

Вопросы безопасности

Правильная ссылка на статью:

Николаев Н.В., Ильин В.В., Некрасов М.И. Актуальные вопросы противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам // Вопросы безопасности. 2024. № 1. DOI: 10.25136/2409-7543.2024.1.68860 EDN: TNFGJG URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=68860

Актуальные вопросы противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам

Николаев Николай Владимирович

кандидат экономических наук

Сотрудник, Академия ФСО России

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ nnv85Nikolas@list.ru



Ильин Владимир Викторович

кандидат технических наук

Сотрудник, Академия ФСО России

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ w.ilin82@yandex.ru



Некрасов Максим Игоревич

кандидат технических наук

Сотрудник, Академия ФСО России

302015, Россия, Орловская область, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35

✉ nekr-maks@yandex.ru



[Статья из рубрики "Технологии и методология в системах безопасности"](#)

DOI:

10.25136/2409-7543.2024.1.68860

EDN:

TNFGJG

Дата направления статьи в редакцию:

01-11-2023

Аннотация: Высокий уровень развития беспилотной авиации предполагает

Аннотация. Высокий уровень развития беспилотной авиации предопределил возможность ее использования для решения широкого перечня задач. При этом следует констатировать, что достижения в данной сфере не всегда используются в мирных целях. Результаты анализа практики применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в современных военных конфликтах и сведений о террористических актах с их использованием позволяют сделать вывод, что наиболее сложными целями, устойчивыми к различным методам воздействия, являются современные автономные БПЛА и FPV-дроны с взрывными устройствами. Поэтому актуальным направлением исследований представляется поиск эффективных путей противодействия им. Целью работы является формирование направлений эффективного противодействия современным автономным БПЛА и FPV-дронам средствами электромагнитного, лазерного и механического воздействия. В работе применяются методы системного анализа. В статье отмечен возрастающий уровень угроз, связанных с массовым применением автономных БПЛА и FPV-дронов, представлены результаты «ревизии» и критического анализа основных методов противодействия современным БПЛА, отражающие их характеристику, достоинства и недостатки. На основе полученных результатов проведен сравнительный анализ методов противодействия автономным БПЛА и FPV-дронам. Сделан вывод, что наиболее действенными из них являются методы электромагнитного, лазерного и механического воздействия. Представлены требуемые параметры эффективного применения указанных видов воздействия на современные автономные БПЛА и FPV-дроны. Результаты исследований могут быть использованы в качестве исходных данных для создания новых и совершенствования существующих средств противодействия БПЛА в составе систем физической защиты (СФЗ). Научная новизна работы заключается в развитии научно-методического аппарата обоснования СФЗ объектов в части учета особенностей функционирования и уязвимостей современных автономных БПЛА и FPV-дронов, а также определения путей совершенствования систем противодействия им на основе применения средств электромагнитного, лазерного и механического воздействия.

Ключевые слова:

Угрозы безопасности, система физической защиты, беспилотный летательный аппарат, БПЛА, автономные БПЛА, FPV-дроны, методы противодействия БПЛА, электромагнитное воздействие, лазерное воздействие, механическое воздействие

Введение

В настоящее время развитию систем физической защиты (СФЗ) важных объектов уделяется значительное внимание [1–3]. Это обусловлено в том числе появлением новых средств реализации угроз безопасности – современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с взрывными устройствами. Так, автономные БПЛА, осуществляющие полет по загруженной программе, не излучают радиосигналы и, как следствие, не обнаруживаются специализированными средствами радиотехнической разведки из состава объектов СФЗ. В свою очередь, БПЛА, управляемые пилотами по видео с курсовых камер в режиме «от первого лица» (далее – FPV-дроны), характеризуются малыми размерами, высокой скоростью и маневренностью, наличием оригинальных параметров каналов управления и передачи данных. Указанные летательные аппараты являются «неудобными» целями с высоким потенциалом к преодолению существующих систем безопасности. При этом автономные БПЛА и FPV-дроны обладают приемлемыми техническими параметрами (скоростью и продолжительностью полета,

грузоподъемностью) для применения в противоправных целях, например, для совершения террористических и диверсионных актов.

Для нейтрализации указанных угроз в настоящее время проводятся исследования, направленные на поиск эффективных методов противодействия таким средствам [\[1, 4\]](#). Выбор метода противодействия современным БПЛА является сложной научно-технической задачей, решение которой требует учета многих факторов, например, места расположения и конфигурации объекта, особенности прилегающей территории, необходимости обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и других [\[3, 4\]](#). Указанное обуславливает актуальность темы данного исследования.

С учетом отмеченного целью настоящей статьи является выявление эффективных методов противодействия современным автономными БПЛА и FPV-дронами в интересах развития научно-методического аппарата обоснования СФЗ объектов.

В этой связи для достижения цели исследования оценим возможности современных БПЛА, изучим практику их применения для выявления ключевых особенностей. Проведем критический анализ основных методов противодействия БПЛА и на его основе представим их краткую характеристику, определим достоинства и недостатки. Кроме того, по результатам исследования предложим направления развития средств противодействия современным автономным БПЛА и FPV-дронам.

1. Особенности современных беспилотных летательных аппаратах

Результаты анализа возможностей и практики применения современных БПЛА [\[1, 4-12\]](#) позволили выделить их ключевые особенности:

- современные БПЛА обеспечивают возможность осуществления полетов в автономном режиме, при котором радиосигналы управления и передачи данных не излучаются, что делает такие летательные аппараты невидимыми для основных средств обнаружения – средств радиотехнической разведки;
- отдельные типы современных автономных БПЛА предоставляют возможность автоматического выявления и идентификации целей, а также совершения в их отношении различных действий в соответствии с заложенными алгоритмами (наблюдения, сопровождения, атаки) за счет размещения на их борту высокопроизводительных средств обработки информации для функционирования алгоритмов искусственного интеллекта;
- современные БПЛА имеют возможность изменения версии программного обеспечения, а также внедрения дополнительных каскадов усиления сигналов на борт БПЛА или наземную станцию управления (НСУ), что придает им сравнительно большую устойчивость к радиоэлектронному воздействию относительно их базовой модификации;
- широкое распространение получили высокоманевренные самодельные FPV-дроны, собранные из готовых компонентов (имеющихся в свободной продаже), которые не всегда могут быть идентифицированы средствами радиотехнической разведки по характерным параметрам радиосигналов управления и передачи данных ввиду возможности применения в их составе нетиповых схемотехнических решений и приемопередающих устройств, работающих в уникальных частотных диапазонах;
- отдельные типы современных БПЛА, использующие для организации каналов управления и передачи данных ресурсы сетей сотовой связи, не поддаются выявлению

среди множества других абонентов имеющимися средствами радиотехнической разведки.

