

**Противодействие  
беспилотным летательным  
аппаратам. Книга врага  
ворожою мовою**

Представлены результаты систематизации и анализа различных способов и средств противодействия беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), а также формирования общих направлений повышения эффективности такого противодействия.

Проведен анализ возможностей по обнаружению БПЛА средствами радиолокационной, радио- и радиотехнической, оптико-электронной и акустической разведок. Подробно исследованы преимущества и недостатки следующих основных способов и средств противодействия БПЛА: огневое поражение БПЛА артиллерийским и ракетным вооружением комплексов противовоздушной обороны; радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи БПЛА; функциональное поражение БПЛА сверхвысокочастотным электромагнитным излучением; поражение БПЛА лазерным излучением.

Кроме того, рассмотрены другие, менее распространенные, способы противодействия БПЛА.

# ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ



**КНИГА ВРОГА  
ВРОЖОЮ МОВОЮ**

Издательский дом  
«СВАРОГ»  
Киев – 2023

УДК 623.76  
П 83

**Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Книга врага, П 83** ворожью мовою. — Киев: Изд. дом «СВАРОГ», 2023. — 204 с.

**ISBN 978-966-370-744-0**

Представлены результаты систематизации и анализа различных способов и средств противодействия беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), а также формирования общих направлений повышения эффективности такого противодействия. Проведен анализ возможностей по обнаружению БПЛА средствами радиолокационной, радио- и радиотехнической, оптико-электронной и акустической разведок. Подробно исследованы преимущества и недостатки следующих основных способов и средств противодействия БПЛА: огневое поражение БПЛА артиллерийским и ракетным вооружением комплексов противовоздушной обороны; радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи БПЛА; функциональное поражение БПЛА сверхвысокочастотным электромагнитным излучением; поражение БПЛА лазерным излучением. Кроме того, рассмотрены другие, менее распространенные, способы противодействия БПЛА.

ISBN 978-966-370-744-0

УДК 623.76

© Издательский дом «Сварог», 2023.

## Оглавление

Введение .....	7
<b>1. Назначение и классификация БПЛА. Особенности функционирования БПЛА, значимые для его обнаружения и поражения .....</b>	<b>13</b>
1.1. Назначение, преимущества и недостатки БПЛА .....	13
1.2. Классификация БПЛА .....	16
1.3. Оценка целесообразности боевого применения БПЛА по показателю эффективность/стоимость .....	20
1.4. Малые БПЛА как наиболее сложные объекты для противодействия .....	21
1.5. Краткая характеристика бортового оборудования БПЛА .....	24
1.5.1. Двигательная установка .....	25
1.5.2. Система управления .....	26
1.5.3. Навигационная система .....	30
1.5.4. Система радиосвязи .....	32
1.6. Групповое применение БПЛА как основное направление повышения эффективности их использования .....	33
<b>2. Обнаружение БПЛА .....</b>	<b>36</b>
2.1. Малые БПЛА как наиболее сложные объекты для обнаружения .....	36
2.2. Обнаружение БПЛА средствами радиолокационной разведки .....	37
2.3. Обнаружение БПЛА средствами радио- и радиотехнической разведки .....	40
2.4. Обнаружение БПЛА средствами оптико-электронной разведки .....	41
2.5. Обнаружение БПЛА средствами акустической разведки .....	44
<b>3. Противодействие БПЛА средствами огневого поражения ПВО .....</b>	<b>47</b>
3.1. Тактико-технические характеристики средств ПВО, ориентированных на противодействие БПЛА .....	47
3.1.1. Отечественные средства ПВО .....	47
3.1.2. Зарубежные средства ПВО .....	49
3.2. Результаты испытаний и реального боевого применения средств ПВО при решении задач противодействия БПЛА .....	56
3.2.1. Результаты испытаний отечественных средств ПВО .....	56
3.2.2. Результаты боевого применения отечественных средств ПВО .....	59
3.2.2.1. Война в Сирии .....	59

3.2.2.2. Война в Ливии .....	62
3.2.2.3. Война в Нагорном Карабахе .....	63
3.2.3. Результаты испытаний и реального боевого применения зарубежных средств ПВО .....	66
3.3. Анализ основных причин низкой эффективности средств ПВО против БПЛА .....	69
3.3.1. Анализ стандартной номенклатуры целей средств ПВО.....	69
3.3.2. Анализ экономической целесообразности применения средств поражения комплексов ПВО против БПЛА.....	71
3.3.3. Анализ средств поражения комплексов ПВО .....	72
3.3.3.1. Артиллерийские средства поражения БПЛА .....	72
3.3.3.2. Ракетные средства поражения БПЛА .....	74
3.3.4. Анализ эффективности комплексов ПВО в условиях групповой атаки БПЛА.....	77
3.4. Предложения по повышению эффективности средств ПВО при их применении против БПЛА .....	81
3.4.1. Создание многофункциональной системы ПВО, включающей функции противодействия БПЛА.....	82
3.4.2. Модернизация существующих средств ПВО.....	85
3.4.3. Интеграция существующих комплексов ПВО со средствами РЭП.....	87
3.4.4. Разработка нового комплекса ПВО, ориентированного на противодействие именно БПЛА .....	88
<b>4. Противодействие БПЛА средствами РЭП .....</b>	<b>91</b>
4.1. Особенности противодействия БПЛА средствами РЭП.....	91
4.2. Тактико-технические характеристики типовых комплексов РЭП.....	94
4.2.1. Боевые комплексы РЭП.....	95
4.2.2. Коммерческие комплексы РЭП .....	99
4.2.3. Малогабаритные носимые средства РЭП.....	102
4.3. Радиоэлектронное подавление навигационной системы БПЛА .....	105
4.3.1. Проблемные вопросы радиоэлектронного подавления навигационной системы БПЛА .....	105
4.3.2. Особенности радиоэлектронного подавления навигационной системы БПЛА, основанной на приеме сигналов СРНС .....	107

