БАСТАУШЫ ПИЛОТҚА АРНАЛҒАН НҰСҚАУЛЫҚ

FPV-ДРОНДЫ ӨЗ ҚОЛЫҢЫЗБЕН ЖАСАҢЫЗ

Betaflight · EdgeTX · ExpressLRS

Компоненттерді таңдаудан алғашқы ұшуға дейін



«Adrome Dynamics» ЖШС · Алматы, 2026

Мазмұны

Терминдер сөздігі 2
Кіріспе 8
Жылдам старт 11
Өлшем мен форматты таңдау 13
Байланыс протоколдары: аппараттық және бағдарламалық 19
Дронның компоненттері 24
Бейнежүйе: аналог және цифра 35
Пилоттың жердегі жабдығы 43
Дронды физикалық құрастыру 52
Betaflight баптау 60
EdgeTX баптау (ақ-қара экранды пульт) 77
ExpressLRS баптау 82
AM32 прошивкасындағы ESC-ті баптау 87
Соңғы тексеріс және алғашқы ұшу 89
Жаңадан бастаушылардың типтік қателері және troubleshooting 95
Әрі қарай үйренуге арналған сілтемелер мен материалдар 103
Пилот чек-листі (басып шығаруға арналған) 107

Терминдер сөздігі

Бұл бөлім құжаттың басына әдейі шығарылды: қалған тарауларды оқып отырғанда сізге FPV әлемінің қысқартулары мен жаргон сөздері үнемі кездесіп отырады. Бейтаныс терминге тап болған сайын осы жерге қайта оралыңыз - түсіндірмені бүкіл құжаттан қайта іздеудің қажеті болмайды. Терминдер тақырып бойынша топталған, ал топ ішінде қатаң әліпби ретімен емес, мағынасы бойынша орналасқан: байланысты ұғымдар қатар тұруы үшін.

Дрон және оның бөліктері

- **FPV (First Person View):** «Бірінші жақтан көру» - дронды басқару тәсілі: пилот дронға сырттан қарамай, борттағы камераның суретін көзілдірік немесе шлем арқылы нақты уақытта көріп отырады.
- **Квадрокоптер:** Төрт моторы мен пропеллері бар ұшу аппараты. Бұл гайдта дәл сол - дронның ең кең таралған түрі - туралы айтылады.
- **Рама (frame):** Дронның көтергіш қаңқасы, әдетте карбоннан жасалады; қалған компоненттердің бәрі осыған бекітіледі.
- **FC (Flight Controller, ұшу контроллері):** Дронның «миы»: процессоры мен датчиктері (гироскоп, акселерометр) бар плата. Ол секундына мыңдаған рет дрон пилот қалағандай ұшуы үшін моторлардың айналымын қалай өзгерту керегін есептеп отырады.
- **ESC (Electronic Speed Controller, айналым реттегіші):** FC командасы бойынша әр мотордың нақты айналымын басқаратын электрондық плата. Қазіргі дрондарда әрдайым дерлік 4-і 1-де ESC қолданылады - төрт моторға бірден бір модуль.
- **Мотор (brushless motor):** Пропеллерді айналдыратын коллекторсыз (щеткасыз) электромотор. Сандармен (мысалы, 2207) және KV параметрімен белгіленеді.
- **KV:** 1 вольт бергенде мотордың жүктемесіз беретін минутына айналым саны. KV неғұрлым жоғары болса, реакция соғұрлым жылдам әрі «өткір», бірақ айналдыру моменті азаяды.
- **Пропеллер (prop):** Ауа винті. Өлшемі дюймммен белгіленеді, мысалы 5" - диаметрі бес дюйм деген сөз.
- **Стек (stack):** Бірінің үстіне бірі тіреуіштермен бекітіліп жиналған FC және ESC (кейде басқа модульдердің де) платалары.
- **VTX (Video Transmitter):** Дрон бортындағы бейнетаратқыш. Борт камерасының суретін пилоттың қабылдағышына 5.8 ГГц радиоарнасы (аналог) немесе фирмалық цифрлық арна арқылы жібереді.
- **VRX (Video Receiver):** Пилот жағындағы бейнеқабылдағыш: дронның VTX сигналын қабылдап, суретті шығарады. Көзілдірікке кірістірілген болуы да, өз антенна блогы бар жеке жердегі модуль болуы да мүмкін.
- **Air Unit («әуе блогы»):** Цифрлық бейнежүйелерде (DJI, Walksnail, Artosyn чипіндегі бюджеттік жүйелер) камера мен VTX-ті біріктіретін тұтас борт модулі.
- **OSD (On-Screen Display):** Экрандық мәзір: бейненің үстіне салынған телеметрия (батарея кернеуі, ұшу таймері, сигнал деңгейі).

- **Қабылдағыш (receiver, RX):** Дрон бортындағы шағын модуль: пилот пультінің басқару командаларын антенна арқылы қабылдап, оларды FC-ге жеткізеді.
- **Антенна:** Радиотрактінің қабылдайтын немесе тарататын бөлігі. Дронда әдетте кемінде екі антенна болады: басқару қабылдағышының (ELRS) және бейнетаратқыштың антенналары.

Электр қорегі

- **LiPo (Lithium Polymer):** Литий-полимерлі аккумулятор - салмағы аз бола тұра токты мол бере алатындықтан, FPV-дегі негізгі батарея түрі.
- **LiHV (Lithium High Voltage):** Әр ұяшықтың толық заряд кернеуі жоғарылатылған (4.20 В орнына 4.35 В) LiPo түрі: сол салмақта энергиясы сәл көбірек.
- **Li-ion 18650 / 21700:** Дөңгелек литий-ионды элементтер (атауындағы сандар миллиметрдегі өлшемін білдіреді: диаметрі мен биіктігі). Кейбір жоғары токты модельдерін энтузиастар сыйымдылығы үлкен батареяларды өз қолымен құрастыру үшін пайдаланады.
- **S (мысалы, 4S, 6S):** Батареяда тізбектей жалғанған ұяшықтар саны. Әр ұяшық номиналды 3.7 В, толық зарядта 4.2 В береді. Мысалы, 6S толық зарядта 6 × 4.2 В = 25.2 В береді.
- **P (мысалы, 1P, 2P):** Жалпы сыйымдылықты арттыру үшін параллель жалғанған ұяшық топтарының саны. Мысалы, 4S2P - тізбектей жалғанған төрт ұяшық, параллель екі рет қайталанған.
- **mAh (миллиампер-сағат):** Батарея сыйымдылығының өлшем бірлігі: оның қанша энергия бере алатынын көрсетеді.
- **C-рейтинг:** Батареяның максималды разрядталу жылдамдығының көрсеткіші. Ампермен өлшенген максималды ток ампер-сағаттағы сыйымдылықты C-ға көбейткенге тең.
- **XT60 / XT30:** LiPo-батареяларды дронға қосуға арналған стандартты күштік разъемдер. XT60 - 3S-8S батареялар үшін, XT30 - ықшамырақ, қуаты азырақ дрондарға арналған.
- **SMA / коаксиалды RG кабелі:** Радиобөліктің антенналарына (қабылдағыш, бейнетаратқыш, пульт) арналған стандартты бұрандалы разъем және радиожиілік сигналын платадан антеннаға ең аз шығынмен жеткізетін коаксиалды кабель.
- **BEC (Battery Eliminator Circuit):** FC немесе ESC ішіне кірістірілген кернеу тұрақтандырғышы: батарея кернеуін камераларды, қабылдағыштарды, бейнежүйені қоректендіру үшін 5 В, 9 В немесе 12 В-қа дейін төмендетеді.

- **Баланстау разъемы (JST-XH):** Батареяның әр ұяшығына жеке сымы бар шағын разъем; зарядтағыш құрылғы сол арқылы әр ұяшықтың кернеуін бөлек бақылайды.

Радиобайланыс және протоколдар

- **Пульт (radio transmitter, TX):** Пилоттың қолындағы құрылғы: стиктер мен тумблерлердің қозғалысын басқару радиосигналына айналдырады.
- **EdgeTX:** FPV-пульттерге арналған ашық операциялық жүйе (прошивка); бұл гайдта ол туралы егжей-тегжейлі айтылады.
- **ExpressLRS (ELRS):** Пульт пен дрон қабылдағышы арасындағы ашық әрі бүгінде ең танымал радиолиния (радиобайланыс протоколы); кідірісінің аздығымен және қашықтығының жақсылығымен белгілі.
- **Crossfire (CRSF):** TBS компаниясының радиолиниясы және аттас деректер протоколы, FPV-дегі алыс әрі сенімді байланыстың пионерлерінің бірі. CRSF протоколының өзі мұраға қалып, ExpressLRS-те қолданылады.
- **Bind (байланыстыру):** Қабылдағышты нақты пультпен «таныстыратын» бір реттік процедура; осыдан кейін олар әрқашан автоматты түрде қосылады.
- **Failsafe:** Пультпен радиобайланыс үзілген жағдайға алдын ала белгіленген дрон әрекеті (мысалы, баяу төмендеу немесе моторларды толық тоқтату).
- **Арм / дизарм (Arm / Disarm):** Пульт командасымен моторларды айналуға дайын күйге келтіру (арм) және бұл дайындықты мәжбүрлеп бұғаттау (дизарм).
- **UART:** FC платасындағы аппараттық тізбекті порт - қабылдағышты, GPS-ті, VTX-ті және басқа модульдерді қосудың негізгі тәсілі.
- **I2C / SPI:** Платадағы чиптер арасындағы басқа аппараттық байланыс интерфейстері. SPI - ең жылдамы (гироскоп, кейбір қабылдағыштар), I2C - адрестеуі бар шина (барометр, компас).
- **CRSF (протокол ретінде):** Қабылдағыш пен FC UART арқылы алмасатын деректер форматы: арна командалары мен телеметрия бір сымда.
- **GHST (Ghost):** ImmersionRC компаниясынан шыққан CRSF протоколының аналогы.
- **SBUS / SBUS NI:** Арналарды бір бағытта беретін ескілеу serial-протокол, FrSky компаниясының стандарты. Классикалық SBUS инверсияланған электр сигналын қолданады және платада арнайы кірісті талап етеді; SBUS NI (Not Inverted, яғни инверсияланбаған) нұсқасын аппараттық инверторсыз кез келген қарапайым UART-қа қосуға болады.

- **MSP (MultiWii Serial Protocol):** Betaflight конфигураторы мен цифрлық бейнежүйелердің FC-мен деректер алмасатын протоколы. MSP арқылы GPS, компас және қашықтық өлшегіші бар оптикалық ағын датчиктерін де жиі қосады.
- **DShot:** Газ командасын FC-ден әр ESC-ке жеткізетін цифрлық протокол (DShot150/300/600); аналогтық PWM газ сигналының орнына келді.
- **RSSI:** Қабылданатын радиожиілік сигналының күшін көрсететін көрсеткіш (Received Signal Strength Indicator).
- **LQ (Link Quality):** Сәтті қабылданған радиобайланыс пакеттерінің пайызы; ExpressLRS-те байланыс сапасын RSSI-ге қарағанда дәлірек көрсетеді.
- **EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power):** Таратқыштың өз қуаты ғана емес, антеннаның күшейтуін де ескергендегі сигналдың тиімді сәулелену қуаты. Көптеген елдердің заңнамасы таратқыштың «жалаң» қуатын емес, дәл осы EIRP-ті реттейді.

