

Дата создания - 5.03.2023, последняя правка 23.05.2025

О клиенте и задаче

Исследование

Существующие популярные решения на рынке БПЛА-дронов?

Что существует из доступного на рынке в плане операционных систем и бортовых программ для воздушных дронов?

Какие области знаний и технологий заняты в этой сфере?

Кто уже занимается разработкой дронов и близких продуктов и технологий?

Как заливается программная система на сырое железо?

Каким образом производится тестирования софта на реальном железе?

Как решается дилемма проблема ли в софте или же в железе?

Какая среда разработки и язык используются для программирования дронов?

При разработке собственной прошивки какие модули помимо передачи управления и видео будут необходимы?

Как через что происходит связь между оператором и дроном?

Как решается задача ухода от столкновений с объектами и другими летательными аппаратами?

Как защитить дрон от взлома и перехвата?

Насколько применима Aurora OS на дронах?

Как можно использовать 3D принтеры для разработки компонентной базы для дрона?

Какие компоненты используются для сборки дрона?

Насколько рентабельно использование компонентов, распечатанных на 3D принтере?

Какие задачи можно решать при связки данные с дрона - нейронная сеть?

Достаточна ли скорость передачи канала, объём данных, производительность дрона для задействования нейронных сетей?

Известны ли люди из наших контактов, работавшие с программированием дронов или низкоуровневого железа вообще?

Какие государственные инициативы можно использовать для решения этой задачи?

Как получить навыки пилотирования?

Какие актуальные технические требования к дрону?

1. REAPER 10" FPV-дрон



2. Квадрокоптер Combat 10"



3. Сборка на базе Pixhawk

Какие дроны в основном используются уже сейчас?

1. FPV-дроны (дроны от первого лица)

2. «Русак-С»

3. «Кукушка»

[4. «Князь Ванда»](#)

[5. «Сварог-13» и «Сварог-15»](#)

[6. «Илья Муромец»](#)

[7. «Овод»](#)

[Как происходит сборка дронов?](#)

[Производители комплектующих для дронов в РФ](#)

 [Производители и поставщики комплектующих для дронов](#)

 [Рекомендации по покупке](#)

 [Российские производители комплектующих для дронов](#)

 [Рекомендации по покупке](#)

[Какие блоки питания совместимы с Cube orange?](#)

[Таблица: LiPo батареи 4S и выше](#)

[Дополнительные параметры, которые стоит учитывать:](#)

[Примеры расчёта максимального тока разряда:](#)

[Что важно при выборе?](#)

[Пропеллеры](#)

[Совместимость с радио \(RC\) протоколами](#)

[Антенны и WiFi адаптеры по версиям беспилотника](#)

[Передача видеопотока на вход ML модели](#)

 [Как получить видеопоток из OpenHD](#)

 [Способы "вытащить" видео в реальном времени](#)

 [1. Использование Python + OpenCV](#)

 [2. Использование FFmpeg для отправки в UNIX pipe или socket](#)

 [3. GStreamer: напрямую подключить ML пайплайн](#)

 [Что дальше \(ML-инференс\)](#)

 [Пример архитектуры](#)

 [Важно](#)

[Опыт Украины и других стран](#)

 [Что есть у ESA Ф-lab в открытом доступе](#)

[1. RaVAEn + облачное обнаружение, onboard training](#)

[2. Фреймворк для Edge AI на FPGA \(FPG-AI\)](#)

[3. Neural Architecture Search \(NAS\) для моделей edge](#)

[4. Конкретные AI-apps на Ф-Sat-2 \(с Intel Myriad 2\)](#)

 [Насколько это актуально для беспилотников?](#)

 [Сводная таблица](#)

 [Выводы](#)

[Какие вопросы нужно ещё поднять?](#)

[Решение](#)

[Промежуточные результаты этапа исследования](#)

[Пилотный проект](#)

[Прошивка \(firmware\)](#)

[Железо \(hardware\)](#)

[Версионирование](#)

[Таблица: Компоненты vs Версии \(V1 → V4\)](#)

[Позаппный чеклист LEAN-сборки](#)

[Версия 1: Минимальный радиоуправляемый дрон](#)

[Версия 2: Видео-передача на пульт](#)

[Версия 3: Интеграция ML](#)

[Версия 4: Автоматизация и анализ](#)

[Дополнительно: ПО и протоколы](#)

[Версия №1](#)

[Список комплектующих первой версии дрона](#)

[Расчёт тяговой силы и подбор моторов](#)

[Подбор пропеллеров](#)

[Контроллеры скорости](#)

[Подбор батареи](#)

[Полётный контроллер](#)

[Система радиоуправления](#)

[Почему Crossfire?](#)

[Почему TX16S?](#)

[Антенны и надёжность связи](#)

[Законодательные ограничения](#)

[Плата распределения питания](#)

[Проблема совместимости контроллера полёта и контроллера управления \(радио передатчика непосредственно в руках\)](#)

[Версия №2](#)

[Первая версия \(устаревшая\):](#)

[Вторая версия:](#)

[Важно:](#)

[Подключение камеры](#)

 [1. Камера → Полётный контроллер: когда нужно?](#)

 [2. Камера → Видео-система \(Herelink / OpenHD\): как правильно](#)

 [Типовая конфигурация:](#)

[Пример \(Herelink\):](#)

[Пример \(OpenHD\):](#)

[Передача видеопотока на землю](#)

[H.264/H.265 в разрешении до 1080p 30fps в канале 4-6 Mbps](#)

 [Битрейт vs разрешение \(при хорошем качестве\)](#)

 [Практика на OpenHD:](#)

 [Требования к каналу:](#)

 [Рекомендации:](#)

[Примерная конфигурация](#)

[Спутниковая связь](#)

[Версия №3](#)

[Список комплектующих](#)

[Анализ](#)

[Какой подвес выбрать?](#)

[Передача видеопотока на вход ML модели](#)

[Сборка дрона](#)

[Сборка рамы коптера](#)

[Сборка моторов](#)

[Сборка регуляторов скорости \(ESC\)](#)

[Сборка платы распределения питания \(PDB\)](#)

[Прошивка контроллера полёта](#)

 [Шаги первой настройки \(First-Time Setup\)](#)

[1. Загрузка прошивки](#)

[2. Подключение](#)

[3. Обязательная калибровка оборудования](#)

 [a\) Калибровка акселерометра](#)

 [b\) Калибровка компаса](#)

 [c\) Калибровка RC-пульта](#)

 [d\) ESC-калибровка \(если PWM-ESC\)](#)

[4. Настройка параметров \(Config → Full Parameter Tree\)](#)

[a\) LED-индикация](#)

[b\) Настройка UART приёмника](#)

[c\) Настройка телеметрии, GPS, батарей и других устройств через соответствующие вкладки.](#)

[5. \(Опционально\) Калибровка температуры IMU](#)

[6. Перезагрузка контроллера](#)

[7. Проверка и тест](#)

 [Таблица этапов](#)

О клиенте и задаче

Группа неравнодушных к событиям на фронте, к которым отношусь и я, взялась с помощью Божьей за сборку и поставку воздушных дронов по мере собственных сил. Несмотря на недавние (сегодня 5 марта 2023) заявления Китая о поддержке России в конфликте на Украине, ряд китайских компаний ограничил поставку ряда дронов в Россию, убрал приложение для управления дроном из магазина приложений, включил ограничения, которые мешают/не позволяют перепрошить дрон. Имея некоторый опыт в политике, я не могу дать однозначную оценку этим событиям. Будем считать, что Китай стимулирует в нас дух патриотизма, а также способствует налаживанию полного цикла производства высокотехнологичной продукции на территории РФ.

Текущая задача это собрать дрон из готовых компонентов и написать софт для него.

Поскольку полный технологический суверенитет включает в себя полное подконтрольное производство железа, софта и больших данных, то следующей задачей будет изготовление собственной компонентной базы для сборки дрона. Одна из идей решения этой задачи это использования 3D принтера для прототипирования и печати промышленных (production-ready) компонентов.

Исследование

Существующие популярные решения на рынке БПЛА-дронов?

Phantom Eye
Global Observer
X-48C
“Aerob 4D”
"Орлан-10"

Аппаратура (Бюджетный вариант).
Radiomaster zorro elrs

https://aliexpress.ru/item/1005003809359681.html?sku_id=12000027239674653&spm=a2g2w.prouductlist.search_results.0.3d344aa6vSxmCA

Jumper-pro elrs

https://aliexpress.ru/item/1005003921829868.html?sku_id=12000028880657204&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.18a94aa65DZly0

Jumper t- lite.

https://aliexpress.ru/item/1005004482328512.html?sku_id=12000029578294268&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.d1154aa65wTvFb

Betafpv literadio se elrs

https://aliexpress.ru/item/1005003441141065.html?sku_id=12000025804556466&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.20e44aa6EuWdtj

Аппаратура (Универсальный вариант).

Radiomaster tx16 ELRS(в последующем можно будет докупить и установить модуль TBS Crossfire 868mHz, и управлять боевыми квадрами

https://aliexpress.ru/item/1005004798148426.html?sku_id=12000030525171380&spm=a2g2w.productlist.search_results.5.7cca4aa6vMV3MV

https://aliexpress.ru/item/4000065814417.html?sku_id=12000018157472050&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.1afa4aa6lDwqok

Очки-шлемы:

Eachine ev800

https://aliexpress.ru/item/32739150206.html?sku_id=12000030827736945&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.32264aa67lBJvU

Eachine ev800d

https://aliexpress.ru/item/1005002531601022.html?sku_id=12000028651714531&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.3ae64aa6ewkAOJ

Так же

Любые очки фирмы Skyzone подходящие по бюджету...

Что существует из доступного на рынке в плане операционных систем и бортовых программ для воздушных дронов?

Ardupilot (sic!)

<https://ardupilot.org/copter/index.html>

HoverHelm

<https://github.com/hohserg1/HoverHelm>

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

OpenOS

<https://ocdoc.cil.li/openos>

FlytOS (requires license)

<https://flytbase.com/flytOS/>

Supported hardware:

- **ODROID-XU4**,
- Raspberry Pi 3B/3B+/4B,
- NVIDIA Nano,
- NVIDIA Jetson TX1/TX2 ,
- Intel Edison and
- Intel Aero Compute Board

FlyingROS

<https://github.com/AlexisTM/flyingros>

Drone OS

<https://github.com/drone-os>

autonomous-drone

<https://github.com/szebedy/autonomous-drone>

Robot OS:

<https://github.com/ros-infrastructure/www.ros.org>

Apache NuttX (used in pixhawk autopilot)

<https://nuttx.apache.org/>

Simulation of drones swarm flight: (может быть полезно при планировании операций)

https://github.com/malinta/multi_uav_simulator

Parrot SDK

<https://www.parrot.com/us/open-source-drone-software>

Motion capture:

<https://www.qualisys.com/engineering/robotics-and-uav/>

Drone communication protocol:

<http://mavlink.io/en/>

Какие области знаний и технологий заняты в этой сфере?

Радионавигация, радиолокация, метеорология, радиосвязь, авионика

инерциальная система навигации

авиационных конструкционных материалов, аэродинамики, автоматическому управлению полетом, систем связи

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

Physics behind drone's flight:

<https://www.dronetechplanet.com/physics-behind-how-drones-fly/>

Кто уже занимается разработкой дронов и близких продуктов и технологий?

