Мех. ин-т, 1992. — 215 с.
41. В России создается новый БЛА средней дальности. — 05.01.2010. — URL: <http://www.arms-expo.ru/news/archive/v-rossii-sozdaetsya-novyy-bla-sredney-dalnosti05-01-2010-07-37-00/> (дата обр. 10.12.2018).
42. *Василин Н.Я., Гуринович А.Л.* Зенитные ракетные комплексы. — Минск : ООО «Попурри», 2001. — 464 с.
43. *Вождаев В.В., Теперин Л.Л.* Характеристики радиолокационной заметности летательных аппаратов. — ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 376 с. — ISBN 978-5-9221-1782-1.
44. ВОЗВРАЩАЕМЫЙ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ С ТРЕХОПОРНЫМ ШАССИ. Патент РФ №2408500. Заявка: 2008140725/11 от 15.10.2008 / Дмитриев М.Л. [и др.]. — 2008. — URL: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1548576482683.
45. *Гаврилов А.Д., Ерёмин Г.В., Назарчук И.И.* Малоразмерные беспилотники – новая проблема для ПВО // Интернет-журнал «Армейский вестник». — 2015. — 2 февр. — URL: <http://army-news.ru/2015/02/malorazmernye-bespilotniki-novaya-problema-dlya-pvo/> (дата обр. 04.01.2016).
46. *Гейстер С.Р., Джеки А.М.* Решение задачи обнаружения маловысотных легкомоторных летательных аппаратов путем использования акустических и сейсмических полей // Наука и военная безопасность. — 2008. — № 1. — С. 42—46. — URL: <http://militaryarticle.ru/nauka-i-voennaya-bezopasnost/2008/12105-reshenie-zadachi-obnaruzheniya-malovysotnyh> (дата обр. 20.01.2019).
47. *Гиневский А.С., Желанников А.И.* Вихревые следы самолётов. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 172 с. — ISBN 978-5-9221-1019-9.
48. *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. / под ред. Л. Н. Курбатова ; пер. с фр. Н.В.Васильченко. — М. : Мир, 1988. — 400 с.
49. *Гурвич И.И., Боганик Г.Н.* Сейсмическая разведка: Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. — М. : Недра, 1980. — 551 с.
50. *Жуковский И.* «Боевики получили дроны для терактов в любой стране»: Минобороны раскрыло детали атаки дронов на базу «Хмеймим» // Газета.ru. — 2018. — URL: <https://www.gazeta.ru/army/2018/01/08/11596730.shtml> (дата обр. 10.03.2018).
51. Защита от дронов REX 1. Российское оружие против дронов. Защита от беспилотных летательных аппаратов. — URL: <http://zala.aero/rex-1/> (дата обр. 11.10.2018).

52. *Комиссаров Д.С., Удалов К.Г.* Самолёт SR – 71 : пер. с рус. — М. : АвиКо Пресс, 1993. — 24 с. — (Боевые самолёты мира).
53. *Корчагин С., Терентьев С.* Зенитный артиллерийский комплекс MANTIS BBC ФРГ // За-
рубежное военное обозрение. — 2013. — № 9. — С. 59—65. — URL: http://factmil.com/publ/strana/germanija/zenitnyj_artillerijskij_kompleks_mantis_vvs_frg_2013/41-1-0-288.
54. *Красильников В.А., Крылов В.В.* Введение в физическую акустику. — Наука, 1984. — 403 с.
55. *Курильченко А.* Украинский военпром: и на веревках тянут квадрокоптер... — 31.08.2018. — URL: <https://zvezdaweekly.ru/news/t/2018823161-zumLN.html>.
56. *Леонтьева А.* Загадочные дроны над взлетной полосой вызвали хаос в аэропорту Лондона. — 2018. — URL: https://www.1tv.ru/news/2018-12-21/357633-zagadochnye_drony_nad_vzletnoy_polosoy_vyzvali_haos_v_aeroportu_londona (дата обр. 21.12.2018).
57. Машина войны. — 22.12.2013. — URL: http://warcyb.org.ru/news/x_4b7_novyj_morskoj_bespilotnik_vms_ssha_sovershil_pervyj_polet/2013-12-22-500 (дата обр. 21.12.2018).