Ұшуды баптау

- **PID:** Дронның берілген қалпын ұстап тұру үшін FC моторларға баратын басқару сигналын есептейтін үш коэффициент (Proportional, Integral, Derivative).
- **Rates:** Стикті толық бұрғанда дронның айналу жылдамдығын белгілейтін баптау, яғни басқарудың «өткірлігі».
- **Expo (экспонента):** Стиктің ортаға жақын шағын қозғалыстарына дронның реакциясын жұмсартатын баптау; жүрістің шетінде толық жылдамдық сақталады.
- **Deadband (өлі аймақ):** Стиктің ортасына жақын шағын диапазон: онда сигнал нөл деп есептеледі, сонда саусақтың кездейсоқ дірілі көрші ось бойынша артық қозғалыс тудырмайды.
- **Angle mode (тұрақтандыру режимі):** Жаңадан бастаушыларға арналған ұшу режимі: дрон горизонтты өзі ұстайды және аударылып кете алмайды, стиктер еңкею бұрышын басқарады.
- **Horizon mode:** Аралық режим: стиктің ортасында тұрақтандыру жұмыс істейді, жүрістің шетінде акробатикалық айналу қосылады.
- **Acro mode (Rate mode):** Автоматты түзеуі жоқ, толығымен қолмен басқарылатын акробатикалық режим; тәжірибелі пилоттар қолданады.
- **Air Mode:** Минималды газда дронның тұрақтандыруын жоғалтпайтын функция; акрода қалыпты ұшу үшін міндетті.
- **GPS Rescue:** Радиобайланыс үзілгенде немесе пилот командасымен дронның GPS бойынша ұшып көтерілген нүктесіне автоматты қайтуы.

- **CHIRP:** Betaflight-тің арнайы режимі: дрон моторларды жиілік диапазоны бойынша өзі «айдап», нәтижені Blackbox логына жазады. Кейін бұл логты конфигуратордың Autotune қойындысына жүктейді, ол PID-ті қолмен іріктеудің орнына дайын баптауларды ұсынады.
- **Blackbox:** Ұшудың барлық деректерін (гироскоп көрсеткіштері, газ командалары, PID және басқасын) кейін талдап, дәл баптау үшін жад картасына немесе кірістірілген флеш-жадқа жазатын функция.
- **CLI (Command Line Interface):** Betaflight-тің мәтіндік командалық жол интерфейсі: тереңдетілген баптау мен конфигурацияның резервтік көшірмесін жасауға арналған.
- **DFU-режимі (Device Firmware Update):** FC платасының арнайы режимі: онда плата USB арқылы жаңа прошивканы қабылдауға дайын тұрады.

Бейнежүйе

- **Аналогтық бейне:** Кәдімгі теледидар сигналын (PAL/NTSC) сығымдаусыз беретін классикалық 5.8 ГГц бейнежүйесі: кідірісі минималды, бірақ сурет сапасы онша жоғары емес.
- **Цифрлық бейне (HD-бейне):** Жоғары ажыратымдылықтағы сығымдалған суретті аналогтан сәл көбірек кідіріспен беретін заманауи жүйелер.
- **Диверсити (diversity):** Суреттің бөгеуілге төзімділігін арттыру үшін сигналды бірден екі антеннадан қабылдау.
- **Поляризация (RHCP/LHCP):** Антеннаның электромагниттік толқынының бағдары. Дрондағы VTX пен қабылдағыштың поляризациясы бірдей болуы маңызды, әсіресе аналогтық жүйелерде: әйтпесе қайта шағылысқан сигналдар күшейеді (ghosting, суреттің дірілдеп өшуі).
- **FOV (Field of View):** Көзілдіріктегі суреттің немесе камера объективінің шолу бұрышы.
- **DVR (Digital Video Recorder):** Бейнеағынды жад картасына жазу. Дрон бортында (air unit-тің өзінде) жасалған жазба пилот көзілдірігіндегі жазбадан әрдайым дерлік сапалырақ: көзілдірік онсыз да сығымдалып, радиоарна арқылы берілген сигналды жазады.

Басқасы

- **Freestyle:** Акробатикалық трюктармен ұшу стилі, көбіне 5" дрондарда.
- **Long-range:** Алыс қашықтыққа ұшу; әдетте моторлары үнемді, батарея сыйымдылығы үлкейтілген 7" және одан ірі дрондарда.

- **Tiny Whoop:** Пропеллерлерінің айналасында қорғаныш сақиналары бар мүлдем кішкентай дрондар класы (әдетте 2-3"); соқтығысқанда бұзылмайды десе де болады, үй ішінде ұшуға арналған.
- **Threadlock (бұранда бекіткіші):** Мотор бұрандалары мен раманың күштік элементтеріне арналған желім-бекіткіш: олардың дірілден өздігінен босап кетуіне жол бермейді.
- **Smoke stopper («түтіннен қорғаныс»):** Дрон қорегін алғаш қосқанда токты шектейтін құрылғы: қысқа тұйықталу болса, бүкіл стек емес, тек сақтандырғыш қана күйеді.
- **Conformal coating (қорғаныш лак):** Баспа платаларға арналған жұқа оқшаулағыш жабын: дәнекерлеу мен электрониканы ылғалдан, шаңнан және дірілден қорғайды.

Кіріспе

Бұл гайд бұрын-соңды FPV-дрон құрастырып көрмеген, мүмкін электроника мен радиобайланысқа мүлдем қатысы болмаған адамдарға арналған. Біз бәрін әдейі «саусақпен санағандай» қарапайым түсіндіреміз, сіздің бірдеңе білетініңізді алдын ала болжамаймыз, әрі үш негізгі прошивканың ресми құжаттамасына сүйенеміз: Betaflight (ұшу контроллері), EdgeTX (басқару пульті) және ExpressLRS (пульт пен дрон арасындағы радиобайланыс), сондай-ақ компоненттерді таңдау мен физикалық құрастыру бойынша тексерілген дереккөздерге жүгінеміз. Интерфейс пен баптаулардың барлық сипаттамасы Betaflight 2026.6 нұсқасы бойынша берілген; EdgeTX пен ExpressLRS баяуырақ өзгереді, оларға кез келген өзекті нұсқа жарайды.

Біз типтік FPV-квадрокоптерді талдаймыз және қатар оның қандай өлшем мен жиынтық нұсқалары болатынын айтамыз: ықшам Tiny Whoop пен әмбебап 5 дюймнен бастап алысқа ұшатын 7 дюймге дейін. Гайдтың соңына қарай сіз дронның неден құралатынын, компоненттерін қалай дәнекерлеп, физикалық жинауды, барлық бағдарламалық жасақтаманы нөлден баптауды және алғашқы ұшуды қауіпсіз орындауды түсінетін боласыз.

Бұл құжатты қалай оқу керек

- Егер сіз мүлдем жаңадан бастасаңыз, тарауларды рет-ретімен оқыңыз: дрон анатомиясы, байланыс протоколдары, компоненттер, жердегі жабдық, физикалық құрастыру, прошивкаларды баптау, алғашқы ұшу.

- Егер дайын компоненттер жинағын (frame kit) сатып алып қойсаңыз және бірден құрастырғыңыз келсе, «Физикалық құрастыру» тарауынан бастауға болады, ал компонент таңдау тарауларына сұрақ туындаған сайын оралып отырыңыз.
- Құжат басындағы терминдер сөздігі - сіздің ең жақсы жедел анықтамалығыңыз. Барлық терминді бірінші оқығаннан жаттап алуға тырыспаңыз.

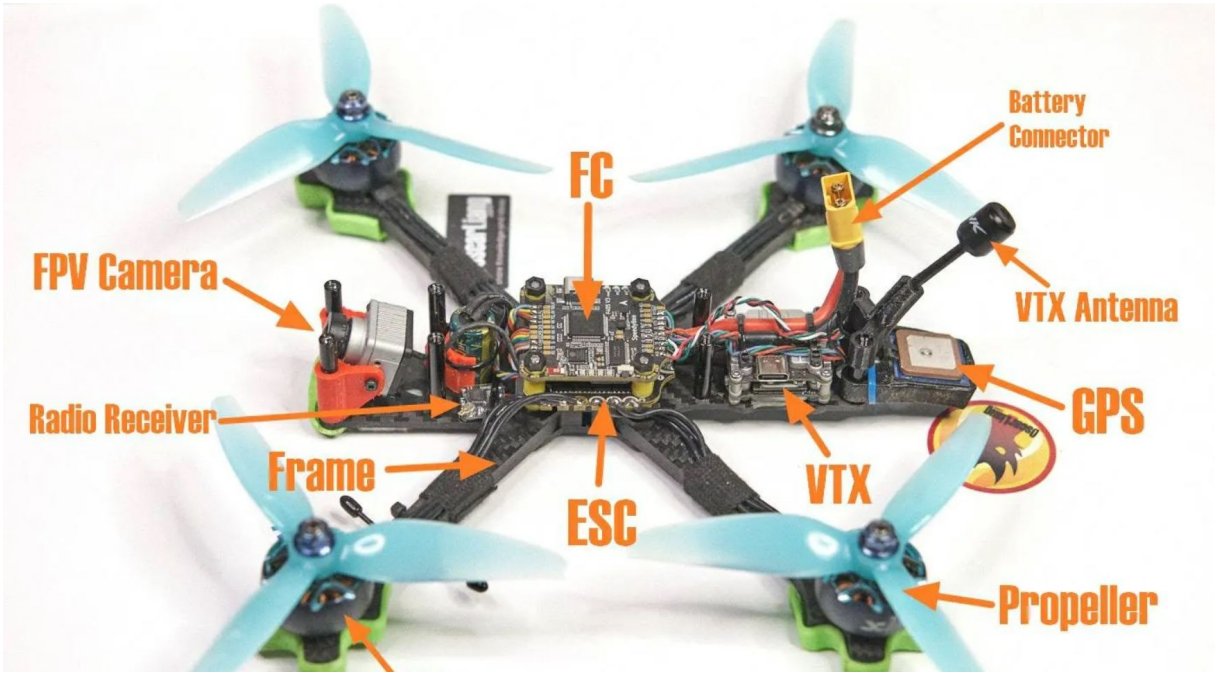
Қауіпсіздік техникасы: бастамас бұрын оқып шығыңыз

FPV-дрон - ойыншық емес. Орташа дронның пропеллерлері минутына 20 000 айналымнан жылдам айналады және теріні қатты кесіп кетуі мүмкін. LiPo-батареялар дұрыс ұстамаса, өртеніп кетуі ықтимал. Радиобасқарылатын техника еліңіздің жиіліктерді пайдалану және ұшқышсыз аппараттардың ұшуы туралы заңдарына бағынады. Құрастыруға, оның үстіне ұшуға кіріспес бұрын базалық ережелерді сақтаңыз.

- **Пропеллерлер шешіліп тұрады:** дронға алғаш рет қорек беріп, моторларды, электрониканы және баптауларды тексеріп жатқанда пропеллер тағылмайды. Пропеллерлерді тек ұшар алдында, ұшу орнына келгенде ғана орнатыңыз.
- **LiPo-батареялар:** тек арнайы қорғаныш сөмкеде (LiPo bag) сақтаңыз және зарядтаңыз, ешқашан қараусыз зарядқа қоймаңыз, ісінген немесе зақымдалған батареяны ешқашан қолданбаңыз.
- **Алғашқы қосу:** жаңа немесе өзгертілген стекті әрқашан smoke stopper (ток шектегіш) арқылы және пропеллерсіз қосыңыз; бұл құрастыру тарауында бөлек түсіндіріледі.
- **Алғашқы ұшулар:** тек ашық, адамы жоқ жерде, жолдардан, адамдардан, жануарлардан және құрылыстардан алыста, тұрақтандыру режимінде (Angle mode) және аласа биіктікте орындаңыз; толық әдістеме «Соңғы тексеріс және алғашқы ұшу» тарауында сипатталған.
- **Заңнама:** ұшқышсыз аппараттардың ұшуы заңмен реттеледі. Қазақстанға қойылатын талаптар «Өлшем мен форматты таңдау» тарауында бөлек талданған; ұшуды бастамас бұрын өзекті ережелерді жергілікті авиация ведомствосынан нақтылаңыз, бұл гайд оларды алмастырмайды.