4.3.3. Особенности радиоэлектронного подавления интегрированной навигационной системы БПЛА, основанной на комплексировании данных микромеханических инерциальных систем и сигналов СРНС.....	110
4.3.4. Возможности акустического подавления автономной навигационной системы БПЛА, основанной на микромеханических инерциальных системах.....	115
4.4. Радиоэлектронное подавление радиолиний управления и передачи данных БПЛА.....	116
4.4.1. Проблемные вопросы радиоэлектронного подавления радиолиний управления и передачи данных БПЛА .....	116
4.4.2. Особенности организации связи в командной радиолинии управления БПЛА.....	119
4.4.2.1. Специальные и военные БПЛА .....	119
4.4.2.2. Коммерческие БПЛА .....	121
4.4.3. Особенности организации связи в радиолиниях передачи данных с БПЛА.....	123
4.4.3.1. Специальные и военные БПЛА .....	124
4.4.3.2. Коммерческие БПЛА .....	125
4.4.4. Особенности радиоэлектронного подавления радиолиний управления и передачи данных БПЛА .....	126
4.5. Особенности информационно-технического воздействия с целью вмешательства в процесс функционирования систем БПЛА или перехвата управления .....	134
<b>5. Противодействие БПЛА средствами функционального поражения СВЧ излучением .....</b>	<b>139</b>
5.1. Особенности функционального поражения радиоэлектронных средств СВЧ излучением.....	139
5.2. Тактико-технические характеристики типовых средств функционального поражения СВЧ излучением, ориентированных на противодействие БПЛА .....	144
5.3. Эффективность функционального поражения БПЛА СВЧ излучением.....	148
<b>6. Противодействие БПЛА средствами лазерного излучения .....</b>	<b>151</b>
6.1. Особенности поражения объектов лазерным излучением.....	151
6.2. Анализ средств поражения БПЛА лазерным излучением .....	153
6.3. Эффективность поражения БПЛА лазерным излучением.....	160

<b>7. Другие средства и способы противодействия БПЛА</b> .....	163
7.1. Противодействие БПЛА с использованием специальных БПЛА-перехватчиков.....	163
7.2. Противодействие БПЛА с использованием горючих аэрозолей.....	165
7.3. Противодействие БПЛА с использованием специальных клейких и вязких аэрозолей.....	166
7.4. Противодействие БПЛА с использованием сетей.....	166
7.5. Противодействие БПЛА с использованием специально тренированных птиц.....	167
7.6. Вывод БПЛА из положения устойчивого полёта в закритические условия путём накрытия спутным следом от пролетающего летающего аппарата.....	167
7.7. Мероприятия, направленные на повышение скрытности собственных объектов, а также на снижение эффективности применения БПЛА.....	168
Заключение.....	169
Список сокращений.....	170
Литература.....	178

## Введение

*«Стоит залезть на eBay и купить как можно больше этих 300-долларовых квадрокоптеров, чтобы израсходовать весь имеющийся у них боезапас» – такими словами охарактеризовал ход мысли потенциальных противников США руководитель Командования боевой подготовки американской армии, генерал Д. Перкинс, после того, как один из союзников НАТО применил ракету комплекса Patriot стоимостью 3 млн долларов для уничтожения гражданского дрона...*

*из новостной ленты «Рамблер»  
от 15 марта 2017 г.*

С появлением средних и малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) задачи противодействия их применению в особо контролируемых зонах существенно актуализировались. Начиная с середины 2000-х годов в средствах массовой информации стали регулярно появляться сообщения об опасном использовании малых БПЛА в районах аэропортов, а с середины 2010-х – о применении малых БПЛА для ведения несанкционированного наблюдения важных объектов, проведения терактов и диверсий, переноски запрещенных грузов (оружия, наркотиков) и широком использовании БПЛА в военном деле. В связи с этим на Западе началась активная научная разработка данного направления исследований, о чем можно судить по работам [1-9]. При этом данная проблематика является относительно новой, так как самая ранняя из работ по тематике противодействия БПЛА [3] относится к 2008 г., а начало активных научных публикаций по этой тематике относится к 2016-2017 гг. В результате к 2020 г. в Западной научной печати были введены относительно устойчивые термины, а также определены основные направления исследований в этой предметной области: «противодействие БПЛА» – используются такие термины как «C-UAV», «CUAV», «C-UAVs», «CUAVs» (Counter Unmanned Aerial Vehicles); «системы противодействия БПЛА» – используются такие термины как «C-UAS», «CUAS» (Counter Unmanned Aircraft Systems), «C-UAV system», «CUAV-system», «AUDS» (Anti-UAV Defense System), Counter-Drone Systems; «технологии противодействия БПЛА» – используются такие термины как «Anti-Drone Technologies» и «Counter-UAVs Technologies».

При этом, если на начальном этапе появления задачи противодействия БПЛА (в начале 2000-х гг.), эта задача решалась исключительно средствами поражения (ракетами и снарядами) зенитно-ракетных комплексов (ЗРК) противоздушной обороны (ПВО), то в настоящее время специалисты осознали, что прямое отражение массированного налета БПЛА средствами ЗРК ПВО, в-первых, неоправданно экономически из-за использования дорогостоящих ракет

по большому числу относительно дешевых БПЛА, а во-вторых, это ведет к быстрому исчерпанию боевого ресурса ЗРК и последующей их неспособности отразить удар уже пилотируемой авиации, а также крылатых ракет высокоточного оружия (ВТО). В связи с этим, в настоящее время широко исследуются новые способы противодействия БПЛА, в том числе такие как применение средств радиоэлектронного подавления (РЭП), а также средств направленного излучения энергии – лазерного оружия. При этом, если применение лазерного оружия является еще относительно экспериментальной технологией, то способы противодействия БПЛА на основе совместного использования комплексов РЭП и ЗРК уже активно используются в практике локальных боевых действий (например, для обороны базы Войск Воздушно-космической обороны (ВКО) Российской Федерации (РФ) в Сирии), а также для формирования периметра защиты особо охраняемых объектов (например, специальных объектов РФ – объектов МО, МВД, ФСО, ФСИН и т.д.).

Анализ публикаций в области противодействия БПЛА, показывает, что серьезных работ по данной тематике довольно мало, а в подавляющем числе исследований в этой области преобладают излишне оптимистические выводы относительно успешности поражения всех видов БПЛА существующими отечественными средствами ПВО или же глубокое убеждение авторов в поистине «фантастических» возможностях средств РЭП. При этом многие авторы, не вполне понимают сложность задачи противодействия БПЛА, рассматривают исключительно отдельные, частные аспекты этой проблематики, а также не обладают сведениями о реальных возможностях существующих комплексов ПВО и РЭП. Вместе с тем, проблема противодействия БПЛА, и, в особенности, малым БПЛА, является чрезвычайно сложной, многогранной, и до сих пор эффективно не решенной. Автор, имея определенный конструкторский опыт разработки подобных систем, хотел бы отразить в данной работе всю сложность и многоаспектность проблематики разработки действительно эффективных систем противодействия БПЛА, а также неприемлемость «поверхностных» и «однобоких» подходов к построению таких систем.