НИЦ "Аэроскрипт"

КРЭТ, Концерн «Радиоэлектронные технологии», входит в «Ростех»

«Транзас»

Государственный НИИ Авиационных систем

Американская программа UCLASS (Unmanned Carrier Launched Airborne Surveillance and Strike)

Группа компаний «Аэромакс» <https://www.aeromax-group.ru/> (отказали в собственном софте, открыты для коммерческих проектов по разработке прошивки и софта для дронов)

Некоторый проект с участием "Почту России", СДЭК, "Яндекс", Ozon и Wildberries

АО "НПП "Радар ММС",

ООО "Специальный технологический центр",

ООО "Геоскан"

"Алмаз-Антей"

Петербургский университет авиаприборостроения

Петербургский политехнический университет (СПбПУ)

ВНИИ «Эталон» (системы подавления, РЭБ)

Как заливается программная система на сырое железо?

Из опыта коллег, разработка под PLIS часто означает в случае программной ошибки плата приходит в негодность и приходится брать новую.

Пример для FlytOS (odroid + pixhawk autopilot): (лицензия)

<https://youtu.be/B40pE02bjJI>

Example for Kakute + ardupilot:

<https://oscarliang.com/flash-ardupilot-kakute-f4-f7-fc/>

Example for pixhawk + ardupilot:

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-loading-firmware-onto-pixhawk.html>

Example for matek + ardupilot:

<https://youtu.be/utdvxuuekSE>

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

Simulation environment to develop and test (some) apps without actual drone hardware:
<https://github.com/flytbase/flytsim-docker>

Ardupilot:

Installing ArduPilot to these autopilot involves:

- Installing the required driver and flashing tool
- Downloading the appropriate ArduPilot firmware
- Loading ArduPilot to the board

First time setup docs: <https://ardupilot.org/copter/docs/initial-setup.html>

Special points of interests from that docs:

<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeprog.html>

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-loading-firmware-onto-chibios-only-boards.html>

<https://ardupilot.org/copter/docs/configuring-hardware.html>

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-flight-controller-wiring.html>

<https://github.com/betaflight/betaflight-configurator/releases>

Каким образом производится тестирования софта на реальном железе?

Как решается дилемма проблема ли в софте или же в железе?

Какая среда разработки и язык используются для программирования дронов?

[Dronekit python](#)

https://github.com/Intelligent-Quads/iq_tutorials/blob/master/docs/gnc_tutorial.md

<https://dojofordrones.com/drone-programming/>

При разработке собственной прошивки какие модули помимо передачи управления и видео будут необходимы?

Как\через что происходит связь между оператором и дроном?

Это радиосвязь. Есть поддержка WiFi, но он, в основном, используется для настройки и конфигурации системы\прошивки.

“You should know that depending on the brand, different protocols manage the radio. These receivers can only be used on one frequency. Ultimately, each drone has its own remote control and it can only be used with that model, and cannot be adapted to others”

В связи с проблемой выше, контролер в руках и приёмник в дроне должны идти от одной компании. Вопрос можно ли перепрограммировать контроллер и приёмник пока остаётся открытым.

Есть отзывы о Radiomaster TX16S, который поддерживает сразу четыре протокола и совместим с большим количеством дронов.

Some standard radio protocols include

PWM - This is your classic analogue signal with one separate wire for each channel. This is now slow and outdated and should be avoided if possible

PPM - This is a slightly improved version of PWM where all the channels are sent over one wire as a series of timed pulses. This is quicker than PWM however is still not the best option.

Digital Protocols (SBUS, IBUS, DSM2/X) - Instead of relying on the timings of different pulse widths digital signals send numbers in ones and zeros which gives perfect accuracy along with even quicker response times.

For the speed and precision required to fly a mini quad you should always try to use a digital protocol with the variant being dependent on your radios manufacturer.

система посадки по приборам (ILS)

сверхвысокочастотная всенаправленная радиосвязь (VOR)

Mavlink протокол

Ardupilot way: https://ardupilot.org/copter/_images/block-diagram.jpg

Groundcontrol software:

https://docs.groundcontrol.com/master/en/getting_started/quick_start.html

Как решается задача ухода от столкновений с объектами и другими летательными аппаратами?

система автоматического зависящего наблюдения вещательного типа (принцип «каждый видит каждого», который может быть неприемлем для ряда военных задач)

Как защитить дрон от взлома и перехвата?

Текущее понимание управления дроном состоит в том, что приёмник сигнала настроен на одну частоту и запрограммирован на определённый протокол передачи данных. Защита от перехвата заключается в передаче идентификатора пульта управления.

Методы взлома:

<http://quad-copter.ru/ugon-kvadrokoptera.html>

<https://avi-ator.ru/raznoe-2/bpla-perehvat-kak-vzlomat-i-perehvatit-bpla.html>

<https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/can-drones-be-hacked>

<https://spy-soft.net/intercept-drone/>

<https://www.aircrack-ng.org/>

Насколько применима Aurora OS на дронах?

Как можно использовать 3D принтеры для разработки компонентной базы для дрона?

Какие компоненты используются для сборки дрона?

- 6V Motors – 4
- Fingers Size Propeller – 4
- Transmitter & Receiver in Pairs
- Connecting Wires
- Battery – 3.6V Lithium Ion
- ESC: An electronic speed controller (ESC) is an electronic circuit with the aim to vary an electric motor's direction, its speed & also to act as a dynamic brake. It converts DC battery power into Three-phase AC for driving brushless motors.
- Battery Monitor: Provides in-flight power level monitoring to flight controller. Your battery is critical to flying safely. If you fly drone too far out and your quadcopter runs out of battery then it will either make an emergency landing or will crash.
- The Power Distribution Board (PDB)
- The Analog-to-Digital Converter (ADC)

Сылка: <https://engineeringlearn.com/drone-operating-system-how-do-work/>

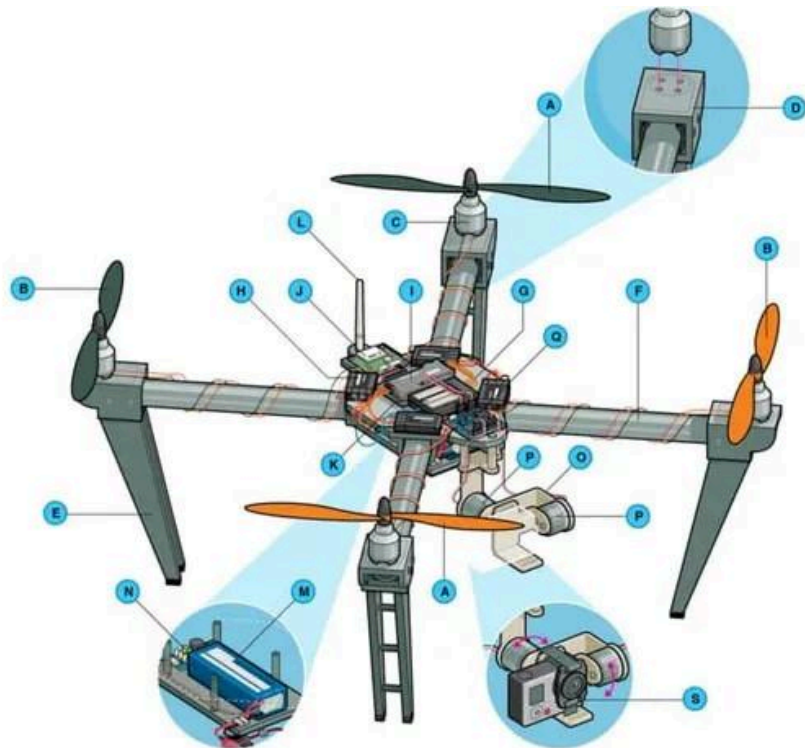


Illustration by Rob Nance

1. Standard Propellers (A)
2. Pusher Propellers (B)
3. Brushless Motors (C) (sic!)
4. Motor Mount (D)
5. Landing Gear (E)
6. Boom (F)
7. Electronic Speed Controllers (ESC) (G)
8. Drone Frame (H)
9. Flight Controller (I) (sic!)
10. GPS Module (J)
11. Receiver (K) (sic!)
12. Antenna (L)
13. Battery (M)
14. Battery Monitor (N)
15. Drone Gimbal (O) (sic!)
16. Drone Gimbal Motor (P)
17. IMU (Q)
18. Sensor (R)
19. Camera (S)
20. CPU (T)
21. Active Tracking (Follow Me Mode) (U)

Ref: <https://www.dronetechplanet.com/quick-drone-parts-overview-with-diy-tips/>

Drone's gimbal:

<https://www.dronetechplanet.com/drone-gimbals-explained-how-they-work/>

Насколько рентабельно использование компонентов, распечатанных на 3D принтере?

Какие задачи можно решать при связки данные с дрона - нейронная сеть?

Достаточна ли скорость передачи канала, объём данных, производительность дрона для задействования нейронных сетей?

Известны ли люди из наших контактов, работавшие с программированием дронов или низкоуровневого железа вообще?

Какие государственные инициативы можно использовать для решения этой задачи?

Перечень поручений по вопросам развития беспилотных авиационных систем

<http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70312>

Как получить навыки пилотирования?

Рекомендуют эти дроны:

FPV Дроны:

Mobula 7 1s ELRS

https://aliexpress.ru/item/1005004377085647.html?sku_id=12000029660932231&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.75394aa6xfSWic

Moblite 7 ELRS

https://aliexpress.ru/item/1005004628552758.html?sku_id=12000029893953338&spm=a2g2w.productlist.search_results.1.cf744aa6mm8kg5

Moblite 6ELRS

https://aliexpress.ru/item/4001037628150.html?sku_id=10000013678934321&spm=a2g2w.productlist.search_results.7.18774aa62H0jLI

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

Аппаратура (Бюджетный вариант).
Radiomaster zorro elrs

https://aliexpress.ru/item/1005003809359681.html?sku_id=12000027239674653&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.3d344aa6vSxmCA

Jumper-pro elrs
https://aliexpress.ru/item/1005003921829868.html?sku_id=12000028880657204&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.18a94aa65DZly0

Jumper t- lite.
https://aliexpress.ru/item/1005004482328512.html?sku_id=12000029578294268&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.d1154aa65wTvFb

Betafpv literadio se elrs
https://aliexpress.ru/item/1005003441141065.html?sku_id=12000025804556466&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.20e44aa6EuWdtj

Аппаратура (Универсальный вариант).
Radiomaster tx16 ELRS(в последующем можно будет докупить и установить модуль TBS Crossfire 868mHz, и управлять боевыми квадрами
https://aliexpress.ru/item/1005004798148426.html?sku_id=12000030525171380&spm=a2g2w.productlist.search_results.5.7cca4aa6vMV3MV

https://aliexpress.ru/item/4000065814417.html?sku_id=12000018157472050&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.1afa4aa6lDwqok

Очки-шлемы:
Eachine ev800

https://aliexpress.ru/item/32739150206.html?sku_id=12000030827736945&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.32264aa67lBJvU

Eachine ev800d
https://aliexpress.ru/item/1005002531601022.html?sku_id=12000028651714531&spm=a2g2w.productlist.search_results.0.3ae64aa6ewkAOJ

Так же
Любые очки фирмы Skyzone подходящие по бюджету...

Какие актуальные технические требования к дрону?

Нужно понять текущие задачи военных, плюс потенциальные задачи на будущее. Отсюда выходят технические требования: время и дальность полёта, максимальная масса полезной нагрузки, скорость полёта, сопротивление ветру и прочее.