Типтік FPV-дронның анатомиясы

Компоненттерді жеке-жеке талдамас бұрын жалпы көріністі көріп алған пайдалы: электр сигналы мен қорек батарея мен пульттен бастап айналып тұрған пропеллерлер мен көзілдіріктегі суретке дейін дрон арқылы қалай өтеді.



1-сурет. Құрастырылған рамадағы типтік FPV-дронның негізгі тораптары.

Күштік тізбек (қорек)

LiPo-батарея ESC платасындағы күштік разъемге (XT60) қосылады. ESC-тен қорек бірнеше бағытқа таралады: тікелей моторларға (жоғары ток, жуан сымдар), сондай-ақ BEC тұрақтандырғыштары арқылы FC платасына; одан әрі тұрақтандырылған 5 В кернеу қабылдағышқа барады, ал нақты платада бар болса, жеке 9 В немесе 12 В желісі камера мен бейнетаратқышты қоректендіреді.

Ұшуды басқару тізбегі

1. Пилот пульттегі (EdgeTX) стиктер мен тумблерлерді қозғайды.
2. Пульт бұл қозғалыстарды ExpressLRS протоколы бойынша радиосигналға кодтап, таңдалған жиілікте таратады (көбіне 2.4 ГГц, алысқа ұшатын нұсқаларда 900 МГц те қолданылады).
3. Дрон бортындағы қабылдағыш (RX) сигналды қабылдап, оны FC-ге сымды UART қосылымы арқылы CRSF протоколы түрінде жеткізеді.
4. Ұшу контроллері (FC) секундына мыңдаған рет гироскоп көрсеткіштерін оқып, оларды пилот командасымен салыстырады және PID-алгоритм арқылы әр моторға қандай айналым керегін есептейді.
5. FC әр мотордың газ командасын DShot протоколы арқылы ESC-ке жібереді.
6. ESC бұл цифрлық команданы нақты коллекторсыз моторды керек жылдамдықпен айналдыратын нақты үш фазалы электр сигналына айналдырады.

Бейнесигнал тізбегі

Камера бейнеағынды бейнетаратқышқа (VTX) үздіксіз береді, ал ол оны радиожиілікте эфирге таратады (аналог 5.8 ГГц немесе фирмалық цифрлық арна). Сонымен бірге FC бұл бейнеағынға мәтіндік телеметрияны (OSD) қосады: батарея кернеуі, ұшу уақыты, сигнал күші. Пилоттың көзілдірігіне немесе жеке жердегі модульге кірістірілген бейнеқабылдағышы (VRX) сигналды өз антеннасы арқылы қабылдап, қорытынды суретті мониторға шығарады. Дрон мен пилот арасындағы қашықтықты арттыру үшін кейде бейнесигналдың жеке ретрансляторларын (қайта таратқыштарын) қолданады, мұндай құрылғылар қосымша аксессуар ретінде сатылады.

Жиынтық кесте: кім кіммен қай арна арқылы «сөйлеседі»

Байланыс	Арна / протокол	Не беріледі
Пульт → дрон қабылдағышы	ExpressLRS радиоарнасы (2.4 ГГц / 900 МГц)	Стиктер мен тумблерлердің қалпы
Қабылдағыш → FC	UART сымы, CRSF протоколы	Басқару арналары және кері телеметрия
FC → ESC	Сымдар, DShot протоколы	Әр мотордың айналым командалары
ESC → моторлар	Әр моторға 3 күштік сым	Айналдыратын нақты ток
Батарея → ESC/FC	XT60 разъемы, күштік сымдар	Бүкіл жүйенің қорегі
Камера → VTX	Бейнесым (аналог) немесе кірістірілген (цифра)	Бейнеағын
FC → VTX (цифра)	UART сымы, MSP протоколы	Бейне үстіндегі OSD мәтіні
Дронның VTX-і → пилоттың VRX-і	5.8 ГГц радиоарнасы немесе фирмалық цифрлық арна	Бейне сурет

Жылдам старт

Гайд көлемді болып шықты, оны бірінші беттен бастап түгел оқу міндетті емес. Төменде хоббиге кірудің үш сценарийі, әрқайсысына тараулар бойынша қысқа маршрут және нақты не сатып алуға болатын нұсқалар берілген. Өз жағдайыңызға жақынын таңдаңыз да, қалған тарауларға сұрақ туындаған сайын оралыңыз.

1-сценарий. Жай ғана ұшқым келеді, ештеңе құрастырғым келмейді

Хоббиге кірудің ең жылдам жолы: Tiny Whoop класындағы дайын «дрон + көзілдірік + пульт» жинағын аласыз да, үйде ұшасыз. Ештеңе дәнекерлеудің қажеті жоқ, дрон

бапталып қойған және Betaflight-тің ұшады, сондықтан кейін прошивканы тірі аппаратта ештеңемен тәуекел етпей зерттей аласыз.

- **Тараулар бойынша маршрут:** «Кіріспедегі» қауіпсіздік техникасы, содан кейін «Пилоттың жердегі жабдығы» (симуляторлар туралы бөлім міндетті), одан соң «Соңғы тексеріс және алғашқы ұшу» түгелімен. Компоненттер, протоколдар және физикалық құрастыру туралы тарауларды өткізіп жіберіп, өз дроныңызды жинағыңыз келгенде оралуға болады. «Betaflight баптау» тарауын таңдап ашыңыз: Setup, Receiver, Modes және OSD.

2-сценарий. Дронды өзім құрастырғым келеді

Классикалық жол: өз қолыңызбен құрастырылған бес дюймдік дрон. Ұзағырақ әрі дәнекерлегішті қажет етеді, есесіне дроннның неден құралатынын түсінесіз және жөндей аласыз, ал жөндеуге ерте ме, кеш пе, бәрібір тура келеді.

- **Тараулар бойынша маршрут:** «Өлшем мен форматты таңдау», «Дронның компоненттері», «Дронды физикалық құрастыру», содан кейін баптау рет-ретімен: Betaflight, EdgeTX, ExpressLRS, AM32, ал соңында «Соңғы тексеріс және алғашқы ұшу». «Байланыс протоколдары» тарауын бірдеңе іске қосылмай қалғанда оқыңыз - себептердің басым бөлігі сонда талданған.

3-сценарий. Шын мәнінде терең түсінгім келеді

Егер дрон тек көңіл көтеру үшін емес, түсінікті әрі басқарылатын платформа ретінде керек болса, бәрін қатарынан оқыңыз және протоколдар тарауын өткізіп жібермеңіз: дайын рецепт ұсынудың орнына бірдеңенің неге жұмыс істемейтінін дәл сол тарау түсіндіреді. Бұл сценарийде симулятор да міндетті.

Нақты не сатып алу керек

Төменде әртүрлі бюджет пен мақсатқа арналған төрт тексерілген нұсқа берілген. Бағалар шамамен және өзгеріп тұрады, жинақ құрамын өндірушілер жаңартады, сондықтан сатып алар алдында сайтпен салыстырыңыз.

- **Дайын жинақ, цифрлық бейне.** BetaFPV Meteor75 Pro HD FPV Kit, шамамен 320 доллар. Қорапта салмағы 52 грамдай, 1080p цифрлық суреті бар вуп-дрон, VR04 көзілдірігі, LiteRadio 4 SE пульті, батареялар, зарядтағыш және сөмке бар. Betaflight-тің ұшады, қораптан шыға ұшуға дайын. Бюджет көтерсе - ең жайлы кіріс және ең жақсы бейне сапасы. Жинақ беті: https://betafpv.com/products/meteor75-pro-hd-fpv-kit.
- **Дәл сол, бірақ аналогта және арзанырақ.** BetaFPV Meteor75 Pro FPV Kit, шамамен 210 доллар. Сол дрон, салмағы 45 грамдай, бірақ аналогтық бейнежүйесі, VR03 көзілдірігі және LiteRadio 2 SE пульті бар. Суреті цифрадан

айтарлықтай нашар, есесіне пәтерде ұшуды үйренуге осы да жеткілікті, ал үнемделген ақшаны батареялар мен қосалқы бөлшектерге жұмсауға болады. Жинақ беті: https://betafpv.com/products/meteor75-pro-fpv-kit.

- **5 дюймді өз қолыңызбен құрастыру.** Комплектілердің өзекті бюджеттік тізімін Oscar Liang сарапшысынан алған ыңғайлы: онда екі нұсқа талданған - атаусыз компоненттерде шамамен 100 доллар және брендтік компоненттерде шамамен 230 доллар. Біз бұл тізімді гайдта әдейі қайталамаймыз: нақты модельдер құжаттың өзінен жылдамырақ ескіреді, ал бет авторы оны өзекті күйде ұстап отырады. Біздің міндетіміз - сол тізімдегі әр позиция нені білдіретінін және мұның бәрін қалай құрастырып, баптау керегін түсіндіру. Құрастыру беті: https://oscarliang.com/cheapest-fpv-drone-build/.
- **Инженерлік тәсіл үшін.** NewBeeDrone LionBee 3" Long Range ELRS AIO Developer Kit, шамамен 160 доллар. Бір 18650 банкамен ұшатын үш дюймдік long-range, AM32 прошивкасындағы ESC-і бар AIO ұшу контроллері, кірістірілген ExpressLRS қабылдағышы. Қарапайым жинақтан басты айырмашылығы - өндіруші схемаларды, прошивка файлдарын, CAD пен басып шығаруға арналған модельдерді ашық қояды, яғни платформаны өз міндетіңізге қарай жетілдіруге болады. Батарея жинаққа кірмейді. Жинақ беті: https://newbeedrone.com/collections/developer-kits/products/newbeedrone-lionbee-3inch-long-range-elrs2-4-aio-developer-kit.

Ешбір сценарийде нені өткізіп жіберуге болмайды

- **Симулятор.** Жердегі жабдық тарауындағы кез келген симуляторда өткізген 6-8 сағат сізге бірнеше сынған дронды үнемдейді. Пульт компьютерге кәдімгі USB-джойстик ретінде қосылады, немесе стандартты ойын геймпадын қолдануға болады, сондықтан жаттығуды дронның өзі келгенге дейін-ақ бастай аласыз.
- **Қауіпсіздік техникасы мен алғашқы ұшу.** Пропеллерлер, LiPo және алғашқы ұшу әдістемесі туралы бөлімдерді дронды өзіңіз құрастырдыңыз ба, әлде дайын сатып алдыңыз ба - бәрібір, барлығы оқиды.
- **Гайд соңындағы чек-лист.** Оны басып шығарып, кем дегенде алғашқы айларда өзіңізбен бірге алып жүріп, әр көтерілер алдында тармақтарын мұқият тексеріп отырған жөн.

