

Анализ применения FPV-дронов: проблемы

Напалкин Максим Юрьевич
Редакционно-издательский центр
Пятигорского института (филиал) СКФУ
Пятигорск, Россия
maksnapalkin@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу применения FPV-дронов на специальной военной операции (СВО). Актуальность работы обусловлена тем, что опыт СВО на Украине продемонстрировал всему миру, что даже такой, казалось бы, безбидный инструмент, как квадрокоптер, может стать грозной военной силой применяемой в бою.

Ключевые слова: FPV-дроны, применение, составные компоненты, применение дронов на СВО, функционал, проблемы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Массовое применение FPV-дронов в современных локальных конфликтах радикально изменило картину современной войны.

Успешное применение одного или нескольких дешевых беспилотников позволяет уничтожать технику стоимостью в миллионы долларов. Об этом свидетельствуют многочисленные отчеты об уничтоженной технике и живой силе противника с помощью FPV-дронов.

Дроны FPV – это беспилотные летательные аппараты, которые оснащены функцией «вид от первого лица» (First Person View – сокращенно FPV). Что такое режим FPV – это функция передачи видео в реальном времени при помощи камеры, установленной в передней части БПЛА. Формально FPV-дроном можно считать любой БПЛА.

В сфере полетов дронов с видом от первого лица (FPV) связь между системой передачи изображения и системой дистанционного управления имеет решающее значение для обеспечения плавного и захватывающего опыта. Давайте разгадаем тонкости этих систем и расшифруем значение часто используемых сокращений.

II. СОСТАВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ FPV-ДРОНОВ

Чтобы правильно подойти к развитию темы, будет лучшим начать с общего представления основных компонентов FPV-дрона, благодаря которым дрон может летать, а пилот осуществлять им управление в режиме от первого лица:

1. Рама.
2. Электромоторы.
3. Пропеллеры.
4. Регулятор оборотов.
5. Полетный контроллер.
6. Аккумуляторные батареи.
7. Радио аппаратура управления.

Рама – это основной и несущий элемент конструкции квадрокоптера, к которому крепятся все прочие комплектующие. Рама состоит из двух частей: фюзеляж и лучи. Пример представлен на рис. 1.



Рис. 1. Рама

На фюзеляже обычно размещают электронику и полезную нагрузку, а на лучах – моторы и регуляторы.

Рама квадрокоптера должна быть достаточно прочной, чтобы не сломаться после первого падения или столкновения с препятствием. Когда говорят про размер дрона, обычно упоминают именно размер рамы, который является расстоянием между диагонально расположенными моторами.

Если дрон имеет размер меньше 150 мм, то он является микро- дроном, а от 150 до 300 мм – уже мини-дрон.

Рама изготавливается из пластика, дерева, стекловолокна, текстолита, алюминия и так далее. Самым популярным материалом для рам является карбон. Он очень легкий, прочный. Рама из карбона прослужит намного дольше, чем рама из другого материала. Но несмотря на это, у карбона есть небольшой минус: он очень хорошо проводит электричество, и если оголенные провода коснутся рамы, то может произойти короткое замыкание.

Моторы. Электромоторы бывают двух видов: бесколлекторные и коллекторные. Бесколлекторные моторы надежные и мощные, поэтому их используют и в мини-дронах, и в более крупных аппаратах. А вот коллекторные моторы используются в малоразмерных дронах с диагональю рамы до трех дюймов, т.е. микро- и мини-дронах и игрушках, потому что они простые, небольшие и самое главное – недорогие. Пример представлен на рис. 2.



Рис. 2. Моторы

При выборе мотора необходимо обращать внимание на характеристику «рейтинг KV». Рейтинг KV – максимальное число оборотов, которое может развить мотор без потери в мощности при заданном напряжении.

Если нам необходим беспилотник для стабильного полета, то необходимо приобретать мотор с низким значением KV (например, от 500 до 1000). Для акробатического полета KV должен быть между 1000 и 1500.

Также производители бесколлекторных моторов указывают в спецификации информацию о максимальной возможной тяге, которая создается мотором в совокупности с рекомендуемым несущим винтом. Тяга обычно изменяется в килограммах (Kg/Kg), фунтах (Lbs) или Ньютонах (N).

