

Актуальные угрозы и перспективные специальные средства противодействия беспилотным воздушным судам

Current threats and special advanced means to counter unmanned aerial vehicles

А.А. Михайлов¹ ©, А.Д. Гладкова² © A.A. Mikhailov¹ ©, A.D. Gladkova² ©

^{1,2} Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский центр «Охрана» Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

¹ E-mail: vh48905@yandex.ru

² E-mail: gladkovaad@rosgvard.ru

Аннотация. В статье рассмотрены угрозы, исходящие от современных беспилотных воздушных судов, и перспективные специальные средства, противодействующие этим угрозам.

Abstract. The article addresses threats posed by modern unmanned aerial vehicles, and advanced special means to counter these threats.

Ключевые слова: комплекс специальных технических средств противодействия, беспилотные воздушные суда
Keywords: a set of special technical countermeasures, unmanned aerial vehicles

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Михайлов А.А., Гладкова А.Д. Актуальные угрозы и перспективные специальные средства противодействия беспилотным воздушным судам // Академический вестник войск национальной гвардии Российской Федерации. – 2025. – № 3. – С. 25–34.

В настоящее время наблюдается постоянный рост угроз от беспилотных воздушных судов (далее – БВС). Данная тенденция имеет под собой в первую очередь техническую и экономическую составляющую.

Актуальные угрозы, исходящие от БВС

Экономическая составляющая:

– Стоимость средств поражения во многих случаях превышает стоимость БВС. Так стоимость FPV-дрона (это БВС, оснащенный камерой и системой для передачи видеосигнала в реальном времени, управляемый оператором в ручном режиме) находится в диапазоне 30–50 тыс. руб. (рис. 1 а), а стоимость переносного зенитного ракетного комплекса (далее – ПЗРК) типа «Мистраль 3» (рис. 1 б) – составляет примерно \$500 тыс. (50 млн руб.), т.е. разница в цене между ними составляет три порядка! (Разумеется цены приводятся на момент написания статьи и достаточно условны, поскольку они зависят от многих факторов. Однако общие тенденции они отражают верно) [7–27].

– Ущерб, нанесенный БВС военной



Рис. 1 б. ПЗРК-«Мистраль 3» (справа)

технике и экономике, многократно превышает стоимость использованных БВС.

– Стоимость инженерной защиты охраняемого объекта также значительно превышает стоимость атакующего объекта (рис. 2).

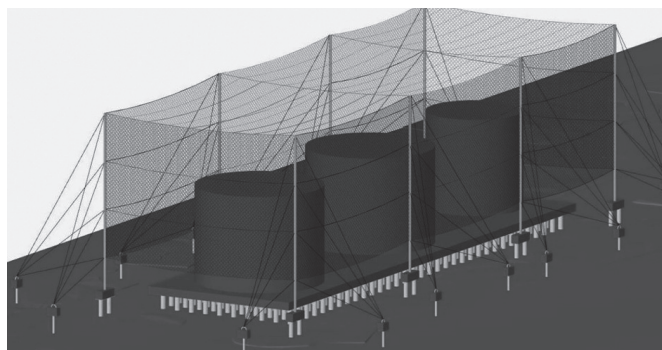


Рис. 2. Проект по защите сетчатыми ограждениями трех резервуаров с ГСМ



Рис. 1 а. Внешний вид FPV-дрона (слева)

Тактика применения БВС делает их очень опасными. В настоящее время наблюдается следующая особенность использования БВС для атаки сильно защищенных объектов и для вскрытия их системы защиты.

По этой тактике первоначально к охраняемому объекту приближается БВС-разведчик, который осуществляет передачу видеоизображения охраняемого объекта в видимом/тепловизионном изображении. При включении радиолокационной станции (далее – РЛС) и генераторов радиолокационного противодействия (далее – РЭП), частоты излучения транслируются БВС на базу для обработки. Таким образом, при последующем групповом налете частоты управления БВС будут отличаться от частот РЭП. Если генераторы РЭП не имеют при этом возможности произвести оперативное изменение частот подавления по командам объектовой радиотехнической разведки (далее – РТР), последствия такого налета будут катастрофичны.

Данный факт еще раз подчеркивает необходимость иметь в составе РЭП несколько генераторов с возможностью оперативной перестройки частоты, поскольку РЭП, как минимум, должен перекрывать диапазон частот от 150 МГц до 6 ГГц (а перекрыть такой диапазон одним генератором невозможно) и при этом необходимо учесть, что налет одновременно может осуществляться с применением нескольких БВС, работающих на разных частотах.

Техническая составляющая роста угроз от БВС.

Данные угрозы обусловлены появлением искусственного интеллекта (далее – ИИ), систем машинного зрения и достижениями микроэлектроники в различных областях приборостроения. Коротко перечислим эти факторы:

1. Нейроморфные процессоры – чипы, построенные по принципу работы человеческого мозга.

Биологический нейрон за счет протекания химических процессов не может обрабатывать более 10 событий за секунду, однако в классе распознавания образов возможности извлечения нужной из массы поступающей информации и построения логических связей человеческий мозг значительно превосходит нейросети, построенные на базе традиционных систем ИИ.