Өлшем мен форматты таңдау

FPV-дронның өлшемін рама көтере алатын пропеллердің дюймммен өлшенген диаметрімен белгілеу қалыптасқан. Хоббиде төрт жүрдек формат бар: 3 дюйм (ықшам, трюктар мен тар кеңістіктерге), 5 дюйм (әмбебап фристайл/жарыс форматы және ең танымал таңдау), 7 дюйм және одан ірі (алысқа ұшатын, long-range) және бөлек тұрған Tiny Whoop класы (қорғаныш сақиналы мүлдем кішкентай

дрондар). Одан да ірі форматтар бар, мысалы 10 дюйм, бірақ бұл енді ірі батареялы ауыр кәсіби аппараттар, алғашқы дронға арналмаған, сондықтан бұл гайдта егжей-тегжейлі қарастырылмайды. Жақсы жаңалық: Tiny Whoop та, үштік те, бестік те, жетілік те бір ғана Betaflight прошивкасында жұмыс істейді, яғни бұл гайдтың бағдарламалық бөлікті баптау жөніндегі бүкіл материалы осы форматтардың кез келгеніне жарамды.



2-сурет. FPV-дрон форматтары бір қатарда: сол жақтағы Tiny Whoop-тан оң жақтағы X класты ауыр жарыс дрондарына дейін.

Tiny Whoop және 3 дюйм: ықшам формат

Tiny Whoop - пропеллерлерінің айналасында қорғаныш сақиналары бар мүлдем кішкентай дрондар класы (әдетте моторлар арасы 65-75 мм, пропеллерлері 31-40 мм). Салмағы әдетте 25-55 грамм, сондықтан олар іс жүзінде бұзылмайды: мұндай дронды пәтерде ұшып жүріп қабырға мен жиһазға батыл соғуға болады. Бұл дәл үй ішінде ұшудың алғашқы тәжірибесіне ең жақсы таңдау.



3-сурет. Tiny Whoop: пропеллерлер қорғаныш сақиналармен толық жабылған.

3 дюймдік дрондар аралық орында тұр: олар Tiny Whoop-тан айтарлықтай қуатты әрі жылдам, трюктар мен салыстырмалы тар кеңістіктерде (орман, үлкендеу үй-жайлар) ұшуға жарайды, бірақ Whoop-қа қарағанда соқтығысты соншалықты оңай кешірмейді. Егер негізгі мақсат - дәл үйге арналған жеңіл, бұзылмайтын дрон болса, жеңілдетілген үштік емес, бірден Tiny Whoop алған дұрыс. Ал Tiny Whoop пен ашық ауада трюк жасайтын толық өлшемді фристайл-дронның ортасындағы бірдеңе керек болса, үштік әбден жарайды.

5 дюйм: әмбебап формат

Бес дюймдік дрон - қауымдастықтағы ең танымал өлшем, өйткені ол акробатикалық фристайлға да, жарысқа да, кинематографиялық түсірілімге де, жай ұшуды үйренуге де бірдей жақсы келеді. Батареясымен толық құрастырылған типтік 5" дрон 600-800 грамм тартады, ал жақсы құрастырылған дронның максималды жылдамдығы 140 км/сағ-тан асады (жарыс нұсқаларында 180 км/сағ-қа дейін).



4-сурет. Бортында экшн-камерасы бар типтік 5 дюймдік фристайл-дрон.

- **Артықшылықтары:** қосалқы бөлшектер мен дайын жинақтардың ең қолжетімділігі, оқыту материалдары мен қауымдастық тәжірибесінің ең мол қоры, тамаша маневрлік пен жылдам реакция.
- **Кемшіліктері:** бір батареямен ұшу уақыты шамалы, әдетте 5-8 минут; дрон үй ішінде ұшуға тым қуатты әрі қауіпті.
- **Бестік неге жарайды:** фристайл (акробатика), дрон-рейсинг, кинематографиялық ұшып өтулер, оқу. Жаңадан бастаушыға алғашқы толық өлшемді дрон ретінде дәл осы формат ұсынылады, әрі бұл гайд негізінен соның мысалында құрылған.

7 дюйм және long-range: алысқа ұшатын формат

Жеті дюймдік дрон ірілеу пропеллерлерді қолданады, сондықтан тарту бірлігіне жұмсалатын энергиясы жағынан 5"-тен айтарлықтай тиімді. Соның арқасында ол сыйымдылығы үлкенірек батареяны көтеріп, едәуір алысқа ұша алады; бағыттың атауы да осыдан: long-range, «үлкен қашықтық». Бұл енді анағұрлым ілгері құрастыру деңгейі, моторлармен, пропеллерлермен және батареямен ойластырылған жұмысты талап етеді (толығырақ компоненттер тарауында).

- **Артықшылықтары:** ақылға қонымды салмақ кезінде ұшу қашықтығы мен уақыты айтарлықтай көп; ұшу мінезі жұмсағырақ, «круиздік».

- **Кемшіліктері:** 5"-ке қарағанда маневрлігі мен реакциясы айтарлықтай төмен, белсенді фристайлға немесе жарысқа жарамайды; ірілеу әрі ауырлау, сақтауға және тасымалдауға көбірек орын қажет етеді.
- **Жетілік неге жарайды:** алысқа барлау ұшулары, ландшафт түсіру, байсалды «круиздік» ұшу стилі; жиі GPS-модульмен және қашықтығы арттырылған LRS радиожүйесімен жабдықталады.

Салыстырмалы кесте

Параметр	3" (ықшам)	5" (әмбебап)	7" (long-range)
Типтік салмағы батареясымен	150-300 грамм	600-800 грамм	900-1300 грамм және одан жоғары
Батарея (әдетте)	3S-4S, 450-850 мАч	4S немесе 6S, 1300-1800 мАч	6S, 2200-3500 мАч және одан жоғары 21700 элементтерімен
Ұшу уақыты	3-6 минут	5-8 минут	10-25+ минут
Маневрлігі	Жоғары	Жоғары	Айтарлықтай төмен
Типтік қолданылуы	Трюктар, тар кеңістіктер	Фристайл, жарыс, оқу	Long-range, ландшафт түсіру

Жаңадан бастаушыға нені таңдау керек

Егер негізгі мақсат - ашық ауада ұшуды үйрену болса, 5"-тен бастаңыз. Бұл ең жақсы құжатталған әрі қолдау табатын формат қана емес, басқарылу, алғашқы сөзсіз құлаулардан кейін ауыстыратын қосалқы бөлшектердің бағасы және қолданудың кең әмбебаптығы арасындағы оңтайлы баланс. Пәтерде немесе өте тар жағдайда ұшқыңыз келсе, бөлек Tiny Whoop алыңыз: ол бестіктің бәсекелесі емес, толықтырушысы. 7" мен long-range-ге 5"-те баптау және ұшу тәжірибесін жинағаннан кейін саналы түрде көшкен жөн.

Қазақстандағы ұшқышсыз аппараттардың ұшуы туралы заңнама

Дронды сатып алмас бұрын, оның үстіне ауаға көтермес бұрын ережелерді ең болмаса жалпы түрде түсініп алған жөн. Қазақстанда реттеуші - Қазақстанның Авиациялық әкімшілігі, ал базалық талаптар мынаған саяды (ұшар алдында өзектілігін қосымша тексеріңіз, ережелер оқтын-оқтын жаңарып тұрады).

- **Тіркеу:** массасы 250 грамнан асатын ұшқышсыз аппараттар үшін, сондай-ақ массасына қарамастан камерасы бар аппараттар үшін міндетті. eOtinish

электрондық өтініштер порталы арқылы рәсімделеді, қарау мерзімі 10 жұмыс күніне дейін, дронға жеке борт нөмірі беріледі.

- **Ұшу биіктігі:** жеке рұқсатсыз әдетте бақыланатын әуе кеңістігінде ондаған метрмен шектеледі, бақыланбайтын кеңістікте сәл жоғарырақ. Нақты сандарды ұшқышсыз авиациялық жүйелерді пайдаланудың қолданыстағы ережелерінен нақтылаңыз, олар өзгеруі мүмкін.
- **Тыйым салынған аймақтар мен шарттар:** қалалар мен адамдар көп жиналған жерлердің үстінен, әуежайлардың, күзетілетін мемлекеттік және режимдік нысандардың маңында ұшуға болмайды; жеке рұқсатсыз ұшуға тек пилоттың тікелей көру аймағында (VLOS) және жарық уақытта ғана рұқсат етіледі.
- **Жауапкершілік:** тіркеу және әуе кеңістігін пайдалану ережелерін бұзғаны үшін әкімшілік айыппұлдар қарастырылған (ҚР ӘҚБтК 563-бабы), сондай-ақ аппараттың тәркіленуі мүмкін.

Бөлек ескеріңіз: пилот тек борт камерасының суретін көретін көзілдірікпен ұшу тікелей көру болып саналмайды. Мұндай жағдайдағы қалыпты практика - дронды көзбен бақылап тұратын серік-бақылаушыны ала жүру. Бұған байыппен қараңыз: еліңізде пайдалануға рұқсат етілген заңды жабдықпен және рұқсат етілген аймақтарда ұшыңыз, ал нақты ұшу алдында авиация билігінің ресми ресурстарындағы ережелердің өзекті редакциясымен салыстырыңыз.

Қуатты таратқыштардың заңдылығы және қашықтықты арттыру тәсілі

Радиожабдықтың жиіліктері мен қуаты туралы бөлек айту керек, өйткені желілік маркетплейстерде FPV-дрондарға арналған көптеген бөлшектер еркін сатылады, ал оларды Қазақстанды қоса алғанда көптеген елдерде пайдалану мүлдем заңсыз. Стандартты 2.4 ГГц (радиобасқару) және 5.8 ГГц (бейне) жиіліктерінен бөлек 300/500/700/900 МГц (радиобасқару) және 1.2/2.0/3.3/4.5/7.2 ГГц (бейне) жиіліктеріндегі нұсқалар да бар. Тағы бір бөлек мәселе - радиобасқару сигналының күшейткіштері мен қуаты 10-20 Вт-қа дейін жететін бейнетаратқыштар да еркін сатылады, ал оларды пайдалануға әлемнің көптеген елдерінің заңы бойынша үзілді-кесілді тыйым салынған.

Мұндай жабдықты рұқсат етілген қуаттан асырып немесе лицензияланбаған жиіліктерде пайдалану заңсыз, тіпті ол еркін сатылса да. Стандартты рұқсат етілген жабдықпен ұшыңыз (басқару 2.4 ГГц, бейне 5.8 ГГц, таратқыштың заңды қуаты) және сипаттамалар қуалап кетпеңіз.

Байланыстың нақты қашықтығын арттырудың әлдеқайда практикалық тәсілі - таратқыш қуатын қумай, жердегі антенналармен жұмыс істеу. Штативтегі жердегі панельді патч-антенналар сигналды жақсы күшейтеді, әсіресе жоғары жиіліктерде,

оны бірнеше есе күшейтуге мүмкіндік береді, сонымен бірге жеке антенна трекері (антеннаны дронға автоматты бұрып отыратын құрылғы) керек болмайтындай жеткілікті кең шолу секторын сақтайды. Бұл ең қарапайым апгрейд: мұндай антеннаны жердегі бейнеқабылдағышқа да, пультке де қосуға болады, сонда дрон штаттық жабдықпен едәуір алысырақ ұшады.

