Мультикоптеры: помощники или угроза?

Андрей Ласорла

Беспилотные воздушные суда (БВС), беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и беспилотные авиационные системы (БАС) как устройства современной электроники и микропроцессорной техники стали совершенной реальностью. Как инструмент, он может использоваться по-разному. Поэтому специальные разработки ведутся как в области совершенствования радиоэлектронной борьбы (РЭБ) против БПЛА малых форм, так и для защищённости БПЛА от воздействия средств РЭБ. История развития направления и совершенствования систем – предтечи современных мультикоптеров – полна интересных технических решений и экспериментов, узнать о которых подробнее предлагается в статье.

Особенности БПЛА малого форм-фактора

Развитие БПЛА привело к тому, что небольшие летательные аппараты производства КНР стали дорабатывать и использовать для разных целей, включая видеосъёмку без санкции, элементы частного и промышленного шпионажа и др. На высоте 50–300 метров такой аппарат затруднительно обнаружить визуально: он невидим и неслышен, его невозможно сбить «из рогатки». На рис. 1 представлена иллюстрация дистанционного управления мультикоптером; он находится над крышей дома, чуть ниже «белого облачка», однако его почти не видно без специальных приспособлений (монокля или бинокля).

Поэтому для защиты от такой «напасти» применяют средства РЭБ, простейшие из которых – электронные глушители, настроенные на определённую частоту. Управление любительских мультикоптеров в основном происходит на частоте 2,4…2,5 ГГц. Стоимость «любительского» мультикоптера с относительно качественной видеокамерой составит 7000–12 000 ₽, она сопоставима со стоимостью носимого устройства глушения с ценой 15 000–20 000 ₽ [3]. Поэтому считается, что средства РЭБ для защиты от малых БПЛА являются эффективным инструментом противодействия. Конечно, называть БПЛА, будь он даже самый простой, квадрокоптером или дроном не вполне верно. Первое, поскольку давно уже не является типичной только 4-винтовая модель БПЛА, есть и 6-, и 8-, и 10-моторные устройства. Поэтому название «мультикоптер» более корректно. Второе, потому что «дрон» – не пилотируемый человеком летательный аппарат, схема управления которым не обязательно конфигурирует с использованием нескольких вертикально-ориентированных винтовых приводов (как у типичного вертолета), но может быть и типично «самолетной»: с одним или несколькими винтами, ориентированными в горизонтальной плоскости; отсюда «дрон» – скорее сленг, чем профессиональный язык.

Более полувека прошло со времени тестовых испытаний первых мультикоптеров, за этот период появились новые достижения в области материаловедения с результатом в виде прочных и легких полимеров, существенно уменьшающих вес конструкции. Новые технологии в области современной электроники и микропроцессоров обеспечили базу для разработок стабильного управления винтокрылыми устройствами. Сегодня простым «любительским» мультикоптером может похвастаться любая семья, притом что цена его невелика, а «содержание» умещается в одной небольшой плате управления. Необходимо заметить, что ещё с 2016 года в России мультикоптеры массой более 250 г запрещены к эксплуатации без регистрации (лицензирования) в ФСБ [11]. Разнообразие конструкций БПЛА и их агрегатов предопределяет множество технических решений по автоматизации управления их движением, особенностям конструктивного выполнения и организации способов управления. Они отражены в патентных документах, принадлежащих организациям и частным лицам из ведущих промышленно развитых стран. Поскольку принцип действия и управления почти всех мультикоптеров одинаков, разница только в назначении, функционале, габаритах, массе и качестве оборудования (в том числе защиты от РЭБ), уместно рассмотреть их на примерах одного мультикоптера. На рис. 2 представлен внешний вид мультикоптера

Рис. 1. Автор управляет мультикоптером над частной территорией

Рис. 2. Внешний вид мультикоптера «бытового» назначения модели Syma X8C

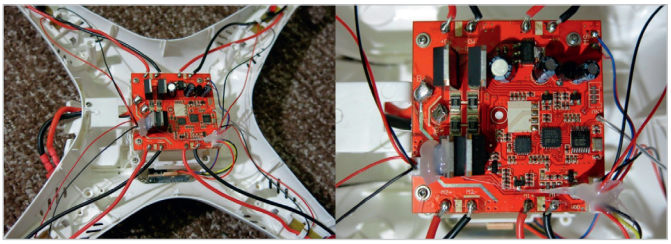


Рис. 3. Вид на плату управления мультикоптера Syma X8C

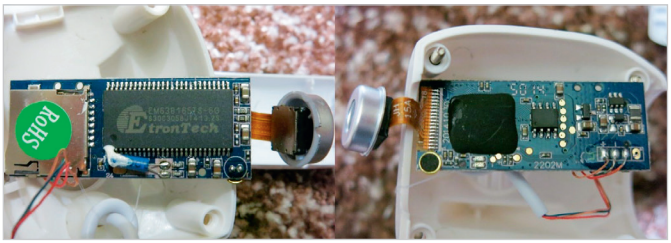


Рис. 4. Раскрытый блок видеокамеры мультикоптера

«бытового» назначения модели Syma X8C из авторского парка. На рис. 3 представлен вид на плату управления мультикоптера Syma X8C.

Как видно из этих рисунков, конструкция очень упрощена, состоит из одного модуля управления; стоимость её минимальна, а видеокамера, обеспечивающая условные 5 Мп качества картинки, реализована с помощью микроконтроллера EM63816S (рис. 4).

Элементы управления

Основа полётного контроллера БПЛА – программируемый микропроцессор (МП), отвечающий за обработку данных от датчиков и вычислительные операции. У МП есть основные характеристики: объём памяти и мощность. Чем слабее мощность процессора, тем меньше он может обработать данных, поступающих с датчиков. Маленький объём памяти ограничивает установку современных прошивок, которые с развитием направления «весят» всё больше. В табл. 1 представлены сведения относительно разных поколений процессоров, применяемых в БПЛА гражданского назначения.

Современные прошивки поддерживают процессоры F7 и выше, к примеру, относительно популярный специализированный контроллер Arducopter. Семейство МП, составляющих основную линейку современных контроллеров полета БПЛА, пополнилось 8051 AVR, PIC, ARM. Подробнее об этом сказано в [6], а разбор разницы и отличий процессоров от F1 до F7 (табл. 1) – в [10]. F7 – самый быстрый процессор (216 МГц против 168 МГц у F4) – имеет суперскалярный конвейер и возможности DSP, а это означает, что F7 является относительно хорошей платформой для разработки ПО, позволяет дополнительно оптимизировать алгоритмы контроллера полета. Платы F7 позволяют использовать больше UART со встроенной возможностью инверсии сигнала. Betaflight OSD, SmartAudio, SmartPort Telemetry, GPS, управление видеокамерой, DJI OSD, ведение журнала Blackbox. Иллюстрация разницы условно проста: если по конфигурации необходимо работать с частотой 32 кГц в Betaflight, ранее нужно было специально разогнать процессор класса F4. А процессор F7 достаточно мощный, чтобы обрабатывать 32 кГц без разгона [10].