Обобщая вышесказанное, целью работы является систематизация и анализ различных способов и средств противодействия БПЛА, а также формирование общих направлений эффективного решения данной проблемы.

Актуальность рассмотрения задачи противодействия БПЛА (и особенно малым БПЛА), подтверждается большим числом соответствующих работ по этой тематике [10-51].

Данная работа обобщает и развивает предыдущие исследования автора, опубликованные по данной тематике, а именно – работы [52-57].

В 1-й главе монографии «Назначение и классификация БПЛА. Особенности функционирования БПЛА, значимые для его обнаружения и поражения» введена классификация БПЛА, представлены основные их задачи в боевой обстановке и возможности противоправного использования. Показано что наиболее сложными, с точки зрения обнаружения и противодействия, являются малые БПЛА. Дана краткая характеристика основных систем БПЛА, значимых для его обнаружения и противодействия: двигательной установке, системе

управления, навигационной системе, системе радиосвязи. Показано, что основным эволюционным направлением развития способов применения БПЛА, существенно затрудняющим противодействие им, является групповое применение БПЛА в виде, так называемых, «стай» или «роев».

Во 2-й главе монографии «Обнаружение БПЛА» показано, что наиболее сложными объектами обнаружения, для современных средств разведки и контроля воздушного пространства, являются малые БПЛА. Проведен анализ возможностей по обнаружению БПЛА средствами радиолокационной, радио- и радиотехнической, оптико-электронной и акустической разведок. Сделаны выводы об эффективности данных средств для своевременного обнаружения БПЛА, в интересах формирования по ним целеуказания для средств поражения.

В 3-й главе монографии «Противодействие БПЛА средствами огневого поражения ПВО» представлены тактико-технические характеристики (ТТХ) отечественных и зарубежных ЗРК ПВО, предназначенных для огневого поражения БПЛА. Показана низкая эффективность ЗРК при решении данной задачи в боевых условиях и на полигонных испытаниях. Проведен анализ основных причин низкой эффективности ЗРК ПВО при их применении против БПЛА. Сформированы предложения по устранению типовых недостатков ЗРК и повышению их эффективности при поражении таких целей как БПЛА, в том числе и в условиях группового применения БПЛА.

В 4-й главе монографии «Противодействие БПЛА средствами РЭП» представлены ТТХ военных и «коммерческих» комплексов РЭП, ориентированных на противодействие БПЛА. Обоснованно, что задача противодействия БПЛА средствами РЭП может решаться одним из трех способов, или их комбинацией: 1) подавления системы навигации БПЛА, за счет формирования ложных навигационных полей; 2) подавления радиолиний управления и передачи данных БПЛА 3) информационно-технического воздействия на БПЛА с целью дестабилизирующего вмешательства в процесс функционирования его подсистем или перехвата управления. Подробно рассмотрены данные способы подавления, их преимущества и недостатки. Сформированы предложения по повышению эффективности радиоэлектронного подавления таких объектов как БПЛА.

В 5-й главе монографии «Противодействие БПЛА средствами функционального поражения СВЧ излучением» представлены ТТХ комплексов функционального поражения электромагнитным излучением (ФП ЭМИ). Проведен анализ особенностей поражения СВЧ излучением БПЛА как интегрированного радиоэлектронного средства. Оценена эффективность функционального поражения БПЛА при применении современных экспериментальных средств ФП ЭМИ.

В 6-й главе монографии «Противодействие БПЛА средствами лазерного излучения» проведен анализ экспериментальных средств лазерного излучения. Проведен анализ особенностей поражения БПЛА лазерным излучением. Оценена эффективность поражения БПЛА при применении современных экспериментальных средств лазерного излучения.

В 7-й главе монографии «Другие средства и способы противодействия БПЛА» приведены различные способы и средства противодействия БПЛА ко-

торые не были подробно рассмотрены в главах 1-6, ввиду своей малой распространенности. В частности, в данной главе рассмотрено противодействие БПЛА с использованием: специальных БПЛА-перехватчиков; горючих и клейких аэрозолей; сетей; специально тренированных птиц; путем накрытия спутным следом от пролетающего летающего аппарата. Кроме того, рассмотрены мероприятия, направленные на повышение скрытности собственных объектов, а также на снижение эффективности применения БПЛА-разведчиков.

Монография не претендует на окончательную верность и полноту изложения всей затронутой проблематики. Данную работу стоит рассматривать, прежде всего, как «отправную точку» в таком актуальном на малоразвитом направлении исследований как противодействие БПЛА.

Материал монографии ориентирован на подготовленного читателя, имеющего базовые знания в области вооружения и военной техники, а также владеющего методами аэродинамики, боевой эффективности, радиоэлектроники и информатики. Работа может быть полезна техническим специалистам, научным работникам, соискателям ученой степени. Автор надеется, что его труд найдет своего читателя, а для кого-то, возможно, окажется своеобразной отправной точкой в дальнейших исследованиях.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность рецензентам: доктору технических наук А.В. Ананьеву, доктору технических наук профессору В.И. Гончаренко, доктору технических наук профессору А.В. Тимошенко, доктору технических наук доценту С.В. Шишкову за поиск ошибок и неточностей при рецензировании монографии, за ценные предложения и советы, которые способствовали значительному улучшению качества работы, ее полноты и ясности, а также ориентированности на широкого читателя. Отдельно автор благодарит доктора технических наук профессора Т.Р. Газизова за глубокое погружение в данную тематику, скрупулезное рецензирование и кропотливый редакторский труд при подготовке монографии к изданию.

В том виде, в котором представлена данная монография, она бы не состоялась без помощи кандидата технических наук В.В. Ростопчина. Автор благодарит В.В. Ростопчина за предоставление им своих оригинальных авторских материалов [10-14, 21], которые были использованы в монографии и позволили глубже раскрыть отдельные аспекты проблемы противодействия БПЛА, а также за ценные советы и критические замечания, которые в значительной степени способствовали повышению качества работы на этапе ее подготовки к публикации.