Это достигается за счет сложных внутренних связей между нейронами, параллельной обработки информации и резкого возбуждения отдельных частей головного мозга при поступлении значимой для человека информации (при этом автоматически отсекается «информационный мусор»). Аналогичные подходы при обработке информации реализованы и в нейроморфных процессорах.

Достоинством нейроморфных процессоров являются: невысокая стоимость, малое энергопотребление, высокие вычислительные возможности для специализированных приложений, простота

масштабируемости нейроморфных процессоров. Способствует ускорению вычислений и тот факт, что нейроморфные процессоры осуществляют только целочисленные вычисления.

Примеры существующих нейроморфных процессоров: «TrueNorth», «Neurogrid», «BrainScaleS», «SpiNNaker», «Intel Loihi», «Akida», «Tianjic», «DynaSEL», «XYLO», отечественный «Алтай».

Разработчики Делфтского технологического университета (Голландия) установили нейроморфный процессор на БВС, который позволил ему осуществлять автономный полет, при этом процессор обрабатывает информацию в 64 раза быстрее и потребляет энергии в 3 раза меньше, чем традиционные процессоры.

Аналогичными разработками занимается также Агентство перспективных оборонных проектов («DARPA») Министерства обороны США. Нейроморфный процессор содержит 576 нейронов и обрабатывает информацию об обстановке с оптических, ультразвуковых и инфракрасных детекторов, позволяя в режиме реального времени запоминать и распознавать места, в которых он был (т.е. он может осуществлять полет, корректируя свою траекторию на основе анализа подстилающей поверхности) (рис. 3 а).

Обратите внимание на размер БВС, т.е. развитие микроэлектроники позволяет реализовывать на микро-БВС функции, которые раньше были доступны только крылатым ракетам стратегического назначения.

2. Оснащение БВС автопилотами на базе микрогирископов и микроакселерометров (рис. 3 б).

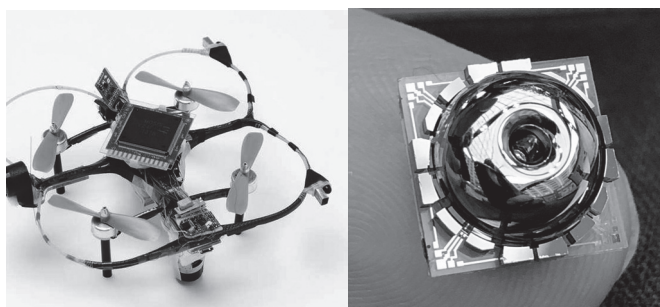


Рис. 3: (а) БВС с нейропроцессором от («DARPA») Министерства обороны США, (б) внешний вид микрогирископа, он лежит на пальце человека

Основные технические характеристики микрогирископа: случайный уход угла 0.00016 град/ (ARW), нестабильность смещения 0.001 град/ч. Оснащение БВС микрогирископами и микроакселерометрами позволяет им осуществлять полет при полном подавлении сигналов глобальной навигационной системы (далее – ГНС) («GPS», «Глонас» и т.д.).

Оснащение БВС датчиками обнаружения препятствий на базе: телекамер, ИК/СВЧ/ультразвуковых датчиков.

Такие БВС позволяют самостоятельно осуществлять облет препятствий и даже двигаться по редколесью. Причем данные функции реализуются на базе гражданских широко распространенных БВС (рис. 4 а,б). БВС самолетного типа малого класса осуществляет пролет на низкой высоте по редколесью.

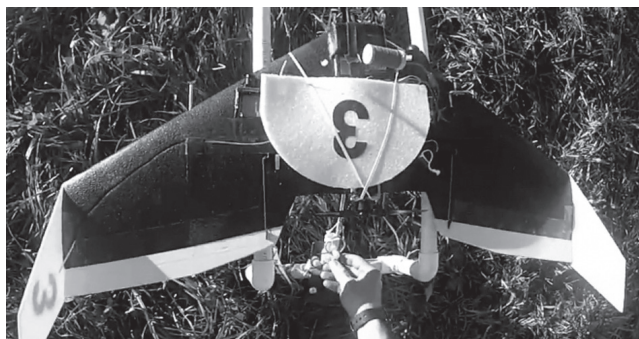


Рис. 4 а. Внешний вид БВС с функцией облета препятствий

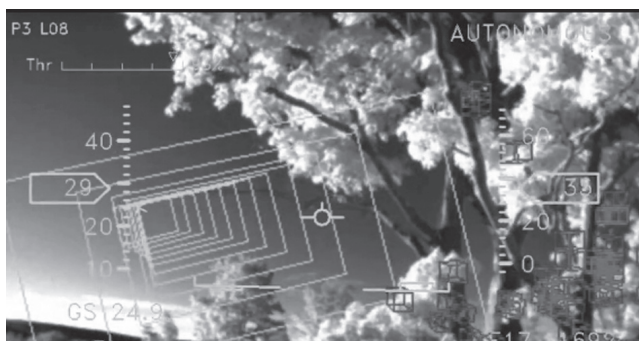


Рис. 4 б. Вид с телекамеры БВС при полете по мелколесью

Данная функция позволяет осуществлять атаку объекта с неожиданных направлений, маскируя свой полет естественными препятствиями. В таком режиме полета на низкой высоте данный БВС крайне сложно обнаружить как с помощью РЛС, так и оптоэлектронными средствами наблюдения.