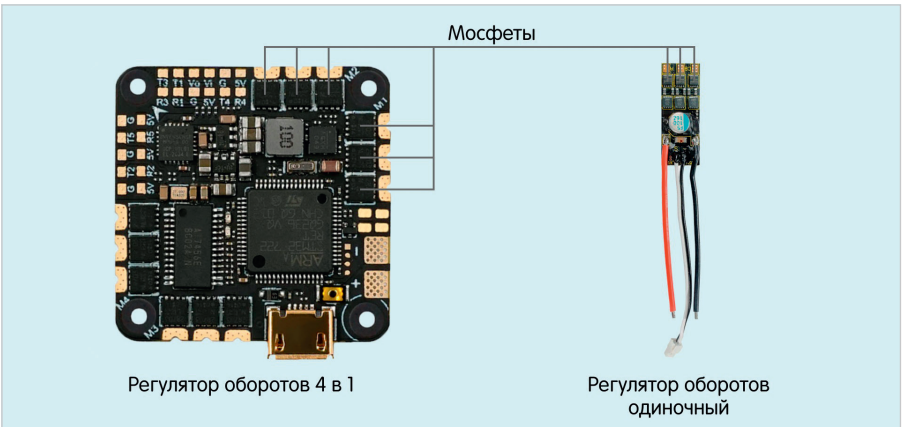


Рис. 5. Иллюстрация платы регулятора оборотов

Таблица 1. Сведения относительно разных поколений процессоров, применяемых в БПЛА гражданского назначения

Поколение процессора	F1	F3	F4	F7
Мощность	72 МГц	72 МГц	168 МГц	216 МГц
Объём памяти	128 Кбайт	256 Кбайт	1 Мбайт	1 Мбайт

Основные функции полётного контроллера:

- сбор данных с датчиков;
- ориентация беспилотника вокруг его оси (центра массы);
- ориентация центра масс БПЛА в пространстве;
- движение БПЛА по маршруту;
- избежание противоречий управления и траектории движения в групповом полёте;
- управление полезной нагрузкой: камерой, захватами для груза и т.п.;
- обмен и оперативный анализ информации, в частности, приём команд с пульта, если управление осуществляется вручную;
- корректировка полёта в больших формациях;
- отправка управляющих сигналов на регуляторы оборотов (ESC – Electronic Speed Controller).

Время цикла опроса может быть ограничено типом гироскопа (IMU) и максимальной частотой дискретизации. Если MPU6000 имеет максимальную частоту дискретизации 8 кГц, а надо 32 кГц, придётся использовать IMU с более высокой максимальной частотой дискретизации, например, ICM-20602. Встречается конфигурация, когда в FC F7 установлено два разных гироскопа: малошумящий гироскоп MPU6000, а другой – ICM-20602 – значительно более быстрый гироскоп, рассчитанный на работу с частотой 32 кГц. Такая конфигурация даёт дополнительное право выбора, какой гироскоп-датчик использовать под конкретные задачи. Для FPV дальность действия и её надёжность – это один из самых критичных параметров. Условно мощный модуль R9m от FrSky, работающий на частоте 868/915 МГц, обеспечивает условно хорошую дальность полёта. Альтернативный вариант – QCZEK LRS (LongRangeSystem) на модулях Lora 433 и 868/915 МГц. С проприетарными протоколами TX-RX (передатчик-приёмник), основными SBUS и CRSF с прошивками

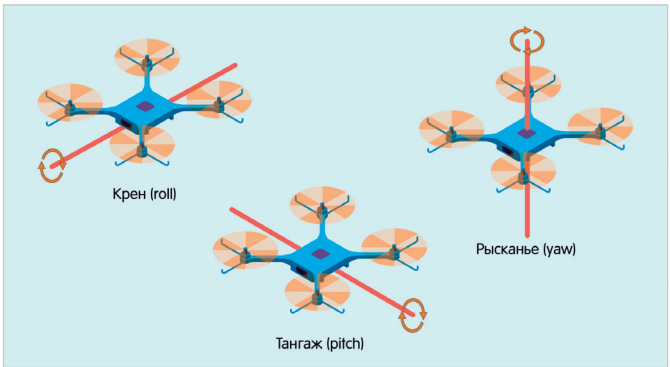


Рис. 6. Иллюстрация режимов «крен», «тангаж», «рыскание»

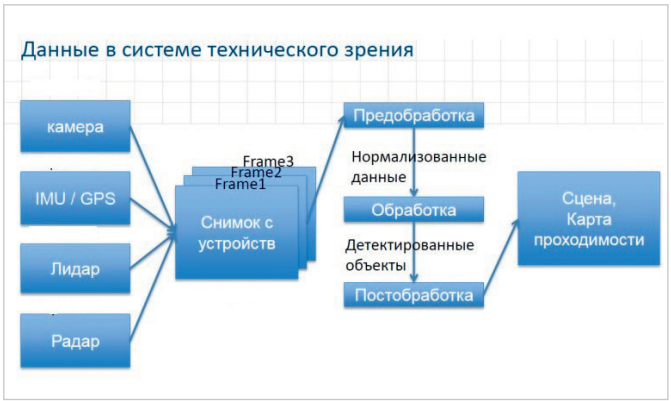


Рис. 7. Элементы системы технического зрения БПЛА

Рис. 8. Вид на электродвигатель и элементы привода мультикоптера

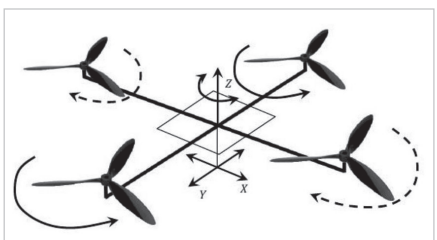


Рис. 9. Иллюстрация компенсации крутящего момента в современных мультикоптерах по четырёхмоторной схеме

Betaflight и iNAV контроллер управляет скоростью вращения электродвигателей, формируя ШИМ-импульсы на регуляторы оборотов через мощные транзисторы MOSFET. Скорость вращения электродвигателей определяется длительностью ШИМ-импульсов, передаваемых с контроллера. Это иллюстрирует рис. 5.

Направление и ход полёта мультикоптера определяются командами с ПДУ (если не запрограммировано иное, к примеру, автономный режим) с передачей энергии вращением винтов по плоскостям: «крен», «тангаж», «рысканье» (англ. – throttle, roll, pitch, yaw). На рис. 6 представлена иллюстрация этих режимов.