Проведенный анализ возможностей современных БПЛА и практики их применения в ходе специальной военной операции на Украине, а также результаты исследования существующих средств обнаружения и противодействия им позволили заключить, что наиболее сложными целями, обладающими высоким потенциалом к преодолению существующих СФЗ, выступают автономные БПЛА и FPV-дроны с взрывными устройствами. В этой связи актуальной задачей является поиск эффективных методов противодействия таким средствам.

С этой целью проведем критический анализ основных методов противодействия современным БПЛА в контексте оценки возможности их применения для борьбы с автономными БПЛА и FPV-дронами.

2. Критический анализ основных методов противодействия беспилотным летательным аппаратам

Проведенный анализ публикаций [4–15] показал отсутствие единой общепринятой классификации методов противодействия БПЛА. Вместе с тем в работах по данной тематике рассматривают следующие методы воздействия [\[5, 13–15\]](#):

- радиоэлектронное;
- информационно-техническое;
- электромагнитное;
- лазерное;
- акустическое;
- механическое.

Радиоэлектронное воздействие (радиоэлектронное подавление каналов управления, передачи данных и навигации) – это метод противодействия БПЛА, при котором осуществляется генерация и излучение помеховых сигналов для затруднения (блокирования, срыва) функционирования систем БПЛА и НСУ [\[13\]](#). Технические изделия, реализующие данный метод, как правило, используют заградительную шумовую помеху на типовых частотах каналов управления, передачи данных и навигации БПЛА, которая обеспечивает неприемлемое соотношение сигнал/шум в полосе пропускания радиоприемного тракта БПЛА или НСУ.

Выделяют следующие разновидности метода радиоэлектронного воздействия [\[5, 13\]](#):

- подавление каналов управления и передачи данных БПЛА;
- подавление средств спутниковой радионавигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и др.);
- комбинирование разновидностей метода радиоэлектронного воздействия.

Метод радиоэлектронного воздействия БПЛА обладает следующими основными достоинствами [\[4, 5\]](#):

- расходуется только возобновляемый ресурс – электроэнергия, а не средства поражения;

- избирательное воздействие осуществляется как на определенные типы БПЛА с заданными параметрами, так и на их отдельные бортовые системы;
- воздействие обеспечивается сразу на несколько БПЛА.

Вместе с тем использование данного метода сопряжено с рядом недостатков [\[4, 5, 7, 13\]](#):

- возможность воздействия на каналы управления и навигации БПЛА только при условии соблюдения электромагнитной доступности, поскольку эффективность их подавления убывает пропорционально квадрату расстояния до цели;
- неспособность противодействия БПЛА, осуществляющих полет в автономном режиме (в режиме «радиомолчания») по заранее загруженной программе с использованием инерциальных или помехозащищенных навигационных систем;
- средства радиоэлектронного подавления не обеспечивают эффективное противодействие БПЛА, использующим уникальные протоколы информационного обмена и диапазоны частот для организации каналов управления и передачи данных;
- средства радиоэлектронного подавления имеют ограничения по применению, обусловленные необходимостью выполнения требований по электромагнитной совместимости с другими радиоэлектронными средствами;
- относительно невысокая эффективность противодействия БПЛА, использующим широкополосные сигналы для организации каналов управления и передачи данных;
- электромагнитное излучение средств радиоэлектронного подавления оказывает негативное влияние на операторов и другие технические средства;
- имеются правовые ограничения на применение средств подавления спутниковой радионавигации.

Важно отметить, что в настоящее время метод радиоэлектронного воздействия (подавления) является основным методом противодействия БПЛА. Однако развитие современных БПЛА в направлении повышения их помехоустойчивости для успешного функционирования в условиях сложной радиоэлектронной обстановки, а также широкое распространение самодельных FPV-дронов, работающих в уникальных частотных диапазонах, существенно снижает эффективность данного вида воздействия.

Информационно-техническое воздействие (перехват управления, спуфинг, ddos-атаки) – это метод противодействия БПЛА, при котором воздействие осуществляется путем перехвата управления, навязывания некорректных режимов функционирования бортовым системам и специальному программному обеспечению на БПЛА и/или НСУ. Для реализации указанного метода технические средства противодействия должны получить информацию об используемых протоколах управления и доступ к каналам управления и телеметрии с целью формирования и последующей передачи подменных команд или данных.

Выделяют следующие разновидности метода информационно-технического воздействия [\[5, 14\]](#):

- нарушение радиообмена между БПЛА и НСУ;
- нарушение информационного обмена между БПЛА и НСУ;

- изменение специального программного обеспечения на БПЛА и/или НСУ;
- подмена сигналов спутниковой радионавигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и др.).

Нарушение радиообмена между БПЛА и НСУ предусматривает [\[5, 14\]](#):

- срыв синхронизации и/или процедуры установления связи;
- навязывание некорректных режимов функционирования в канальных или сетевых протоколах радиосети;
- переполнение входного буфера путем DOS или DDOS-атак;
- нарушение функционирования программного обеспечения микроконтроллера управления средствами радиообмена.

Нарушение информационного обмена между БПЛА и НСУ включает [\[5, 14\]](#):

- перехват управления БПЛА путем подмены пульта оператора;
- подмену управляющих команд с целью перевода БПЛА в некорректный режим полета, выключения двигателей, электропитания бортовой аппаратуры и полезной нагрузки;
- подмену данных телеметрии на НСУ.