4. Захват цели системой самонаведения или «запирание» системы наведения на цель по целеуказанию оператора. Обычно при этом система видеонаблюдения самостоятельно находит предполагаемые цели.

После подтверждения оператором цели, система наведения «запирается» на цель и далее БВС атакует самостоятельно.

5. Групповое использование БВС при атаке цели.

Под групповым применением подразумевается использование несколько БВС для достижения определенных задач, например, один БВС используется для разведки, он может не входить в зону безопасности объекта и, используя длиннофокусную оптику, осуществлять контроль обстановки на объекте, другой БВС может выступать в роли ретранслятора для остальных БВС группы, остав-

шиеся БВС могут осуществлять атаку, используя метод «прокола» периметра защиты с одного направления, осуществляя последовательные атаки с одного направления, или, наоборот, используя одновременный налет на объект с различных направлений. Тактика действия при групповом налете зависит от особенностей охраняемого объекта и используемых средств противодействия БВС.

6. Роевое использование БВС при атаке цели.

Под роем подразумевается группа БВС, осуществляющих полет под управлением ведущего БВС (остальные БВС выступают в роли ведомых) (рис. 5). При поражении ведущего БВС роль лидера выполняет следующий БВС из группы. Данная тактика используется для перегрузки комплексов ПВО при отражении налета, редкое количество комплексов ПВО имеют в своем арсенале более 8–16 ракет для немедленного применения их по атакующим БВС. Для координации своих действий такие БВС должны осуществлять непрерывный обмен командами между собой, что делает их в определенной мере уязвимыми к воздействию РЭП.



Рис. 5. Роевое применение БВС при атаке объекта

7. Использование программируемой перестройки частоты (далее – ППРЧ) и шумоподобный сигнал (далее – ШПС) при обмене информацией с БВС.

ППРЧ предполагает синхронный переход с одной рабочей частоты на другую, не окончив передачи информации. ППРЧ характеризуется диапазоном перестройки и скоростью перехода с частоты на частоту.

Принцип создания ШПС заключается в увеличении битовой скорости передачи, при этом чаще всего используется прямое расширение спектра, когда одному информационному биту подставляется кодовая последовательность определенной длины. Соответственно, при увеличении битовой скорости спектр сигнала пропорционально увеличивается, а амплитуда гармонических сигналов спектра уменьшается, что обеспечивает скрыт-

ность передачи сигнала. Данную зависимость описывает база сигнала (В). Чем больше (В), тем выше помехозащищенность системы передачи данных.

Примечание. База сигнала (В) – произведение ширины спектра сигнала на его длительность (1) [1]:

$$B = F \times T \quad (1),$$

где F – ширина спектра сигнала, T – длительность сигнала.

Для ШПС (В) = длине кодовой последовательности, подставляемой в соответствие одному информационному биту.

Проанализируем как увеличивается дальность передачи информации в свободном пространстве (приемные и передающие антенны находятся в прямой видимости) от значения (В) на примере отечественного ШПС модема TRX-8D производства отечественной компании «INWAVE» (рис. 6 а). Здесь показана нормированная зависимость дальности связи от (В) (по данным компании «INWAVE»).

На рисунке 6 б видно, что эти линии имеют общий закон изменения.

8. Применение для связи с БВС спутниковых каналов связи типа «Старлинк» и адаптивных антенн на базе фазированных решеток.

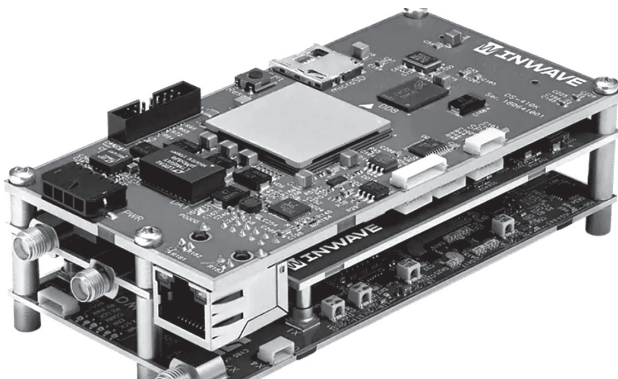


Рис. 6 а. Внешний вид ШПС модема от «INWAVE» TRX-8D

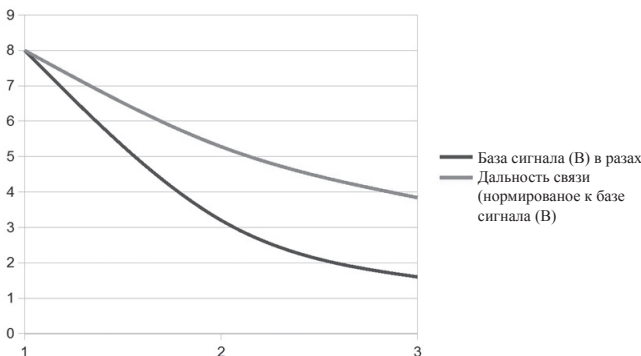


Рис. 6 б. График дальности радиосвязи от базы сигнала (В)

Сложность подавления спутниковых каналов связи заключается в использовании узконаправленных антенн связи, так как ширина диаграммы направленности «Старлинк» составляет 2,5°, а частоты связи между абонентским терминалом и спутником связи лежат в диапазоне 10,7–20,2 ГГц (рис. 7) [2].