Автор благодарит кандидата технических наук профессора А.В. Баженова, кандидата технических наук доцента А.В. Кихтенко, доктора технических наук профессора В.И. Владимирова, доктора технических наук профессора А.Г. Ломако, доктора военных наук профессора Ю.И. Стародубцева, доктора технических наук профессора В.И. Курносова за то, что именно они способствовали становлению автора как ученого, и я безмерно горжусь тем, что имел возможность работать рядом с такими людьми, и особенно – учиться у них.

Плодотворные исследования в области противодействия БПЛА стали возможными благодаря тем людям, которые помогали, поддерживали, направляли, критиковали и всячески способствовали автору в его исследованиях. Автор выражает благодарность за доброжелательную критику, научную и организационную поддержку, а также за плодотворное общение всем тем, с кем он обсуждал вопросы своих исследований на встречах, семинарах, конференциях, а также в процессе выполнения совместных НИОКР. Кроме того, автор считает своим долгом поблагодарить всех тех специалистов, которые внесли свой научный и исторический вклад в развитие этого направления исследований.

Особую признательность хочется выразить тем неординарным людям, с которыми автору посчастливилось совместно служить и работать: коллективу кафедры прикладной информатики и математики Ставропольского филиала МГГУ им М.А. Шолохова; коллективу кафедры эксплуатации и ремонта бортового авиационного радиоэлектронного оборудования (радионавигации и радиосвязи) Ставропольского ВВАИУ им. маршала авиации В.А. Судца; коллективу кафедры радионавигации и радиолокации ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»; коллективу кафедры сетей и систем связи космических комплексов ВКА им. А.Ф. Можайского; коллективам НТЦ-7 и НИО-77 в НИИ «Вектор»; коллективу НТЦ-21 в НИИ «Рубин»; коллективу Корпорации «Интел групп»; коллективу кафедры информационной безопасности СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина); коллективу кафедры информационных и вычислительных систем ПГУПС им. Императора Александра I; коллективам лаборатории проблем компьютерной безопасности и лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПб ФИЦ РАН. Творческая атмосфера этих коллективов всегда способствовала плодотворной деятельности и определила области научных интересов и направления исследований автора.

Автор будет рад сотрудничеству в рассматриваемой области исследований, а также конструктивным замечаниям и предложениям. Замечания и предложения прошу направлять по адресу: mak-serg@yandex.ru.

С.И. Макаренко



# 1. Назначение и классификация БПЛА. Особенности функционирования БПЛА, значимые для его обнаружения и поражения

## 1.1. Назначение, преимущества и недостатки БПЛА

*Беспилотный летательный аппарат* (БПЛА) – летательный аппарат самолетного или вертолетного типа без экипажа на борту, полет которого осуществляется либо по заранее заложенной на борт программе, либо путем удаленного управления по каналам связи.

На современном этапе развития БПЛА предназначены для решения широкого спектра задач: наблюдения (разведки), нанесения ударов, транспортировки грузов, целеуказания другим средствам поражения, ретрансляции данных и т.д. при их дистанционном управлении оператором, или путем автономных действий по заранее заложенной программе.

В большинстве случаев БПЛА решают следующие основные задачи [46, 48, 57]:

- ведение наблюдения и разведки, в том числе и в реальном масштабе времени;
- нанесения ударов по наземным/надводным целям, самостоятельно или носимыми средствами поражения;
- постановка радиоэлектронных помех;
- целеуказания для других средств поражения, а также корректировка их применения;
- транспортировка и доставка грузов и средств в заданный район;
- ретрансляция данных между удаленными абонентами сетей связи;
- отвлечение внимания или использование их в качестве ложных воздушных целей.

Террористические группировки и лица, ведущие противозаконную деятельность, применяют БПЛА (преимущественно – малые БПЛА) для решения следующих задач [20, 46, 47]:

- доступа за периметр охраняемых объектов и ведение там наблюдения;
- точечное уничтожение отдельных важных лиц;
- заброска самодельных средств поражения;
- нанесение повреждений зданиям, памятникам культуры, объектам инфраструктуры и транспортным средствам;
- транспортировка запрещенных средств или их заброска на охраняемую территорию;
- препятствование воздушному движению в аэропортах.

Рассмотрим основные особенности БПЛА.

Основными преимуществами БПЛА, затрудняющим задачу их обнаружения и противодействия, являются [21, 44, 45, 48]:

- возможность удаленного выполнения задач при безопасном удалении оператора, и при этом, обеспечение оператора информацией о ходе выполняемой задачи практически в реальном масштабе времени;
  - применение широкого спектра малогабаритных целевых нагрузок на современной элементной базе (радиолокационных станций (РЛС), средств радиоэлектронной разведки (РЭР), боевых частей (БЧ) с направленным поражением и др.);
  - возможность длительного нахождения над зоной боевых действий, а также возможность самостоятельного подавления или поражения средств ПВО;
  - низкая заметность БПЛА в радиолокационном и оптическом диапазонах за счет более низких массогабаритных характеристик, по сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами (ЛА), и широкого применения в конструкции БПЛА пластиковых и композитных материалов;
  - возможность совершать маневры с высокими перегрузками и использовать режимы полета, приводящие к снижению эффективности существующих и перспективных средств ПВО – возможность полета на предельно малых высотах (до 50 м) с использованием защитных свойств рельефа местности, а также на низких скоростях полета (10-30 м/с). При этом большинство современных ЗРК имеют ограничения на обстрел воздушных целей при их минимальной высоте до 1 км и минимальной скорости до 100 м/с. Кроме того, при приеме отраженных сигналов РЛС от малоразмерных, малоскоростных БПЛА возможно их попадание в стробы защиты РЛС от пассивных помех и стационарных предметов (что делает БПЛА неразличимыми для РЛС на фоне местности или в облаке пассивных помех);
  - малые геометрические размеры, обуславливающие низкие значения вероятностей поражения снарядами зенитной артиллерии, а также приводящие к несрабатыванию радиовзрывателей зенитных управляемых ракет (ЗУР) при их подлете в район малоразмерной цели;
  - скрытность применения БПЛА, обеспечиваемая относительной бесшумностью их двигателей, а также за счет полета в режиме «радиомолчания» до выхода их в зону непосредственного боевого применения.
- Специфика летно-технических характеристик БПЛА обуславливает ряд дополнительных, крайне важных, преимуществ их построения и эксплуатации [48]:
- применение классической аэродинамической схемы, которая обеспечивает устойчивость и простоту управления;
  - возможность оснащения БПЛА электрическими двигателями, выгодно отличающимися простотой в эксплуатации;
  - возможность использования нетрадиционных видов энергии для двигателей (солнечных батарей, криогенного топлива и др.), позволяющих применять БПЛА без ограничения их полета по времени;

- значительное снижение общего уровня затрат, связанных с переброской и временным базированием достаточно компактных подразделений БПЛА в районы боевого предназначения, ремонтом и обслуживанием БПЛА и обеспечивающей аппаратуры в полевых условиях;
- низкая стоимость разработки и эксплуатации БПЛА, которая меньше стоимости современных пилотируемых ЛА, выполняющих многие аналогичные боевые задачи. При этом сохраняются дорогостоящий летный состав, самолеты, вертолеты и др.