Система навигации и ориентации обеспечивает определение положения БПЛА на местности. Система «технического зрения» формирует картину окружающей обстановки, обеспечивает распознавание других БПЛА и возможных препятствий на маршруте. Кроме непосредственного управления БПЛА по радиоканалу в ручном режиме автономная информационная система является основой для управления маршрутизацией через экстренные шаблонные (заложенные в электронной памяти) решения в зависимости от окружающей обстановки с формированием управляющих сигналов на исполнительные приводы. Эту схему иллюстрирует рис. 7.

В зависимости от конструкции шасси БПЛА, система исполнительных приводов обеспечивает работу приводов в соответствии с управляющими сигналами; с помощью электронных ключей на транзисторах MOSFET формируются команды на электродвигатели, передающие вращение винтам. В рассматриваемом примере это «детские» коллекторные электродвигатели типа OT-FK-132PH-3735 (рис. 8).

Литиевый аккумулятор имеет маркировку «7.4V 1800 mAh», хотя в некоторых моделях аналогичного класса попадаются аккумуляторы с ёмкостью и 2300 мА·ч того же форм-фактора. Электродвигатели имеют разъём, заменить повреждённый мотор на новый можно без помощи паяльника. Винты приводятся в движение через пластиковую шестерню, притом на оси нет привычного подшипника. Размер «электромотора» почти в 2 раза больше по сравнению с коллекторным аналогом моделей Wltoys V262\V666\ Tarantula X6 и др. Вес одного электродвигателя – всего 32 г.

Из истории современных мультикоптеров

Первые современные мультикоптеры в привычном теперь виде с 4 винтами появились в 2006 году в компании MikroKopter (ФРГ). Каждый БПЛА оснащён несколькими электродвигателями, работа приводов контролируется микропроцессорной системой и несколькими (минимум тремя) гироскопами, обеспечивающими стабильное положение аппарата в воздухе. Чтобы исключить бесконтрольный поворот-отклонение аппарата в воздухе в 4-моторной схеме, два винта вращаются по часовой стрелке, а другие – против: так компенсируется крутящий момент. Иллюстрация представлена на рис. 9.

Полёт современного мультикоптера управляется по радиоканалу, но может проходить в автономном режиме по заранее запрограммированному маршруту. Бортовой микроконтроллер, 3 гироскопа, барометр и акселерометр, система стабилизации полета, а с 2008 года GPS-модуль для фиксации «позиции» – таковы были даже первые функциональные особенности. Причём развитие направления шло типичным путем: от профессиональных моделей с высокой стоимостью до относительно дешёвых клонов для детских забав. Так, «первая ласточка» с радиоуправлением от MikroKopter дала импульс для разработок БПЛА гражданского назначения в разных ценовых категориях и другими компаниями. Условные вехи

развития мультикоптеров в последующие годы определялись разработкой микроконтроллеров и ПО, адаптированного к разным устройствам: от бюджетных игрушек до профессиональных платформ для видеосъёмки, спасательных, полицейских, природоохранных и других операций, в том числе для журналистских задач. Таким образом, развитие микропроцессорной техники определило развитие производства БПЛА, а не наоборот. Gaui, DJI, XAircraft и другие производители использовали свои возможности и производственную базу для полного и условно независимого от конкурентов цикла: с собственной линейкой МП и ПО к ним. По другому пути пошли компании MultiWii, KaptainKuk, ArduCopter (и др.), ориентирующиеся на разработки МП на открытой платформе «электронного конструктора» Arduino, что несомненно разнообразило конфигурационные возможности выпускаемого оборудования, но этот путь менее оригинален и защищён.

В российском производстве, которое долго запускалось, но всё же разродилось собственными разработками на основе модулей из КНР и платформы Arduino, первые профессиональные аппараты несколько запоздали, но тем не менее они есть. О бытовых или «детских» мультикоптерах, рынок которых расширялся многообразно и бесконтрольно, свидетельствовать бессмысленно как о жалкой реплике действительно стоящих БПЛА. Всё это было актуально до введения ограничений на использование в гражданских целях мультикоптеров определённых характеристик, что случилось на рубеже 2012–2016 гг. В настоящее время в РФ запрещено без соответствующей лицензии применение мультикоптеров с высотой полета более 250 м и весом более 250 г. Что касается профессиональных моделей, уместно рассмотреть БПЛА Delta Drone H1600H (рис. 10) стоимостью с комплексом управления чуть более 1 млн рублей, обеспечивающий мониторинг с покрытием расстояния до 100 км в течение 5 часов непрерывного полёта.

Мультироторный БПЛА гибридного типа H1600-H производства отечественной компании R7 Technology, называемый также гексакоптером с гибридной энергоустановкой, сочетает в себе мощную энергоустановку – бензиновый двухтактный мотор с электрогенератором, гарантирующий высокую производительность. Фюзеляж летательного аппарата выполнен из композитных материалов, обеспечивающих одновременно высокую прочность и малый вес. При небольшом собственном весе он может нести полезную нагрузку до 7 кг, не считая ёмкости бензинового бака в 10 литров. Это одно из первых сделанных в России условно мощных устройств с привлекательными для пользователя характеристиками, претендующих на профессиональный уровень. АКБ БПЛА состоит из литий-полимерных элементов. Полностью заряженная АКБ имеет напряжение 25,2 В. В комплект поставки оборудования входит зарядная станция. При габаритах устройства 1,6×1,6×0,68 м 6 электродвигателей обеспечивают взлёт и посадку в вертикальной плоскости, радиус действия (уверенного управления) и стабильной передачи видео с масштабированием на расстоянии до 13 км. Рабочая высота полёта – до 2500 м. Время развёртывания комплекса до полной готовности управления – 12–15 мин. Условия уверенной эксплуатации допускали работу при воздействии температуры окружающего воздуха в диапазоне –20…+40°С, боковом ветре до 8 м/с и в условиях умеренных осадков – дождя и снегопада. При заявленном ресурсе БПЛА в 50 полетов не повернётся язык назвать его «одноразовым». Это одна из моделей пятилетней давности. Сегодня рынок мультикоптеров значительно разнообразнее.

Рис. 10. БПЛА Delta Drone H1600H образца 2018 года

Современный БПЛА с формфактором мультикоптера характеризуется следующими параметрами.

- Навигационные огни.
- Два 3-осевых магнетометра.
- Цифровая система телеметрии.
- Система самодиагностики и инерциальной коррекции.
- Система автовозврата при потере связи.
- Навигационная система CPS/ГЛОНАСС/BEIDOU/GALILEO.
- FPV (видеопередатчик, курсовая видеокамера, 720×576 дисплей).
- НСУ (наземная станция управления) на базе планшета с предустановленным ПО для управления, планирования полётного задания и контроля за системами БПЛА, ПДУ и даже голосовой информатор.
- Зарядное устройство со встроенным балансиром, позволяющее производить зарядку и разрядку, балансировку и мониторинг напряжения на каждом элементе отдельно.
- Рабочий ресурс комплекса 3 года.
- Ресурс АКБ – 250 циклов заряд/разряд.