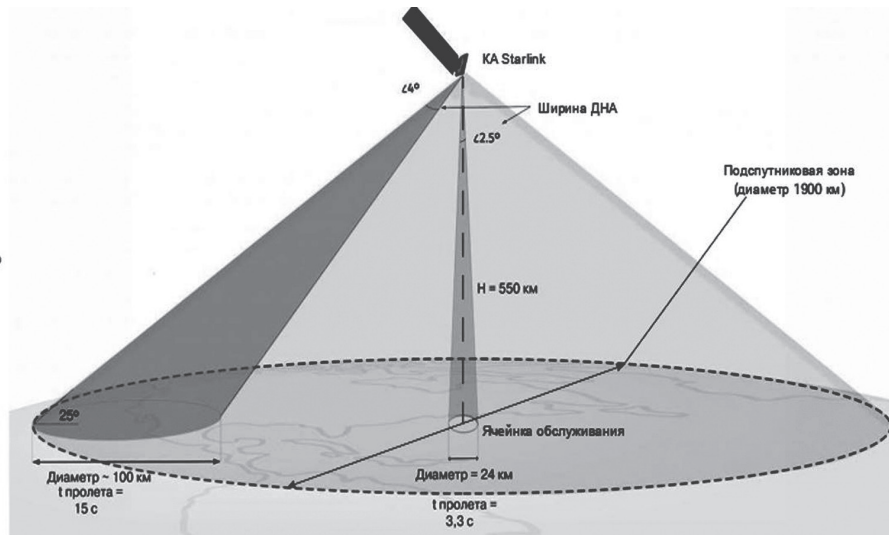


Рис. 7. Система связи «Старлинк»

Таким образом, подавление спутникового канала связи типа «Старлинк» комплексом РЭП представляется довольно сложной задачей. Однако для вхождения в режим синхронного обмена между терминалом «Старлинк» и спутником требуется иметь систему единого времени, которую получают со спутников ГНС (типа «GPS» или «Глонасс»). Поэтому подавление сигналов ГНС на большой территории, по которой движется БВС, с большой долей вероятности приведет к срыву обмена и в системе «Старлинк». Необходимо учесть, что подавление сигналов ГНС для любого комплекса РЭП не представляет больших проблем.

9. Использование БВС специальных меток и радиомаяков для определения своего местоположения в пространстве.

В качестве меток для БВС могут использоваться радиометки, ИК-излучатели, пассивные оптические метки в видимом, ИК и УФ диапазонах, установленные диверсионно-разведывательной группой и агентурой противника. Использование меток, считываемых малогабаритными радиопеленгаторами и камерами машинного зрения, позволяет осуществлять автономный полет (а чаще всего и наведение на цель) БВС при полном подавлении РЭП систем ГНС (рис. 8).

10. Использование БВС вышек сотовой связи и мобильных генераторов для определения своего местоположения в пространстве.

Принцип определения местоположения в пространстве по времени распространения сигнала показан на рисунке 9 а. Зная время распространения



Рис. 8. Радиомаяки

сигнала от двух вышек, мы определяем свое положение в двухмерном пространстве, получая сигнал от третьей вышки, мы определяем свое положение в трехмерном пространстве (рис. 9б). Поэтому при массовой атаке БВС необходимо прекращать работу станций сотовой связи или генерировать ложный сигнал, искажающий местоположение станции.

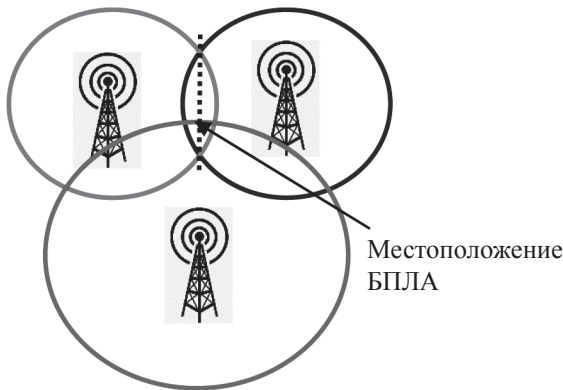


Рис. 9. Определение местоположения БВС по времени распространения радиосигнала от вышки сотовой связи, метод триангуляции, справа – геометрическая интерпретация формулы прямой радиовидимости

Иногда в качестве радиомаяков выступают мобильные генераторы сигналов ГНС, находящиеся на территории противника. Подавить такие генераторы комплексом РЭП гораздо сложнее, чем традиционные сигналы ГНС (они находятся ближе к БВС, чем спутники ГНС, находящиеся на высоте свыше 20 тыс. км, при этом они имеют мощность генераторов сигнала до единицы кВт, против 40 Вт спутника ГНС).

Наилучшим способом подавления таких генераторов является метод огневого поражения (из-за большой мощности излучения они достаточно хорошо пеленгуются средствами РТР).