Изменение специального программного обеспечения на БПЛА и/или НСУ предполагает несанкционированное внедрение [\[5, 14\]](#):

- компьютерных вирусов в специальное программное обеспечение БПЛА;
- программных закладок в БПЛА, обеспечивающих прием и выполнение команд от сторонних источников.

Подмена сигналов спутниковой радионавигации (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и др.) подразумевает создание ложного радионавигационного поля (GPS-spoofing) [\[14\]](#).

Метод информационно-технического воздействия на БПЛА обладает следующими достоинствами [\[7, 9, 14\]](#):

- расходуются не средства поражения, а только возобновляемый ресурс – электроэнергия;
- полученная информация о формате и структуре используемых протоколов управления и обмена данными позволяет установить тип БПЛА, его координаты (на основе данных от бортовой навигационной аппаратуры) и координаты НСУ, статус (состояние) систем летательного аппарата, последовательность управляющих команд, параметры и настройки программного обеспечения и др.
- информационно-техническое воздействие характеризуется скрытностью, что существенно затрудняет для оператора своевременное и адекватное принятие мер противодействия;
- подмена радионавигационного поля позволяет существенно снизить эффективность применения некоторых типов автономных БПЛА.

Выделяют следующие недостатки данного метода [\[4, 5, 7\]](#):

- перехват управления БПЛА представляется весьма нетривиальной научно-технической задачей, требующей от специалистов создания и постоянного пополнения базы данных о сигнальных, форматных, потоковых и сетевых параметрах каналов радиоуправления;
- невысокая эффективность подмены отдельных команд низкоуровневого управления и данных телеметрии, поскольку каждая последующая команда от НСУ и данные телеметрии от БПЛА делают неактуальными все предыдущие;
- эффективное информационно-техническое воздействие на БПЛА требует интеграции средств радио-и радиотехнической разведки, сетевой компьютерной разведки и др. в единый комплекс;
- использование аппаратуры криптографической защиты информации, а также широкополосных сигналов в канале связи между БПЛА и НСУ существенно затрудняет информационно-техническое воздействие на БПЛА;
- имеются правовые ограничения на применение средств подмены сигналов спутниковой радионавигации.

Следует отметить, что метод информационно-технического воздействия на БПЛА активно развивается. В настоящее время наибольшее распространение получили технические решения, обеспечивающие подмену сигналов спутниковой радионавигации.

Электромагнитное воздействие (функциональное поражение СВЧ излучением) – это метод противодействия БПЛА, основанный на дистанционном выведении из строя бортовой электроники электромагнитным излучением большой мощности [\[4\]](#). Технические изделия (микроволновые излучатели, СВЧ-пушки) используют узконаправленное излучение, способное изменить электрофизические параметры полупроводниковых элементов радиоэлектронных систем путем их перегрева или пробоя с целью нарушения работы бортовых систем БПЛА. Эффективность функционального поражения электромагнитным оружием зависит от таких факторов, как напряженность электрического поля в точке нахождения цели, ее конструкции, а также частоты излучения.

Достоинствами метода электромагнитного воздействия являются следующие [\[7, 8\]](#):

- расходуются не средства поражения, а только возобновляемый ресурс – электромагнитная энергия;
- средства электромагнитного воздействия обладают «площадным эффектом», что обеспечивает возможность поражения одиночных и групповых целей;
- способность воздействия практически на все типы БПЛА, в том числе автономные и FPV-дроны;
- средствам электромагнитного воздействия не требуется точное целеуказание и сведения о режимах работы БПЛА;
- погодные условия (дым, дождь, туман) не оказывают существенного влияния на дальность поражения.

К недостаткам метода следует отнести [\[4, 7, 8\]](#):

- средства электромагнитного воздействия не обеспечивают избирательность в отношении поражаемых целей в зоне действия;

- имеет ограничения на применение в случаях нахождения в зоне поражения различных радиоэлектронных систем (например, в условиях городской застройки, при наличии объектов инфраструктуры и др.);
- требует больших энергетических затрат;
- для существенного снижения эффективности электромагнитного воздействия достаточно применить простые схемотехнические решения, направленные на уменьшение силы наведенных токов, а также экранировать электронные компоненты БПЛА (например, с помощью «клетки Фарадея»);
- излучение средств электромагнитного воздействия оказывает негативное влияние на операторов и других лиц в зоне их действия.

Необходимо отметить, что электромагнитное воздействие является эффективным методом противодействия БПЛА, который в настоящее время активно развивается в направлении обеспечения избирательного воздействия на цели.

Лазерное воздействие (функциональное поражение лазерным излучением) – это метод противодействия БПЛА, при котором воздействие на объект осуществляется узконаправленным высокоэнергетическим электромагнитным излучением в оптическом диапазоне волн.

В зависимости от плотности потока лазерного излучения выделяют следующие основные разновидности метода [\[4, 7\]](#):

- термомеханическое воздействие на элементы БПЛА (разрушение, расплавление, испарение);
- поражение оптико-электронных приборов БПЛА (матриц приемников оптико-электронных систем);
- оптическое воздействие на оптико-электронные приборы БПЛА (ослепление).

Достоинствами метода лазерного воздействия являются следующие [\[6–8, 10, 15\]](#):

- расходуются не средства поражения, а только возобновляемый ресурс – электроэнергия;
- термомеханическое воздействие (разрушение, расплавление) лазерных средств характеризуется скрытностью, что существенно затрудняет для оператора своевременное и адекватное принятие мер противодействия;
- лазерные средства обладают высокой избирательностью, поскольку требуют высокой точности наведения лазерного луча на цель;
- лазерные средства могут применяться по автономным БПЛА, осуществляющим полет в режиме «радиомолчания», и FPV-дронам;
- отсутствие механической инерции, обуславливающее способность лазерного луча поражать высокоманевренные цели;
- возможность регулировки степени воздействия на объект путем изменения мощности лазерного луча (от «ослепления» оптоэлектронных систем БПЛА до его физического разрушения).