Современные тенденции

А пока в СМИ активно обсуждают темы создания современных отечественных беспилотников с крейсерской скоростью 195 км/ч, высотным потолком 3000 метров и расстоянием покрытия до 600 км. Модель, получившая название по первым буквам: «транспортная авиационная многофункциональная платформа» (ТрАМП) – имеет специальное оборудование для наблюдения с хорошей оптикой и масштабируемым функционалом съёмки с подвеской для ударной нагрузки, которой может быть что угодно, по весу, не превышающему 250 килограммов. Эти сведения приведены в [1]. По техническим параметрам описываемая модель превосходит рассмотренный выше БПЛА Delta Drone H1600H по весу возможной транспортной нагрузки. Однако до появления сведений о корректных испытаниях новой модели я бы воздержался от суждений на сей счёт в связи с российскими традициями заявлять наперёд о том, что должно сначала быть апробировано, испытано, а затем только войти в серию. Из пресс-релизов 2023 года также следует, что в России создаётся новая система государственного опознавания «свой–чужой» для малых БПЛА. К слову, для

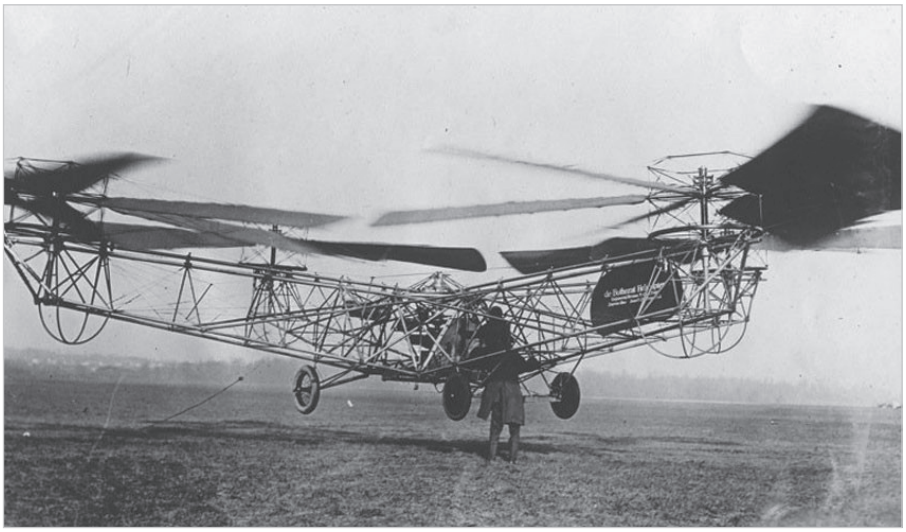


Рис. 11. Первый мультикоптер Этьена Эмишена

больших, как ТрАМП, эта система уже внедрена в конструкцию на стадии разработки. Разработчики РЭА в области систем для БПЛА также заняты совершенствованием системы опознавания «свой–чужой», давно, с 1943 года, применяемой для самолетов, но пока не внедрённой повсеместно для мультикоптеров, чтобы «свои не перебили своих». В СССР такая система оправдывала себя, а на практике было так: при заступлении на суточное боевое дежурство на командные пункты ПВО присылали новые коды для идентификации «своих» самолетов и определения чужих посредством функции «запрос–ответ» [2]. В журнале «Современная электроника» № 1 за 2023 г. на с. 51 сообщается о том, что Государственная комиссия по радиочастотам (ГКРЧ) на своём ближайшем заседании намерена рассмотреть вопрос о выделении новых частот для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [9]. Пока, в «переходный период», беспилотники используют радиочастоты в отсутствие нормативной базы. ГКРЧ определяет радиоэлектронные средства (РЭС), обеспечивающие функционирование БПЛА и БАС, как относящиеся к воздушной подвижной службе. Для упорядочения нормативной базы в правовом поле применения БПЛА предполагаются следующие полосы радиочастот: 118…137 МГц, 390…399,9 МГц, 860…876 МГц, 902…915 МГц и 921…925 МГц – для организации командной линии (управление, контроль и обмен сообщениями). Для организации каналов передачи полезной нагрузки в БАС планируется выделить полосы частот 1427…1535 МГц, 2214…2226 МГц, 2328…2340 МГц, 2400…2500 МГц и 2580…2592 МГц. Использование полос радиочастот 1710…1785 МГц и 1805…1880 МГц оправдано для установленных на БПЛА в рамках действующих решений ГКРЧ об использовании полос радиочастот для применения РЭС стандарта LTE (4-е поколение сотовой связи). Полосы радиочастот 960…1200 МГц предназначены для организации командной линии управления БПЛА, и полосы радиочастот 5…5,2 ГГц и 5,85…6,425 ГГц – для организации канала передачи полезной нагрузки в БПЛА (разновидность канала управления) для бортовых систем передачи изображения, цифровой информации с установленных датчиков и управления грузовым отсеком. Как отмечается в материалах ГРКЧ, в настоящее время на учёте Росавиации состоит свыше 60 тыс. БПЛА. В конце 2021 г. ГКРЧ выделила частоты для организации связи с беспилотными воздушными судами, но только одну полосу – 5,85…6,425 ГГц – и только для одного применения: проведения воздушного наблюдения и патрулирования при обеспечении контроля состояния удалённых (труднодоступных) промышленных объектов (нефте- и газопроводов, линий электропередач и др.). Предложения по выделению частот коррелируют с рекомендациями ECC (Electronic Communication Committee, Комитет по электронным коммуникациям) по минимальной ширине радиочастотных каналов, выделяемых для линий связи и управления БПЛА, а также для каналов передачи полезной информации с БПЛА на землю. Согласно отчёту ECC, для БПЛА предполагается выделение двух радиочастотных полос, причём как из разных диапазонов радиочастот, так и из одного и того же диапазона: одна для радиочастотного канала управления БПЛА (скорость передачи данных в канале 0,3…1 Мбит/с, примерная рабочая ширина полосы 0,3…3 МГц) и вторая – для передачи полезной информации (скорость передачи данных в канале 5 Мбит/с, ширина полосы 5…10 МГц). Что касается РЭС, отнесённых на БВС, к воздушной подвижной службе, то такой подход согласован с Минобороны и Росавиацией. Соответственно, все предложенные диапазоны радиочастот будут выделены подвижной службе на первичной основе [9].