Необходимую глубину подавления как вышек сотовой связи, так и мобильных генераторов противника определим по формуле прямой радиовидимости, которая учитывает кривизну Земли (2) (рис. 9 б):

$$R_0 = 3,57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (2)$$

где h_1 – высота подвеса передающей антенны в метрах;

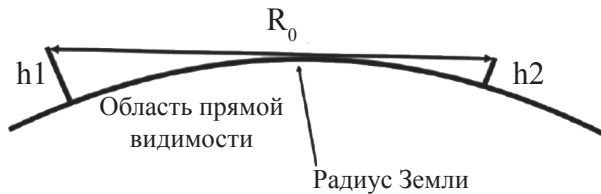
h_2 – высота подвеса приемной антенны в метрах;
 3,57 – коэффициент пропорциональности;
 R_0 – длина трассы в километрах.

Зададимся максимальными цифрами по высотам выноса антенн $h_1 = 35$ м (высота выноса антенны генератора), $h_2 = 5000$ м (максимальная высота полета БВС с боевой нагрузкой), тогда $R_0 \approx 273,6$ км.

Таким образом, дистанция поражения таких вышек доступна для БВС типа «Герань».

Перспективные специальные средства противодействия беспилотным воздушным судам

Основные средства противодействия с балльной оценкой приведены в таблице 1. Однако в зависимости от расстановки приоритетов балльная оценка может меняться. С точки зрения авторов,



$$R_0 = 3,57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

наивысший приоритет при оценке средств противодействия следует отдать вероятности отражения атаки с учетом современных вызовов, исходящих от БВС. Данные приоритеты отражены в таблице 2 и на рисунке 10 (данные оценки основаны на мнении авторов статьи).

Размер статьи не позволяет произвести детальный анализ особенностей каждого средства противодействия, но на некоторых аспектах мы остановимся.

Традиционные комплексы ПВО никогда не оптимизировались под противодействие БВС, поэтому они не могут эффективно поражать БВС с ЭПР порядка 0,01 м².

Комплексы РЭП не могут противодействовать БВС, осуществляющим полет в автономном режиме, используя машинное зрение или ориентируясь на метки, расположенные на местности, используя для управления оптоволокно.

Примечание. Эффективность РЭП можно значительно повысить (на 10–20 дБ), используя вместо

Таблица 1

Параметры средств противодействия

Типы средств противодействия	Параметры средств противодействия (по 10-балльной шкале, чем выше оценка, тем совершенней технология)					
	Стоимость из расчета на один уничтоженный БВС	Перспективы дальнейшего развития технологии	Стоимость реализации	Возможность подавления групповой или роевой цели	Степень проработки технического решения	Вероятность успешности отражения атаки
ПВО	1	3	1	3	8	3
РЭП	8	2	5	5	3	2
Лазерное излучение	3	3	1	3	1	2
Сети	8	2	8	3	8	3
Дымы	8	1	8	8	10	3
Засветка лазерным излучением	8	3	8	3	10	5
Микроволновое излучение	8	8	8	10	5	9
Электромагнитный импульс взрывного генератора	5	8	8	1	3	5
Дрон-истребитель	7	8	5	5	5	8
Дистанционно-управляемый модуль (далее – ДУМ) с автоматизированным наведением	8	8	7	3	5	5

Таблица 2

Вероятность успешности отражения атаки и интегральная оценка параметров средств противодействия

Типы средств противодействия	Вероятность успешности отражения атаки	Интегральная оценка
ПВО	3	19
РЭП	2	25
Лазерное излучение	2	13
Сети	3	32
Дымы	3	38
Засветка лазерным излучением	5	37
Микроволновое излучение	9	48
Электромагнитный импульс взрывного генератора	5	30
Дрон-истребитель	8	38
ДУМ с автоматизированным наведением	5	36