Предположим, вы собираете квадрокоптер и тяга одного мотора равно 0,5 кг, тогда 4 мотора смогут поднять до 2 кг груза. То есть если ваш аппарат будет чуть меньше двух килограммов, то взлететь он сможет только при максимальном количестве оборотов, поэтому в данном случае лучше выбрать более мощную связку «мотор + несущий винт», которая позволит обеспечить большую тягу, либо уменьшить общую массу беспилотника.

Таким образом, получается, что при максимальной тяге силовой установки в два килограмма идеальный вес дрона должен составлять не более половины этого значения, то есть 1 кг.

Пропеллеры. Воздушный винт или пропеллер – лопастный агрегат, работающий в воздушной среде, приводимый во вращение двигателем и являющийся движителем, преобразующим мощность (крутящий момент) двигателя в действующую движущую силу тяги. Пример представлен на рис. 3.



Рис. 3. Пропеллеры

Винты в беспилотниках имеют 2 или 3 лопасти. Чем меньше диаметр винта, тем его легче ускорять или замедлять, такая функция необходима во время акробатического полета.

Существуют 2 вида несущих винтов, которые вращаются по часовой стрелке (CW) либо против часовой стрелки (CCW).

Чтобы определить направление вращения, необходимо обратить внимание на наклон лопасти. Если правая кромка лопасти выше – вращение идет по часовой стрелке (рис. 4,а), если левая кромка – против часовой (рис. 4,б).

При выборе пропеллеров необходимо обратить внимание на материал, из которого они изготовлены. Пластмасса (ABS/Нейлон и тому подобное) является самым популярным выбором, так как винты из такого материала отличаются низкой стоимостью, долговечностью и хорошими летными характеристиками.

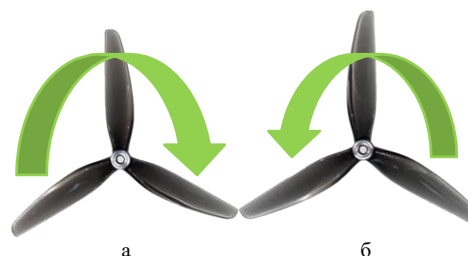


Рис. 4. Вращение винтов: а – по часовой стрелке (CW); б – против часовой стрелки (CCW)

Также стоит обратить внимание на пропеллер, изготовленный из пластика с добавлением углеродного волокна (карбона). Такой винт будет дешевле, чем полностью изготовленный из карбона, но качественнее, чем просто из пластмассы.

Регулятор оборотов. Electronic Speed Controller, или сокращенно ESC – это регулятор хода или скорости. Задача регулятора оборотов заключается в передаче энергии от аккумулятора к бесколлекторному мотору. Потребность в применении возникла вследствие особенности работы бесколлекторных моторов, так как аккумулятор отдает постоянный ток, а мотор принимает трехфазный переменный ток. Пример представлен на рис. 5.

Регулятор работает по следующему принципу. На вход подается напряжение с аккумулятора и сигнал с полетного контроллера, а на выход отдается управляющее напряжение для привода. Поэтому при подборе регулятора оборотов следует обращать внимание на максимальный ток для мотора и совместимость с полетным контроллером. Обычно максимальный ток работы мотора можно узнать в документации производителя мотора и добавить 20%. Соответственно, если мотор потребляет 25А, то следует выбрать регулятор, рассчитанный на 30А.

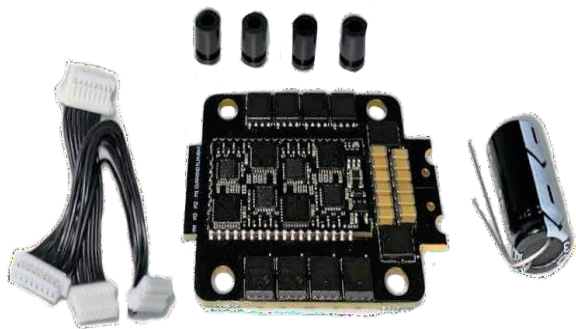


Рис. 5. Регулятор оборотов

Работа регулятора оборотов с полетным контроллером обеспечивается с помощью протокола. Первые регуляторы оборотов работали по обычному ШИМ-сигналу. Но со временем начали появляться более усовершенствованные протоколы передачи, такие как Multishot, One Shot, DShot300, DShot600, DShot1200. Это стоит учитывать при выборе как полетного контроллера, так и регулятора оборотов.

Полетный контроллер. Беспилотникам необходима стабилизация в полете для сохранения баланса беспилотного летательного аппарата в воздухе. Для этого используют полетный контроллер. Пример представлен на рис. 6.