Из истории создания прототипов мультикоптеров

Если сделать экскурс в историю, то, может быть, первыми БПЛА были горшки с нечистотами, которые с помощью «метательных машин» летели в сторону осаждённого города, а также стенобитные «снаряды» в виде камней и ядер в «допороховую эпоху», которым сообщали энергию движения (полёта) всё те же метательные «машины» с высокой деревянной фермой и системой натяжных канатов-тросов. Они известны в истории ещё из эпохи шумеров. Эти штурмовые орудия применяли и в России во времена царя Ивана Васильевича, и даже ранее. Затем прототип военного беспилотника изобрели в 1849 году в виде воздушных шаров с автоматически сбрасываемыми фугасами для бомбардировки Венеции. Их применяли в австрийской армии того славного времени принца Евгения, когда маршал Йозеф Радецкий в 84-летнем возрасте побеждал в Италии. Причём побеждал он славно. В битве при Кустоцце он противостоял итальянскому королю, но силы и средства, в частности личный состав, закончились, и маршал в потёмках отступил. Когда же утром ему доложили, что итальянцы тоже покинули город, Радецкий проявил поистине дар полководца и быстренько занял опустевшую местность, приписав победу себе. Затем история БПЛА продолжилась на заре вертолётостроения в 1920-х годах.

Параллельно развивалась технология создания БПЛА, управляемых дистанционно или в автономном режиме. Первым в мелкосерийное производство поступил немецкий беспилотный бомбардировщик Fliegermaus, способ-

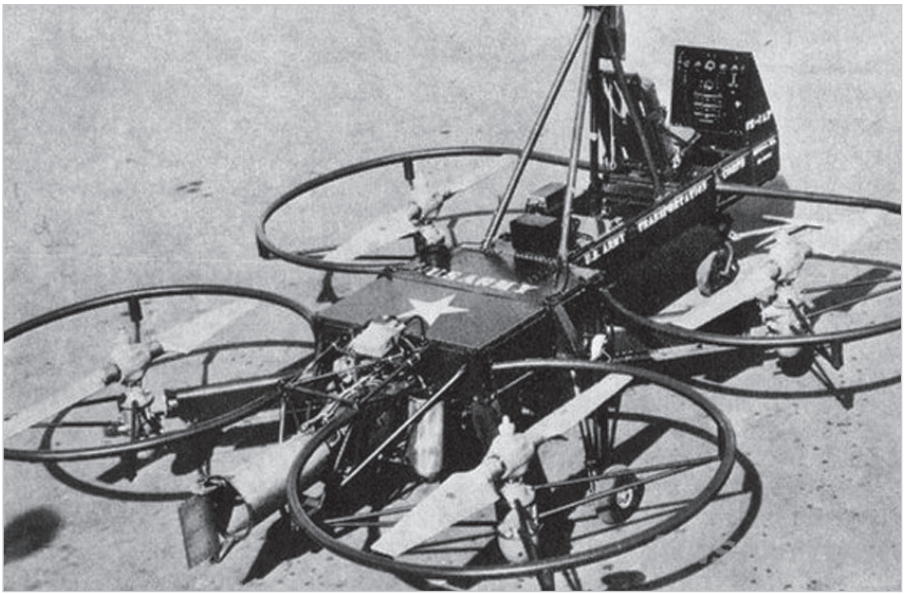


Рис. 12. Внешний вид БПЛА VZ-7 американского производства, 1958 год

ный нести бомбовую нагрузку и управляемый по радио. Ещё один пример – созданный в 1917 году «Автоматический аэроплан Хьюитта-Сперри» с двумя гироскопами для автономного полёта по заданному курсу. Американский конструктор русского происхождения Георгий Ботезат и французский инженер Этьен Эмишен параллельно занимались разработками пилотируемых аппаратов с форм-фактором современных мультикоптеров, когда винты, разнесённые на 4 стороны относительно центра конструкции с помощью балок, посредством системы ременной и цепной трансмиссий приводились в действие от одного двигателя. Отсюда пошло название «квадрокоптеры». Первые прототипы разработаны в начале прошлого столетия. На рис. 11 представлен мультикоптер Этьена Эмишена.

Если считать достижением того периода, что на испытательном полигоне «вертолёты» поднялись на высоту до 15 м и даже пролетели определённое расстояние (модель Эмишена преодолела 1100 м), дальше тестовых испытаний дело не продвинулось из-за тяжёлой и ненадёжной трансмиссии, передающей крутящий момент с одного двигателя на 4 ротора. Для поперечного и курсового управления модель Эмишена использовала 8 винтов, а аппарат Ботезата мог двигаться только с попутным ветром. Без системы стабилизации и качественного управления аппараты обоих мастеров были неустойчивы в полете даже на такой «детской» высоте [5]. Изобретение «автомата контроля перекоса» и рулевого винта способствовало вертолётостроению по соосной схеме, ставшей на многие годы классическим решением вертикального взлёта, и 4-винтовую схему на 30 лет забыли. Относительно удачный квадрокоптер изобрел Георгий Ботезат в 1956 году. Этот аппарат управлялся с помощью несущих винтов. БПЛА VZ-7 компании Curtiss-Wright в 1964 году проходил лётные испытания в армии США, показал хорошую стабильность и управляемость, но по заключению военной комиссии на вооружение не принят из-за несовершенных эксплуатационных характеристик. Внешний вид аппарата VZ-7, по форм-фактору напоминающий мультикоптер, представлен на рис. 12.

Самолёты-снаряды, являвшиеся прототипом крылатых ракет, были известны в ВОВ и в 1950-х годах, когда беспилотники запускали со специальных установок «Стрела» и «Сопка», стоявших на вооружении в советской армии. Таков был ракетный комплекс проекта 67 с пусковой установкой Б-163 и ракетой С-2, имевшей обтекаемый цилиндрический фюзеляж с лобовым воздухозаборником, на верхней поверхности которого располагался кожух головки самонаведения. В этом может убедиться любой, посетив военные музеи, к примеру, комплекс сооружений форта «Красная горка» по дороге к атомограду Сосновый Бор. Подробнее об этом в [8]. Их боевое применение автору неизвестно, скорее это памятник соревнованию противоборствующих держав. Однако и такие разработки отечественного военпрома

Рис. 13. Внешний вид «Серп-ВС» – системы подавления радиочастот управления БПЛА

способствовали развитию технической мысли по совершенствованию БПЛА. Переоборудованные из типичных моделей беспилотники-разведчики и бомбардировщики были и в странах НАТО. С первых разработок привычной нам схемы мультикоптеров уделяли внимание системе стабилизированной подвески для фиксации и закрепления оборудования и груза. В современных моделях можно говорить о высокой стабилизации подвески с компенсацией колебаний и разворотов БПЛА по осям. Теперь поговорим о проблемных вопросах современных технологий.