Вместе с тем существует ряд недостатков метода лазерного воздействия [\[4, 6-8, 15\]](#):

- высокие требования к качеству целеуказания для средств лазерного поражения;
- высокие требования к системам наведения лазера, обусловленные необходимой точностью и продолжительностью непрерывного воздействия (0,5-15 с) на БПЛА для расплавления их элементов в условиях активного маневрирования;
- существующие лазерные установки имеют значительный интервал между сериями «выстрелов», который может достигать десятков секунд, что негативно сказывается на возможности отражения групповой атаки БПЛА;
- на эффективность лазерного воздействия существенное влияние оказывают метеоусловия (дым, дождь, туман и др.), поскольку в газах атмосферы происходит затухание лазерного луча;
- высокая технологичность обслуживания и высокое энергопотребление;
- лазерные средства (химического типа) обладают значительными массогабаритными характеристиками и высоким тепловыделением;
- для снижения эффективности лазерного воздействия достаточно применить на БПЛА специальное покрытие, способствующее рассеиванию (отражению) лазерного излучения, а также оснастить летательный аппарат распылителем аэрозолей типа «дымовая завеса»;
- высокая стоимость лазерных систем.

Следует отметить, что лазерное воздействие является перспективным методом противодействия БПЛА. Данный метод активно развивается в направлении поиска новых конструктивных решений, обеспечивающих устранение его основных недостатков.

Акустическое воздействие (акустическое подавление автономной навигационной системы) – это метод противодействия БПЛА, при котором происходит воздействие на гироскоп БПЛА акустическими колебаниями. Подбранное по частоте акустическое воздействие негативно влияет на работу гироскопических датчиков из-за эффекта резонанса. Это может приводить к дестабилизации летательного аппарата в пространстве и последующей аварии [\[4\]](#).

Данный метод характеризуется следующими достоинствами [\[4, 5\]](#):

- расходуется только возобновляемый ресурс – электроэнергия, а не средства поражения;
- относительно невысокая стоимость технической реализации метода;
- акустические средства могут воздействовать на гироскопы автономных БПЛА, осуществляющих полет в режиме «радиомолчания».

Основные недостатки метода акустического воздействия [\[4, 5, 7, 8\]](#):

- малая дальность действия существующих технических средств (до 40 м) и интенсивное звуковое воздействие мощностью порядка 140 дБ;
- сложность подбора резонансной частоты разных моделей гироскопов БПЛА для

создания аварийной ситуации;

- низкая эффективность метода противодействия БПЛА, обусловленная конструкцией гироскопов (в некоторых из них резонанс оказывает влияние только на канал ориентации по горизонтальной оси) и наличием магнитометров, дублирующих ориентацию БПЛА в горизонтальной плоскости;
- простым способом снижения эффективности данного воздействия является акустическая защита гироскопа вспененным материалом;
- требуется проработка вопросов обеспечения экологической безопасности таких средств, поскольку акустическое колебание на уровне 120-140 дБ соответствует болевому порогу и может привести к контузии оператора.

Необходимо отметить, что проведенные исследования и эксперименты выявили низкую эффективность данного метода по причине ограниченной дальности действия и требуемой высокой мощности акустического воздействия. В этой связи его применение для противодействия БПЛА считается нецелесообразным.

Механическое воздействие – это метод противодействия БПЛА, при котором происходит огневое поражение объекта (кинетическое воздействие) или его физический перехват (физическое воздействие) [4]. Огневое поражение направлено на разрушение (повреждение) БПЛА путем передачи ему кинетической энергии поражающего элемента. Физический перехват предполагает воздействие на БПЛА, приводящее к принудительной остановке и/или ограничению подвижности его конструктивных элементов.

В публикациях [4, 5, 7-12] выделены следующие основные разновидности метода механического воздействия:

- огневое поражение БПЛА средствами артиллерийского вооружения (зенитными артиллерийскими установками (ЗАУ), зенитными пулеметными установками (ЗПУ), зенитными ракетно-пушечными комплексами (ЗРПК)), управляемым ракетным вооружением (зенитно-ракетными комплексами (ЗРК), переносными зенитно-ракетными комплексами (ПЗРК)), стрелковым оружием (пулеметами, автоматами и т.д.) и БПЛА-камикадзе с взрывными устройствами;
- кинетическое воздействие БПЛА-перехватчиками таранного типа;
- применение БПЛА-перехватчиков с установленными средствами огневого поражения;
- применение систем метания объемных сетей, нитей или лент из высокопрочных материалов, клейких (вязких) и горючих аэрозолей, которые могут размещаться как на «земле» в виде ручных (портативных), мобильных и стационарных установок, так и на БПЛА-перехватчиках;
- применение специально тренированных птиц для перехвата БПЛА.

К основным достоинствам метода механического воздействия можно отнести следующие [7-11]:

- захват малогабаритных БПЛА сетью является наиболее простым в реализации и достаточно эффективным методом;
- обеспечивает возможность поражения всех типов БПЛА;

- сравнительно невысокая стоимость средств поражения (кроме управляемого ракетного вооружения) и физического перехвата;
- для средств огневого поражения БПЛА метеоусловия (дым, дождь, туман и др.) не оказывают существенного влияния.

Основными недостатками метода механического воздействия являются [\[7, 9, 10, 12\]](#):

- эффективное применение средств огневого (кинетического) воздействия требует задействования высокоточных комплексов целеуказания, производительных вычислителей баллистических данных и углов упреждения, а также автоматических средств наведения;
- при огневом поражении БПЛА средствами артиллерийского вооружения (ЗАУ, ЗПУ, ЗРПК) и стрелковым оружием происходит большой расход боеприпасов;
- применение средств огневого (кинетического) воздействия сопряжено с возможностью нанесения сопутствующего ущерба жизни и здоровью людей, элементам инфраструктуры и другим материальным ценностям;
- применение БПЛА-перехватчиков таранного типа или БПЛА-камикадзе зачастую приводит к их безвозвратной потере;
- применение БПЛА-перехватчиков не является эффективным методом противодействия в случае отражения групповой атаки малогабаритных маневренных БПЛА;
- применение клейких (вязких) и горючих аэрозолей сопряжено со следующими проблемными вопросами: сильной зависимостью от метеоусловий; ограничениями на использование в городских условиях; сложностью процесса образования аэрозольного облака с требуемым уровнем концентрации действующего вещества в заданном месте; небольшим «сроком жизни» аэрозольного облака; низкой эффективностью против активно маневрирующих БПЛА и др.;
- применение наземных систем метания объемных сетей ограничено дальностью действия не более 200-300 м;
- использование хищных птиц сопряжено с большими сроками их обучения, влиянием внешних раздражителей и психо-физиологических особенностей животных на эффективность перехвата БПЛА.