Полетный контроллер – электронное устройство, представляющее собой вычислительную систему, работающую по сложным алгоритмам и управляющую полетом беспилотного летательного аппарата.

Основными параметрами, по которым выбирается полетный контроллер, являются его размер, прошивка, процессор, датчики, порты и комплектация.



Рис. 6. Полетный контроллер

Полетные контроллеры постоянно эволюционируют. Они становятся меньше, процессоры – быстрее, появляется больше функциональных особенностей.

На сегодняшний день популярными для мини-дронов являются контроллеры размерами 30x30 мм и 20x20 мм. Размер полетного контроллера нужно учитывать при выборе рамы беспилотника.

Прошивка полетного контроллера – это реализация функций, которые сможет осуществить ваш беспилотник. Например, используя прошивку iNav, вы можете использовать GPS и настраивать полет по заданному маршруту, в то время как другие прошивки могут не поддерживать этот функционал.

Betaflight – прошивка с открытым исходным кодом. Она разрабатывается большим количеством людей. Betaflight является самой популярной прошивкой для мини-дронов и поддерживает большое количество полетных контроллеров. При выборе полетного контроллера обратите внимание на то, какими прошивками он поддерживается. Об этом можно узнать либо в документации прошивки, либо на сайте производителя персонального компьютера (ПК).

В полетных контроллерах для мини-дронов в настоящее время используются 4 серии контроллеров STM32: F1, F3, F4, F7. Они отличаются вычислительными мощностями и размером памяти. F1 – менее мощный и имеет меньше памяти, F7 – соответственно, самый мощный из представленных. Также стоит учитывать, что от процессора зависит количество доступных последовательных портов. Например, у полетного контроллера с F1 обычно только 2 порта, у F3 и F4 может быть от 3 до 5, а у F7 – 6 или даже 7.

В настоящее время на рынке представлены контроллеры различных комплектаций. Существуют контроллеры с платами распределения питания, а также включающие в себя даже регуляторы оборотов. Такие контроллеры имеют маркировку AIO в названии. AIO – сокращение от All-in-One (т.е. «все в одном») – это компьютерная система, в которой все необходимое оборудование объединено в едином корпусе. Также полетные контроллеры могут продаваться вместе с регуляторами оборотов, но на разных платах отдельно. Такие комплекты называются Flight Stack.

Аккумуляторные батареи. Аккумулятор – устройство для накопления энергии с целью ее последующего использования.

Большинство дронов питаются от литий-полимерных аккумуляторов (сокращенное название LiPo, Li-Po или Li-Pol).

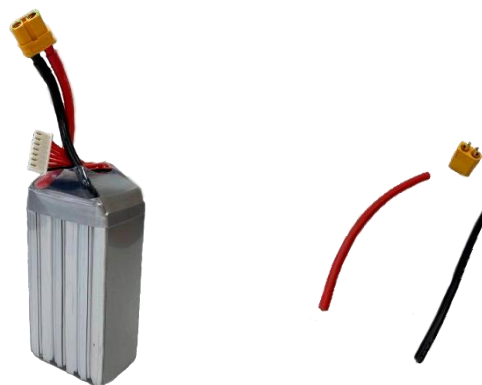


Рис. 7. Аккумуляторная батарея и силовые провода с креплением XT60

Каждая LiPo-батарея состоит из отдельных элементов или ячеек (обозначаются «S») и обычно их называют «банками»). Номинальное напряжение на одной ячейке составляет 3,7В. В таблице, которая сейчас представлена на экране, соответственно приведены напряжения на аккумуляторных батарейках из различного количества ячеек. Чтобы увеличить напряжение аккумулятора, элементы соединяют последовательно и формируют одну батарею.

Показатель того, сколько тока можно получить от аккумулятора в течение часа, называется емкостью и измеряется в мАч (mAh). С увеличением емкости аккумулятора соответственно увеличивается время полета, но также увеличивается масса и физические размеры аккумуляторной батареи

В своей спецификации литий-полимерные аккумуляторы имеют параметр C-рейтинг – токоотдача, или скорость разряда. Зная номинальное значение токоотдачи и емкость батареи, мы можем рассчитать теоретически безопасный постоянный ток разряда: $\text{Макс. ток разряда} = C\text{-Rating} \times \text{Емкость}/1000$.