58. Пентагон потерял в авариях 418 беспилотников. — 21.06.2014. — URL: <https://lenta.ru/news/2014/06/21/drones/> (дата обр. 10.08.2018).
59. ПЕРЕСВЕТ / НИР Исправитель // Military RUSSIA: отечественная техника (после 1945г.) — 2018. — URL: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-691.html> (дата обр. 05.12.2018).
60. Практическая аэродинамика самолёта МиГ-25РБ: Учебное пособие : пер. с рус. / под ред. А.А.Куликова. — М. : Воениздат, 1978. — 320 с.
61. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / Сухаревский О.И. [и др.] ; под ред. О.И.Сухаревского. — Харьков : ХУПС, 2009. — 468 с.
62. *Романов Л.* Авиабазу Хмеймим в Сирии защитила бы ЗСУ 2С38 ”Деривация ПВО” // Вестник Мордовии. — 2018. — Янв. — URL: <http://vestnik-rm.ru/news-4-22623.htm> (дата обр. 09.01.2018).
63. *Рябов К.* ЗУ-23/30М1-3 и ЗУ-23/30М1-4. Проекты модернизации устаревшей зенитной установки // Армейский вестник. — 2017. — 20 мая. — URL: <http://army-news.ru/2016/09/zu-2330m1-3-i-zu-2330m1-4-proekty-modernizacii-ustarevshej-zenitnoj-ustanovki/> (дата обр. 27.09.2016).
64. *Рябов К.* Российский боевой лазерный комплекс // Военное обозрение. — 2018. — URL: <https://topwar.ru/137369-novosti-ot-prezidenta-boevoy-lazernyy-kompleks.html> (дата обр. 09.03.2018).
65. Станция радиоэлектронной борьбы с беспилотными летательными аппаратами «Гроза-С» (на шасси МЗКТ-V1). — 2018. — URL: <http://www.kbradar.by/products/radioelektronnaya-borba/sredstva-i-kompleksy-radioelektronnay-borby-s-bpla/337/> (дата обр. 10.12.2018).

66. Сучков В.П., Росточин В.В. Исследование эффективности применения двигателей изменяемого рабочего процесса с выносными модулями для многорежимных самолётов вертикального взлёта и посадки (СВВП) // Труды XV научных чтений по космонавтике, посвящённых памяти выдающихся учёных — пионеров освоения космического пространства. — Российская академия наук. Комиссия по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства. ММЕТ РАН, 01.1991. — С. 120—131. — (Управление рабочим процессом авиационных двигателей).
67. ТАСС-Информационное агентство России. Эксперт: атаковавшие объекты РФ в Сирии беспилотники летели по построенному маршруту. — 2018. — Янв. — URL: <http://tass.ru/politika/4867204> (дата обр. 11.01.2018).
68. Физика и техника инфракрасного излучения / Джемиссон Дж.Э. [и др.] ; пер. с англ. Н.В.Васильченко. — М. : Советское радио, 1965. — 643 с.
69. Физические основы ракетного оружия / М.Н.Алешков [и др.]. — М. : Воениздат, 1972. — 312 с.
70. Ходарёнок М. Боевой рой: в армию США призвали ”гремлинов” // Новости ВПК. — — URL: https://vpk.name/news/215425_boevoi_roi_v_armiyu_ssha_prizvali_gremlinov.html (дата обр. 16.05.2018).
71. Электромагнитное ружьё «Ступор» испытали в боевых условиях в Сирии. — 2017. — URL: <http://xn----ctbsbaa3aibxhck.ru-an.info/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5-%D1%80%D1%83%D0%B6%D1%8C%D1%91-%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF%D0%BE%D1%80-%D0%B8%D1%81%D0%BF%D1%8B%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8-%D0%B2-%D0%B1%D0%BE%D0%B5%D0%B2%D1%8B%D1%85-%D1%83%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%8F%D1%85-%D0%B2-%D1%81%D0%B8%D1%80%D0%B8%D0%B8/> (дата обр. 20.05.2018).