Методы защиты от проникновения БПЛА

Система «Серп-ВС» позволяет воздействовать как на сигналы глобальных навигационных спутниковых систем – GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou, так и на сигналы управления БПЛА в диапазонах 2,4 и 5,6 ГГц, используемых в сетях Wi-Fi [7]. На рис. 13 представлен внешний вид системы «Серп-ВС».

Разумеется, таких реализованных разработок несколько, а устройство «Серп-ВС» рассмотрим как относительно безопасный пример (чтобы не рассматривать реальные и засекреченные устройства, применяемые в РЭБ сегодня). По заявлению разработчиков устройства, оно может подавлять БПЛА на 360° по горизонтальной оси. По вертикали устройство воздействует на БПЛА-нарушитель в секторе от 10° до 80°. Также предусмотрена возможность управляемого секторального подавления. Режимы работы в каждом из 4 азимутальных секторов задаются независимо друг от друга. Потребляемая мощность устройства не более 150 Вт, а дальность действия – до 3 км. Связь с собственным пунктом управления осуществляется по сети

Ethernet посредством оптоволоконного канала. Таким образом, понятно, что устройство «Серп-ВС» предназначено для борьбы с несанкционированным нарушением воздушного пространства со стороны БПЛА на расстоянии до 3 км. Однако это крайне малый радиус покрытия, в то время как необходим как минимум в 2 раза больший. Далее разработчики заявляют, что «“Серп-ВС” способен подавить канал управления беспилотником, разорвать связь с оператором, вывести из строя навигационное оборудование, дезориентировать дрон в пространстве и сорвать выполнение полётного задания. Система нейтрализует сигналы GPS, ГЛОНАСС, Beidou (в диапазонах L1, L2, L5), а также разрывает управление дронами по Wi-Fi». Ну, это совсем уже «детский лепет», и далее давайте рассмотрим, почему.

Методы повышения «выживаемости» БПЛА в условиях активной РЭБ

Методы борьбы с БПЛА, как заявлено разработчиками «Серп-ВС», касаются выведения из строя навигационного оборудования с целью нарушить ориентацию БПЛА в пространстве. А преодолевается это следующим образом (говоря упрощённо): «ошибка» по электронной инерционной системе накапливается быстро, но достаточно обеспечить тот же маршрут – удержание на цели с точки потери сигнала GPS с запасом по времени – до возобновления связи со спутником. Таким образом, «защищённый» БПЛА должен уметь лететь по выбранной траектории самостоятельно некоторое время в зоне действия средств РЭБ, как простейший вариант с прокладкой маршрута по ПО «Adupilot Mission Planer».

Рассмотрим пример заранее запрограммированного маршрута БПЛА «лететь на высоте 300 м, 2 км вперед, потом 1,5 км вправо, потом снижаться до окончательного завершения программы или – вариант – вернуться в точку старта». Для этого нужна только качественная инерционная система автономной навигации (работающая временно без связи со спутником). Вариативно возможно использовать ФАР из патч-антенн. Вообще, разработка новой системы инерциальной навигации может принести огромные дивиденды. Убеждён, что над этим уже трудятся специалисты отрасли. Ещё одним вариантом противодействия системам защиты является полностью автономный режим полета БПЛА, включающийся по команде оператора или автономно за несколько километров до объекта воздействия. В таком случае – при полном отключении электронного и навигационного оборудования в условиях «последней мили» – БПЛА представляет собой просто снаряд без «электроники», летящий без манёвров и корректировок высоты, подобно обычному снаряду, следовательно, не подверженный влиянию устройств глушения. Если обеспечить полёт мультикоптера в автоматическом режиме, по азимуту и «по ветру», то потери в точности местоположения будут значительными. Ветер может сносить и крупные пилотируемые самолеты, управляемые по ILS; опытные летчики гражданской авиации и ВВС подтвердят, что при означенных рисковых факторах по согласованию с оператором на земле самолёты нередко уходят перед посадкой в условиях сильного бокового ветра на второй круг. То же касается влияния рассматриваемых особенностей на БПЛА.

Сегодня для повышения выживаемости БПЛА, в частности, изучаются вопросы установки радиосвязи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ), чтобы возможное устройство глушения в охраняемом периметре радиоканала не влияло на курс и задачи БПЛА. Однако это уже профессиональный уровень и компетенция разработчика, элементная база военпрома, недоступная для сборки устройства «на коленке». Достаточно мощная система с ИИ на борту в сочетании с видеокамерами и многоканальным GPS), хотя и будет сопоставима с ценой качественного лазерного гироскопа, для инерциального наведения всё же обеспечит БПЛА улучшенную защиту. Довольно спорной является идея ориентировать БПЛА на запеленгованный сигнал устройства глушения. Несмотря на то что это можно сделать при мощности передатчика 150 Вт на частоте L1, для этой частоты ширина полуволновой рамки примерно 9 см, и пеленгующую антенну вполне можно разместить на «дешёвом» БПЛА. Вопрос этот требует дополнительных исследований: будет ли эффективным в соответствии со стратегическими задачами попадание БПЛА в устройство глушения, расположенное не в центре, а по периметру «охраняемого» объекта? Ещё один вариант достижения мультикоптерами цели может быть таким. Не один, а два «аппарата» используют на высоте 2–3 км; при подлёте к объекту один БПЛА остаётся на своей траектории и в полётном «эшелоне», а другой снижается и принимает команды от первого, как ретранслируемые от основного пункта управления или локальные, непосредственно от находящегося на высоте БПЛА. Разумеется, в подобной связке может быть не два мультикоптера, а 22… И этот вариант – одна из причин вновь задуматься о безопасности объекта методами РЭБ, совершенствуя их.

Варианты повышения надёжности средств РЭБ

Рассматриваемое устройство и подобные ему рассчитаны на условно простое неглубокое прикрытие от несанкционированного проникновения незащищённых (в части РЭБ) БПЛА. Система, таким образом, рассчитана на мультикоптеры гражданского назначения и «бытовые» варианты, адаптированные для иных задач. Однако навигационное оборудование, установленное на небольших БПЛА, – 6-канальный акселерометр, магнитный компас и баровысотомер являются простейшими элементами, повлиять на них с помощью глушения радиочастоты нельзя. В целях повышения надёжности защиты территории и воздушного пространства вблизи охраняемого объекта уместно рассматривать ту же систему как элемент защиты, то есть необходима установка их (в том числе однотипных) по периметру и радиусу 15–20 км. Такая защита была бы более надёжной. Но этот путь хоть и возможен, однако значительно удорожает весь комплекс защитных мероприятий, организуемых с помощью «Серп-ВС» и аналогичных по техническим характеристикам устройств. А пока система представляется полумерой, то есть способна, несомненно, защитить воздушное пространство и территорию от «любительских» мультикоптеров, к примеру, с платой управления, представленной на рис. 3 (в начале статьи), но она бесполезна против профессиональных БПЛА, оснащённых многоуровневой защитой. Как полумера и паллиатив эта система лучше, чем ничего, однако надо иметь в виду все рассматриваемые факторы и условия её эффективности и понимать, что она не только не панацея от несанкциони-

рованного проникновения БПЛА, но и может быть банальным имитатором освоения отпущенных больших материальных средств под вполне конкретные ТУ защиты объекта для заинтересованных лиц. Другим вариантом защиты от БПЛА может являться установка систем глушения воздушного, а не только наземного базирования, к примеру, на высоких мачтах, установленных за несколько км от объекта и по периметру. Таким образом защищённость объекта повышается.