При выборе аккумулятора обращайте внимание на разъемы. Каждый литий-полимерный аккумулятор имеет два набора проводов с двумя разъемами. Первый разъем – основной или разрядный. Второй – балансировочный провод. Основной разъем обычно оснащается разъемами XT-30, XT-60, XT-90 и предназначен для подключения к дрону и для зарядки. Балансировочный разъем служит доступом к напряжению на каждой банке аккумулятора и используется для балансировочной зарядки или проверки напряжения аккумулятора. Количество проводов всегда на 1 больше, чем количество банок аккумулятора (плюсы от каждой банки и 1 общий минус).

Радиоаппаратура управления. Обычно управление БПЛА осуществляется человеком с помощью радиоаппаратуры управления на земле. На БПЛА установлен приемник, принимающий команды оператора и далее отправляющий их на полетный контроллер.

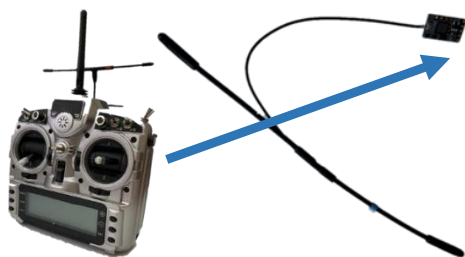


Рис. 8. Радиоаппаратура

Первое, на что стоит обратить внимание при выборе устройства связи, – число поддерживаемых каналов как на передатчике, так и на приемнике. Существует 4 основных канала: газ, рысканье, тангаж и крен. Они расположены на стиках управления. Остальные каналы считаются дополнительными и могут быть привязаны к тумблерам или отвечать за передачу информации. Первые аппаратуры управления поддерживали небольшое количество каналов, но с развитием периферийных устройств, подключаемых к дрону, потребность в дополнительных каналах росла. Современные аппаратуры управления поддерживают до 24 каналов [1].

Большинство современных систем управления мини-дронов работает на частоте 2,4ГГц. Данная частота является оптимальной для мини-дронов и позволяет управлять аппарат на расстояние до 3 километров. Существуют и дальнбойные модули, работающие на частоте 900 МГц и 433 МГц, способные работать на дистанции до 20 км. Все производители передатчиков используют алгоритмы с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты, так что использовать аппаратуру стало очень

просто. Программное обеспечение постоянно сканирует эфир для поиска наилучшей частоты, отслеживает помехи и автоматически переходит на свободные каналы. Это происходит множество раз в секунду, так что вы не увидите пауз или сбоев управления. Еще одно достоинство этих алгоритмов в том, что вы можете одновременно летать с другими пилотами, не боясь заглушить их аппаратуру [6].

Компоненты системы передачи изображения

- VTX (видеопередатчик). VTX – это компонент, отвечающий за передачу живого видео с дрона на землю. Он принимает видеосигнал с камеры FPV, установленной на дроне, и передает его по беспроводной сети на землю, где он принимается VRX.
- VRX (видеоприемник). На земле VRX принимает передаваемый видеосигнал от видеопередатчика. Затем он выводит этот сигнал на устройство отображения, такое как очки FPV или монитор, позволяя пилоту видеть изображение с дрона в реальном времени.

Компоненты системы дистанционного управления

- TX (передатчик). В контексте системы дистанционного управления TX означает передатчик. Передатчик представляет собой портативное устройство, которым управляет пилот. Он посылает дрону управляющие сигналы, приказывая ему выполнить определенные маневры, изменить направление или отрегулировать высоту. По сути, TX – это командный центр пилота.

Прием (Приемник). RX – это приемник на дроне, который захватывает и интерпретирует сигналы управления, отправленные передатчиком (TX). Он преобразует эти сигналы в действия, такие как регулировка скорости двигателя или изменение ориентации дрона.

Соединение между системами передачи изображений и системами дистанционного управления.

В то время как VTX и VRX обеспечивают передачу видео, TX и RX управляют связью между пилотом и дроном:

Пилот управляет передатчиком (TX), отправляя сигналы дрону.

Приемник (RX) дрона улавливает эти сигналы и преобразует их в действия. Одновременно видеопередатчик дрона передает видео в реальном времени на землю. Эта двойная система связи позволяет пилоту управлять дроном и видеть его перспективу в режиме реального времени.

Такие дроны в гражданской жизни использовались для развлечений, например, в спортивных гонках. Они могут нести полезную нагрузку, но в то же время дроны FPV не имеют автопилота и летают без GPS. Дроны демонстрируют исключительную маневренность и способны быстро менять направление. Это требует от оператора высоких навыков и уровня подготовки, поскольку ему приходится вручную управлять всеми процессами полета. Характеристики дрона зависят от конкретной модели. Такие дроны способны развивать скорость более 100 километров в час и даже больше [2].