Перспективным направлением повышения эффективности БПЛА является групповое применение малых дешевых БПЛА в виде «стаи» («роя»), когда они объединяются в группы и при условии четкого распределения ролей. Такие группы БПЛА за счет своей массовости могут эффективно преодолевать средства РЭП и ПВО и выполнять различные боевые задания [21, 44, 48].

Основными недостатками БПЛА являются [44, 48]:

- ограничения по применению в зависимости от времени суток и погодных условий для отдельных категорий БПЛА;
- низкая интеллектуальность действий в автономном режиме;
- низкая скрытность каналов радиуправления (КРУ) и передачи данных;
- низкая живучесть конструкции;
- подверженность КРУ и канала спутниковой навигации БПЛА воздействию радиоэлектронных помех;
- сравнительно небольшая дальность действия дистанционного управления БПЛА с ПУ при отсутствии дополнительных средств ретрансляции;
- ограничения по массе и составу полезной нагрузки.

Рассмотрим некоторые из вышеуказанных недостатков БПЛА более подробно.

*Наличие значительных ограничений применения БПЛА в зависимости от погодных условий.* Использование БПЛА возможно лишь в благоприятных условиях, например, при скорости ветра менее 10 м/с. Применение малых БПЛА существенно затруднено при сильном дожде (ливне), в условиях высокой влажности воздуха, при среднем и сильном тумане [48].

*Низкая живучесть и устойчивость БПЛА к физическому воздействию* любого рода, от попадания осколка (пули) до сильного порыва ветра, приводящая к потерям пространственного ориентирования и срыву БПЛА в неконтролируемые режимы полета. Каждое существенное внешнее возмущение (резкий порыв ветра, восходящий или нисходящий воздушный поток, попадание БПЛА в воздушную яму) может привести к потере ориентации БПЛА и последующей аварии [48].

*Низкий уровень технической надежности и «интеллектуальности» действий БПЛА в автономном режиме.* По опыту применения БПЛА в локальных войнах специалистами сделан вывод о том, что частота аварий БПЛА в 100 раз выше, чем пилотируемых ЛА. Основными причинами этого являются значительно меньшая надежность бортового радиоэлектронного оборудования (РЭО) на борту БПЛА и отсутствие дублирования функций основного РЭО ввиду ма-

лой грузоподъемности БПЛА, в отличие от пилотируемых ЛА. Традиционно БПЛА оснащается комплектом минимально необходимой аппаратуры. К перечню такой бортовой аппаратуры можно отнести [48]:

- навигационную систему (автономную или основанную на использовании сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС));
- систему связи, включающую в себя каналообразующую аппаратуру КРУ, по которой осуществляется управление БПЛА с ПУ и передаются телеметрические данные о состоянии оборудования БПЛА, а также каналообразующую аппаратуру передачи данных от целевой нагрузки;
- целевую нагрузку (аппаратуру разведки или средства поражения).

Кроме того, при сбоях в работе пилотируемого ЛА летчик в ряде случаев способен быстро диагностировать и исправлять случившуюся во время полета аварийную ситуацию, устранить неисправность, взять на себя ручное управление и т.д., а при эксплуатации БПЛА такие действия в полете провести невозможно. Высокая уязвимость БПЛА от различных факторов боевой обстановки и их низкая «интеллектуальность» в автономном режиме, ввиду отсутствия таких незаменимых человеческих качеств, как оперативное принятие решения, возможность переноса основных усилий на новые, более важные объекты, умение уклоняться от опасности и оперативно применять меры к обману противника, введению его в заблуждение и т.д. являются сегодня неразрешимыми проблемами, снижающими эффективность боевого применения современных БПЛА [48].

## 1.2. Классификация БПЛА

При рассмотрении задачи противодействия БПЛА следует классифицировать их по массогабаритным характеристикам и скорости, а также по назначению и применению.

По массогабаритным характеристикам и скорости для БПЛА в настоящее время введено несколько классификаций.

Американская классификация БПЛА представлена в таблице 1.1. Западноевропейская классификация БПЛА представлена в таблице 1.2. Российская классификация БПЛА представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.1 – Американская классификация БПЛА

Классификационный тип	Масса, кг	Высота полета, км	Скорость, км/ч	Примеры
I	0-9	до 0,365	до 185	RQ-11 Raven, RQ-20 Puma, Wasp III, RQ-16 T-Hawk
II	9,5-25	до 1,07	до 460	ScanEagle
III	более 600	до 5,5	Не определено	RQ-2 Pioneer, RQ-5 Hunter, RQ-7 Shadow, RQ-21 Blackjack
IV	более 600	до 5,5	Не определено	RQ-1/MQ-1 Predator, MQ-1C Grey Eagle, X-47, YMQ-18 Hummingbird, MQ-8 Fire Scout
V	более 600	свыше 5,5	Не определено	RQ-4 Global Hawk, MQ-9 Reaper

Таблица 1.2 – Западноевропейская классификация БПЛА

Классификационный тип	Средняя высота полета, км	Средний радиус действия, км	Средняя длительность полета, ч	Примеры
Micro-UAV (микро-БПЛА)	0,6	2	до 1	EMTAadin (Германия)
Mini-UAV или Close-Range UAV (мини-БПЛА или БПЛА ближнего радиуса действия)	до 2	до 10	до 2	Bird Eye 400 (Израиль)
Short-range UAV (БПЛА малого радиуса)	до 3	50-150	до 6	Speiwer (Франция)
Medium-range UAV (БПЛА среднего радиуса)	до 6	100-300	до 12	Hermes 450 (Израиль)
MALE (Medium-altitude, long-endurance) (средневысотный БПЛА длительного полета)	5-15	200-500	до 24	Patroller (Франция)
HALE (High-altitude, long-endurance) (высотный БПЛА длительного полета)	свыше 9,1	глобальный	свыше 24	Global Hawk (США)

Примечание: классы Short-range UAV и Medium-range UAV часто объединяют в общий класс TUAV (Tactical unmanned aerial vehicle) – тактические БПЛА.