Устройство глушения радиочастот передатчиком условно большой мощности – 150 Вт – работает по принципу вторичного сигнала на известной частоте и создания электромагнитных помех. Расчёт на то, что подобные помехи затруднят связь БПЛА по спутниковому каналу для контроля собственного местоположения летящего устройства. Сигнал будет принят с опозданием на несколько секунд – это уже значительно снизит точность и результативность применения БПЛА. Трёхсекундное запаздывание в приёме сигнала может иметь последствия смещения БПЛА на километры. Разумеется, в БПЛА определённого назначения будут встроены системы не только дублирования отслеживания координат, но и «автопилот», держащий заданный курс в расчёте на то, что связь со спутниками временно недоступна. В этой связи противодействуют две концепции «нападения» и «защиты» оборудования, идёт непрекращающееся соревнование специалистов-разработчиков по купированию методов противодействия противной стороны. Учитывается и то, что профессиональные БПЛА с условно военным назначением имеют установленную защиту от глушения радиочастот, в которой задействованы несколько резервных каналов связи. Передаваемый со спутника навигационный сигнал GPS содержит 3 модулированные несущие частоты: L1 с центральной частотой 1575,42 МГц (154 – f0), L2 с центральной частотой 1227,6 МГц (120 – f0) и L5 с центральной частотой 1176,45 МГц (115 – f0), где f0 = 10,23 МГц [7]. «Генераторы-глушилки» стоят условно недорого, а усилители мощности расширяют зону их действия. Причём «глушитель» мешает приёму высокоточного сигнала, если расположен недалеко от БПЛА, даже если глушение происходит на смежных (неточных) радиочастотах. Система защиты наводит помехи на известных частотах в радиусе 3 км. По сути, устройство может быть полезным для установки по периметру охраняемой территории в коммерческом секторе, «чтобы папарацци с камерами не лезли». Для защиты критической инфраструктуры против профессиональных БПЛА она бесполезна.

У БПЛА военного и промышленного назначений передача информации коррекции координат происходит через связь со спутниками условно медленно из-за распределения данных по времени. Это один из проблемных вопросов оперативного дистанционного управления БПЛА, совершенствованием которого активно занимаются разработчики. Высокоточный сигнал со спутников рассматриваемое устройство глушит на 300–500 метров при прямой видимости (в этой зоне невозможно работать с гражданскими навигаторами), при этом смартфон спутники «видит», так как в смартфоне «навигатор» опирается не только на данные GPS, но и на инерционные датчики. Это хорошо видно, когда в тунеле при потерях связи устройство реагирует на смену траектории/ряда. В современном профессиональном БПЛА такие датчики уже предусмотрены в базовой схеме, иначе невозможно было бы им управлять. Заметить эту особенность, скажем, наблюдателю-экспериментатору по дорожному навигатору, установленному в автомобиле, оперативно затруднительно, поскольку в современном «навигаторе» задействован программный «лаг», в периоде которого потеря спутников скрывается. «Система-глушитель» рассчитана на то, что БПЛА перестанет контролировать высоту и пройденное расстояние из-за недостаточной точности контроля расстояний на местности ±100 м [5]. Тем не менее датчики успешно справляются с задачей стабилизации полёта, но не реагируют гарантированно на изменение местоположения в пространстве под воздействием внешних сил. К примеру, в случае недавней атаки воздушным потоком истребителя Су-27 над Чёрным морем БПЛА MQ-9 Reaper это хорошо проявилось. Датчики устойчивости обеспечивают полёт так, что БПЛА ветром не перевернётся, но куда его сильным потоком ветра снесёт – пока непредсказуемо. Однако ветер не может быть 24 часа в сутки… Вариант подмены сигнала GPS тоже теоретически существует, но, скорее, для простейших БПЛА. К примеру, можно рассматривать вопрос о подмене сигнала с тем, чтобы БПЛА получил заместительный и мощный сигнал от аналогов спутников, но расположенных на земле в виде устройств глушения – генераторов соответствующих частот в диапазонах GPS L1, L2, L5. Непрофессиональный «одноразовый» мультикоптер без соответствующей защиты против РЭБ такой подмены не обнаружит, а перепрограммировать его не будут, ибо нерентабельно; проще послать несколько дешёвых с расчётом, что хотя бы один долетит.

Рассмотрим следующую иллюстрацию. Для самостоятельного изготовления устройств на ESP8266 с управлением по Wi-Fi любыми подключёнными электронными устройствами, в том числе БПЛА, можно ознакомиться с рекомендациями в [12]. Причём завершать можно конкретные соединения, т.е. выборочно. При работе с корректно адаптированной антенной и усилителем мощности расстояние воздействия значительно увеличивается, и на приведённом примере можно понять, как работают системы, блокирующие сигналы по Wi-Fi. Что касается рассмотренного устройства, сфера его применения представляется ограниченной. То есть оно предназначено против исследователей частной собственности или отпугивания папарацци, но не против «байрактаров» и серьёзных целей защиты.

Перечень практического использования беспилотных комплексов, среди которых силой технической мысли разработчиков совершенствуются самолётные, мультироторные, вертолётные и другие БПЛА (аэростаты, конвертопланы), далеко не полон. Возможность получения видеопотока из эпицентра событий в режиме реального времени без угрозы для жизни оператора активно используется журналистами. Один из безопасных примеров – репортажи со спортивных мероприятий в условиях «растянутых» расстояний – велогонки, соревнования по гребле и яхтенные регаты, а также марафонские забеги и др. Беспилотники доставляют медикаменты в районы стихийных бедствий и военных действий. Мультикоптеры успешно используются для поиска людей и судов, попавших в аварийную ситуацию, «патрулирования» приграничной территории. Беспилотники способны перехватывать информацию

Рис. 14. Самодельный БПЛА из Сирийской Арабской Республики для военных целей

от радиолокационных станций и передавать её на землю. Такие устройства постоянно развиваются и совершенствуются. В дальнейшем возможно создание авиационных отрядов из пилотируемых и беспилотных аппаратов. Они могут быть вооружены ракетами и использоваться в ударных целях. Обратите внимание на рис. 14: здесь представлен БПЛА, начинённый взрывчаткой, подобранный на территории САР в 2018 году.