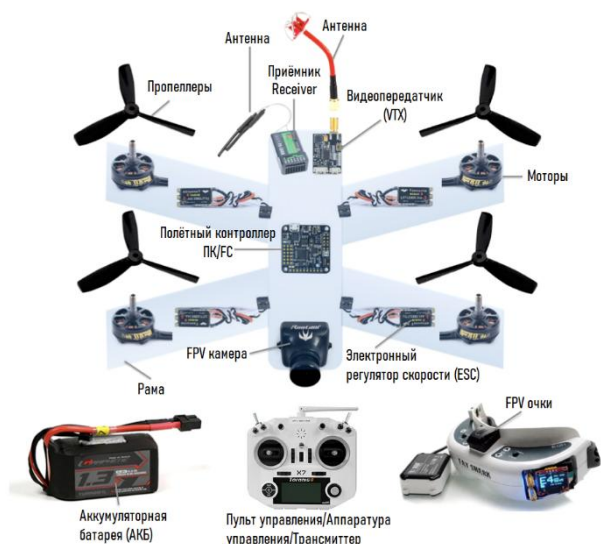


Рис. 6. Анализ устойчивости замкнутой системы [10]

III. ПРИМЕНЕНИЕ FPV-ДРОНОВ НА СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

Наиболее широкое применение FPV-дроны получили с началом специальной военной операции (далее – СВО) на Украине. Беспилотники эксплуатируются различными подразделениями противоборствующих сторон: службами безопасности, силами специальных операций, военной разведкой и т.д. Обычно военные действуют небольшими группами, состоящими из операторов и их помощников. Самая важная роль FPV-дронов на поле боя – это, конечно, работа в качестве переносчика взрывчатки в расположение врага. Желательно прямо в блиндаж или танковый люк. Боеприпас прикрепляют к дрону даже с помощью простого скотча и других подручных инструментов.

Функционал FPV-дронов:

- камикадзе – уничтожаются при попадании в цель;
- сборы – сбрасывают с них боеприпасы и возвращаются на место вылета;
- дистанционное минирование – подлетают в необходимое место и сбрасывают мины.

Это зависит от возможностей конкретной модели и боевых задач. Обычно пилот последовательно запускает несколько устройств, чтобы вероятность успеха была выше. Это обеспечивает большую эффективность применения и ситуационную осведомленность операторов. Для этой цели дорогостоящие DJI и Autel не подходят. Например, пускать в один конец DJI FPV Combo ценой от 150 тысяч рублей можно только по самым важным целям. Поэтому приходится собирать кастомные FPV-дроны, стоимостью, не превышающей 30–50 тыс. рублей.

Одним из больших преимуществ FPV-дронов является их цена и высокая точность применения. Лучшие модели стоят вдвое дешевле обычного квадрокоптера Mavic. Например, беспилотник стоимостью до 1 000 долларов способен нести заряд, который в случае ус-

пешного попадания может поразить и даже полностью уничтожить БМП или танк противника стоимостью в несколько миллионов.

Появление FPV-дронов на фронтах СВО, которые выполняют различные боевые задачи, привело к развитию этого сегмента беспилотных летательных аппаратов, которые могут поражать технику и живую силу, как в качестве беспилотников-камикадзе, так и многообразных беспилотных летательных аппаратов с механизмом сброса боеприпасов на цель.

Они представляют большую опасность и заставляют военных искать новые подходы в тактике использования подразделений на поле боя, новые методы защиты военной техники и разработки малогабаритных средств РЭБ для защиты отдельной единицы техники или окопа от поражения беспилотниками типа FPV [3].

IV. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ FPV-ДРОНОВ НА СВО

Перехват видео трансляции. В большинстве FPV-систем используется аналоговый видеосигнал стандарта NTSC или PAL. Сравнивая с аналоговым телевидением, которое, к слову, уходит в прошлое, смотреть видео может любой абонент, установив у себя дома антенну и телевизор. Также и противник может вычлнить ваш видеоканал и настроить на него свой приемник. В результате он будет получать видео, которое видит оператор дрона. Помешать он не сможет, но будет предупрежден о месте работе дрона и не покинет укрытия. Для решения этой проблемы сейчас разрабатываются видеопередатчики FPV с системой шифрования видео.