Таблица 1.3 – Российская классификация БПЛА

Классификационный тип	Взлетная масса, кг	Дальность действия, км
Нано-БПЛА ближнего радиуса действия	до 0,25	до 2
Микро- и мини- БПЛА ближнего радиуса	до 5	25-40
Легкие БПЛА малого радиуса действия	5-50	10-70
Легкие БПЛА среднего радиуса действия	50-100	70-150 (до 250)
Средние БПЛА	100-300	150-1000
Средне-тяжелые БПЛА	300-500	70-300
Тяжелые БПЛА среднего радиуса действия	500	70-300
Тяжелые БПЛА большой продолжительности полета	1500	1500
Беспилотные боевые самолеты (ББС)	500	1500

В таблице 1.4 представлена гармонизированная классификация БПЛА, объединяющая западноевропейский и российский подходы к классификации, в соответствии с предложениями, представленными в работе [58].

Таблица 1.4 – Гармонизированная классификация БПЛА [58]

Класс БПЛА	Категория	Международное обозначение	Обозначение	Наименование	Взлетный вес, кг	Радиус действия, км	Практический потолок, км	Продолжительность полета, ч
Малые	I	η	η	Нано	до 0,25	до 1	0,1	<1
		μ	μ	Микро	до 5	до 10	3	1
		Mini	Мини	Мини	до 25	10-40	3	<4
Легкие	II	CR	БлД	Ближнего действия класса 1	25-50	25-70	3	2-4
				Ближнего действия класса 2	50-150	50-100	3	<6
Средние	III	SR	МД	Малой дальности	до 200	до 150	4	6-8
		MR	СД	Средней дальности	до 500	200	5	10-12
	IV	MRE	СД	Средней дальности с большей продолжительностью полета (СД-БПП)	500	500	8	10-18
				LADP	БД	Маловысотный большой дальности (МБД)	до 250	более 250
Тяжелые	V	LALE	БД	Маловысотный большой дальности большой продолжительности полета (МБД-БПП)	до 250	более 500	4	18
	V-VI	MALE		Средневысотный большой дальности, большой продолжительности полета (СБД-БПП)	до 1000	более 1000	8	24
	VII	HALE		Высотный большой дальности, большой продолжительности полета (ВБД-БПП)	до 2500	более 4000	20	свыше 24
Боевые	VIII	UCAV	Б	Беспилотный ударный (Б-У)	более 1000	более 500	12	1,5-2
		DEC		Беспилотная ложная цель (Б-Л)	150-500	0-500	0,05-5	до 4
		TGT		Беспилотная мишень (Б-М)	10-10000	5-200	0,05-10	свыше 0,5
Смешанные	IX	OPA	ОП	Пилотируемый по выбору (опционно) ЛА	до 200			
		CMA	ПП	Переоборудованный пилотируемый ЛА				

Ввиду большого значения именно скорости БПЛА при его перехвате средствами ЗРК ПВО, в работе [21] предлагается различать следующие типы БПЛА в зависимости от их функциональной скорости полета:

- малоскоростные БПЛА – со скоростями полета до 200 км/ч (с максимальной скоростью полета в этом классе – 250 км/ч);
- среднескоростные БПЛА – со скоростями полета от 150 до 400 км/ч (с максимальной скоростью полета в этом классе – 450 км/ч);
- скоростные БПЛА – со скоростями полета от 350 до 800 км/ч (с максимальной скоростью полета в этом классе – 900-980 км/ч).

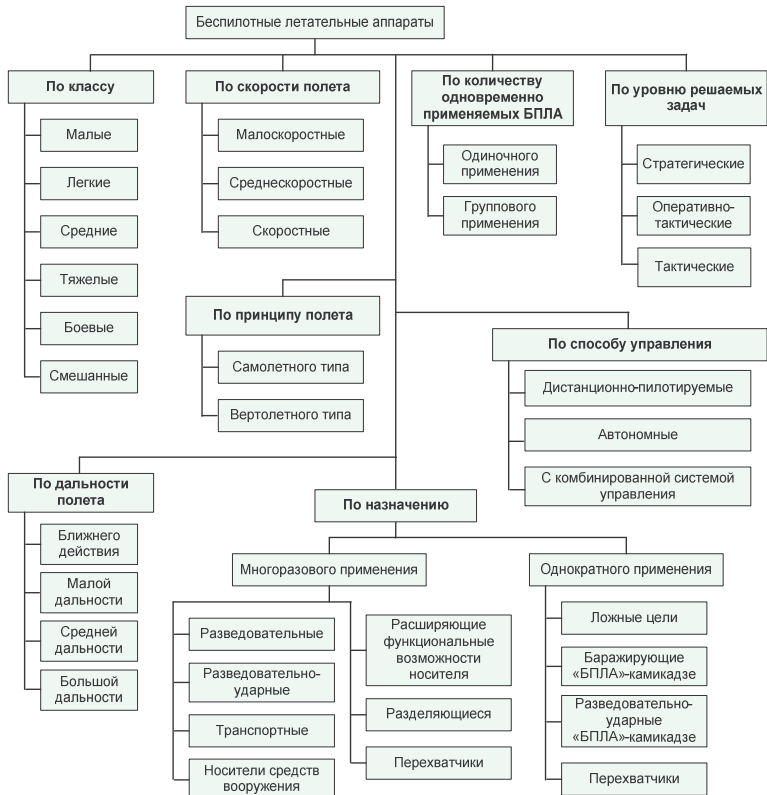


Рис. 1.1. Классификация БПЛА [21, 53].

По назначению следует различать следующие БПЛА [21]:

- БПЛА многоразового применения:
  - разведывательные БПЛА;
  - разведывательно-ударные БПЛА;
  - транспортные БПЛА;
  - БПЛА – носители средств вооружения;
  - БПЛА, расширяющие функциональные возможности носителя;
  - разделяющиеся БПЛА;
  - БПЛА – перехватчики.
- БПЛА однократного применения:
  - БПЛА – ложные цели;
  - барражирующие «БПЛА-камикадзе»;
  - разведывательно-ударные «БПЛА-камикадзе»;
  - БПЛА – перехватчики.