Следует отметить, что механическое воздействие является сравнительно простым в реализации методом противодействия БПЛА с определенными ограничениями по применению технических средств и комплексов. При этом средства огневого поражения или физического перехвата в совокупности с системами обнаружения, целеуказания и автоматического наведения обладают достаточным потенциалом для противодействия современным БПЛА.

3. Сравнительный анализ методов противодействия автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам

Физические основы различных методов противодействия БПЛА характеризуют теоретическую возможность воздействия на современные БПЛА или их отдельные системы. Вместе с тем достигнутый высокий уровень развития беспилотной авиации, а также современный уровень развития науки и техники в области противодействия БПЛА в совокупности накладывают существенные ограничения на возможность применения

рассмотренных методов на практике. В этой связи представим результаты сравнительного анализа методов противодействия с учетом теоретической и практической возможности воздействия на автономные БПЛА и FPV-дроны на современном этапе их развития (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты оценки основных методов воздействия для борьбы с автономными БПЛА и FPV-дронами

Наименование метода (разновидности метода) противодействия БПЛА	Возможность воздействия на БПЛА			
	Автономные		FPV-дроны	
	Теоретическая	Практическая	Теоретическая	Практическая
1 Радиоэлектронное воздействие				
Подавление радиолинии управления и радиолинии передачи данных БПЛА	Нет	–	Есть	Имеется с ограничениями
Подавление средств спутниковой радионавигации	Есть	Имеется	Нет	–
Комбинирование разновидностей методов радиоэлектронного воздействия	Есть	Имеется	Есть	Имеется с ограничениями
2 Информационно-техническое воздействие				
Нарушение радиообмена между БПЛА и НСУ	Нет	–	Есть	Не имеется
Нарушение информационного обмена между БПЛА и НСУ (перехват управления)	Нет	–	Есть	Не имеется
Нарушение специального программного обеспечения на БПЛА и/или НСУ (перехват управления)	Нет	–	Есть	Не имеется
Подмена сигналов спутниковой радионавигации (спуфинг)	Есть	Имеется	Нет	–
3				

Электромагнитное воздействие	Есть	имеется	Есть	имеется
4 Лазерное воздействие				
Термомеханическое воздействие на элементы БПЛА	Есть	Имеется	Есть	Имеется
Поражение оптико-электронных приборов БПЛА	Есть	Имеется	Есть	Имеется
Оптическое воздействие на оптико-электронные приборы БПЛА	Есть	Имеется	Есть	Имеется
5 Акустическое воздействие	Есть	Не имеется	Нет	–
6 Механическое воздействие				
Огневое поражение БПЛА средствами артиллерийского вооружения, управляемым ракетным вооружением, стрелковым оружием и БПЛА-камикадзе с взрывным устройством	Есть	Имеется	Есть	Имеется
Кинетическое воздействие БПЛА-перехватчиками таранного типа	Есть	Имеется с ограничениями	Есть	Не имеется
Применение БПЛА-перехватчиков с установленными средствами огневого поражения	Есть	Имеется с ограничениями	Есть	Не имеется
Применение систем метания объемных сетей, нитей или лент из высокопрочных материалов, клейких (вязких) и горючих аэрозолей	Есть	Имеется с ограничениями	Есть	Не имеется
Применение специально тренированных птиц для перехвата БПЛА	Есть	Не имеется	Нет	–

Результаты сравнительного анализа методов противодействия автономным БПЛА и FPV-

дронам позволили сделать вывод, что наиболее действенными из них являются:

- электромагнитное воздействие;
- лазерное воздействие;
- некоторые методы механического воздействия.

Рассмотрим требуемые параметры эффективного применения указанных методов противодействия автономным БПЛА и FPV-дронам.

Результаты исследования, посвященные вопросам оценки эффективности электромагнитного воздействия на БПЛА, показывают, что при использовании СВЧ-импульсов длительностью 200-270 пс с шириной спектра 2-3 ГГц возникают разного рода отказы летательных аппаратов [16]. Так, при формировании на поверхности БПЛА напряженности электрического поля [17]:

- 0,05-0,07 кВ/м происходят обратимые эффекты: сбои при маневрировании БПЛА, в питании электродвигателей и бортовой полезной нагрузки, нарушения работы приемопередающих устройств и т.д.;
- 1,4 кВ/м наблюдается необратимое нарушение функционирования БПЛА – потеря управления из-за отказа отдельных систем;
- от 3 кВ/м и выше происходит выведение из строя элементной базы бортовых систем БПЛА.

Для разрушения микроволновых диодов и интегральных схем требуется обеспечить мощность СВЧ-сигнала на входе радиоэлектронных элементов БПЛА от 0,006 до 0,4 Вт, коммутирующих диодов и маломощных транзисторов – 0,06-9,5 Вт, микроволновых диодов и микросхем – от 6,125 до 125 Вт, коммутирующих диодов и маломощных транзисторов – от 62 Вт [17].

Следует отметить, что существующие недостатки средств электромагнитного воздействия, обусловленные отсутствием избирательности поражаемых радиоэлектронных систем в зоне их действия, накладывают ограничения на область применения таких средств для отражения атак автономных БПЛА и FPV-дронов.