На сегодняшний день самой тяжёлой в армии США считается модель RQ-11 Raven с размахом крыльев 1,5 м и скоростью до 95 км/ч, способная пребывать в полете до 1 часа.

Выводы

Как мы увидели в обзоре, производство мультикоптеров развивается. Было много разговоров в предыдущие годы о беспилотном «такси» на базе мультикоптера в Москве и в Саудовской Аравии, однако всё это характеризуется «пилотными» моделями, проходящими испытания, анонсами, но не серийным производством. Тем не менее тенденции в совершенствовании БПЛА чётко прослеживаются: увеличение дальности полетов в автономном режиме, внедрение в функционал ИИ, увеличение веса полезной нагрузки (транспортного отсека). Пример и история БПЛА с форм-фактором мультикоптеров наглядно показала эволюцию и сложный путь к реализации даже перспективных идей. Как нередко бывает, гениальные решения не всем и не всегда видятся таковыми. При отсутствии финансирования довольно затруднительно существовать не только Кулибину, Попову, Зворыкину или Пильчикову, но и Кеймену (сегвей), и Эмишену, и Ботезату (и др.). Поэтому «налицо» не российская, но интернациональная проблематика отсутствия поддержки талантливых изобретателей. Тем не менее люди с опережающими время идеями рано или поздно оказываются правы, и их имена сохраняются в истории лучше, чем имена безвестных критиков. Ну а главное, конечно, в том, что прогресс не остановить. Перспективные идеи всегда возьмут своё.

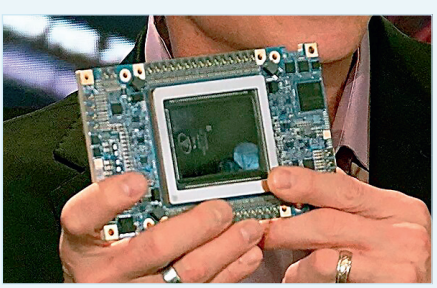
Литература

1. В России создали дальний транспортный беспилотник // URL: https://avia.pro/news/na-vooruzhenii-rossii-poyavilsya-voennyy-bespilotnik-tramp?ysclid=ldvgrjz48o9682751.
2. В России делают систему опознавания «свой-чужой» // URL: https://www.ixbt.com/news/2023/02/06/chtoby-svoi-ne-perebili-svoih--v-rossiju-delajut-sistemusvoj-chuzhoj-dlja-dronov.html?yrwinfo=1678115585517129-9502114447442416664-sas3-0804-36f-sas-l7-balancer-8080-BAL-7536.
3. *Кашкаров А.П.* Электронные устройства для глушения беспроводных сигналов (GSM, Wi-Fi, GPS и некоторых радиотелефонов). М.: ДМК Пресс, 2016. 96 с.
4. Квадрокоптер Delta H1600H // URL: https://russiandrone.ru/catalog/bespilotnye-kompleksy/multirotornye/benzinovyy-dron-delta-h-1600-h/.
5. Первый квадрокоптер: история появления // URL: https://dzen.ru/a/Wqu96tyvjkr9VqSd.
6. Подробно о полётном контроллере // URL: https://dronomania.ru/faq/dron-svoimi-rukami-urok-4-polyotnyj-kontroller.html.
7. Противодронные устройства Ростеха защитили от беспилотников нефтяную компанию // URL: https://rostec.ru/news/protivodronnye-ustroystva-rostekha-zashchitili-ot-bespilotnikov-neftyanuyu-kompaniyu/.
8. Противокорабельные комплексы «Стрела» и «Сопка» // URL: https://topwar.ru/92923-beregovoy-raketnyy-kompleks-sopka.html.
9. Россия легализует частоты для беспилотников // Современная электроника. 2023. № 1. С. 51. URL: https://www.soel.ru/magazines/PRINT/SoEl_2023-1pr/50/.
10. Сходства и отличия процессоров для БПЛА // URL: https://rchobby.pro/blogs/f1-f3-f4-f7-i-h7-poletnye-kontrollery-v-cem-raznica.
11. *Суомалайнен А.* Беспилотники: автомобили, дроны, мультикоптеры. М.: ДМК Пресс, 2018. 188 с.
12. Электронное устройство глушения радиосигналов – джаммер на основе ESP8266 // URL: www.youtube.com/watch?v=zTndXkPUMO8.

НОВОСТИ МИРА

Intel показала, чем будет завоёвывать рынок искусственного интеллекта. Компания продемонстрировала ускоритель Gaudi3

Компания Intel не только заявляет, что «вся индустрия заинтересована в ликвидации рынка Nvidia CUDA», но и продолжает разрабатывать собственные ускорители для ИИ. Сегодня Intel продемонстрировала модель Gaudi3, которая должна выйти в следующем году.



Всех подробностей о данном решении пока нет, но сама Intel говорит, что производительность в режиме BF16, которая как раз важна для ИИ, по сравнению с Gaudi2 будет повышена в четыре раза, а пропускная способность вырастет в полтора раза. Правда, для Gaudi2 мы показателей производительности в этом режиме не знаем, и неясно, где и насколько активно используются такие ускорители.

Сама Intel говорит, что линейка Gaudi претерпела значительный рост благодаря производительности и совокупной стоимости владения. Учитывая, что ускорителей Nvidia точно не хватит на всех желающих, Intel вполне может преуспеть на этом рынке.

ixbt.com

«СТА-ПРЕСС» МЕДИАПОРТАЛ

ТОВАРИЩ!
БИЗНЕС РОСТ ЗАМЕДЛИЛ?
РАНО ВПАДАТЬ В СТУПОР!
НУЖНО КРИЧАТЬ О СЕБЕ НЕМЕДЛЯ,
А МЫ
ОБЕСПЕЧИМ РУПОР!

Используй все возможности продвижения, которые мы создали для тебя

Журналы

Два наших журнала уважают в отрасли. Ваши статьи и рекламу в них увидят все наши читатели

YouTube-канал

Наш канал предоставляет вам возможность интересно рассказать о себе

Сайты

Наши сайты – это ваши новости и статьи, оперативно доставленные по адресу

SOEL.ru
CTA.ru

Конференции

На наших конференциях ПТА вы заведёте новые контакты и расскажете о себе специалистам

Дизайн-студия

Наши дизайнеры и верстальщики сделают для вас эффективную рекламу, баннер, ролик

+7 (917) 517-46-18 / advert@soel.ru / cta.ru / soel.ru

Приглашаем вас к сотрудничеству!