В соответствии с количеством одновременно применяемых БПЛА следует различать [21]:

- БПЛА одиночного применения;
- БПЛА группового применения.

В соответствии с уровнем военного управления, в интересах которого БПЛА решает задачи, следует различать [21]:

- стратегические БПЛА;
- оперативно-тактические БПЛА;
- тактические БПЛА.

В соответствии с принципом полета БПЛА следует различать [21]:

- БПЛА самолетного типа;
- БПЛА вертолетного типа.

### 1.3. Оценка целесообразности боевого применения БПЛА по показателю эффективность/стоимость

Одним из основных критериев оценки целесообразности боевого применения БПЛА является показатель «эффективность/стоимость», а именно – приведенная стоимость выполнения боевой задачи  $C_{пр\ бз}$  [21]:

$$C_{пр\ бз} = \frac{C_{бз}}{P_{вып\ бз}},$$

где:  $C_{бз}$  – полная стоимость выполнения боевой задачи;  $P_{вып\ бз}$  – вероятность выполнения боевой задачи.

Очевидно, что указанный критерий по своей природе является величиной, базирующейся на статистических данных. Полная стоимость выполнения боевой задачи  $C_{бз}$  определяется как [21]:

$$C_{бз} = N_{пот} C_{1БПЛА} + C_{1ч} T_{п} (N_{БПЛА} - N_{пот}) + C_{бп} + C_{об},$$

где:  $N_{БПЛА}$  – количество БПЛА в наряде, выполняющем боевую задачу;  $N_{пот}$  – количество потерянных БПЛА;  $C_{1БПЛА}$  – стоимость одного БПЛА;  $C_{1ч}$  – стоимость одного часа полета БПЛА;  $T_{п}$  – продолжительность полёта БПЛА при выполнении боевой задачи;  $C_{бп}$  – стоимость израсходованных боеприпасов при выполнении боевой задачи;  $C_{об}$  – стоимость обеспечения выполнения боевой задачи.

Вероятность выполнения боевой задачи  $P_{вып\ бз}$  нарядом из  $N_{БПЛА}$  однотипных БПЛА, определяется вероятностью  $P_{вып\ бз\ 1}$  того, что хотя бы один БПЛА выполнит боевую задачу:

$$P_{вып\ бз} = 1 - (1 - P_{вып\ бз\ 1})^{N_{БЛА}}.$$

В последнем выражении вероятность выполнения боевой задачи одним БПЛА  $P_{вып\ бз\ 1}$  является сверткой частных вероятностей выполнения этим БПЛА отдельных этапов боевой задачи [59]:

$$P_{вып\ бз\ 1} = P_{выл} P_{преод} P_{нав\ ц} P_{возд\ ц},$$

где:  $P_{выл}$  – вероятность своевременного вылета БПЛА, характеризует эффективность функционирования наземной системы управления и технических средств инженерно-авиационного и аэродромно-технического обеспечения;  $P_{преод}$  – вероятность преодоления БПЛА зоны ПВО и зон РЭП, характеризует

маневренные свойства БПЛА, эффективность выбора маршрута полета, устойчивость БПЛА и его бортового оборудования к воздействию поражающих факторов средств ПВО и РЭП;  $P_{нав\ ц}$  – вероятность успешного наведения на цель, которая характеризует эффективность функционирования бортовых средств БПЛА, прицельно-навигационного комплекса и наземной системы управления;  $P_{возд\ ц}$  – вероятность успешного воздействия по цели: для разведывательных БПЛА – успешное вскрытие разведываемых параметров цели, для ударных БПЛА – успешное поражение цели.

Отметим, что вероятности в последнем выражении являются условными, и каждая следующая вероятность принимает свое некоторое значение, при условии, что вероятности предыдущих этапов уже равны единице.

Анализ выражения для  $C_{пр\ бз}$  показывает, что современные тенденции применения БПЛА идут по пути уменьшения их массогабаритных параметров, удешевления конструкции и повышения маневренности ( $C_{1БПЛА}\downarrow$ ,  $C_{1ч}\downarrow$ ,  $C_{бп}\downarrow$ ,  $C_{об}\downarrow$ ,  $P_{преод}\uparrow$ ), объединения их в группы ( $N_{БПЛА}\uparrow$ ), что приводит к тому, что даже при увеличении количества потерянных БПЛА ( $N_{пот}\uparrow$ ), они примерно на том же уровне выполняют свою боевую задачу ( $P_{вып\ бз} \approx const$ ,  $C_{пр\ бз} \approx const$ ).

Отметим, что вышеизложенный подход к оценке эффективности применения БПЛА не является единственным. Другая, альтернативная методика оценки эффективности применения БПЛА изложена в работе [60] и основана на учете таких факторов как живучесть БПЛА, возможности перераспределения функций в группе, особенностях решаемой задачи и т.д.

#### **1.4. Малые БПЛА как наиболее сложные объекты для противодействия**

Проведенный в работах [21, 44, 47-49] анализ показал, что наиболее сложными в отношении противодействия являются малые БПЛА – малогабаритные и малоскоростные. К дополнительным факторам, которые препятствуют эффективному противодействию таким БПЛА, относятся:

- использование высокоманевренных (например, «змейка») и «рванных» (с периодическим зависанием или резким снижением скорости) режимов полета;
- использование в конструкции БПЛА пластиковых и композиционных материалов, слабо отражающих электромагнитное излучение (ЭМИ);
- использование для управления БПЛА не выделенных КРУ на основе отдельных средств связи, а уже существующей связной инфраструктуры мобильных операторов связи и точек доступа Wi-Fi.

К малым БПЛА можно отнести (таблица 1.4):

- нано БПЛА – массой менее 0,25 кг, продолжительностью полета менее 1 ч, высотой полета до 300 м, радиусом действия до 1 км;
- микро БПЛА – массой до 5 кг, продолжительностью полета около 1 ч, высотой полета до 3 км, радиусом действия до 10 км;
- мини БПЛА – массой до 25 кг, продолжительностью полета менее 4 ч, высотой полета до 3 км, радиусом действия до 40 км.

Применение малых БПЛА прочно вошло в тактику действий как воинских подразделений, так и террористических группировок. По своему назначению малые БПЛА подразделяются на разведывательные и ударные (последние только одноразового применения) с массой полезной нагрузки до 20 кг.