Байланыс протоколдары: аппараттық және бағдарламалық

Бұл тарау бүкіл гайдтағы ең «инженерлік» тарау болып көрінуі мүмкін, бірақ ол соған тұрарлық: жаңадан бастаушының баптау кезеңіндегі барлық дерлік проблемасы (қабылдағыш қосылмайды, телеметрия жоқ, камера OSD көрсетпейді) дәл осы ұғымдардағы шатасуға саяды. Алдымен физикалық интерфейстерді, яғни сөзбе-сөз қандай сымдар платаларды қандай логикамен жалғайтынын, сосын сол сымдар арқылы «сөйлесетін» протоколдарды талдаймыз.

Аппараттық деңгей: платалар деректермен физикалық қалай алмасады

Дрондағы кез келген жұп электрондық плата (мысалы, FC мен қабылдағыш) бірнеше стандартты интерфейстің бірі бойынша сымдармен физикалық жалғануы керек. Интерфейс (биттерді берудің физикалық тәсілі) пен протоколды (сол биттердің мағыналы командаларға қалай құралатыны) шатастырмау маңызды: бұл - әртүрлі деңгейлер, әрі бір интерфейс әртүрлі протоколдарды тасымалдай алады.

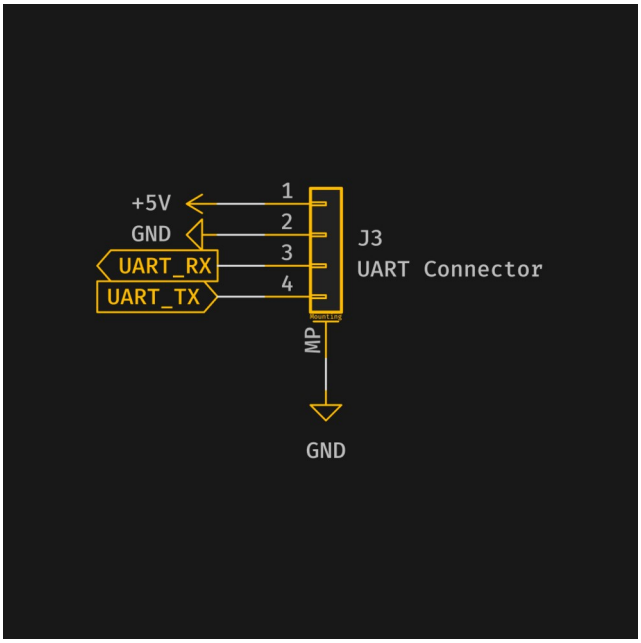
UART: әмбебап асинхронды қабылдап-таратқыш

UART - FPV-дегі ең кең таралған интерфейс. Бұл екі сым: TX (transmit, тарату) және RX (receive, қабылдау). Деректер жеке тактілік сымсыз бит-битпен жүреді, екі жақ секундына бит санымен өлшенетін беру жылдамдығын (baud rate) алдын ала келіседі. Жылдамдықтар сәйкес келмесе, деректің орнына оқылмайтын «шу» шығады - бұл жаңадан бастаушының ең жиі қателерінің бірі.

- **Қосудың маңызды ережесі:** бір құрылғының TX-і әрқашан екіншісінің RX-іне жалғанады, және керісінше - «айқастырып». TX-TX және RX-RX етіп жалғасаңыз, екі құрылғы арасында байланыс болмайды.

FC платасында әдетте нөмірленген бірнеше тәуелсіз UART-порт болады (UART1, UART2, UART3 және т.б.). Betaflight конфигураторының Ports қойындысында әр портқа нақты міндет тағайындалады: радиоқабылдағыштан қабылдау, GPS-модуль, VTX баптау, цифрлық бейнежүйемен байланыс және т.б. Нақты платаның распиновкасын (контактілердің орналасу схемасын) өндіруші сайтынан міндетті түрде салыстырыңыз: әр FC моделінің өз UART нөмірленуі мен TX/RX алаңдарының

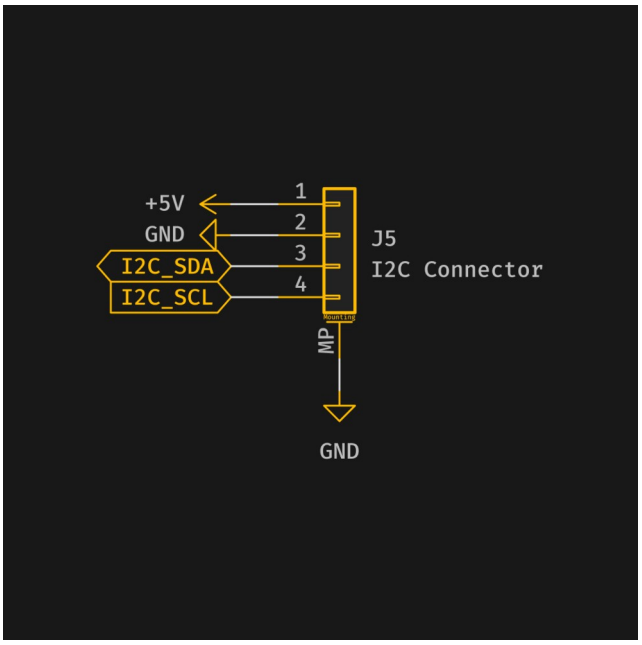
өз орналасуы бар, барлық платаға бірдей әмбебап схема жоқ. Порттарды баптау туралы толығырақ Betaflight тарауында айтылған.



5-сурет. Ұшу контроллері платасындағы стандартты UART-разъем схемасы (Betaflight Connector Standard).

I2C: адрестеуі бар шина

I2C бар болғаны екі сымды қолданады: SDA (деректер) және SCL (тактілік сигнал), бірақ UART-тан айырмашылығы - бір жұп сымға бірден бірнеше құрылғыны қосуға болады: әрқайсысы өзінің бірегей адресімен ерекшеленеді. GPS пен барометрі жоқ типтік фристайл-дронда I2C жоқтың қасы, бұл шина компасы, барометрі немесе сыртқы OSD-модулі бар дрондарда жиірек кездеседі. Жаңадан бастаушыға мынаны білу жеткілікті: плата өндірушісі «барометрді I2C арқылы қосыңыз» десе, бұл - дәл осы жұп сым, SDA мен SCL.



6-сурет. Ұшу контроллері платасындағы I2C-разъем (SDA/SCL) схемасы.

SPI: ең жылдам интерфейс

SPI - бірнеше желісі бар интерфейс (кемінде төртеу: MOSI, MISO, SCLK және құрылғыны таңдайтын CS), мұнда қарастырылғандардың ішінде деректер алмасудың ең жоғары жылдамдығын береді. FC платасында гироскоп пен акселерометр әрқашан дәл SPI арқылы қосылған: нақты уақыттағы ұшу тұрақтандыруы үшін жылдамдық аса маңызды. Қазіргі дрондардағы екінші кең таралған қолданысы - FC платасына тікелей дәнекерленген SPI-қабылдағыштар ExpressLRS: UART-тағы жеке қабылдағыш модульдің орнына ELRS радиочипі процессормен тікелей SPI арқылы жалғанады, бұл салмақты, рамадағы орынды және бір UART портын үнемдейді.

PWM және PPM: цифрлық протоколдардың ізашарлары

Цифрлық serial-протоколдар жаппай таралғанға дейін басқару арналары басқа тәсілдермен берілетін; бүгінде олар жаңа дрондарда жоқтың қасы, бірақ жалпы түсінік үшін білген пайдалы.

- **PWM (Pulse Width Modulation):** электр импульсінің ұзақтығы (әдетте 1000-нан 2000 микросекундқа дейін) бір басқару арнасын кодтайды. Мәселе мынада: әр арнаға жеке сым керек, яғни 8 арналы қабылдағышта 8 жеке шығыс және жуан сым будасы болатын.
- **PPM (Pulse Position Modulation):** бірнеше PWM-арнаны бір сымға тізбектеп «буып», сым санының мәселесін шешеді, бірақ дәлдігі мен бөгеуілге төзімділігі жағынан заманауи цифрлық протоколдардан бәрібір қалыс қалады.

Бүгінде екі тәсілді де цифрлық serial-протоколдар (SBUS, CRSF, GHST) ығыстырды: олар дәлірек, бөгеуілге төзімдірек және сол сым арқылы телеметрияны пультке кері жіберуге мүмкіндік береді.

Бағдарламалық деңгей: UART үстіндегі протоколдар

Екі плата UART арқылы физикалық жалғанғанда, олар берілетін деректердің форматы туралы «келісуі» керек - протокол деген осы. FPV-хоббиде әрқайсысының өз міндеті бар бірнеше протокол қолданылады.

CRSF (Crossfire Protocol)

CRSF - бастапқыда TBS компаниясы өзінің Crossfire радиожүйесі үшін жасаған, кейін ExpressLRS үшін стандарт ретінде қабылданған протокол. Бір CRSF қосылымы арқылы бірден екі нәрсе беріледі: басқару арналарының командалары (пульттен дронға) және телеметрия (батарея кернеуі, GPS, RSSI және басқа деректер, дроннан пультке кері). Қабылдағыш пен FC арасында шамамен 420000 бод стандартты жылдамдық қолданылады. Сондықтан да типтік дронда ExpressLRS қабылдағышына бір UART-порт жеткілікті, телеметрияға жеке сым қажет емес.

GHST (Ghost)

GHST - ImmersionRC компаниясының протоколы, CRSF шешетін мәселені шешеді: арналар мен телеметрияны бір сыммен беру. Ол сол өндірушінің Ghost радиожүйесімен қолданылады және міндеті жағынан CRSF-ке толық ұқсас - шын мәнінде бәсекелес салалық стандарт. EdgeTX пен ExpressLRS байламын таңдаған жаңадан бастаушыға (бұл гайдтың негізгі сценарийі) GHST қажет болмайды, ол тек ImmersionRC жабдығын қолданғанда өзекті.

SBUS және SBUS NI

SBUS - FrSky компаниясының ескілеу протоколы, ол да serial, бірақ бір бағытты: тек арна командаларын қабылдағыштан FC-ге береді, сол сымда кірістірілген телеметриясы жоқ. Классикалық SBUS инверсияланған электр сигналын қолданады (логикалық деңгейлер қарапайым UART-қа қарағанда «төңкерілген»), бұрын оны қосу үшін кейбір платаларда жеке аппараттық инвертор немесе арнайы белгіленген кіріс қажет болатын. Ұшу контроллерлерінің заманауи прошивкалары сигналдың инверсияланбаған нұсқасымен де жұмыс істей алады (порт баптауларындағы SBUS NI дәл сигналдың инверсияланбағанын білдіреді), оны ешқандай қосымша айла-шарғысыз кез келген қарапайым UART-қа қосуға болады. Бүгінде SBUS жаңа FPV-дрондарда сирегірек кездеседі, бірақ көптеген бюджеттік қабылдағыштарда және классикалық RC-модельдерде (ұшақтар, тікұшақтар) стандарт болып қала береді.