Слабым местом таких дронов называют каналы связи. При проблемах с управлением или передачей видео устройство теряется. В FPV-дронах используются различные протоколы радиосвязи для управления моделями и передачи видеосигнала. В частности это работа РЭБ (радиоэлектронная борьба). Противодействие FPV-дронам заключается в глушении (подавлении) частот (полос частот), которые используются БПЛА. Конкретно в FPV-дронах используется два канала связи - управление и видео. Глушится канал управления, так как воздействие должно идти на приемник. Дрон должен потерять связь с пультом управления и упасть. Воздействовать на приемник видеосигнала сложнее, потому что он находится у оператора дрона, а это значительное расстояние. Излучаемый передатчиком дрона видеосигнал бесполезен для подавления, но он используется для обнаружения в дрон-детекторах. Некоторые дрон-детекторы даже показывают рабочую частоту видеопередатчика. В РЭБ также используются методы глушения и подмены сигналов спутниковых навигационных систем GPS/GLONASS, но для FPV-дронов такие методы борьбы не используются, так они не имеют модулей спутниковой навигации [6].

Система опознавания «свой-чужой». Зачастую одни и те же модели часто применяются обеими сторонами конфликта, что затрудняет их визуальную идентификацию. Часто происходит, что, не разобравшись системы ПВС сбивают свои дроны. Сама система «свой-чужой» включающая получение индивидуальными навигационными средствами всех объектов, объединенных в локальную информационно-управляющую систему, информации о собственных координатах и ее передаче вместе со своим

персональным идентификационным номером в закодированном виде, отличающийся тем, что передачу информации о собственных координатах вместе со своим персональным идентификационным номером в закодированном виде осуществляют в ответ на получение закодированного сигнала запроса, причем в сигнал запроса включают информацию о координатах точки, по которой предполагают нанести удар, объекты, принявшие сигнал запроса, информацию о координатах точки нанесения удара сравнивают с собственными координатами, а ответный сигнал передают в том случае, если их собственные координаты совпадают с координатами точки нанесения удара с заранее установленной погрешностью [7].

Одним из недостатков FPV-дронов является их ограниченная дальность полета. Эта дальность ограничивается как ёмкостью аккумулятора, так и необходимостью передачи видеосигнала с дрона на очки пилота. Обычно FPV-дроны могут летать на расстоянии до 8–10 км и находиться в воздухе около 10 минут. Однако важно отметить, что разные модели FPV-дронов могут иметь разные параметры в зависимости от целей и задач, для которых они предназначены.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрено строение FPV-дрона с описанием комплектующих, рассмотрены технические характеристики. Выявлены слабые места при применении их в рамках специальной военной операции в виде средства уничтожения вражеских сил.

В настоящее время наша команда разработкой системы «свой-чужой» применимой в fpv-дронам, во избежание потери оборудования, техники и человеческого капитала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалёв М.А., Овакимян Д.Н. Беспилотные летательные аппараты вертикального взлета: сборка, настройка и программирование: учебное пособие. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2023. – 96 с.
2. Беспилотники двойного назначения: что такое FPV-дроны и зачем они нужны [Электронный ресурс]. – 2023. – <https://rg.ru/2023/09/12/fpv-drony-cto-takoe-i-zachem-nuzhny.html/> (дата доступа: 22.03.2024).
3. Открытие спецоперации: FPV-дроны [Электронный ресурс]. – 2023. – <https://topwar.ru/213612-otkrytija-specoperacii-fpv-drony.html/> (дата доступа: 26.08.2024).
4. Kostogotov A.A., Galdin E.V., Pachin A.R., Mikhailov G.G., Napalkin M.Y. Engineering Technologies for the Design of Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) for Various Industries of the Agricultural Sector, Civil Engineering and Logistics // Proceedings - 2024 4th International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education, TELE 2024. – 2024. – P. 192-197.
5. Перишин И.М., Носова В.А., Цаплева В.В. Самонастраивающиеся распределенные системы управления // Современная наука и инновации. – 2023. – № 1 (41). – С. 15-28.
6. Палый А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Воениздат, 1981. – С. 132-140.
7. Жуков В.М., Жуков М.В. Система опознавания подвижных объектов // Патент RU 2254596, ОАО "Уральское проектно-конструкторское бюро "Деталь" (RU) [Электронный ресурс] https://patents.s3.yandex.net/RU2254596C2_20050620.pdf (дата доступа: 21.08.2024).