Если эта информация о задачах закрыта, то рассмотрите возможность дать только технические требования (однако, напомним, что исходя из технических требований можно будет составить и представление о военных задачах).

Изначальный запрос был на что-то аналогичное DJI Mavic. Это означает:

- дальность полёта в 10 км
- грузоподъёмность в 5 кг
- время полёта 30-40 минут
- 4к камера

Параметр	Требования
Грузоподъёмность	До 4,5 кг для FPV-дронов; до 50 кг для ударных дронов
Дальность полета	1–3 км для FPV-дронов; до 12 км для более крупных моделей
Устойчивость к РЭБ	Использование оптоволоконных или проводных систем управления
Навигация	Инерциальная навигация без зависимости от GPS
Производство	Массовое производство с высоким уровнем импортозамещения
Интеллектуальные функции	Автономное определение и поражение целей с использованием ИИ

Модель	Камера	Время полета	Дальность	Совместимость с ArduPilot	Цена (ориентировочно)
Hubsan Zino 2	4K @ 60fps	до 33 мин	до 10 км	Ограниченная (замена FC)	\$380–\$500
Yuneec Typhoon H	4K CGO3+, 360°	до 22 мин	~1.6 км	Ограниченная (замена FC)	\$650–\$850 (б/у чаще)
Autel EVO II	6K / 8K	до 40 мин	до 9 км	Ограниченная (замена FC)	\$1000–\$1500+
FIMI X8 SE (2022)	4K @ 30fps	до 35 мин	до 8 км	Ограниченная (замена FC)	\$350–\$450
Walkera Vitus	4K @ 30fps	до 25 мин	до 1.5 км	Ограниченная (замена FC)	\$400–\$550 (редко в продаже)

1. REAPER 10" FPV-дрон

- **Дальность полета:** до 13 км
 - **Камера:** FPV-камера (возможна установка 4K-камеры)
 - **Полётный контроллер:** совместим с ArduPilot (при установке соответствующего контроллера)
 - **Цена:** 14 995 грн (~\$370)
 - **Источник:** dron-shop
-

2. Квадрокоптер Combat 10"

- **Дальность полета:** до 10 км
 - **Камера:** FPV-камера (возможна установка 4K-камеры)
 - **Полётный контроллер:** совместим с ArduPilot (при установке соответствующего контроллера)
 - **Цена:** уточняется на сайте
 - **Источник:**
-

3. Сборка на базе Pixhawk

- **Дальность полета:** до 10 км (зависит от компонентов)
 - **Камера:** 4K-камера (устанавливается отдельно)
 - **Полётный контроллер:** Pixhawk с ArduPilot
-

- **Цена:** от \$500 до \$800 (в зависимости от комплектующих)
- **Примечание:** требуется самостоятельная сборка и настройка

Какие дроны в основном используются уже сейчас?

В ходе работы над задачей оказалось, что каждый дрон имеет свой собственный передатчик дистанционного управления (remote control), который, вероятно, нельзя будет перепрограммировать под другой дрон. Нужно двигаться в сторону решения, когда передатчик управления можно использовать для другого дрона (к примеру, дрон был сбит)

Российские военные активно применяют различные типы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в зоне специальной военной операции (СВО). Ниже представлены наиболее востребованные модели:

1. FPV-дроны (дроны от первого лица)

Наиболее широко используемые БПЛА в зоне СВО. Они применяются для разведки, корректировки огня и в качестве дронов-камикадзе. Российские и украинские силы активно наращивают их производство и поставки

2. «Русак-С»

Новый FPV-дрон-камикадзе с системой компьютерного самонаведения. Способен самостоятельно прокладывать маршрут и атаковать цели без участия оператора, что снижает эффективность вражеских систем радиоэлектронной борьбы

3. «Кукушка»

Спутниковый дрон, созданный в полевых условиях. Может пролетать до 16 км, сбрасывать боеприпасы весом 4,5 кг и возвращаться на базу. Управляется напрямую через спутник, что повышает его устойчивость к помехам

4. «Князь Вандал»

Оптоволоконный FPV-дрон с катушкой оптоволоконна, что делает его менее уязвимым к радиоэлектронной борьбе. Разработан новгородскими инженерами и применяется для ударных операций citeturn0search2.

5. «Сварог-13» и «Сварог-15»

Оптоволоконные дроны, способные наносить удары и доставлять грузы на расстояние до 25 км. Их производство начато в зоне СВО, с акцентом на импортозамещение китайских комплектующих citeturn0search4.

6. «Илья Муромец»

Тяжелый тактический FPV-дрон с грузоподъемностью до 8 кг. Обладает гибкой настройкой частот, что помогает обходить зарубежные системы радиоэлектронной борьбы. Используется для доставки медикаментов, боеприпасов и воды на передовую citeturn0search11.

7. «Овод»

Модернизированный дрон, оснащенный искусственным интеллектом. Используется для повышения эффективности поражения позиций противника. Разработка тульского производства, получившая обновление под названием ОРБИТ citeturn0search8.

Эти дроны демонстрируют разнообразие и инновационность подходов, применяемых российскими военными в условиях современной войны. Их использование охватывает широкий спектр задач — от разведки и доставки грузов до нанесения ударов по противнику.

Как происходит сборка дронов?

<https://youtu.be/kB9YyG2V-nA>

<https://www.youtube.com/watch?v=lokyotAGbJI>

<https://www.youtube.com/watch?v=SfFI-tof4Y&pp=ygUQZGl5IGJ1ZGdldCBkcm9uZQ%3D%3D>

Производители комплектующих для дронов в РФ

В России существует несколько компаний, предлагающих комплектующие для дронов, доступные для приобретения частными лицами в розницу. Ниже представлен список таких предприятий:

Производители и поставщики комплектующих для дронов

1. GoDrone

- **Описание:** Компания предлагает широкий ассортимент квадрокоптеров, БПЛА, систем обнаружения и подавления, усилителей сигнала, а также различного электронного и неэлектронного оборудования
- **Особенности:** Работает как с частными лицами, так и с организациями
- **Сайт:** godrone.ru

2. CopterParts

- **Описание:** Магазин предлагает мощные и долговечные российские FPV-дроны с доставкой по всей России
- **Особенности:** Оптовые поставки комплектующих для БПЛА по разумным ценам
- **Сайт:** copterparts.ru

3. IDRONEX.RU

- **Описание:** Поставщик композитных материалов для производства самолетов, беспилотников, мотопланеров и другой авиатехники
- **Особенности:** Также предлагает продажу дронов и комплектующих

- Сайт: idronex.ru

4. RC-RUSSIA

- **Описание:**Магазин предлагает большой выбор запчастей для квадрокоптеров, включая подвесы, пропеллеры, электронику и другие детали
- **Особенности:**Представлены различные производители, такие как DJI, Align, BETAFPV и другие
- Сайт: rc-russia.ru

5. SkyIndustry

- **Описание:**Компания является официальным дилером по беспилотному оборудованию DJI, Autel, SwellPro и Topodrone
- **Особенности:**Осуществляет прямые поставки техники и комплектующих из Китая
- Сайт: skyindustry.ru



Рекомендации по покупке

- **Сравнение цен** Перед покупкой рекомендуется сравнить цены на интересующие комплектующие в разных магазинах, так как они могут варьироваться.
- **Наличие сертификатов** Убедитесь, что приобретаемые комплектующие имеют необходимые сертификаты и соответствуют стандартам качества.
- **Гарантии и возврат** Проверьте условия гарантии и возможности возврата товара в случае неисправности или несоответствия.

Если у вас есть конкретные требования к комплектующим или вы ищете определенные модели, пожалуйста, уточните, и я постараюсь предоставить более детальную информацию.

В России существует ряд предприятий, которые производят комплектующие для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и предоставляют возможность приобретения их продукции в розницу. Ниже представлен список таких производителей:

Российские производители комплектующих для дронов

1. ГК «Геоскан» (Geoscan)

- **Описание:** Разрабатывает и производит беспилотные авиационные системы, малые космические аппараты, авионику, средства беспроводной связи и сенсоры для БПЛА
- **Продукция:** Беспилотные системы, сенсоры, авионика
- **Сайт:** [linkturn0search6](#)

2. ООО «Альбатрос»

- **Описание:** Производит собственные беспилотные летательные аппараты и разрабатывает программное обеспечение для управления ими
- **Продукция:** БПЛА, программное обеспечение для управления полетами
- **Сайт:** [linkturn0search4](#)

3. Группа компаний «Аэромакс»

- **Описание:** Производитель беспилотных летательных аппаратов вертолётного и самолетного типов, а также интегратор цифровых решений с геопространственными данными
- **Продукция:** БПЛА различных типов, цифровые геоинформационные платформы
- **Сайт:** [linkturn0search10](#)

4. Транспорт будущего (tb-drone.ru)

- **Описание:**Производит электродвигатели для дронов, включая статоры, роторы и намотки, реализуя полный цикл производства
- **Продукция:**Электродвигатели мощностью от 44 Вт до 35 000 Вт
- **Сайт:** linkturn0search5

5. IDronex.ru

- **Описание:**Поставляет композитные материалы и широкий спектр комплектующих и электронных компонентов для производителей БПЛА
- **Продукция:**Композитные материалы, электронные компоненты для БПЛА
- **Сайт:** linkturn0search3

6. Горный-ЦОТ

- **Описание:**Запустила серийное производство бесколлекторных двигателей для БПЛА в Кемерово в феврале 2025 года
- **Продукция:**Бесколлекторные двигатели для БПЛА
- **Сайт:** linkturn0search9

7. ООО «ЭТК» и Уфимский университет науки и технологий

- **Описание:**В сентябре 2024 года в Башкирии запустили серийное производство высокоэффективных электродвигателей для БПЛА
- **Продукция:**Высокоэффективные электродвигатели для БПЛА
- **Сайт:** linkturn0search9



Рекомендации по покупке

- **Связь с производителями** Рекомендуется напрямую обращаться к производителям через указанные сайты для уточнения ассортимента, цен и

условий покупки в розниц.

- **Сравнение предложений** Сравните предложения разных производителей, чтобы выбрать оптимальные комплектующие по соотношению цена/качеств.
- **Проверка совместимости** Убедитесь, что приобретаемые комплектующие совместимы с вашей системой управления и другими компонентами дрон.

Если вам необходима дополнительная информация о конкретных комплектующих или помощи в выборе, пожалуйста, уточните ваши требования, и я постараюсь предоставить более детальную информацию.

Какие блоки питания совместимы с Cube orange?

Исследование вопроса показало, что не все блоки питания совместимы с контроллером полёта Pixhawk. Нужно уделить внимание этому вопросу при подборе блока питания для выбранного контроллера полёта.

Блок питания имеет маркировку 4s, 6s и т.п., это определяет напряжение питания, емкость и вес. Помимо совместимости с контроллером полёта нужно искать совместимые моторы и ESC.