Результаты исследования, посвященные вопросам оценки эффективности лазерного воздействия на БПЛА, показывают [6, 7]:

1. Для термомеханического воздействия на элементы БПЛА путем их разрушения (расплавления, испарения) требуется удержание на элементах конструкции летательного аппарата лазерного луча мощностью 2 кВт в течение 10-15 с, а луча 20-50 кВт – 0,5-5 с. При этом на удалении 2 км угловая точность наведения лазерного луча должна быть не ниже 0,00145°.
2. Для поражения оптико-электронных приборов БПЛА необходимо создать плотность энергии лазерного излучения:
 - 0,005-0,01 Дж/см² (длительность импульсов 0,3 с) на наружной поверхности фильтра объектива камеры (отвечающего за улучшения света, уменьшение отражения и защиту линзы) для превышения температуры плавления его поверхностного слоя;
 - 0,01 Дж/см² на входном зрачке оптико-электронного средства для быстрого нагрева

приемника излучения до высокой температуры с последующим выходом из строя.

3. Для оптического воздействия на оптико-электронные приборы БПЛА (ослепления) требуется плотность энергии лазерного излучения менее 0,005 Дж/см².

Уровни облучения для термомеханического воздействия на элементы БПЛА и поражения их оптико-электронных приборов могут быть созданы лазерным источником с энергией излучения в импульсе 200–300 Дж на дальности 5 км [7].

Следует отметить, что поскольку автономные БПЛА и FPV-дроны находятся в движении и маневрируют, то фактическая точность ориентации лазерного луча для получения эффекта поражения БПЛА на дистанции 2 км должна быть порядка 0,001–0,002°. Данное условие характеризует высокие требования к системе наведения комплекса лазерного поражения, что существенно увеличивает его стоимость и технологичность производства.

Более перспективной и сравнительно недорогой разновидностью метода противодействия автономным БПЛА, использующим курсовую камеру для геопозиционирования или обнаружения и идентификации объектов, а также FPV-дронам является оптическое воздействие на оптико-электронные приборы БПЛА. Проведенное исследование [6, 7] показывает, что для оптического (ослепляющего) воздействия достаточно относительно низкой плотности потока лазерного излучения и малой продолжительности воздействия. Указанные факторы позволяют даже при сравнительно невысокой мощности источника лазерного излучения увеличить диаметр оптического пучка, тем самым существенно снизить требования к точности его наведения. В этой связи данный разновидность метода имеет большой потенциал для развития.

Результаты исследования, посвященные вопросам оценки эффективности механического воздействия, показывают, что [4, 7, 8]:

1. Применение стрелкового оружия для эффективного поражения маневрирующих малоразмерных целей требует задействования автоматизированных систем наведения и управления огнем. Вместе с тем даже при условно идеальном прицеливании вероятность поражения зависит от кучности боя оружия (например, для 7,62-мм пулемета Калашникова нормальная кучность боя характеризуется попаданием четырех пуль в круг диаметром 15 см на дистанции 100 м), расстояния до цели и других факторов. В этой связи гарантированное поражение таких целей требует производства нескольких серий выстрелов, а эффективная дальность стрельбы не превышает 200 м.
2. Средства артиллерийского вооружения (ЗАУ, ЗПУ, ЗРПК и т.п.) обладают высокой скорострельностью. Гарантированное поражение маневрирующих малоразмерных целей этими средствами требует значительного расхода боеприпасов даже при задействовании автоматизированных систем наведения и управления огнем. Указанное существенно снижает эффективность данной разновидности метода в части противодействия автономным БПЛА и FPV-дронам. Для устранения этого недостатка в настоящее время ведутся работы по созданию снарядов с программируемым временем подрыва. Их применение обеспечит создание облака поражающих элементов в заданной точке пространства, что снизит требования к точности наведения на цель и существенно уменьшит время поражения целей и расход боеприпасов.
3. Управляемое ракетное вооружение (ЗРК, ПЗРК) в части поражения рассматриваемых в статье БПЛА характеризуется избыточным боевым могуществом и существенно более высокой стоимостью средств поражения относительно стоимости целей. В этой связи их

массовое применение против автономных БПЛА и FPV-дронов с экономической точки зрения считается нецелесообразным. Необходимо отметить, что в настоящее время проводятся работы по созданию недорогих малогабаритных управляемых ракет ближнего радиуса действия (до 2 км) для поражения БПЛА. В качестве их боевой части используются распространенные штатные боеприпасы, например, выстрелы с осколочной гранатой, ручные гранаты и т.д.

4. Применение БПЛА-перехватчиков (камикадзе) всех типов с ручным или автоматизированным управлением не обеспечивает эффективное поражение маневрирующих малоразмерных целей вследствие недостаточной скорости реакции оператора. Между тем ведутся разработки систем автоматического наведения данных средств поражения на цель, а также беспилотных платформ с требуемыми летно-техническими характеристиками. Наиболее перспективным направлением в данной предметной области представляется внедрение алгоритмов обработки видеоданных с курсовой камеры БПЛА-перехватчика (камикадзе) для автоматического распознавания, захвата и наведения на цель. При этом исполнение указанных алгоритмов должно осуществляться на вычислительных ресурсах НСУ.

Следует отметить, что существующие недостатки средств механического воздействия, обусловленные малой эффективной дальностью поражения стрелковым оружием, значительным расходом боеприпасов средств артиллерийского вооружения, высокой стоимостью управляемого ракетного вооружения, а также сложностью наведения таких средств на малоразмерные маневрирующие цели существенно ограничивают возможность их применения для противодействия автономным БПЛА и FPV-дронам. Кроме того, использование средств механического воздействия сопряжено с возможностью нанесения сопутствующего ущерба жизни и здоровью людей, повреждения элементов инфраструктуры и других материальных ценностей.

Таким образом, результаты анализа требуемых параметров эффективного применения методов электромагнитного, лазерного и механического воздействия для поражения автономных БПЛА и FPV-дронов позволяют заключить, что оптическое (ослепляющее) воздействие на оптико-электронные приборы БПЛА представляется наиболее перспективным направлением развития методов борьбы с такими целями. Указанный подход обеспечивает возможность использования сравнительно дешевых, компактных лазерных установок с широким пучком излучения, не требующим его точного наведения и длительного удержания на цели.