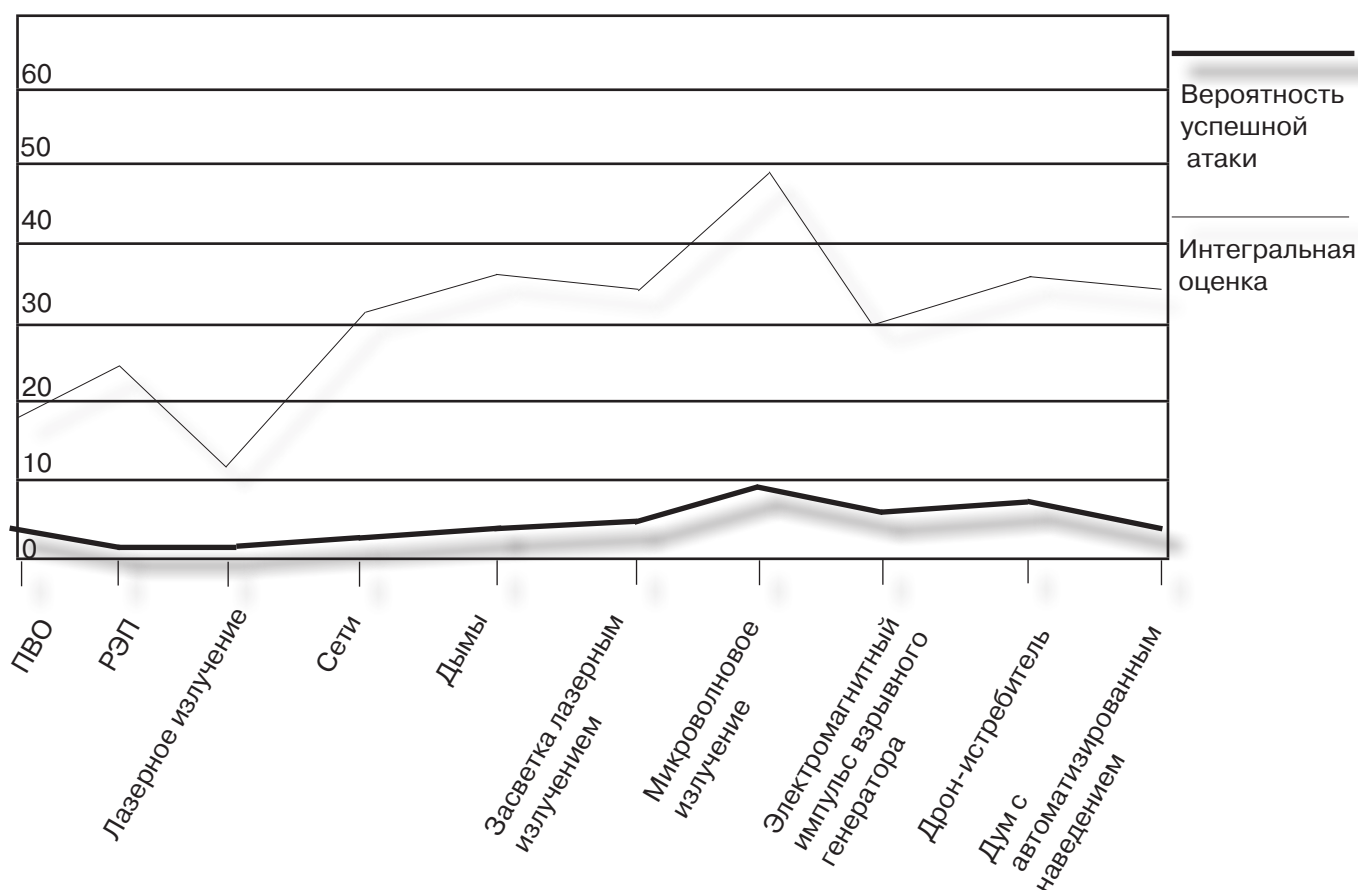


Рис. 10. Вероятность успешности отражения атаки и интегральная оценка параметров средств противодействия

шумовой или гармонической помехи имитирующую помеху (помеха, совпадающая по скорости передачи и структуре кода с протоколами обмена БВС). Однако даже такие помехи не оказывают воздействие на перечисленные выше БВС [3].

Лазерные системы поражения БВС не вышли из стадии опытных образцов (причем в данной стадии они находятся уже более 10 лет). Они характеризуются низкой эффективностью противодействия в облачности, тумане, неэффективны против интенсивно маневрирующих целей («...для поражения БВС требуется удержание на нем ла-

зерного луча мощностью 2 кВт в течение 10–15 с, а луча 20–50 кВт – 0,5–5 с. Для БВС, летящего прямолинейно с постоянной скоростью, $R_{уд} \approx 0,9$. Для БПЛА, маневрирующего с перегрузкой $g \geq 1,7$, вероятность удержания луча составляет $R_{уд} < 0,3$ » [4]. Габариты лазерных установок не позволяют их размещать на легких мобильных средствах (рис. 11). Существуют проблемы у систем лазерного поражения и со скоростью наведения и захвата цели (поскольку для перенацеливания луча необходимо осуществлять механическое перемещение излучателя).



Рис. 11. Лазерный комплекс: «Silent Hunter» Китай (слева), аналогичный установленный на военном корабле ВМС США (справа)



Рис. 12. СВЧ-установки для поражения БВС: Китай (слева), США (справа)

Поэтому перечисленные выше системы противодействия имеют довольно низкие балльные оценки.

Видится довольно перспективным направлением развитие следующих средств противодействия:

– Системы с микроволновым излучением. Стоимость 1 кВт излучаемой мощности находится в диапазоне 5 тыс. руб., они не требуют точной фокусировки на БВС, использование электронного управления на базе фазированных решеток позволяет осуществлять отражение групповой и роевой атаки [5]. Данные установки в последнее время активно развиваются в КНР и США (рис. 12).

Необходимо учесть, что прежде чем противодействовать БВС, их необходимо обнаружить. Поэтому комплекс противодействия должен включать в себя ТВ-камеры повышенной чувствительности с высоким разрешением, один или несколько тепловизоров, РЛС. При необходимости, для устойчивой работы ТВ-камер надо применять ИК или УФ подсветку цели (практически все пластики при УФ-подсветке имеют эффект фотолюминесценции, что позволяет использовать данный эффект для отделения БВС от птиц).

Для стрелкового комплекса необходимо еще иметь лазерный дальномер с баллистическим вы-

числителем. Все компоненты комплекса должны быть интегрированы в общее автоматизированное рабочее место и действовать как единое целое.

Говоря о РЛС, необходимо отметить, что с учетом малого ЭПР БВС нужно внедрять специализированные РЛС, например, использующие эффект резонансного отклика при облучении, что позволяет на 20–30 дБ увеличить принимаемый сигнал [6]. Другим способом повышения эффективности БВС с помощью РЛС является метод использования двухчастотных РЛС. РЛС обнаружения работает в сантиметровом диапазоне длин волн, а РЛС сопровождения – в миллиметровом диапазоне волн. При этом при испытаниях необходимо тщательно проверять обнаружительную способность таких РЛС при полете БВС на предельно малых высотах.