Вот **исчерпывающая таблица LiPo батарей** для дронов (от 4S и выше), с разбивкой по количеству ячеек, напряжению и основными характеристиками:

Таблица: LiPo батареи 4S и выше

Обозначение	Кол-во ячеек	Номинальное напряжение (В)	Макс. напряжение (В)	Типичное применение	Примечания
4S	4	14.8	16.8	FPV-дроны до 2.5–3 кг	Золотой стандарт для

					продвинутых FPV, хороший компромисс по весу и мощности
5S	5	18.5	21.0	Реже используется в FPV, эксперименты	Меньше распространена, выбор ESC ограничен
6S	6	22.2	25.2	FPV-дроны 3–5+ кг, промышленные	Высокий КПД, подходит для тяжёлых платформ
7S	7	25.9	29.4	Промышленные и военные дроны	Очень редки в любительской сфере
8S	8	29.6	33.6	Большие грузовые дроны	Требуют мощных ESC и моторных систем
10S	10	37.0	42.0	Авиамодели, VTOL, БПЛА	Почти не используются в FPV

12S	12	44.4	50.4	Тяжёлые платформы: аэросъёмка, логистика	Максимум среди распространённых систем; требуют спец. компонентов
-----	----	------	------	--	---

Дополнительные параметры, которые стоит учитывать:

Параметр	Что значит
Ёмкость (mAh)	Сколько энергии запасено, влияет на время полёта
C-rate (например, 60C)	Максимальный ток разряда: $60 \times \text{ёмкость}$ (в А)
Разъём	XT60, XT90, EC5, AS150 и т.д.
Вес	Чем больше ячеек и ёмкость — тем тяжелее

Примеры расчёта максимального тока разряда:

- 6S 5000 mAh 60C → макс. ток = $5 \times 60 = 300 \text{ А}$
-

- 4S 2200 mAh 30C → макс. ток = $2.2 \times 30 = 66 \text{ A}$
-

Что важно при выборе?

- Проверь, поддерживает ли ESC нужное напряжение
- Моторы должны быть рассчитаны на соответствующее напряжение
- Чем больше S — тем выше цена, вес, но и эффективность

Пропеллеры

Если мы говорим про квадрокоптер, то нужны две пары - normal и pusher. Как минимум они различаются направлением вращения - против часовой стрелки и по часовой стрелке, что требует разного форм фактора.

Количество лопастей влияет и на тягу, и на потребляемую мощность (в связи с сопротивлением воздуха). Для массы в 5 килограмм вполне разумно использовать трехлопастные моторы.

Совместимость с радио (RC) протоколами

Нужно подтвердить, что как минимум ardupilot, контроллер полёта и управляющий пульт поддерживают выбранный радиопrotocol.

Антенны и WiFi адаптеры по версиям беспилотника

Версия	Камеры	Задачи	Антенны
Вторая	1 камера — FPV	Управление + видеопоток FPV	1 Wi-Fi адаптер + 1 Omni антенна на дроне и на земле (минимум)

Третья	2 камеры — FPV + ML (второй видеопоток)	Управление + видеопоток FPV + передача видео ML на землю	2 Wi-Fi адаптера + 2 Omni антенны на дроне и на земле, плюс направленная антенна на земле для усиления (опционально)
Четвёртая	2 камеры (как в третьей) + вычисления ML на борту	Всё то же + локальный инференс (анализ) на коптере	Как в третьей, но возможно добавляется питание для ML-платы и виброизоляция для камеры

Передача видеопотока на вход ML модели

Как получить видеопоток из OpenHD

OpenHD использует **GStreamer** для обработки видеопотока. Видеоданные приходят на ноутбук в виде **UDP-потока**, транслируемого, как правило, на порт **5600**:

```
udp://0.0.0.0:5600
```

 Это стандартный RTSP/UDP-поток, который можно "подцепить" любым инструментом, поддерживающим GStreamer, FFmpeg, OpenCV и т.д.

Способы "вытащить" видео в реальном времени

1. Использование Python + OpenCV

```
import cv2
```

```
# Открываем видеопоток с дрона
```

```
cap = cv2.VideoCapture("udp://0.0.0.0:5600", cv2.CAP_FFMPEG)
```

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

```

while cap.isOpened():
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    # Подача кадра в ML-модель
    result = my_model_inference(frame)

    # (опционально) Отображение
    cv2.imshow("ML View", result)

    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord("q"):
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

💡 Этот способ — самый распространённый. Главное, чтобы **FFmpeg** и **OpenCV** были собраны с поддержкой **gstreamer** или **ffmpeg**.

✓ 2. Использование FFmpeg для отправки в UNIX pipe или socket

Если нужно минимизировать задержки или передавать в другую систему:

```
ffmpeg -i udp://0.0.0.0:5600 -f rawvideo -pix_fmt bgr24 pipe:1 | python3 inference.py
```

В **inference.py** можно читать **stdin** и отправлять кадры в ML-модель.

✓ 3. GStreamer: напрямую подключить ML пайплайн

Если ML-модель развёрнута, например, на **Jetson**, можно использовать **GStreamer** как источник кадров для TensorRT/DeepStream (или других фреймворков):