Вывод

Развитие робототехнических технологий предопределило появление новых средств реализации угроз безопасности важных объектов – автономных БПЛА и FPV-дронов с взрывными устройствами. Для противодействия такого рода угрозам необходимо непрерывно совершенствовать СФЗ объектов в направлении противодействия современным БПЛА.

В статье отмечены основные особенности современных БПЛА, сделан вывод о том, что наиболее сложными целями, обладающими высоким потенциалом к преодолению существующих систем безопасности, являются современные автономные БПЛА и FPV-дроны. Приведена характеристика основных методов противодействия современным БПЛА, выделены их достоинства и недостатки. Представлены результаты сравнительного анализа данных методов, отражающие подверженность автономных БПЛА и FPV-дронов разного рода воздействию.

Кроме того, в работе приведены требуемые параметры эффективного применения методов электромагнитного, лазерного и механического воздействия для поражения автономных БПЛА и FPV-дронов, позволяющие заключить, что наиболее перспективным является оптическое воздействие на оптико-электронные приборы данных летательных аппаратов.

Полученные результаты могут быть положены в основу исследований, направленных на разработку технических решений и их применение в составе СФЗ, обеспечивающих защиту важных объектов от атак современных БПЛА.

Библиография

1. Егурнов В. О., Соколов А. М., Некрасов М. И. Модель универсальной управляющей платформы системы противодействия робототехническим комплексам // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 2. С. 79–87.
2. Егурнов В. О., Николаев Н. В., Некрасов М. И. К вопросу обоснования облика системы противодействия робототехническим комплексам на защищаемых объектах // Вооружение и экономика. 2021. № 4(58). С. 121–134.
3. Ильин В. В., Николаев Н. В., Некрасов М. И., Соколов А. М. Подход к оценке эффективности систем противодействия робототехническим комплексам на важных объектах // Вопросы безопасности. 2023. № 4. С. 15–26.
4. Егурнов В. О., Ильин В. В., Некрасов М. И., Сосунов В. Г. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов // Вопросы оборонной техники. Научно-технический журнал. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 115–116. С. 51–58.
5. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: монография, ч. 1 / В.А. Аладинский, С.В. Богдановский, В.М. Клименко, В.А. Ромашов. – Череповец: РИО ВВИУРЭ, 2019. – 613 с.
6. Ростопчин В. В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния // Беспилотная авиация [Электронный ресурс]. 2019. – URL: https://www.researchgate.net/publication/331772628_udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_-_problemy_i_perspektivy_protivostoania (дата обращения 19.09.2023).
7. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. – СПб.: Научные технологии, 2020. – 204 с.
8. Тазетдинов М. Н., Хахалев А. И., Духнов С. В. Средства и способы противодействия беспилотным летательным аппаратам // Наука ЮУрГУ: материалы 73-й научной конференции (Челябинск, 20–22 апреля 2021 г.). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – С. 624–632.
9. Семенец В. О., Трухин М. П. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. Т. 10. № 3. С. 4–12.
10. Скиба В. А., Кузьмин А. А. Анализ методов и средств противодействия беспилотным летательным аппаратам в интересах Ракетных войск стратегического назначения // Военная мысль. 2021. № 11. С. 104–114.
11. Теодорович Н. Н., Строганова С. М., Абрамов П. С. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Интернет журнал «Наукоедение». 2017. Т. 9. № 1. С. 1–7.
12. Галкин Д. В., Степанов А. В. Борьба с беспилотными летательными аппаратами:

- методы и средства иностранных армий // Военная мысль. 2021. № 6. С. 142–151.
13. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1 // Сайт Sky X [Электронный ресурс]. 05.09.2023. – URL: <https://sky-x.pro/blog/sposoby-protivodeystviya-bespilotnym-letatelnyy-apparatam> (дата обращения: 15.09.2023).
14. Информационно-техническое воздействие на БПЛА. Часть 2 // Сайт Sky X [Электронный ресурс]. 05.09.2023. – URL: <https://sky-x.pro/blog/informatsionno-tehnicheskoe-vozdeystvie-na-bpla> (дата обращения: 15.09.2023).
15. Механическое, лазерное и микроволновое противодействие БПЛА коммерческого типа. Часть 4 // Сайт Sky X [Электронный ресурс]. 05.09.2023. – URL: <https://sky-x.pro/blog/mehanicheskoe-lazernoe-i-mikrovolnovoe-protivodeystvie-bpla-kommercheskogo-tipa> (дата обращения: 15.09.2023).
16. Sakharov K. Yu., Sukhov A. V., Ugolev V. L., Gurevich Yu. M. Study of UWB Electromagnetic Pulse Impact on Commercial Unmanned Aerial Vehicle // Proceedings of the 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2018), Amsterdam, The Netherlands, August 27–30, 2018.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

РЕЦЕНЗИЯ

на статью на тему «Актуальные вопросы противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам».

Предмет исследования.

Предложенная на рецензирование статья посвящена актуальным вопросам противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам. Автором выявляются сущностные особенности данных объектов, рассматривается проблема использования этих особенностей для целей регулирования, предлагаются механизмы совершенствования процедуры противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам в нынешних условиях. В качестве непосредственного предмета исследования выступили, прежде всего, мнения ученых, а также технические характеристики рассматриваемых объектов.

Методология исследования.

Цель исследования прямо в статье заявлена: «целью настоящей статьи является выявление эффективных методов противодействия современным автономными БПЛА и FPV-дронами в интересах развития научно-методического аппарата обоснования СФЗ объектов». Исходя из поставленных цели и задач, автором выбрана методологическая основа исследования. В частности, в статье указано, что «В этой связи для достижения цели исследования оценим возможности современных БПЛА, изучим практику их применения для выявления ключевых особенностей. Проведем критический анализ основных методов противодействия БПЛА и на его основе представим их краткую характеристику, определим достоинства и недостатки. Кроме того, по результатам исследования предложим направления развития средств противодействия современным автономным БПЛА и FPV-дронам».