MSP (MultiWii Serial Protocol)

MSP - FC-нің сыртқы құрылғылармен екі жақты байланысына арналған Betaflight-тің «туған» протоколы. Оның бірнеше қолданысы бар. Біріншіден, компьютердегі Betaflight конфигураторы ұшу контроллерімен USB арқылы дәл MSP-мен сөйлеседі. Екіншіден - және бұл заманауи цифрлық бейнежүйелер үшін аса маңызды - MSP арқылы MSP Displayport деп аталатын нәрсе беріледі: FC бейнеге қосқысы келетін OSD мәтіні (телеметрия, ұшу көрсеткіштері) UART арқылы цифрлық жүйенің «әуе блогына» жіберіледі, ал ол бұл графиканы бейнеағынның үстіне өзі салады. Бұл - цифрлық жүйелердің аналогтан түбегейлі айырмашылығы: аналогта OSD-ді тікелей FC платасындағы жеке чип (OSD-чип) салады, ол үшін ешқандай MSP қажет емес. Үшіншіден, MSP арқылы ұшу контроллеріне қымбат емес қосымша периферияларда жиі қосылады: GPS-модульдер, компас (I2C арқылы қосудың баламасы ретінде), сондай-ақ үй ішінде ұшатын пилоттар жақсы көретін, кірістірілген қашықтық өлшегіші бар оптикалық ағын датчиктері (Optical Flow) - олар дронға GPS-сіз аласа биіктікте орнын ұстап тұруға мүмкіндік береді.

DShot

DShot - газ командасын FC-ден әр ESC-ке жеткізетін цифрлық протокол, ескі аналогтық PWM газ сигналының орнына келген. Бағыты әрқашан біреу: FC-ден ESC-ке, әр моторға жеке сым арқылы. Деректер пакеті 16 биттен тұрады: 11 бит - газ мәні (2048 ықтимал градация), 1 бит - телеметрия сұрауы және пакеттің бүтіндігін тексеретін 4 бит бақылау сомасы.

DShot нұсқасы	Беру жылдамдығы	Қашан қолданылады
DShot150	150 000 бит/с	PID-loop жиілігі 2 кГц, баяу және ескі процессорлар
DShot300	300 000 бит/с	PID-loop жиілігі 4 кГц, F4 негізіндегі бюджеттік платалар
DShot600	600 000 бит/с	PID-loop жиілігі 8 кГц, заманауи F7 және H7 платалары, әдепкі мән

Betaflight әдепкі бойынша DShot600 қояды, заманауи F7 және H7 платалары үшін бұл дұрыс таңдау. PID-loop жиілігі 4 кГц-ке дейін түсірілген әлсіздеу платаларда сәйкес нұсқа - DShot300. Бөлек бір нюанс ESC-тері стектегі тұтас 4-і 1-де модульге жиналмай, раманың лучтарында (иіндерінде) жеке-жеке орналасқан дрондарға қатысты (таратылған ESC деп аталады): FC-ден нақты ESC-платаға дейінгі сым неғұрлым ұзын болса, жоғары жылдамдықты сигнал соғұрлым сенімсіз беріледі. Мұндай дронда DShot600 іркіліс берсе немесе мотор тұрақсыз жұмыс істесе, беру сенімділігін арттыру үшін протоколды DShot300-ге дейін төмендеткен ақылға қонымды - реакция жылдамдығынан аздап ұтылғанмен.

DShot-тың ескі аналогтық сигнал алдындағы басты артықшылықтары: ол ESC-ті қолмен калибрлеуді қажет етпейді, электромагниттік бөгеуілге төзімді, ал ESC пакеттің бақылау сомасын тексеріп, команданы қате орындаудың орнына зақымдалған деректерді жай лақтырып тастай алады. Bidirectional DShot (екі бағытты DShot) бөлек айтуға тұрарлық - бұл протоколдың кері арна қосатын кеңейтімі: ESC мотордың нақты айналымы туралы деректерді сол сым арқылы FC-ге кері жібереді. Мұны айналым бойынша динамикалық шу сүзгісі (RPM filter) пайдаланады - моторлардың жоғары айналымында гироскоптан таза сигнал алу үшін өте маңызды функция.

Типтік дрондағы протоколдардың жиынтық схемасы

Тізбек бөлігі	Интерфейс	Протокол
Пульт → дрон қабылдағышы	Радиоарна	ExpressLRS (CRSF негізінде)
Қабылдағыш → FC	UART	CRSF
FC → цифрлық VTX	UART	MSP (Displayport)
FC → аналогтық VTX	UART, телеметрия	SmartAudio және IRC Tramp
FC → ESC	Әр моторға жеке сымдар	DShot300 немесе DShot600
FC → компьютер (конфигуратор)	USB	MSP
Гироскоп → FC процессоры	SPI (платаның өзінде)	ішкі
GPS/компас/optical flow → FC	UART немесе I2C	MSP немесе I2C

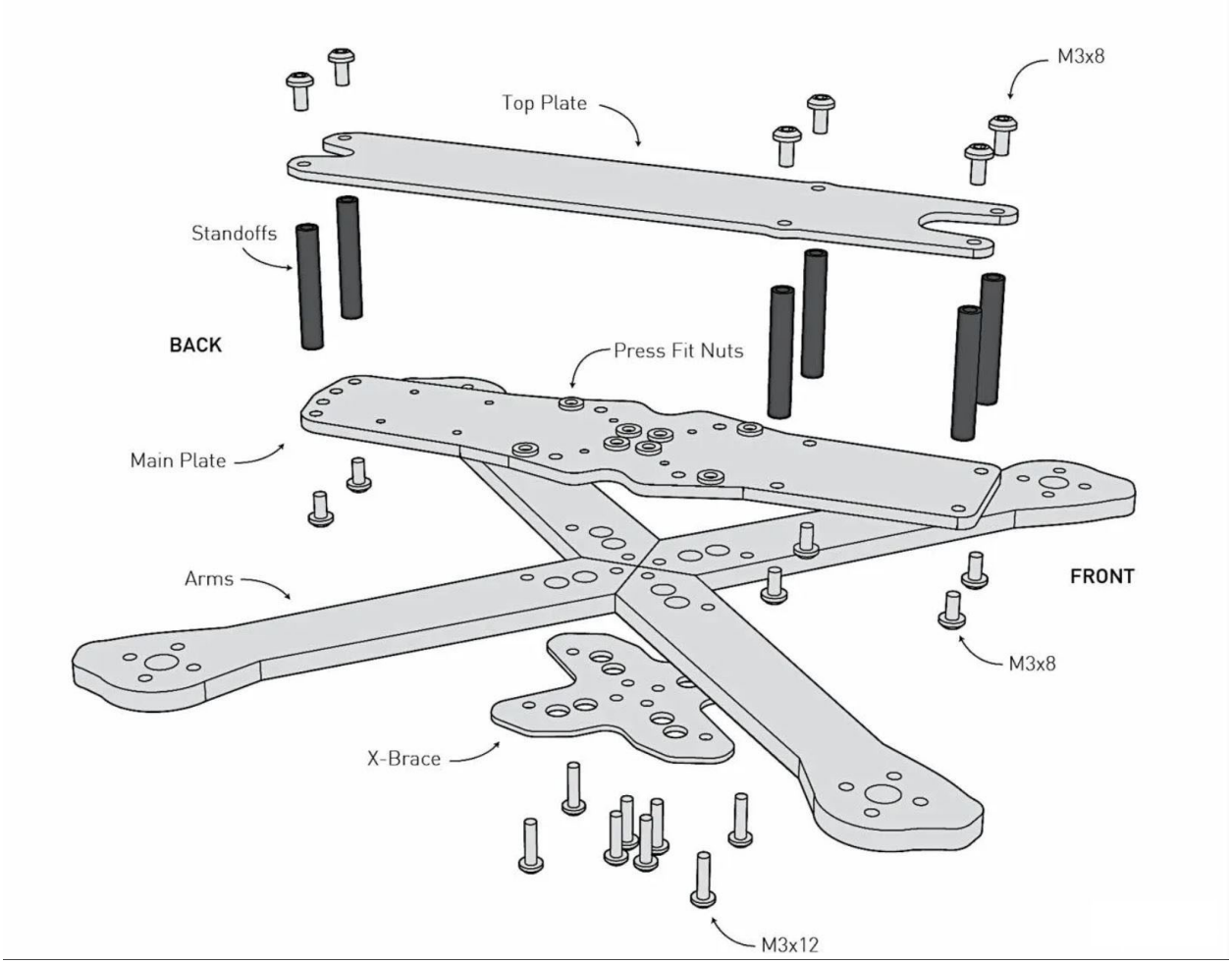
Дронның компоненттері

Бұл тарауда дронның әр компонентін жеке-жеке егжей-тегжейлі талдаймыз: ол не үшін жауап береді, таңдағанда қандай сипаттамаларға қарау керек және әр форматқа қандай мәндер тән. Бұл тараудағы сандар жабдыққа жасалған өзекті шолулар мен қауымдастық тәжірибесіне негізделген және жалғыз дұрыс таңдау емес, бағдар ретінде берілген.

Рама (frame)

Рама - дронның көтергіш қаңқасы, қалған компоненттердің бәрі осыған бекітіледі. Раманың өлшемі қарама-қарсы моторлардың орталықтары арасындағы диагональ

қашықтықпен миллиметрде өлшенеді (wheelbase) және сыятын пропеллердің дюймммен өлшенген максималды диаметрі бойынша жіктеледі.



7-сурет. Типтік рама неден тұрады: астыңғы және үстіңгі пластиналар, лучтар (иіндер), тіреуіштер.

Класс	Wheelbase	Луч қалыңдығы
3" (кіші)	120-150 мм	2-3 мм
5" (танымал)	180-220 мм	3-5 мм
7" (алысқа ұшатын)	280 мм және одан көп	5 мм және одан көп
10" және одан ірі	400 мм және одан көп	Күшейткіштері бар 5 мм және одан көп, ауыр премиум аппараттар

- **Материалы:** әрдайым дерлік карбон талшығы - жеңіл әрі салмағы аз бола тұра өте қатты. Карбонның кемшіліктері: ол электр тогын өткізеді (оқшаулаусыз ашық сымдармен жанасқанда қысқа тұйықталу қаупі бар) және антенналар пластиналарға тым жақын келсе, радиосигналды аздап әлсіретеді.
- **Unibody vs Modular:** unibody-раманың иіндері мен астыңғы пластинасы бір карбон парағынан кесілген: жеңілірек, бірақ бір иіні сынса, бүкіл астыңғы пластинаны ауыстыруға тура келеді. Modular-раманың иіндері алмалы-салмалы, екі пластинаның арасына бөлек бекітіледі: сәл ауырлау, есесіне жөндеу әлдеқайда арзан әрі оңай - құлауы көп болатын жаңадан бастаушыға ұсынылады.
- **Геометриясы:** True-X (төрт иін де дәл ортада қиылысады, барлық моторға қашықтық бірдей, крен мен тангаж бойынша ең болжамды мінез), Stretch-X (алдыңғы және артқы иіндер бүйірдегілерге қарағанда бір-бірінен сәл алшақ, пропеллерлердің камера кадрына түсуін азайтады) және H-frame (иіндер перпендикуляр орналасқан, ішінде бос орын көбірек, бірақ геометриясы маневрге онша икемді емес).
- **Күштік бөліктің бекітпесі:** көптеген карбон рамаларда, әсіресе ірі 7" және одан үлкендерінде, лучтар орталық крестовинаға салынбалы бұрандалы бекітпелер арқылы бекітіледі. Раманың бұл күштік бөлігін мотор бекітпелері сияқты бұранда бекіткішімен (threadlock) құрастырған жөн, әйтпесе дірілден бекітпе уақыт өте босап кетеді.