```
gst-launch-1.0 -v udpsrc port=5600 ! application/x-rtp, payload=96 ! rtph264depay ! avdec_h264
! videoconvert ! appsink
```

Тогда в Python можно использовать `GstAppSink` для захвата кадров.

Что дальше (ML-инференс)

В зависимости от вашего фреймворка:

- PyTorch / TensorFlow: передавайте `frame` в модель напрямую.
 - TensorRT / ONNX Runtime: предварительно конвертируйте кадры к нужному размеру и типу (`np.float32`, RGB, `resize`, `normalize` и т.д.).
-

Пример архитектуры

Этап	Компонент
Видео с дрона	OpenHD, видеопоток <code>UDP 5600</code>
Захват видео	<code>OpenCV / GStreamer</code> в Python
ML-инференс	YOLOv5 / YOLOv8 / custom model
(опц.) Отображение	<code>cv2.imshow()</code> или стрим обратно
(опц.) Сохранение	<code>cv2.VideoWriter</code> , <code>FFmpeg</code>

Важно

- Убедитесь, что в OpenHD разрешение и битрейт не превышают возможности вашего WiFi/адаптера.
 - Установите приоритеты в системе для снижения задержек (`nice`, `ionice`, `rtprio`).
-

- Убедитесь, что **одна и та же WiFi-карта не обслуживает два потока одновременно**, если потоков два (FPV и ML).
-

Опыт Украины и других стран

<https://topwar.ru/252754-znaj-svoego-vraga-ukrainskij-proekt-armija-dronov-protiv-vs-rossii.html>

(читать критически, очень много контента, подталкивающего читателя в ту или иную сторону)

Полезные ссылки

ecalculator.ch

<https://ardupilot.github.io/MethodicConfigurator/> - конфигуратор, который помогает настроить ArduPilot

Наработки в области AI моделей на дронах

Да, у ESA Φ-lab есть несколько направлений в разработке и внедрении AI-моделей, способных эффективно работать с видеопотоком и ограниченными вычислительными ресурсами — как на борту спутников, так и потенциально на дронах с ограниченной мощностью. Вот обзор актуальных разработок, которые могут вам подойти:



Что есть у ESA Φ-lab в открытом доступе

1. RaVAEn + облачное обнаружение, onboard training

ESA Φ-lab совместно с Oxford University и Trillium Technologies успешно обучили ML-модель облачного детектирования **на борту спутника** D-Orbit ION. Используется модель **RaVAEn**, которая сначала сжимает кадр до 128-мерного вектора, затем лёгкая inference-модель работает с таким латент-пространством. Это минимизирует нагрузку на оборудование — очень релевантно для беспилотников отдалённого наблюдения (philab.esa.int).

2. Фреймворк для Edge AI на FPGA (FPG-AI)

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

Проект **FPG-AI** от Университета Пизы при поддержке ESA — это технологически независимый фреймворк для портирования моделей на FPGA (например NanoXplore). Он генерирует HDL-описание модели, позволяя запускать inference с минимальным энергопотреблением и высокой надёжностью (activities.esa.int).

3. Neural Architecture Search (NAS) для моделей edge

Совместный проект с CIN/Ф-lab разработал аппаратно-осознанный NAS-фреймворк для автоматического поиска архитектур, оптимизированных по памяти, задержке и энергопотреблению. Применялся для задач сегментации пожаров („burned area“) и облаков. Модели уменьшали размер до ~5 МБ при IoU≈0.87 и хорошо подходят для inference на ограниченных платформах (NVIDIA Orin, Myriad2 и др.) (cin.philab.esa.int).

4. Конкретные AI-apps на Φ-Sat-2 (с Intel Myriad 2)

На борту CubeSat **Φ-Sat-2**, запущенного в августе 2024 года, уже установлены AI-приложения, в том числе для:

- Детектирования облаков
- Классификации морских судов
- Сжатия изображения автоэнкодерами
- Преобразования снимков в уличные карты (CycleGAN)
Запуски выполняются на чипе Intel Movidius Myriad 2 (~1–2 Вт), который демонстрирует эффективность и энергоэкономность при визуальной аналитике на борту (researchgate.net, en.wikipedia.org).

Насколько это актуально для беспилотников?

Хотя большинство проектов ориентировано на спутники и CubeSat, принципы и технологии напрямую применимы к дронам:

- **RaVAEn + латентное представление:** снижает объём данных и даёт лёгкую inference-модель для onboard обработки.

- **FPG-AI на FPGA:** позволяет запускать CNN или RNN на маломощных FPGA-модулях (например Xilinx или NanoXplore).
- **NAS-оптимизированные модели (~5 МБ, IoU ~0.87):** например для сегментации объектов/облаков — подходят и для видеопотока с дрона.
- **Intel Movidius Myriad 2** используется в портативных устройствах и дронах — идеален под задачи визуального распознавания.

Сводная таблица

Подход / технология	Целевая задача	Платформа / HW	Преимущества
RaVAEn + лёгкая inference	Детектирование облаков	Latent-пространство, компактные модели	Минимальное потребление, подготовка для видеоанализа
FPG-AI	Любые DL-модели на FPGA	NanoXplore FPGA	Низкая энергопотребляемость, объяснимость
NAS-оптимизированные модели	Сегментация объектов – пожары, лес, земля	Orin, Myriad 2, DPU	Минимальный размер, максимум точности
AI-Apps на Ф-Sat-2	Обнаружение объектов, сжатие, карта	Intel Myriad 2	Работают в реальном времени при энерг. лимите

Выводы

Да, ESA Ф-lab обладает разработками, адаптированными под строго ограниченные вычислительные ресурсы, которые подойдут для **видеопотоков с дронов и onboard inference**. Особенно перспективны:

- Модель **RaVAEn** с latent-компрессией
- Фреймворк **FPG-AI** для FPGA-инференса
- **NAS-оптимизированные модели** с минимальным footprint
- **AI-apps на Myriad 2** из миссии Phi-Sat-2

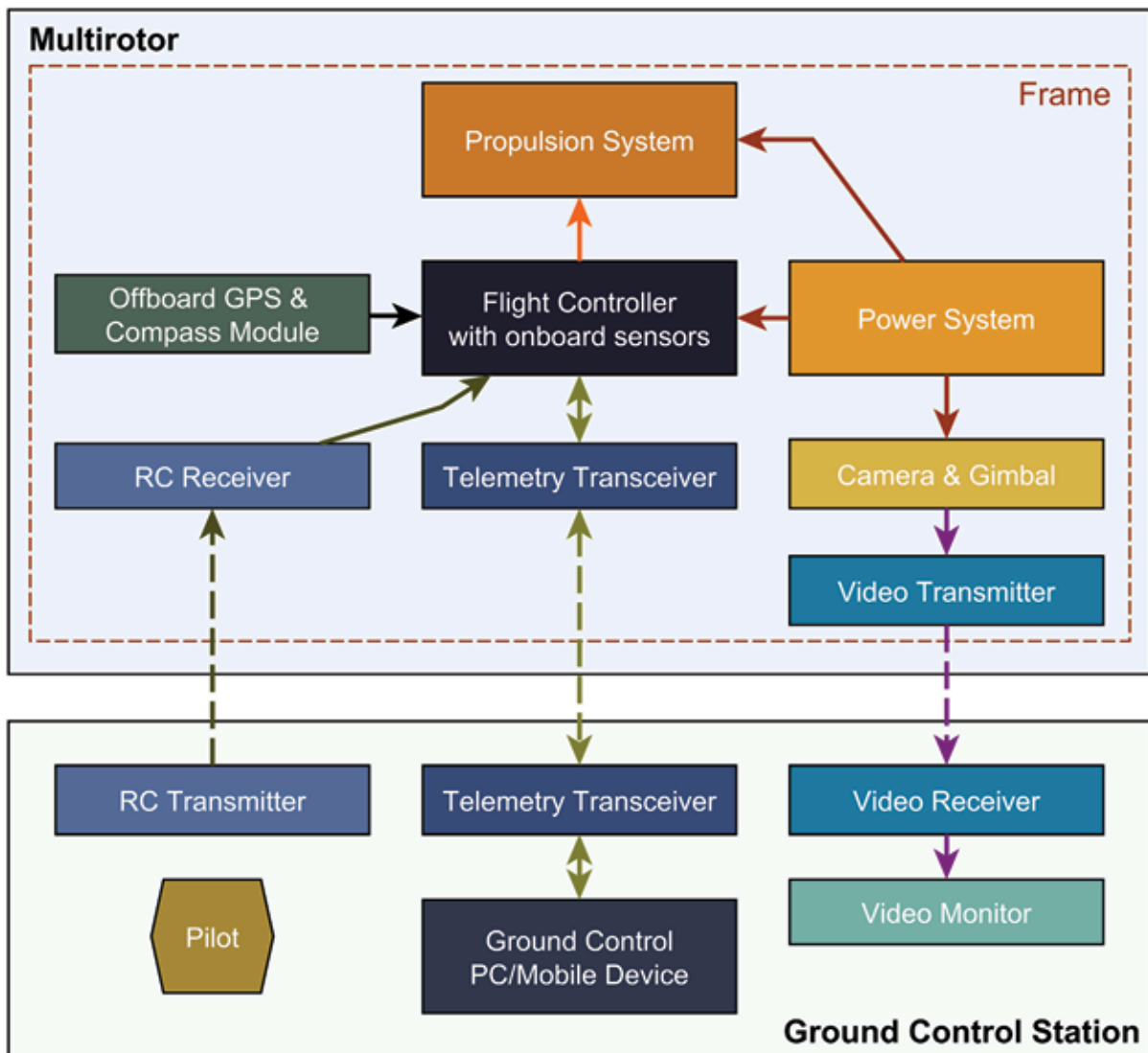
Если вы хотите — могу помочь найти ссылки на репозитории (например RaVAEn или FPG-AI), объяснить процесс конверсии модели или подобрать архитектуру под конкретный дрон/оборудование.

Какие вопросы нужно ещё поднять?

Пилотный прототип, чтобы отработать навыки:

Комплектующие:

<https://discuss.ardupilot.org/t/can-you-recommend-components-to-assemble-ardupilot-compatible-copter-in-less-than-500-usd/110753>



(c) circuitcellar.com

Возможные более дешёвые альтернативы:

Matek F765

[SpeedyBee F4 V3/V4](#)

omnibusf4 pro V2

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-autopilots.html>

Kakute H7 V2

Решение

Промежуточные результаты этапа исследования

На данном этапе исследования прояснилась приблизительная картина того, что нужно. Дальнейшие шаги требуют:

- получить ответ от конечного пользователя относительно требований к дрону, то есть характеристики дрона - грузоподъёмность, скорость, дальность полёта и прочее.
- приобрести и фактически получить непосредственно железо (hardware), чтобы проверить текущие наработки.
- Прояснить, существует ли проблема совместимости между контроллером управления (remote control) и приёмником дрона (flight controller) от разных производителей комплектующих, и если да, то возможно ли её устранить перепрограммированием передатчика и приёмника

Всё это требует пилотного проекта.

Пилотный проект

Прошивка (firmware)

Анализ рынка показал, что существует масса решений в плане программного обеспечения для самосборного дрона. Наибольший интерес на данном этапе вызывает Ardupilot.

Ardupilot [поддерживает](#) приличный ряд поставщиков [оборудования](#), вероятно у них есть нечто похожее на партнёрское соглашение. Полагаю, что если нет возможности приобрести железо, которое уже имеет прошивку (firmware) от ardupilot, то можно взять код ardupilot за основу и написать собственную версию прошивки.

На рынке есть и другие системы и решения. Конечно, можно написать с нуля и собственную прошивку, но это потребует на порядок больше ресурсов, поэтому проверить решения уже существующие на рынке просто необходимо.

Железо (hardware)

Контроллер полёта (CUBE orange)

https://aliexpress.ru/item/1005005003735399.html?sku_id=12000031312517604&spm=a2g2w.productlist.search_results.2.2e514aa6o7xK1K

CUBE совместимое железо (один из возможных вариантов)

CubePilot ecosystem

here3 RTK GNSS

Dust-proof and water resistant. CAN protocol. Built-in co-processor and a 9DOF IMU

hereFlow Optical flow module

A small and compact module, integrated with indoor TOF range finder, optical flow sensor, and a 6DOF IMU

HITEC Servo

Titanium gear servo. CAN protocol. Wide voltage range and IP65.

herePro Multi-band RTK GNSS

IP68 waterproof rating. Triple band, multi Constellation RTK / PPK GPS. With CAN FD, built in H7 processor, and memory, the HerePro is a futureproof solution

RFDESIGN Telemetry

High performance telemetry. Specifically designed for applications requiring long range reliable wireless communication.

lightware Lidar

LW20/C is suitable for small UAV where size, weight, and power matters. Can be used in altitude hold and object avoidance.

IR-LOCK sensor

Provides precision landing and target recognition features, by coupling itself to a beacon located at the landing position.

herelink RC, telemetry, and video transmission all-in-one

Herelink is a compact integrated system. Video resolution up to 1080p@60fps. Operating distance of up to 20 KM. Comes with a built-in Solex and QGC, and is highly customisable for OEM use.

GREMSY Gimbal

Pixy F is an industrial gimbal tailor-made for Duo Pro R.

Step down module(12v)

Step down power module. For items that require regulation at point of load, like the RFD900 and Lidar.

cube Open source autopilot

Equipped with a high performance H7 processor, triple redundant IMU, thermal controlled and vibration isolated IMU, switchable 3.3/5V PWM output, and standard ADS-B carrier board, used to identify nearby aircraft.

7-MOTOR U8 Motors

Suitable for different kinds of industrial UAVs.

MAUCH Power module

Hall current sensor with precision current and voltage sensing. Supports high voltage and high current sensing

APD ESC

APD F series ESC are equipped with 32-bit F3 processor. Features include PWM-frequency dithering, and active phase-current demagnetisation.

Tattu Battery

Advanced battery management system, improving efficiency.

FLIR Thermal Camera

Duo Pro R is a high resolution infrared thermal camera designed for small UAVs.

herelink Remote Unit



Версионирование

Учитывая ограничения по бюджету, а также необходимость освоить большой пласт новых знаний и навыков, работа над проектом будет вестись итерационно от версии к версии, где каждая новая версия расширяет предыдущую, в лучших практиках LEAN и Agile.

Вот примерный план работы, согласно собранным требованиям.

Таблица: Компоненты vs Версии (V1 → V4)

Компонент	Версия 1	Версия 2	Версия 3	Версия 4	Примечание
Рама (тип 450–500 мм)	✓	✓	✓	✓	Должна выдержать 5–6 кг, модульная
Моторы + пропеллеры	✓	✓	✓	✓	Пропеллеры 12–15", тяга 1.5× масса
ESC 4 шт.	✓	✓	✓	✓	30–60А, BLHeli, совместимы с ArduPilot
Cube Orange + Carrier board	✓	✓	✓	✓	Центр управления, совместим с ArduPilot
GPS (Here 2/3, Ublox)	✓ (опц.)	✓	✓	✓	Обязателен для автономии и возврата

RC-пульт (FrSky / FlySky)	✓	✓	✓	✓	Используется даже с автономным полётом
Аккумулятор (LiPo 4S–6S)	✓	✓	✓	✓	Ёмкость зависит от массы, пример: 6000mAh
FPV-камера + VTx + VRx	✗	✓	✓	✓	Видео на пульт/очки, аналог или цифровое
Jetson Nano / Orange Pi	✗	✗	✓	✓	Обработка видеопотока , ML-инференс