Рассматривая ДУМ, необходимо реально оценивать вероятность поражения БВС, отдавая предпочтение не скорострельности (БВС характеризуются относительно медленной скоростью перемещения), а длине непрерывной очереди, которую может обеспечить ДУМ.

Рассмотрим спаренный пулемет Калашникова танковый (далее – ПКТ) и шесть автоматов Калашникова (патрон 5,45×39 мм) (далее – АК-74) (см. рис. 13). Создается впечатление, что эффек-



Рис. 13. Установки для поражения БВС (слева – ПКТ, справа – АК-74)

тивность поражения из установки с АК-74 выше, чем из спаренных ПКТ, но это не так.

Длина непрерывной очереди из ПКТ – 500 выстрелов, из двух ПКТ – 1000 выстрелов.

Длина непрерывной очереди из АК-74 – 30 выстрелов, из шести АК-74 – 180 выстрелов.

Расчет проведем по формуле Бернулли, которая гласит: Если вероятность P наступления некоторого события в каждом испытании постоянна, то вероятность $P_n^k = C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k}$, где $q = 1 - p$.

Зададим вероятность попадания в цель с одного выстрела $P_{\text{попадания}} = 0,001$.

Примечание. Данная вероятность взята из приблизительных соображений, только для иллюстрации приведенных выше высказываний, она должна определяться на основе натурных испытаний.

Вероятность того, что в серии из 180 выстрелов из установки с АК-74 будет ноль попаданий, равна:

$$P = P_{180}^0 = C_{180}^0 \times 0,001^0 \times 0,999^{180} = 0,8352 \approx 0,8,$$

$$\text{где } C_{180}^0 = \frac{180!}{0!(180-0)!} = \frac{1}{1} = 1,$$

т.е. из десяти атак мы сможем только в двух случаях отразить налет.

Вероятность того, что в серии из 1000 выстрелов из установки с ПКТ будет ноль попаданий, равна:

$$P = P_{1000}^0 = C_{1000}^0 \times 0,001^0 \times 0,999^{1000} = 0,3677 \approx 0,4,$$

$$\text{где } C_{1000}^0 = \frac{1000!}{0!(1000-0)!} = \frac{1}{1} = 1,$$

т.е. из десяти атак мы сможем в шести случаях отразить налет.

Таким образом, эффективность установки с ПКТ в 3 раза выше, чем установки с АК-74. Отличаются данные установки и по дистанции эффективного поражения. Для ПКТ такая дистанция доходит до 500 м, а для АК-74 – не более 300 м.

Вероятность поражения малых БВС из серии автомат Калашникова модернизированный (патрон 7,62×39 мм) (далее – АКМ) можно увеличить, используя дробовые патроны (рис. 14), но при этом надо учитывать, что дистанция эффективного поражения БВС не превысит 100 м (из-за

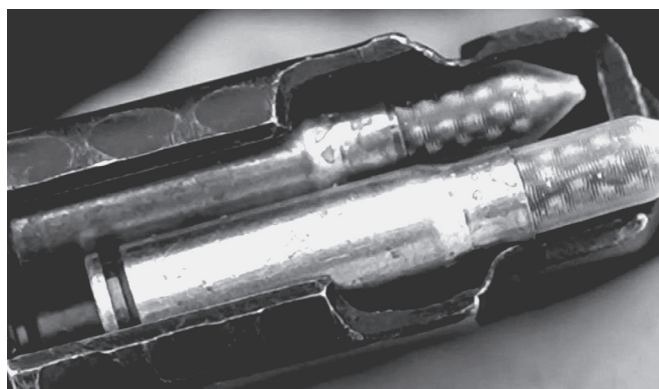


Рис. 14. Дробовые патроны к АКМ (7,62×39), показанные на канале «Звезда» в передаче «Служу России»

быстрого торможения дроби в воздухе и эффекта центробежного разбрасывания дроби после прохождения по нарезному стволу).

Исходя из выбранных приоритетов, наибольшую перспективу имеют системы противодействия БВС с микроволновым излучением, дроны-перехватчики на базе автоматизированных беспилотных авиационных систем (БАС) и ДУМ с функцией автоматизированного наведения и поражения БВС.

Несмотря на снижение эффективности РЭП против современных БВС, подавление ГНС и стандартных каналов связи БВС надо осуществлять всегда, иначе атаки на объект будут производиться простейшими БВС.

При создании ДУМ приоритет надо отдавать не скорострельности, а возможности отстрелять как можно больше патронов, не прекращая огонь.

Все имеющиеся средства противодействия в системе обороны объекта должны быть увязаны между собой и управляться из единого АРМ.

Для обнаружения БВС необходимо использовать все возможные диапазоны электромагнитного спектра: оптический, инфракрасный, радиоволновой.