В частности, автором используется совокупность общенаучных методов познания: анализ, синтез, аналогия, дедукция, индукция, другие. В частности, методы анализа и

синтеза позволили обобщить и разделить выводы различных научных подходов к предложенной тематике, а также сделать конкретные выводы из доктринальной литературы.

Также автором активно использовались технические данные, которые позволили, среди прочего, провести сравнительный анализ методов противодействия автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам. Ввиду этого был сделан, например, следующий вывод: «Применение стрелкового оружия для эффективного поражения маневрирующих малоразмерных целей требует задействования автоматизированных систем наведения и управления огнем. Вместе с тем даже при условно идеальном прицеливании вероятность поражения зависит от кучности боя оружия (например, для 7,62-мм пулемета Калашникова нормальная кучность боя характеризуется попаданием четырех пуль в круг диаметром 15 см на дистанции 100 м), расстояния до цели и других факторов. В этой связи гарантированное поражение таких целей требует производства нескольких серий выстрелов, а эффективная дальность стрельбы не превышает 200 м». Таким образом, выбранная автором методология в полной мере адекватна цели исследования, позволяет изучить все аспекты темы в ее совокупности.

Актуальность.

Актуальность заявленной проблематики не вызывает сомнений. Имеется как теоретический, так и практический аспекты значимости предложенной темы. С точки зрения теории тема противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам. Сказанное подтверждается практикой, которая свидетельствует об активном использовании указанных объектов в целях совершения различных преступлений, в том числе направленных на нарушение общественной безопасности. Сложно спорить с автором в том, что «В настоящее время развитию систем физической защиты (СФЗ) важных объектов уделяется значительное внимание [1–3]. Это обусловлено в том числе появлением новых средств реализации угроз безопасности – современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с взрывными устройствами. Так, автономные БПЛА, осуществляющие полет по загруженной программе, не излучают радиосигналы и, как следствие, не обнаруживаются специализированными средствами радиотехнической разведки из состава объектов СФЗ. В свою очередь, БПЛА, управляемые пилотами по видео с курсовых камер в режиме «от первого лица» (далее – FPV-дроны), характеризуются малыми размерами, высокой скоростью и маневренностью, наличием оригинальных параметров каналов управления и передачи данных. Указанные летательные аппараты являются «неудобными» целями с высоким потенциалом к преодолению существующих систем безопасности. При этом автономные БПЛА и FPV-дроны обладают приемлемыми техническими параметрами (скоростью и продолжительностью полета, грузоподъемностью) для применения в противоправных целях, например, для совершения террористических и диверсионных актов».

Тем самым, научные изыскания в предложенной области стоит только поприветствовать.

Научная новизна.

Научная новизна предложенной статьи не вызывает сомнений. Во-первых, она выражается в конкретных выводах автора. Среди них, например, такой вывод: «Развитие робототехнических технологий предопределило появление новых средств реализации угроз безопасности важных объектов – автономных БПЛА и FPV-дронов с взрывными устройствами. Для противодействия такого рода угрозам необходимо непрерывно совершенствовать СФЗ объектов в направлении противодействия современным БПЛА. В статье отмечены основные особенности современных БПЛА, сделан вывод о том, что наиболее сложными целями, обладающими высоким

потенциалом к преодолению существующих систем безопасности, являются современные автономные БПЛА и FPV-дроны. Приведена характеристика основных методов противодействия современным БПЛА, выделены их достоинства и недостатки. Представлены результаты сравнительного анализа данных методов, отражающие подверженность автономных БПЛА и FPV-дронов разного рода воздействию».

Указанный и иные теоретические выводы могут быть использованы в дальнейших научных исследованиях.

Во-вторых, автором предложены различные технические обобщения, которые могут быть полезны специалистам по рассматриваемой в статье тематике. В частности, указано следующее: «Управляемое ракетное вооружение (ЗРК, ПЗРК) в части поражения рассматриваемых в статье БПЛА характеризуется избыточным боевым могуществом и существенно более высокой стоимостью средств поражения относительно стоимости целей. В этой связи их массовое применение против автономных БПЛА и FPV-дронов с экономической точки зрения считается нецелесообразным. Необходимо отметить, что в настоящее время проводятся работы по созданию недорогих малогабаритных управляемых ракет ближнего радиуса действия (до 2 км) для поражения БПЛА. В качестве их боевой части используются распространенные штатные боеприпасы, например, выстрелы с осколочной гранатой, ручные гранаты и т.д».

Таким образом, материалы статьи могут иметь определенных интерес для научного сообщества с точки зрения развития вклада в развитие науки.

Стиль, структура, содержание.

Тематика статьи соответствует специализации журнала «Вопросы безопасности», так как она посвящена правовым проблемам, связанным с противодействием современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам.

Содержание статьи в полной мере соответствует названию, так как автор рассмотрел заявленные проблемы, достиг цели исследования.

Качество представления исследования и его результатов следует признать в полной мере положительным. Из текста статьи прямо следуют предмет, задачи, методология и основные результаты исследования.

Оформление работы в целом соответствует требованиям, предъявляемым к подобного рода работам. Существенных нарушений данных требований не обнаружено.

Библиография.

Следует не очень высоко оценить качество использованной литературы. Автором активно использована литература, представленная авторами из России (Егурнов В.О., Соколов А.М., Некрасов М.И., Тазетдинов М.Н., Хахалев А.И., Духнов С.В. и др.).

Таким образом, труды приведенных авторов соответствуют теме исследования, но не обладают признаком достаточности, не способствуют раскрытию различных аспектов темы.

Апелляция к оппонентам.

Автор провел серьезный анализ текущего состояния исследуемой проблемы. Все цитаты ученых сопровождаются авторскими комментариями. То есть автор показывает разные точки зрения на проблему и пытается аргументировать более правильную по его мнению.

Выводы, интерес читательской аудитории.

Статья может быть интересна читательской аудитории в плане наличия в ней систематизированных позиций автора применительно к вопросам совершенствования правовых и технических механизмов противодействия современным автономным беспилотным летательным аппаратам и FPV-дронам.

На основании изложенного, суммируя все положительные и отрицательные стороны статьи

«Рекомендую опубликовать»