Доп. камера (CSI/USB)	✗	✗	✓	✓	Для передачи/распознавания целей
Stabilized video TX (HDZero, DJI)	✗	✗ (опц.)	✓	✓	Качество для ML/анализа
Лидар / глубинная камера	✗	✗	✗	✓	Для обхода препятствий (опционально)
Модем/телеметрия (433/915 МГц)	✗	✓	✓	✓	MAVLink/RTSP на землю, + RTMP видео

Поэтапный чеклист LEAN-сборки

Версия 1: Минимальный радиоуправляемый дрон

- Купить раму (500 мм) и собрать каркас
- Установить 4 мотора и 4 ESC
- Установить Cube Orange + power module + GPS
- Настроить ArduPilot (стабилизация, привязка RC)
- Проверить arm/disarm, режим Stabilize и AltHold
- Провести первый полёт без FPV

Версия 2: Видео-передача на пульт

- Установить аналоговую FPV-камеру + VTx
- Установить видео-приёмник (на пульт или внешний экран/очки)
- Проверить видеосигнал и устойчивость
- Опционально — установить телеметрию для OSD

Версия 3: Интеграция ML

- Установить Jetson Nano/Orange Pi + CSI-камеру
- Запуск ML-инференса на видео (YOLOv5n/8n)
- Передача результатов на наземную станцию через MAVLink (custom messages)
- Дублирование видеопотока для наземного анализа

Версия 4: Автоматизация и анализ

- Установить глубинную камеру / лидар (если требуется)
 - Подключить навигацию на основе SLAM (например, RTAB-Map или PX4 avoidance)
 - Реализовать фильтрацию целей и отображение только интересных
 - Сделать управляющий интерфейс (QGroundControl, веб-панель, etc.)
-

Дополнительно: ПО и протоколы

- **ArduPilot**: прошивка на Cube Orange
- **Mission Planner / QGroundControl**: настройка и управление
- **MAVLink**: коммуникация между дроном и землёй
- **GStreamer/RTMP/UDP**: передача видео на землю
- **YOLOv5 / YOLOv8**: легкие модели детекции объектов
- **ROS2 + MAVROS**: для автоматизации

Версия №1

Работа над первой версией показала, что в рамках бюджета (около 1000 USD) нет возможности собрать грузовой дрон. Можно найти двигатели, которые вытянут 10 кг (5кг сам вес плюс 5 кг, чтобы сохранить тягу, полёт и манёвренность) в рамках бюджета, но всё упирается в батарею – сложно, если вообще возможно найти нужную батарею по одномоментной токоотдаче и заряду, чтобы вытянуть 30+ минут полёта.

На рынке есть моторы с меньшим энергопотреблением, но они стоят в разы дороже. Цена батареи также получается приличной.

Исходя из этого, было принято решение развернуть проект в сторону FPV дрона как альтернативу DJI Mavick.

Список комплектующих первой версии дрона

Комплектующие	Цена (рубли)	Количество	Всего (рублей)	Поставщик	Статус
Полётный контроллер (cube orange)	51000	1	51000	HEX Pixhawk 2.1 cube orange+	Заказан, в пути до 18 мая
Рама (первая версия будет самодельной из фанеры)		1	1000	Handmade	
Моторы	1600	4	6400	B-CUBE MX3508 700KV	Заказан, в пути до 30 мая
Контроллер скорости (ESC)	1600	4	6400	EMAX BLHeli ESC 80A	Заказан, в пути до 30 мая
Пропеллеры (обычные)	400	2	800	1455, carbon	Заказан, в пути до 30 мая
Пропеллеры (толкающие)	400	2	800	1455, carbon	Заказан, в пути до 30 мая
Аккумулятор	11000	1	11000	Felevator, 6s 10 000 mAh	Вопросы к рейтингу и токоотдаче
Контроллер питания (power distribution board, PDB)	2500	1	2500	MATEK PDB FCHUB-12S V2 5V	Заказан, в пути до 30 мая
Адаптер питания	3000	1	3000	CUAV HV_PM XT60	Возможно сразу поставляется с
Дублирование питания					
Система связи	24000	1	24000	Radiomaster TX16S ELRS	Заказан, в пути до 21 мая
RC - приёмник	3000	1	3000	TBS Crossfire Nano SE V2 RX CF	Заказан, в пути до 30 мая
Навигационная система			0		
Компьютер			0		
Зарядное устройство для АКБ	10000	1	10000	Hota D6 Pro	
Итого			119900		

Было большое желание использовать отечественные комплектующие от производителей

- *Геоскан: geoscan.ru
- *Альбатрос: alb.aero
- *Транспорт будущего: tb-drone.ru
- *IDronex: idronex.ru
- *Кулон: kulon.ru
- НПЦ БАС "Самара" <https://npc-samara.ru/>

Но ни один (!) из них не ответил на мой запрос. Делаю вывод, что реализация в розницу их не интересует. Альбатрос и Геоскан предлагают готовые решения, но их цена сильно за рамками бюджета (около 1 000 000 рублей в случае решений от "Альбатрос").

Поэтому комплектующие подобраны через массовые торговые площадки.

Расчёт тяговой силы и подбор моторов

Изначальные требования состояли в том, чтобы поднять в воздух 5кг. Моторы же стоит подбирать с тяговой силой в полтора - два раза больше чем вес дрона, который они поднимают в воздух.

Тяговая сила зависит не только от мощности мотора, но и от размера и числа пропеллеров. О них будет сказано отдельно.

Изначально моторы, которые предполагал использовать, с нужной тяговой силой оказались сильно за пределами моего бюджета – 100 - 150 USD вместо 30 - 40 USD. На

Дмитрий Казаков

Разработка программного обеспечения

dmitrii.kazakov@gmail.com

рынке нашлись моторы с нужными показателями в этом ценовом сегменте, но общее потребление тока на максимуме ими составило 160 А, что очень много и создаёт сложности в поиске батареи, не говоря уже о её цене.

Ограничения по бюджету стали причиной того, что был произведён разворот продукта с некоторым дополнительным грузом к дрону, который производит только осмотр местности (альтернатива DJI Mavic).

После отработки технологии можно будет вернуться к реализации более грузоподъёмной версии.

Подбор пропеллеров

Пропеллеры создают тягу, ускоряя воздушный поток. Однако, чем выше скорость вращения и диаметр пропеллера, тем больше возрастают **аэродинамические потери** и требования к мощности мотора. Это не всегда приводит к ожидаемому приросту тяги — особенно если увеличивается масса системы (в частности батареи).

Что это значит?

Это значит, что кажущаяся правильной мысль взять более мощные моторы и более длинные пропеллеры для увеличения тяги не обязательно даст лучший или вообще нужный результат.

Кроме того, увеличение мощности означает и рост энергопотребления, что в свою очередь потребует более энергоёмких батарей, что в большинстве случаев означает и более высокую их массу. Таким образом выйгрыш в тяге будет нивелирован возросшей массой батареи.

Подбор пропеллеров происходит одновременно с подбором моторов. Поставщики приводят сводную таблицу грузоподъёмности мотора при тех или иных пропеллерах, а также их энергопотребление.

Также пропеллеры бывают обычные и толкающие. Они движутся по часовой и против часовой стрелки и поэтому различаются по конструкции. Это делается для компенсации крутящего момента — иначе дрон начнёт вращаться вокруг своей оси. Баланс между CW и CCW сохраняет стабильность полёта. Их работу мне ещё предстоит изучить. На данном этапе пока достаточно знать, что для квадрокоптера потребуется по паре каждого типа, где каждая пара установлена друг против друга (каждый тип напротив своего типа).

Контроллеры скорости

Питание и управляющий сигнал к моторам идёт не напрямую, а через контроллер скорости. Каждый контроллер нужно подобрать согласно силе тока, который будет проходить через него к моторам, плюс взять с некоторым запасом.

Существуют платы, которые сразу разводят питание на несколько моторов. Изначально я планировал использовать одну из них, но дальнейший анализ показал, что на выбранные 4 мотора на максимальной тяге будет проходить 120 А, что очень много, и без дополнительной системы охлаждения плата придёт в негодность.

Поэтому было выбрано решение по каждому контроллеру скорости на мотор.

Стоит также проверить на совместимость по напряжению и используемому полётным контроллером протоколу управления сигналом (Dshot, Bhelli, etc)

Подбор батареи

Отдельным пунктом стоит батарея. Её ключевые показатели это напряжение на выходе, ёмкость, максимальная одномоментная токоотдача, что также может быть выражено через класс батареи (к примеру, 25С). Стоит упомянуть число ячеек (6s, 12s и т.п.), а также тип коннекторов XT60 для подачи энергии и иной для балансировки ячеек при зарядке.

К сожалению, мой поиск нескольких дней на wildberries и aliexpress показал, что заявленные в описании параметры (к примеру токоотдача) не быются с анализом АКБ по доступным параметрам -- фактическая токоотдача будет меньше. Подобрать правильную батарею и доверенного поставщика это одна из текущих ключевых проблем.

Кейс №1.

Поставщик указывает характеристики батареи и даже указывает конкретную батарею, которую он использует в качестве ячейки, что редкость на рынке. Однако, проверка характеристик батареи (datasheet) на сайте производителя показала, что эти батареи выдают 22-25 Ампер и в данной конфигурации выдадут 75 А вместо заявленных 120 А.

Кейс №2

Поставщик указывает характеристики батареи как 6s3p при 12 000 mAh с токоотдачей в 135 А. Это означает, что каждая ячейка должна отдать 45 А, только топовые батареи типа Molice1 способны выдать такой ток и то при системе охлаждения; следующие за ними в рейтинге идут батареи Samsung, но их сила тока уже на 25% меньше - 35 А при системе охлаждения. Батареи Molice1 не могут стоить менее 500 рублей при закупке оптом и

финальная цена только одних батарей выходит на 10% выше цены, указанной продавцом. А ещё ещё нужно учесть провода, коннекторы, сборку и маржу продавца.

Возможно именно сложности подбора доверенных поставщик побудили ключевого игрока на российском рынке беспилотников РФ (Геоскан) закупать только батареи для ячеек, а собирать уже самим – вероятно так проще отследить качество продукта.

Возможным решением в долгосрочной перспективе может быть выход на производителей батарей с устойчивой репутацией на рынке или же самостоятельная сборка АКБ из комплектующих, где отследить поставку не соответствующего характеристикам товара будет проще.

Полётный контроллер

Полётный контроллер является мозгами и сердцем дрона. К нему подключается периферия (GPS навигация, радиоприёмник и радиопередатчик, прочее), он передаёт управляющие сигналы на дроны.

На рынке представлены различные полётные контроллеры - в разном ценовом сегменте и с различными возможностями. По своему первому исследованию мне понравился полётный контроллер Cube Orange. Для первой версии дрона это может быть более чем достаточно, но с заделом на будущие модификации это то, что надо.

На данном этапе важно проверить совместимость по питанию (напряжению и силе тока), совместимость протоколов управления моторами и регуляторов скорости, совместимость протоколов радиопередачи.

Система радиопередачи

Для дрона, которому необходимо обеспечивать управление на дистанции 10+ км в сложной местности (леса, пригород, плотная застройка), критически важен выбор надёжной системы радиопередачи. Стандартные протоколы радиопередачи типа FlySky, FrSky и им подобных не обеспечивают нужной дальности и устойчивости связи.

После анализа доступных решений я остановился на **аппаратной Radiomaster TX16S с внешним модулем TBS Crossfire Nano SE V2**. Это решение обеспечивало:

- поддержку **протокола CRSF**, который отличается минимальной задержкой и устойчивостью;
- совместимость с выбранным **полётным контроллером (Cube Orange)**;

- проверенную надёжность в FPV и промышленных применениях;
- хорошее соотношение цена / возможности.