Для обнаружения БВС с ЭПР порядка 0,01 м² необходимо использовать специализированные РЛС, уделяя при этом особое внимание обнаружению БВС на малых высотах в условиях переотражения сигнала от подстилающей поверхности и высокостоящих зданий и предметов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Советское радио, 1978. – 304 с.
2. Пехтерев С.В., Макаренко С.И., Ковальский А.А. Описательная модель системы спутниковой связи Starlink // Системы управления связи и безопасности. – 2022. – № 4. – С. 190–255.
3. Макаренко С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Ч. 3. Радиоэлектронное подавление систем навигации и радиосвязи // Системы управления связи и безопасности. – 2020. – №2. – С. 119.
4. Макаренко С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Ч. 4. Функциональное поражение сверхвысокочастотным и лазерным излучениями // Системы управления связи и безопасности. – 2020. – № 3. – С. 136–137.
5. Михайлов А.А., Талышев Н.В. Перспективы развития средств противодействия БВС для обеспечения охраны протяженных объектов // В сборнике материалов Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 150-летию конструктора-оружейника В.Г. Федорова (14–15 мая 2024 г.). – Ковров: ФГБОУ ВО «КГТА имени В.А. Дегтярева», 2024. – С. 350–359.
6. Михайлов А.А., Тарасова Ю.В. Особенности обнаружения беспилотных воздушных судов с помощью радиолокационных станций // Системы безопасности. – 2024 (июнь–июль). – № 3. – С. 90–93 (Изд-во «Grotek», e-mail:www.secuteck.ru).
7. URL: <https://fnsmart.ru/vapor-d5-analog-tbsna-norx/> (дата обращения: 31.01.2025).
8. URL: <https://mf.b37mrtl.ru/russian/images/2022.04/article/625fa79b02e8bd71e47aef15.jpg> (дата обращения: 31.01.2025).
9. URL:https://img.vz.ru/upimg/soc/soc_1220813.jpg (дата обращения: 31.01.2025).
10. URL: https://cdn-storage-media.tass.ru/resize/976x648/tass_media/2022/03/07/b/16466775_81713379_b_QIA3t39.jpg (дата обращения: 31.01.2025).
11. URL: https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/271828/pub_67430a5cd3e65f41b355cbb0_67430d2706e4e66adc27d3a1/scale_1200 (дата обращения: 31.01.2025).
12. URL: <https://dzen.ru/a/ZHddMm3nOQONoq5B> (дата обращения: 31.01.2025).
13. URL: <https://www.ferra.ru/news/techlife/uchenye-vdokhnovilis-mozgom-zhivotnykh-i-sozdali-bespilotniki-16-05-2024.htm> (дата обращения: 31.01.2025).
14. URL: <https://www.techinsider.ru/weapon/50565-pentagon-isytyvaet-bespilotnik-s-iskusstvennym-intellektom/> (дата обращения: 31.01.2025).
15. URL: <https://www.rlocman.ru/news/new.html?di=615657&ysclid=m6gan351i1320997393> (дата обращения: 31.01.2025).
16. URL: <https://ya.ru/video/preview/15290344631376816070> (дата обращения: 31.01.2025).
17. URL: https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/271828/pub_6569ab87937c8f04d506877b_6569bd103c08a59f14f9984/scale_1200 (дата обращения: 31.01.2025).
18. URL: <https://imageio.forbes.com/specials-images/imageserve/651dc59811edbdf6f9bff3fd/0x0.jpg?format=jpg&height=600&width=1200∓fit=bounds> (дата обращения: 31.01.2025).
19. URL: <https://inwave.ru/products/oborudovanie-dlya-svyazi/bshpd/> (дата обращения: 31.01.2025).
20. URL: <chrome-extension://efaidnbmninnbpcjpcgclclefindmkaj/https://sccs.intelgr.com/archive/2022-04/07-Pehtere.pdf?ysclid=m6hkwkpfch699235233> (дата обращения: 31.01.2025).
21. URL: https://sun9-8.userapi.com/impf/P0ThkFQOHnJTHE8N7L8CO_ytTD6q-eoJjBjTOQ/PvxLY5iSSqg.jpg?size=604x538&quality=95&sign=ed08515b9cecbeab1e4b376612c5de63&type=album (дата обращения: 31.01.2025).
22. URL: <https://avia.pro/news/wargonzo-ukrainskie-voennye-ispolzuyut-infrakrasnye-mayaki-dlya-navedeniya-raket-rszo-himars> (дата обращения: 31.01.2025).
23. URL: https://vk.com/wall29932253_165130?lang=pt&z=photo-29932253_457266257%2Fwall-29932253_165184 (дата обращения: 31.01.2025).
24. URL: https://avatars.mds.yandex.net/i?id=987b4150aec2e112fb46dca4a49c99cd_1-5337260-images-thumbs&n=13 (дата обращения: 31.01.2025).
25. URL: <https://avia.pro/news/kitay-pokazal-unikalnyu-svch-pushku-dlya-borby-s-dronami-ikrylatymi-raketami?ysclid=m6kk8xcyp1780673956> (дата обращения: 31.01.2025).
26. URL: <https://topwar.ru/162882-proekt-raytheon-phaser-fantastika-v-opytnoj-jekspluatacii.html> (дата обращения: 31.01.2025).
27. URL: <https://t.me/s/milinfolive> (дата обращения: 31.01.2025).

Статья проверена программой Антиплагиат. Оригинальность — 98 %.

Статья поступила в редакцию 03.02.2025; одобрена после рецензирования 12.03.2025; принята к публикации 31.07.2025.