Ұшу контроллері (Flight Controller, FC)

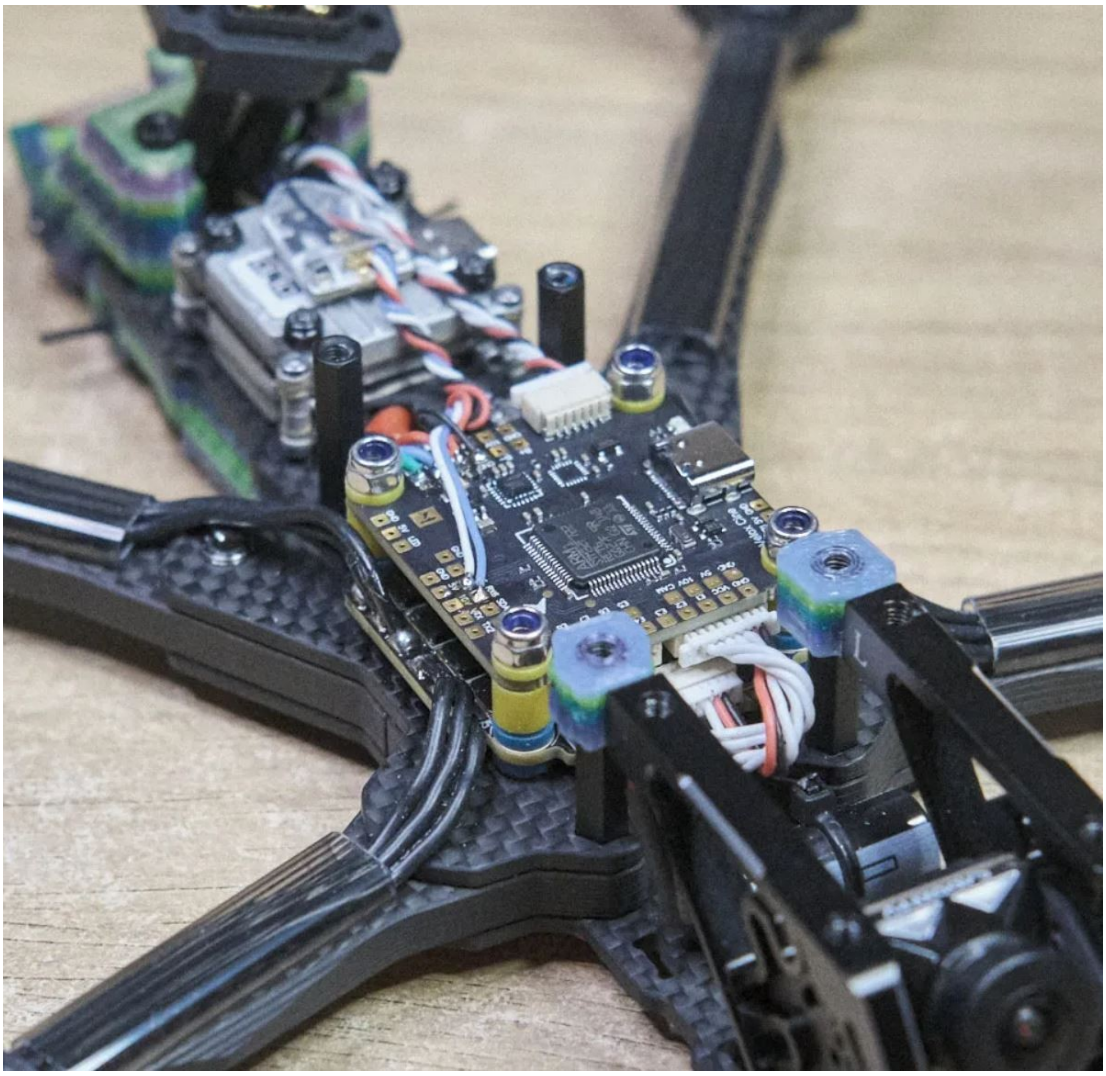
FC - гироскопы мен акселерометрі кірістірілген дронның орталық процессоры. Бүкіл жүйенің қандай есептеу қуаты мен функцияларға ие болатынын осы анықтайды.

Процессор	Тактілік жиілігі	Ерекшеліктері
F405	168 МГц	Бюджеттік нұсқа, қосымша функцияларға жады шектеулі
F722 / F745	216 МГц	F405-тен жылдам, бірақ F722-нің жады одан да аз, болашақ функцияларды шектейді
H743 (H7)	480 МГц	Ұсынылатын стандарт: барлық заманауи функцияға жад пен қуат қоры жеткілікті

Бүгінде бірден H743 процессорына бағдарланған дұрыс: заманауи Betaflight прошивкасы түрлі «ақылды» функцияларды қоса алады (биіктік пен позицияны ұстау, толыққанды GPS-қайтару, мотор айналымы бойынша сүзгілеу, сервожетектерді қолдау, Blackbox логтарын жазу және басқалары), ал олардың бәрі

бюджеттік F405, тіпті F7 бере алатыннан айтарлықтай көп жад пен есептеу қуатын қажет етеді. Қалған процессор нұсқаларын уақытша немесе бюджеттік шешім деп қарауға болады, ал H743 платасы қажеттіліктерді жылдар бойына қорымен жабады.

- **Гироскоп:** қазіргі салалық стандарт - ICM-42688-P; кейбір платаларда BMI270 қолданылады, осы гироскопы бар плата таңдасаңыз, өндірушінің сапалы сүзгілеу жасағанына көз жеткізіңіз.
- **Стек өлшемі:** 30.5×30.5 мм - 5" мен 7" стандарты; 25.5×25.5 мм - жеңіл ықшам аппараттарға; 20×20 мм - ультраықшам дрондарға.
- **BEC:** барлық дерлік плата RX қабылдағышына тұрақтандырылған 5 В береді, озығырақ модельдер бейнежүйеге (камера мен VTX) арнайы жеке таза 9 В немесе 12 В желісін де береді; оның артында әдетте бөгеуілді тегістейтін LC-сүзгі тұрады.
- **Таңдағанда неге қарау керек:** қолжетімді UART-порттардың саны (қабылдағышқа, GPS-ке, VTX-ке, телеметрияға - неғұрлым көп болса, соғұрлым икемді), батарея кернеуімен үйлесімділік (4S/6S/8S), кірістірілген OSD-чип (аналогтық бейнеге қажет), USB разъемінің түрі (USB-C болғаны жөн).
- **Плата бағдары:** FC платасында «алға» бағытын көрсететін стрелка бар. FC-ні осы стрелкамен дәл ұшу бағытына қаратып орналастырсаңыз, прошивкада бағдар бұрылысын қосымша көрсетудің қажеті болмайды. Көптеген стектерде FC мен ESC арасындағы разъем қысқа және физикалық тұрғыда тек бір қалыпта ғана сыяды, яғни FC-ні дұрыс бағдарласаңыз, ESC де оның астына өздігінен дұрыс тұрады.



8-сурет. Рамаға резеңке демпферлермен орнатылған FC және ESC платаларының стегі.

ESC (айналым реттегіші)

ESC FC-ден DShot протоколы арқылы цифрлық команда алып, оны нақты моторды айналдыратын нақты үш фазалы токқа айналдырады.

- **4-і 1-де ESC:** қазіргі стандарт: төрт реттеу арнасының бәрі өлшемі 30.5×30.5 мм (5" үшін) немесе 20×20 мм (ықшам аппараттарға) бір платада жиналған. Сым тартуды жеңілдетеді және оның таралуын дронның ішінде ортаға жинақтайды.
- **Ток:** әр арнаға ұзақ (continuous) және шектік (burst) ток көрсетіледі. Ереже қарапайым: ток қоры тым көп болмайды, тек жеткіліксіз болады. 5" үшін типтік таңдау - арнасына 45-60 А.

ESC прошивкасы	Статусы	Түсініктеме
BLHeli_S	Ескірген, 8 биттік темір	Дәл осы темірде оны жаппай ашық Bluejay-мен алмастырады
BLHeli_32	Ақылы әрі жабық, тек зауытта орнатылады	Betaflight оны 32.7 нұсқасынан жоғары жаңартпауға кеңес береді: жаңаларында қызып кету мен мотор тоқтаулары байқалған
AM32	Ашық, белсенді дамып жатыр	32 биттік ESC үшін қазіргі стандартты таңдау

Мұнда темірді шатастырмау маңызды. AM32 32 биттік ESC-ке орнатылады, бүгінде барлық дерлік жаңа дрон дәл сонымен ұшады. Ал сізге BLHeli_S прошивкасындағы ескі 8 биттік ESC тисе, оған AM32 орнатылмайды - мұндай темірге балама Bluejay. Екеуі де бір веб-конфигуратор арқылы бапталады: https://esc-configurator.com/ - ол дронға Betaflight ESC-ке дерек беру үшін пайдаланатын порт арқылы қосылады, яғни бөлек ештеңе дәнекерлеудің қажеті жоқ. AM32-нің негізгі баптауларының егжей-тегжейлі талдауы төмендегі бөлек тарауда берілген.

Моторлар

Коллекторсыз моторлар төрт цифрмен белгіленеді, мысалы 2207: алғашқы екеуі статордың миллиметрдегі диаметрін (22 мм), соңғы екеуі статордың биіктігін (7 мм) білдіреді. Статор неғұрлым ірі болса, мотордың тартымы мен жылу қоры соғұрлым көп.

KV - жүктемесіз 1 вольт кернеуге шаққандағы минутына айналым саны. Жоғары KV сол кернеуде жылдамырақ айналуды білдіреді және әдетте жеңілірек пропеллерлермен қолданылады; төмен KV айналдыру моментін көбірек береді және ірілеу, ауырлау пропеллерлермен пайдаланылады. Мынаны түсіну маңызды: керек KV батарея кернеуіне ғана емес, пропеллер қалақтарының санына да байланысты. Мысалы, 3" дрондарды кейде тіпті төрт қалақты пропеллерлермен жинайды, ал жеті дюймдік ultra long range аппараттарға, керісінше, KV-і өте төмен моторларға (6S-те 900-ге дейін) екі қалақты пропеллер қояды, өйткені екі қалақ кедергіні азырақ береді және айналу жылдамдығының азаюы есебінен жалпы тиімділік әлдеқайда жоғары шығады.

Сценарий	Кернеу	Типтік KV
5", агрессивті фристайл/жарыс	6S	2300-2800
5", кино/үнемді ұшу	6S	1600-2100
5" (шамалас қуат)	4S	2300-2800
7", long-range	6S	шамамен 1300
7", ultra long-range, екі қалақты пропеллерлер	6S	шамамен 900

Тартым жөніндегі ереже: төрт мотордың жиынтық тартымы дронның ұшу салмағынан кейбір желілік дереккөздер кеңес бергендей екі есе емес, кемінде үш, тіпті төрт есе асып түсуі керек. Бұл қор молынан қажет: көптеген батареяның жүктеме астындағы кернеу отыруы ұшу соңына қарай айтарлықтай болады, ал мотор тартымы кернеуге тікелей тәуелді, сондықтан ұшу соңында тартым қоры толық зарядтағыдан шынында да едәуір азайып қалады. Бұл ереже long-range аппараттарға да қатысты: жарыс дрондары әдетте тартым/салмақ қатынасын 7:1-10:1, фристайл 5:1-7:1 шамасында алады, бірақ ең байсалды ұшу нұсқаларында да үш еселік қордан төмен түспеген жөн.

Пропеллерлер

Үш санмен белгіленеді, мысалы 5×4.5×3: қалақтардың дюймдегі диаметрі, бір айналымға шаққандағы дюймдегі бойлық қадам (pitch) және қалақ саны. Стандартты материал - поликарбонат: жеңіл, иілгіш және жерге апатты соғылғанда сынуға төзімді (FPV-де сынғыштығы мен қымбаттығынан жоқтың қасы қолданылатын карбон немесе ағаш пропеллерлерден айырмашылығы осы). Бөлек, нарықта поликарбонаты қосымша талшықтармен арматураланған композит материалдардан жасалған пропеллерлер бар: олар қарапайым поликарбонаттан қаттырақ және long-range аппараттарға жиі таңдалады.