Почему Crossfire?

Crossfire работает на частоте **868/915 МГц**, что обеспечивает **лучшую проникающую способность сигнала сквозь препятствия** (леса, здания), в отличие от 2.4 ГГц решений. Это критично при полётах на высоте деревьев или ниже уровня крыш в городской застройке.

Модуль поддерживает **двустороннюю телеметрию** — ты можешь получать на пульт данные с дрона в реальном времени: уровень сигнала, GPS, напряжение аккумулятора, скорость, высоту и т.д. Это позволяет вовремя принимать решения при потере связи или разряде батареи.

Почему TX16S?

Radiomaster TX16S — это современный мультипротокольный передатчик с поддержкой **внешних модулей**, включая ELRS, Crossfire, Tracer, Ghost и другие. Он работает на прошивке **EdgeTX** и позволяет гибко настраивать каналы, функции и отображение телеметрии. Также это один из самых популярных и проверенных пультов в сообществе.

Антенны и надёжность связи

Для уверенной связи важно не только выбрать передатчик и приёмник, но и правильно разместить антенны:

- Антенна на дроне должна быть **вынесена подальше от ESC, аккумулятора и карбоновых частей рамы**, так как всё это создаёт помехи.
- Желательно использовать **две антенны** (режим *diversity*) для повышения стабильности.
- Важно обеспечить **правильную поляризацию** и ориентацию антенн — это особенно критично при дальнем полёте.

Законодательные ограничения

Использование частот 868/915 МГц в ряде стран (включая Россию) может требовать **сертификации оборудования** или **ограничений по мощности**. При выборе

оборудования важно убедиться, что оно работает в пределах допустимого (например, не превышает 25–100 мВт в некоторых регионах).

Плата распределения питания

Из-за обилия систем, которые нужно запитать от АКБ, потребуется промежуточная плата, которая нужным образом разведёт питания.

Нужно подобрать такую, которая поддерживать требуемую силу тока, число моторов и иной периферии, а также имеет нужный разъём.

Стоит обратить внимание, что на некоторые платы, включая выбранную мной, разъём нужно заказать отдельно и припаять самому.

Проблема совместимости контроллера полёта и контроллера управления (радио передатчика непосредственно в руках)

Вот вопрос заданный сегодня на специализированном форуме:

<https://discuss.ardupilot.org/t/remote-control-and-pilot-controller-compatibility/98062>

Подтверждается проблема кросс-совместимости. Однако, в основном задача в используемой частоте и протоколе. По отзывам контроллеры управления с поддержкой нескольких протоколов [1] совместимы с большим количеством контроллеров полёта\дронами.

[1] TX16S Hall Radio Controller

<https://www.radiomasterrc.com/products/tx16s-hall-radio-controller>

https://aliexpress.ru/item/1005004798148426.html?sku_id=12000030525171380&spm=a2g2w.productlist.search_results.5.7cca4aa6vMV3MV

Версия №2

Вторая версия предполагает передачу видеопотока с камеры. Учитывая то, что третья версия потребует анализ изображений нейросетями, к камере предъявляются дополнительные требования.

Исследование вопроса показало, что требования к видео потоку для управления дроном и для ML анализа на данном уровне развития технологий противоречивы: для управления дроном требуется высокий отклик (низкая задержка) пусть и ценой некоторой потери качества видео, а вот ML требует высокого качества картинки пусть и с задержкой. Исходя

из этого, было принято решение ставить две камеры – одну для видеопотока с управлением, а другую для ML анализа.

Первая версия (устаревшая):

Название	Назначение	Пример/Цена
 Herelink Ground + Air Unit	УПРАВЛЕНИЕ, ВИДЕО 1 (реального времени), телеметрия	~60–80 тыс. руб.
 Камера 1: RunCam Hybrid 2 / DJI FPV Cam	Основная FPV-камера с HDMI или аналогом — идёт в Herelink	5–10 тыс. руб.
 Камера 2: Raspberry Pi HQ + Jetson Nano (или Orange Pi 5)	Видео для ML (анализ объектов, картография)	~12–20 тыс. руб. суммарно
 USB LTE-модем или RF линк (по желанию)	Альтернативный канал отправки видео ML (если не всё помещается в Herelink)	3–7 тыс. руб.
 MicroSD U3 64–128 ГБ	Хранение видео ML локально	1–2 тыс. руб.
 БЕС 5V 3A или выше	Питание вычислительного модуля (Jetson / Pi) от основного LiPo	1.5–3 тыс. руб.

Вторая версия:

Название	Назначение	Пример / Цена
 Raspberry Pi 4 (или 5) с камерой 1 (например, Pi Camera V2 или Arducam)	FPV-камера + передатчик видео по OpenHD	~7–12 тыс. руб.

 Wi-Fi модуль USB (2.4 или 5.8 ГГц) с поддержкой monitor mode (например, Alfa AWUS036ACM или Panda PAU09)	Передача видео/телеметрии по OpenHD	~3–6 тыс. руб.
 Камера 2: Raspberry Pi HQ + объектив	Видео высокого качества для ML анализа	~7–9 тыс. руб.
 Jetson Nano / Orange Pi 5 / Raspberry Pi 5	Запись + передача видео с камеры 2 (не по OpenHD)	~9–14 тыс. руб.
 microSD U3 64–128 ГБ	Локальное хранение видеопотока	~1.5–2 тыс. руб.
 BEC 5V 3–5A	Питание Pi и/или Jetson от борта (6S)	~2–3 тыс. руб.
 Доп. RF-ссылка (опц.) — например, LTE/4G USB-модем	Альтернативный канал передачи видео/телеметрии (если не всё идёт через OpenHD)	~2.5–5 тыс. руб.
 GPS-модуль + MAVLink по UART с Pixhawk	Передача телеметрии через OpenHD	Входит в Cube Orange

Важно:

1. **Передачики Wi-Fi** должны поддерживать **monitor mode** и **injection**. Alfa AWUS036ACM — проверенный вариант.
2. На **приёмной стороне** нужен аналогичный модуль, можно Raspberry Pi или обычный ноутбук.
3. Для **управления дроном** используется **классическая RC-система** (например, ELRS или Crossfire) — OpenHD сам по себе RC не передаёт.

4. Убедитесь, что **частота Wi-Fi (2.4 или 5.8)** совпадает с доступным спектром и нет серьёзных помех.

Подключение камеры

1. Камера → Полётный контроллер: когда нужно?

Подключение камеры к FC (Flight Controller) **нужно ТОЛЬКО** если:

- ты используешь **аналоговое FPV** и хочешь иметь **OSD (On-Screen Display)** — например, Betaflight, iNav.
- или ты используешь камеры с функцией **trigger (спуск затвора)** — например, для картографии и фотосъёмки, когда FC должен активировать камеру в нужный момент.

В этих случаях:

- камера подключается через **видеовход (analog video in)** к FC (или к OSD-модулю, например AT7456E).
- или через **PWM / GPIO / UART** — для управления фото/видео спуском.

2. Камера → Видео-система (Herelink / OpenHD): как правильно

В профессиональных/современных сборках — таких как твоя:

- **видеопоток НЕ проходит через полётный контроллер.**
- камера подключается **напрямую** к передающему устройству:
 -  **Herelink Air Unit** — HDMI-кабель от камеры прямо в unit
 -  **OpenHD** — HDMI/CSI/USB-камера в Raspberry Pi

-  **Аналог FPV** — камера → видеопередатчик (VTx)

✓ Типовая конфигурация:

Пример (Herelink):

- Камера (HDMI) → Herelink Air Unit
- Air Unit → по радиоканалу на Herelink Ground Station (пульт)
- Полетный контроллер (Cube Orange) подключается к Herelink по **UART/MAVLink** — для управления и телеметрии.

Пример (OpenHD):

- Raspberry Pi с камерой (CSI/USB/HDMI) → видео кодируется и отправляется
- FC (Pixhawk) подключён к Pi по UART — данные MAVLink добавляются в видеопоток (HUD, OSD и т.п.)

Передача видеопотока на землю

Частота / Система	Назначение	Свободная местность (LoS)	Лес / застройка	Пропускная способность	Задержка	Особенности
5.8 ГГц (OpenHD / FPV)	Видео	5–10 км	200–500 м	 Высокая (HD)	~100–200 мс	Очень чувствителен к преградам, лучший выбор для LoS

2.4 ГГц (OpenHD / Herelink)	Видео, управление	3–7 км	500 м – 2 км	⚠ Средняя (до HD)	~150–250 мс	Хороший компромисс, может проникать сквозь листву/стены
1.2 ГГц (аналог FPV)	Видео (аналог)	10–15 км	1–3 км	🟡 Низкая (аналог)	🟡 Очень малая	Требует лицензии в РФ, редко используется в гражданских дронах
868 / 915 МГц (CRSF / ELRS / Telemetry)	Управление, телеметрия	10–25 км	2–6 км	❌ Очень низкая	🟡 Низкая	Не для видео, отлично проходит сквозь лес и здания
Herelink (2.4 ГГц)	Видео + управление + телеметрия	5–20 км (LoS)	~1 км	✅ HD + RC + telemetry	~100–150 мс	Проприетарный канал, оптимизирован для устойчивости
LoRa (433–868 МГц)	Телеметрия, команды	10–100 км+	5–10 км	❌ Очень низкая	Средняя	Только для обмена данными, не годится для видео

Для безопасного, дальнобойного потока есть всего несколько вариантов:

1. **Herelink** (2.4 GHz, шифрование, 1080p, телеметрия + видео):

- До 20 км
 - Шифрованная цифровая связь
 - Требует экосистему (Ground Station, антенны, камеры HDMI).
2. **Ethernet-видеокамера + 4G/5G** (при наличии вышек):
- Не в зоне военных действий - исключаем.
3. **Спутниковая передача (Starlink, Iridium):**
- **Дорогая**, требует решений enterprise-уровня.
4. **Mesh-сети на базе Wi-Fi (Ubiquiti, Mikrotik, etc.):**
- Возможно, но требует **настройки mesh-релей, антенн** и прямой видимости.
 - Не в зоне военных действий - исключаем

Выходит, что Herelink единственное доступное решение. У Herelink есть китайский бюджетный аналог, который также можно исследовать. Также стоит посмотреть в сторону OpenHD, но решение компромиссное и есть вопросы к надёжности.

Кроме того, для автономных миссий с определённой заранее целью можно обойтись и без радиоканала, используя инерциальную навигацию для **приблизительного** расчёта текущих координат и направления.

UPDATE:

Теоретическое исследование и анализ для третьей версии дрона показали, что Herelink не будет подходящим решением из-за невозможности кастомизировать его, подключив ML анализ. В таком случае будет разумно отказаться от решения на основе Herelink уже на втором этапе и использовать архитектуру на основе OpenHD – это повысит риски успеха проекта, но позволит существенно уменьшить издержки (20 000 vs 80 000).

Частота	Преимущества	Недостатки	Примерная дальность (LoS / лес)
5.8 ГГц	Высокая скорость передачи (до 6–10 Mbps), низкий пинг	Плохо проходит сквозь преграды (листва, бетон)	5–10 км / 0.5–1 км

2.4 ГГц	Компромисс между скоростью и проходимостью	Скорость ниже (4–6 Mbps), но стабильна	5–7 км / 1–2.5 км
1.3 ГГц	Отличная проходимость, хороша для леса	Требует лицензии (в РФ запрещена), низкая скорость	10+ км / 3–4 км (при 1 Mbps)
868/915 МГц	Отлична для телеметрии, управления	Не годится для видео (низкий битрейт)	30+ км телеметрии (но не видео!)

Аспект	Комментарий
Видео	H.264/H.265 в разрешении до 1080p 30fps
OSD	Программный, накладывается через GStreamer
Управление дроном	Через RC link встроенный в OpenHD (протоколы SBUS/CRSF)
Телеметрия MAVLink	Поддерживается, можно транслировать в QGroundControl, Mission Planner и т.п.
Wi-Fi карты	Требуются совместимые чипы (например, Atheros AR9271, RTL8812AU и др.)
Задержка (latency)	80–150 мс (зависит от битрейта и камеры)
Поддержка ML	Можно встроить Raspberry Pi 4/5 или Jetson Nano/Orin Nano — для инференса
Нужна прямая видимость?	Желательна, но при 2.4 ГГц с хорошими антеннами — работает в лесу/городе
Запись на борт	OpenHD может записывать Full HD поток прямо на microSD или SSD

Операционная система	Расширенный образ Raspberry Pi OS с предустановленным OpenHD
Криптозащита	WPA2, можно включить шифрование + MAC фильтрацию для повышения защиты