Малые тактические БПЛА в воинских подразделениях решают следующие основные задачи [48, 57]:

- ведение воздушной разведки противника в реальном масштабе времени;
- слежение за наиболее важными объектами (мобильными пунктами управления, пусковыми установками ракетных формирований стратегического и оперативного предназначения и др.);
- «подсветки» целей для средств поражения ВТО;
- провоцирование расхода огневого ресурса и боеприпасов значимых средств поражения перед их атакой;
- заброска средств поражения;
- установка забрасываемых постановщиков помех (ЗПП);
- корректировка огня артиллерии;
- доставка экстренных грузов специального и медицинского назначения;
- ретрансляция данных между бойцами и группами тактических подразделений, при их совместных действиях в городских условиях или в местности со сложным рельефом;
- отвлечение внимания на демонстрационные полеты БПЛА и др.

Террористические группировки и лица, ведущие противозаконную деятельность, применяют малые БПЛА (рис. 1.2-1.5) для решения следующих задач [20, 46, 47]:

- доступа за периметр охраняемых объектов и ведение там наблюдения;
- точечное уничтожение отдельных важных лиц;
- заброска самодельных средств поражения;
- нанесение повреждений зданиям, памятникам культуры, объектам инфраструктуры и транспортным средствам;
- транспортировка запрещенных средств или их заброска на охраняемую территорию;
- препятствование воздушному движению в аэропортах;
- обмен сообщениями в условиях сохранения режима радиомолчания.

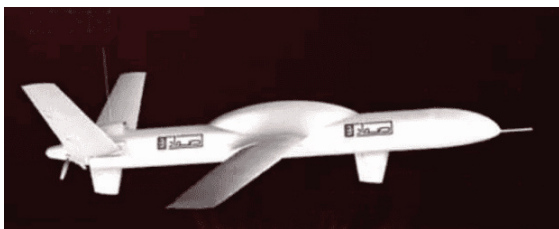


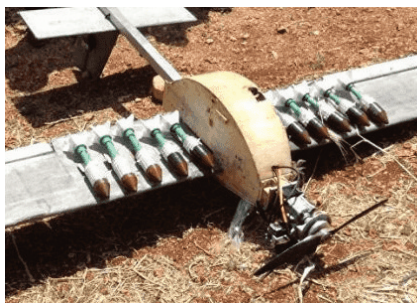
Рис. 1.2. БПЛА Qasif-K2, успешно атаковавший аэропорт г. Джизана (Саудавская Аравия) 8 июля 2020 г.



Рис. 1.3. Пример БПЛА Samad-3, успешно атаковавшего нефтеперерабатывающий завод в г. Абкейк (Саудавская Аравия) 14 сентября 2019 г.



а.



б.

Рис. 1.4. Примеры самодельных малых БПЛА самолетного типа, атаковавших российскую авиабазу в г. Хмеймим (Сирия) в 2019-2020 гг.



а. DJI M600



б. DJI Phantom 4

Рис. 1.5. Примеры малых БПЛА-квадрокоптеров, предположительно подобных тем, которые атаковали Президента Венесуэлы Н. Мадуро 4 августа 2018 г.

Образцы малоразмерных разведывательных БПЛА имеют взлетную массу от 2-3 кг (БПЛА «Пума», «Драгон Ай», «Скайлайт» и др.), до 15-30 кг («Интегратор», «Луна X-2000»). При этом полезная нагрузка этих БПЛА составляет от

0,2-0,4 до 2-3 кг, а радиус действия до 10-20 км. Эти БПЛА ведут оптико-электронную разведку (ОЭР) и находятся на вооружении штабных, мотопехотных (пехотных или танковых) батальонов, а также артиллерийских дивизионов механизированных (танковых, пехотных, воздушно-десантных или воздушно-штурмовых) бригад, дивизий и армейских корпусов. Они также применяются в составе армейской авиации и в силах специальных операций [48].

### 1.5. Краткая характеристика бортового оборудования БПЛА

В состав БПЛА входят следующие основные системы:

- планер (несущая конструкция);
- двигательная установка;
- система электроснабжения;
- система управления;
- навигационная система;
- телеметрическая система;
- система радиосвязи.

Взаимосвязь основных подсистем БПЛА представлено на рис. 1.6.

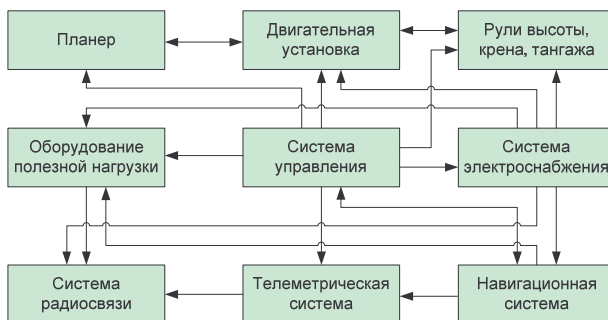
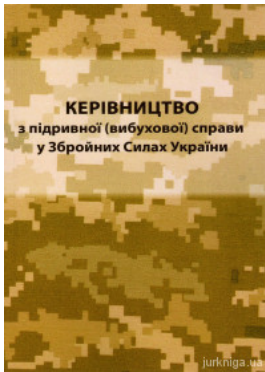


Рис. 1.6. Взаимосвязь основных подсистем БПЛА

В зависимости от перечня решаемых задач на борту БПЛА могут дополнительно устанавливаться следующие системы и устройства [48]:

- системы оптико-электронной, тепловизионной, радиолокационной, радио- и радиотехнической, радиационной, химической, бактериологической и других видов разведки с малогабаритным накопителем разведанных;
- средства постановки активных радиоэлектронных помех;
- устройства наведения и коррекции управляемого оружия («подсветки» целей);
- средства поражения, различных типов;
- средства управления и связи с наземным пунктом управления;
- ответчик системы госопознавания;

## Книги, які можуть вас зацікавити



Керівництво з підривної (вибухової) справи в ЗСУ



Оптические средства инженерной разведки. Книга врага вражеской мовою



Гібридологія: воєнні загрози та система захисту



Воєнна комп'ютерна інженерія: логіка та криптосистема



Протидія саморобним вибуховим пристроям та глосарій термінів



Основи робототехніки військового призначення

Перейти до галузі права  
**Військове право**



[Перейти на сайт →](#)