H.264/H.265 в разрешении до 1080p 30fps в канале 4-6 Mbps

4–6 Mbps вполне достаточно для стабильной передачи H.264/H.265 видео в 1080p 30fps, особенно если:

- используется **аппаратное сжатие** (например, через **v4l2h264enc** на Raspberry Pi),
- и битрейт правильно настроен в **GStreamer** или **ffmpeg**.

Битрейт vs разрешение (при хорошем качестве)

Разрешение	Частота кадров	Кодек	Битрейт (рекоменд.)
720p	30 fps	H.264	2.5–3 Mbps
1080p	30 fps	H.264	4–6 Mbps
1080p	30 fps	H.265	3–4.5 Mbps
1080p	60 fps	H.265	5–8 Mbps
4K (2160p)	30 fps	H.265	12–20 Mbps

 **Важно:** В реальных полётных условиях лучше использовать **CBR (Constant Bitrate)** — иначе переменный битрейт может дать скачки, которые выведут из строя приёмник или испортят OSD.

Практика на OpenHD:

- При **6 Mbps** по 2.4 ГГц можно получить **достаточно стабильное 1080p 30fps** видео.

- **H.265** эффективнее, но требует больше ресурсов и не на всех устройствах поддерживается.
- Стрим можно сжимать аппаратно (**v4l2h264enc**, **omxh264enc**, **nvh264enc**, и т.п.)

Требования к каналу:

- **Ширина канала:** для 6 Mbps нужно ~8–10 MHz эффективной пропускной способности.
- **SNR:** чем выше битрейт, тем выше нужно соотношение сигнал/шум. Поэтому **антенны, ориентация, усиление, направленность** — критичны.
- **LoS** (прямая видимость) — желательна.

Рекомендации:

- Используй **битрейт 4–5.5 Mbps** для 1080p H.264 (или 3.5–4.5 для H.265).
- Следи за **пингом и jitter** (в идеале <100 мс и стабильный).
- Настрой QoS, отключи Wi-Fi power saving.
- Лучше использовать **каналы без помех** (сканируй спектр, избегай роутеров и FPV-частот).

Примерная конфигурация

Компонент	Пример	Цена (примерно)
RPi 4/5	4 GB/8 GB RAM	6 000–9 000 ₽
Wi-Fi карта (RTL8812AU, AR9271 и т.п.)	Alfa AWUS036ACM, Panda PAU09 и др.	2 500–5 000 ₽
MicroSD V30	Samsung EVO Plus 64–128 GB	800–1 500 ₽

Камера (Pi HQ / HDMI grabber)	3 000–10 000 ₽	
USB HDMI grabber	UVC-совместимый, 1080p 30fps	2 000–3 000 ₽
Активные антенны	5 дБи–9 дБи, желательно с направленным сектором	1 500–3 000 ₽

Спутниковая связь

Сеть	Статус в РФ	Тип доступа	Возможность передачи видео
Гонец (ГРКС)	Доступен, гражданский спутник	Только текст/телеметрия	✗ (нет видеопотока)
Iridium	Доступен, но дорогой	Через авториз. дилеров	✗ (низкая скорость)
Inmarsat	Ограничен, для юр. лиц	Требуется лицензия	⚠ (низкое качество видео)
Starlink	⚠ Официально запрещён в РФ	Нелегально используется	✓ (при наличии сигнала)

Компонент	Цена (оценка)	Примечание
Iridium 9603N (модем)	~70 000 ₽	Текст, телеметрия, без видео (10 000 ₽ за гигабайт)
Iridium Certus Terminal	~300 000 ₽	Скорость до 700 Кбит/с (10 000 ₽ за гигабайт)

Inmarsat BGAN M2M	~250 000 ₽	Для фиксированных объектов (10 000 ₽ за гигабайт)
Гонец М1 / ISD-H	~50 000–100 000 ₽	Телеметрия, нужен доступ к ГК Гонец (10 000 ₽ за гигабайт)
Starlink (при наличии доступа)	~45 000–80 000 ₽	Используется нелегально в РФ

Ни одно из отечественных спутниковых решений на данный момент не подходит для управления дронами, не говоря уже о роями (swarm, squad) дронов. Американский Starlink выглядит интересно, но он под запретом, и хорошо, что под запретом.

На данный момент это направление закрыто. Наблюдаем за развитием технологий.

Версия №3

Список комплектующих

Название	Назначение	Пример / Цена
 Камера 2: Raspberry Pi HQ + объектив	Видео высокого качества (RAW, HDR)	~7–9 тыс. руб.
 Jetson Nano / Orange Pi 5 / Raspberry Pi 5	Обработка и передача ML-видео	~9–14 тыс. руб.
 microSD U3 / SSD (в Jetson/Orange Pi)	Запись ML-видео	~2–4 тыс. руб.
 USB LTE-модем (или отдельный RF-линк)	Альтернативная передача ML-видео на базу	~3–7 тыс. руб.
 Доп. ВЕС или UBEC 5V 5A (при двух SBC)	Питание второго компьютера	~2–3 тыс. руб.

Название	Назначение	Пример / Цена
 Gimbal на 1 ось или 2–3 оси (под Raspberry Pi HQ)	Устранение вибраций и стабилизация изображения	~5–10 тыс. руб.
 Антивибрационные демпферы (если без полноценного подвеса)	Упрощённая виброизоляция, лёгкая и дешёвая	~300–1000 руб.

Анализ

Подход	Преимущества	Недостатки
Инференс на борту	Автономность, не зависит от связи	Высокие требования к CPU/GPU, вес
Инференс на земле	Мощные GPU, можно обновлять модели быстро	Требуется стабильная передача данных

Для третьей версии был выбран вариант с более мягкими требованиями – инференс на земле.

Для ML качество картинки может существенно повлиять на качество работы ML моделей. Это означает, что аналоговое видео здесь не подходит. Только цифровое.

Также важна виброизоляция. Gimbal.

Далее встаёт вопрос об обработке видео на земле в реальном времени. Если во второй и третьей версии используем коробочный продукт от Herelink, то вероятно возникнут проблемы с попыткой залезть вовнутрь и подключить ML анализ. Исследование вопроса с помощью AI подтвердило мои опасения. Конечный ответ можно получить у разработчиков Herelink. (вопрос задан, на данный момент - без ответа <https://discuss.cubepilot.org/t/any-plans-to-add-support-of-ml-analysis-into-herelink/15254>)

Если Herelink не подходит для третьей версии дрона, то следующим рабочим вариантом будет решение на базе OpenHD. Скорее и на второй версии можно не использовать его, что уменьшит инвестиции в закупку оборудования в 5 (!) раз, но увеличит риски успешной реализации и настройки.

Частота	Преимущества	Недостатки	Примерная дальность (LoS / лес)
5.8 ГГц	Высокая скорость передачи (до 6–10 Mbps), низкий пинг	Плохо проходит сквозь преграды (листва, бетон)	5–10 км / 0.5–1 км
2.4 ГГц	Компромисс между скоростью и проходимостью	Скорость ниже (4–6 Mbps), но стабильна	5–7 км / 1–2.5 км
1.3 ГГц	Отличная проходимость, хороша для леса	Требует лицензии (в РФ запрещена), низкая скорость	10+ км / 3–4 км (при 1 Mbps)
868/915 МГц	Отлична для телеметрии, управления	Не годится для видео (низкий битрейт)	30+ км телеметрии (но не видео!)

Какой подвес выбрать?

- **Недорогой:** механические 1-2-осевые подвесы с серво или BLDC (например, от Tarot / Feiyu / китайские аналоги).
- **Универсальный вариант:** подвесы для GoPro подойдут и для Pi HQ при модификации (добавляется лёгкая рамка).
- **Серьёзный ML-запись/съёмка:** полноценный 3D Gimbal с контроллером (например, AlexMos / Storm32) + балансировка.

Передача видеопотока на вход ML модели

Примерное решение указано на этапе исследования. Более конкретно можно будет говорить, когда будут собраны комплектующие и проверены основные идеи.

Сборка дрона

Сборка рамы коптера

\\ описание требует завершения

Сборка моторов

\\ описание требует завершения

\\ CV vs CCV, распиновка согласно PDB, подключение согласно позициям к полётному контроллеру, конфигурация проводов для избежания взаимного ЭМИ, калибровка, установка пропеллеров (вращение по резьбе vs против резьбы),

Сборка регуляторов скорости (ESC)

\\ описание требует завершения

\\ пайка коннекторов, конфигурация для избежания взаимного ЭМИ, проверка доступности длины проводов до моторов, удлинение проводов

Сборка платы распределения питания (PDB)

\\ описание требует завершения

Прошивка контроллера полёта

\\ описание требует завершения

Конечно! Вот подробный пошаговый план первой настройки Cube Orange с ArduPilot через Mission Planner, основанный на официальной документации:



Шаги первой настройки (First-Time Setup)

1. Загрузка прошивки

- В Mission Planner перейдите в **Initial Setup** → **Install Firmware**.
 - Выберите прошивку, соответствующую вашему дрону (например, Copter).
 - Подождите, пока firmware загрузится на Cube Orange (ardupilot.org, docs.cubepilot.org, ardupilot.org).
-

2. Подключение

- После прошивки подключитесь к Cube через USB (Mission Planner определяет COM-порт).
 - Появится зеленая кнопка **Connect** — нажмите её (discuss.cubepilot.org).
-

3. Обязательная калибровка оборудования

Перейдите в **Setup** → **Mandatory Hardware** и последовательно выполните:



a) Калибровка акселерометра

- Выберите **Accelerometer Calibration**, выполните указанные повороты в 6 положениях (ardupilot.org, ardupilot.org).



b) Калибровка компаса

- Выберите **Compass Calibration**, вращайте дрон в 3D-пространстве (6 ориентаций), до трёх сигналов о завершении (ardupilot.org).



c) Калибровка RC-пульта

- Выберите **Radio Calibration**, выполните перемещения стиков.

d) ESC-калибровка (если PWM-ESC)

- Перейдите в **ESC Calibration**, выполните процедуру по инструкции.
-

4. Настройка параметров (Config → Full Parameter Tree)

a) LED-индикация

- Проверьте **NTF_LED_TYPES** — рекомендуется значение **123** или **231**, чтобы включить светодиоды (ardupilot.org, cseeniordesignkb.uta.edu).

b) Настройка UART приёмника

- Установите **SERIALx_PROTOCOL = 23** для CRSF, при связи через Crossfire.
- Убедитесь в корректной скорости: **SERIALx_BAUD = 115200**.

c) Настройка телеметрии, GPS, батарей и других устройств через соответствующие вкладки.

5. (Опционально) Калибровка температуры IMU

- Перейдите в **IMU Temperature Calibration**, установите параметры **INS_TCALn_ENABLE = 2**, **INS_TCALn_TMAX** и проведите процедуру по документу (ardupilot.org).
-

6. Перезагрузка контроллера

- После калибровки нажмите кнопку **Write Params**, затем отключите и включите питание Cube.
-

7. Проверка и тест

- Нажмите **Connect** снова.
 - Взгляните на вкладку **Messages** — там не должно быть критических ошибок **PreArm:**.
 - Перейдите в **Flight Data** — проверьте показания датчиков, GPS-позицию и индикатор LED.
-

Таблица этапов

Этап	Действие
1	Install Firmware
2	Connect и обмен параметрами
3	Accelerometer Calibration
4	Compass Calibration
5	Radio & ESC Calibration
6	Full Parameter Tree – LED, UART, Protocols
7	IMU Temperature Calibration (опционально)
8	Write Params и перезагрузка
9	Connect → Проверка в Flight Data и Messages

No	Step	Status	Notes
1	Install firmware	✓	Via Mission Planner or QGroundControl
2	Select frame type	✓	Quad / Hexa / X / H, etc.
3	Accelerometer calibration	✓	Required for attitude sensing
4	Radio calibration	✓	TX16S + receiver (CRSF / SBUS)
5	Compass calibration	🕒	Delayed until metal components are installed
6	ESC/motor calibration	☐	Needed if using PWM; skip for DShot with BLHeli
7	Motor direction and prop check	☐	Very important before test flight
8	GPS check (3D fix)	☐	Must be tested outdoors
9	Flight mode setup	✓	Stabilize / AltHold / Loiter etc. configured
10	Failsafe configuration	✓	Battery, Radio, and GCS failsafe configured
11	Power module and battery levels	☐	Set correct voltage/current readings
12	OSD setup (if available)	☐	MinimOSD or integrated OSD if supported
13	Voltage/current sensor calibration	☐	Tune sensor readings for accuracy
14	AutoTune or manual PID tuning	☐	After maiden flight
15	Logging setup (SD card)	☐	Enable logging (vibration, events, IMU, etc.)
16	Ground station telemetry setup	☐	Set baud rate, MAVLink version, etc.

После выполнения этих шагов у вас будет полностью настроенный и калиброванный Cube Orange, готовый для первого полёта. Если появятся предупреждения или вопросы — с радостью помогу!