- **Питч:** газдың реакция мінезіне әсер етеді: төмен питч - реакция жылдамырақ, ауа құйындарынан (propwash) шайқалу азырақ, тиімділік көбірек, бірақ максималды тартым мен жылдамдық азырақ; жоғары питч тартым мен жылдамдықты көбірек береді, бірақ қуаттырақ моторды талап етеді.
- **Қалақ саны:** 5" үшін де, 7" үшін де бүгінде ең жақсы әмбебап таңдау - үш қалақты пропеллерлер: олар тартым, реакция және басқарылу арасында жақсы баланс береді. Екі қалақты нұсқаларды мамандандырылған ultra long range аппараттарда максималды энергия тиімділігі үшін қолданады, ал төрт және одан көп қалақты ықшам 3" аппараттарда энергия тиімділігінен ұтылып болса да, максималды тартым үшін таңдайды.

Дірілден оқшаулау және баланстау

Моторлар мен кемел емес пропеллерлерден келетін діріл - гироскоптан шығатын таза сигналдың, сондай-ақ бейне сапасының басты жауларының бірі, әсіресе ажыратымдылығы жоғары цифрлық жүйелерде: онда дірілден суреттің қалтырауы аналогқа қарағанда әлдеқайда айқын көрінеді.

- **Стектің резеңке демпферлері:** ұшу контроллері (жиі бүкіл стек тұтасымен) рамаға қатты емес, жұмсақ резеңке төсемдер (grommets) арқылы бекітіледі. Бекіту гайкалары қатты тартылмайды - плата резеңкеге жай тиіп тұратындай ғана, оны өліспей қыспайтындай: дірілден оқшаулау сонда ғана жұмыс істейді.
- **Пропеллерлерді баланстау:** зауыттық пропеллерлер ешқашан дерлік мінсіз балансталмаған. Қолмен баланстау (арнайы баланстау стендінде немесе магнитті балансирде, ауырлау қалақтан артық материалды ұсақ түйіршікті наждак қағазымен алып тастап) діріл деңгейін айтарлықтай төмендетеді, бұл әсіресе цифрлық бейнеде байқалады.
- **Камераны дірілден оқшаулау:** камераның өзін де жұмсақ төсем арқылы орнатқан жөн, мысалы көбікті парақ немесе силикон тіреуіштер арқылы; нақты тәсіл рама конструкциясында не қарастырылғанына байланысты.

LiPo, LiHV батареялары және Li-ion негізінде өз қолмен құрастыру

Аккумулятор бүкіл жүйені қоректендіреді. Негізгі параметрлері: кернеу (S ұяшық саны), параллель ұяшық топтарының саны (P), сыйымдылық (мАч) және максималды разряд тогы (C-рейтинг). Мысалы, 4S2P белгісі тізбектей жалғанған төрт ұяшықты және жалпы сыйымдылықты арттыру үшін параллель тағы бір рет қайталанған дәл сондай тізбекті білдіреді.

Параметр	Мәні
Ұяшықтың номиналды кернеуі	3.7 В
Ұяшыққа шаққандағы LiPo / LiHV толық заряды	4.2 В / 4.35 В
Сақтау (storage voltage)	Ұяшығына 3.80-3.85 В
Жүктеме астындағы қауіпсіз минимум	Ұяшығына 3.3 В
Ұшуда қонуға шақыратын шек	Ұяшығына 3.5-3.6 В
Максималды разряд тогы	Сыйымдылық (А·сағ) × C-рейтинг

Жылдам, барынша қуатты аппараттарға (жарыс, агрессивті фристайл) бұрынғысынша ток беруі мол, C-рейтингі жоғары мамандандырылған LiPo немесе LiHV батареялар керек - лездік қуат жағынан оларға әзірге тең келер жоқ. Ал 7" және одан ірі long-range аппараттарға басқа тәсіл танымал болып барады: жоғары токты

цилиндрлік Li-ion 21700 (сирегірек 18650) элементтерінен батареяны өз қолмен құрастыру. Мұндай элементтерден жасалған дайын батареялар нарықта бар, бірақ өзің құрастырған айтарлықтай арзан, ал шығатын сыйымдылығы әсерлі: 21700 элементтеріндегі 4S1P батарея шамамен 5000 мАч сыйымдылықты аккумуляторға оңай айналады - сол салмақ пен кластағы LiPo-дан мұндайға қол жеткізу қиын.

- **Танымал жоғары токты 21700 элементтері:** Molicel P50B, Reliance RS50 және EVE 50PL - бәрі шамамен 5000 мАч. P60B және RS60 (6000 мАч) сияқты жаңа банкалардың шығуы күтілуде, сатылымға шыққанда оларды да қарастырған жөн.
- **Мұндай элементтердің ток беруі,** әдетте, мамандандырылған жоғары токты LiPo-дан біршама төмен, сондықтан жылдам 5" аппараттарға оларды қолданбаған жөн, ал 7"-тегі байсалдырақ long-range ұшуға ток қоры әдетте молынан жетеді.
- **Өз қолмен құрастыру:** 21700 элементтерін бір-бірімен никель таспасы арқылы жалғау үшін портативті аккумуляторлық нүктелік дәнекерлеу аппараттарын (spot welder) қолданады. Бұл жеке Li-ion ұяшықтарымен жұмыс кезінде ұқыптылық пен қауіпсіздік техникасын түсінуді талап етеді, бірақ дайын батарея сатып алумен салыстырғанда айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді.

3S-8S батареялардың стандартты разъемы - XT60, қуаты азырақ конфигурацияларға - ықшам XT30. Баланстау разъемінің (JST-XH) сым саны ұяшық санынан біреуге көп және ол зарядтағышқа күштік разъемнен бөлек қосылады: зарядтағыш батареяның әр ұяшығының кернеуін жеке көріп, зарядтау кезінде оларды теңестіре алуы үшін.



9-сурет. LiPo-батарея: этикеткасында сыйымдылығы, C-рейтингі және ұяшық саны көрсетілген.

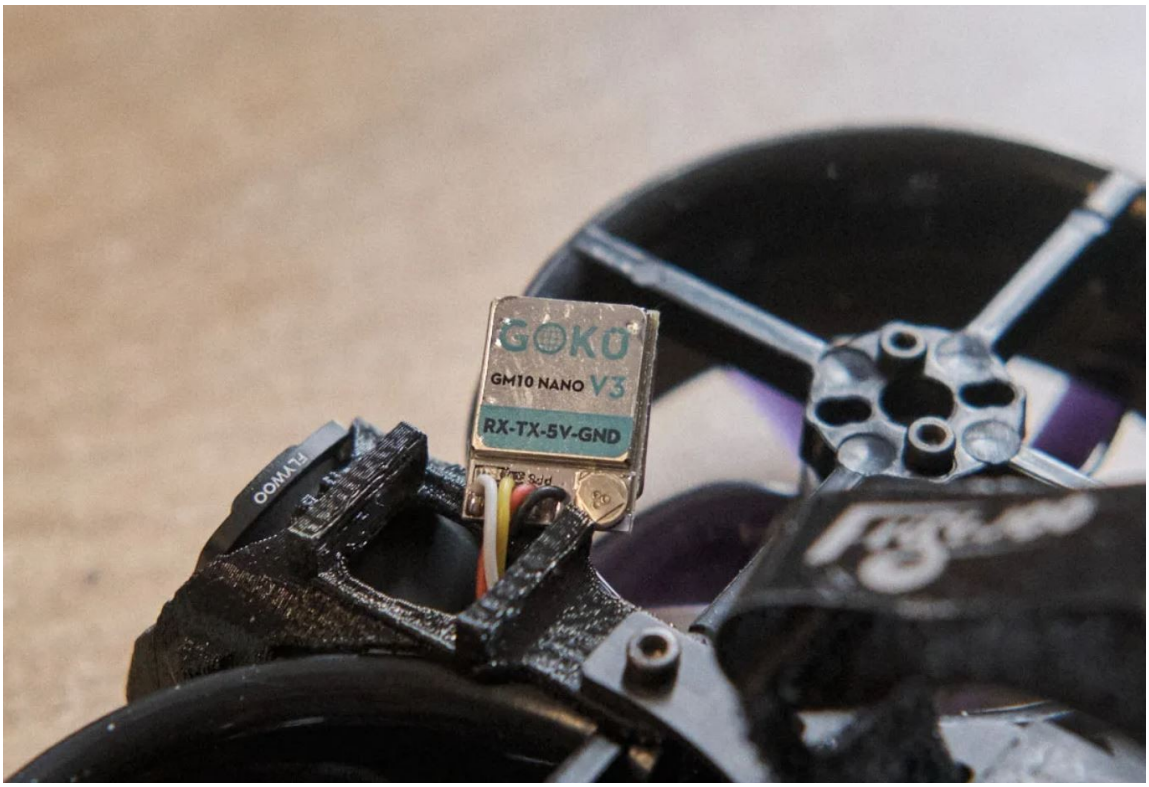
Аккумулятор қауіпсіздігі: оларды арнайы отқа төзімді LiPo-сөмкеде (иілгіш, жеңіл әрі қымбат емес, FPV-қауымдастықтағы стандартты шешім) бөлме температурасында, тік күн сәулесінен алыс сақтаңыз және зарядтаңыз; ұзақ сақтау үшін ұяшығына 3.80-3.85 В сақтау деңгейіне дейін разрядтаңыз немесе зарядтаңыз; батареяны ешқашан қараусыз зарядқа қалдырмаңыз; ісінген («бөртіп кеткен») батарея қайтымсыз зақымдалған және дереу қауіпсіз кәдеге жаратылуға тиіс, оны әрі қарай пайдалануға болмайды.

Қабылдағыш (RX)

Қабылдағыш пульттен радиосигнал алып, оны FC-ге жеткізеді. ExpressLRS байламында қабылдағыш CRSF протоколын қолданады және алдыңғы тарауда сипатталғандай FC-ге бір UART-порт арқылы қосылады. Қабылдағыштар не жеке модуль болады (рамаға бекітіліп, сымдармен жалғанады), не FC платасына тікелей SPI арқылы кіріктірілген; екінші нұсқа ықшамырақ әрі жеңілірек, бірақ FC мен қабылдағыштың басынан бір платада үйлесімді болуын талап етеді. Қабылдағыш пен оның антенналарын физикалық орналастыру егжей-тегжейі құрастыру тарауында талданған.

GPS-модуль

GPS-модуль мүлдем қымбат емес, шамамен 10-15 доллар тұрады, желіде кең таралған пікірге қарамастан, оны тіпті жаңадан бастаушы үшін де міндетті емес опция деп санамаған жөн: сигнал жоғалғанда немесе жаңадан бастаушы ауада дүрлігіп қалғанда дронды автоматты қайтаратын GPS Rescue-ды қосу мүмкіндігін дәл GPS береді, бұл Betaflight тарауында егжей-тегжейлі талданған. Бүгінде ұсынылатын бюджеттік әрі жақсы жұмыс істейтін чипсет - u-blox M10: қалыпты ақшаға спутниктерді жылдам әрі дәл ұстап алатын қарапайым да түсінікті таңдау.



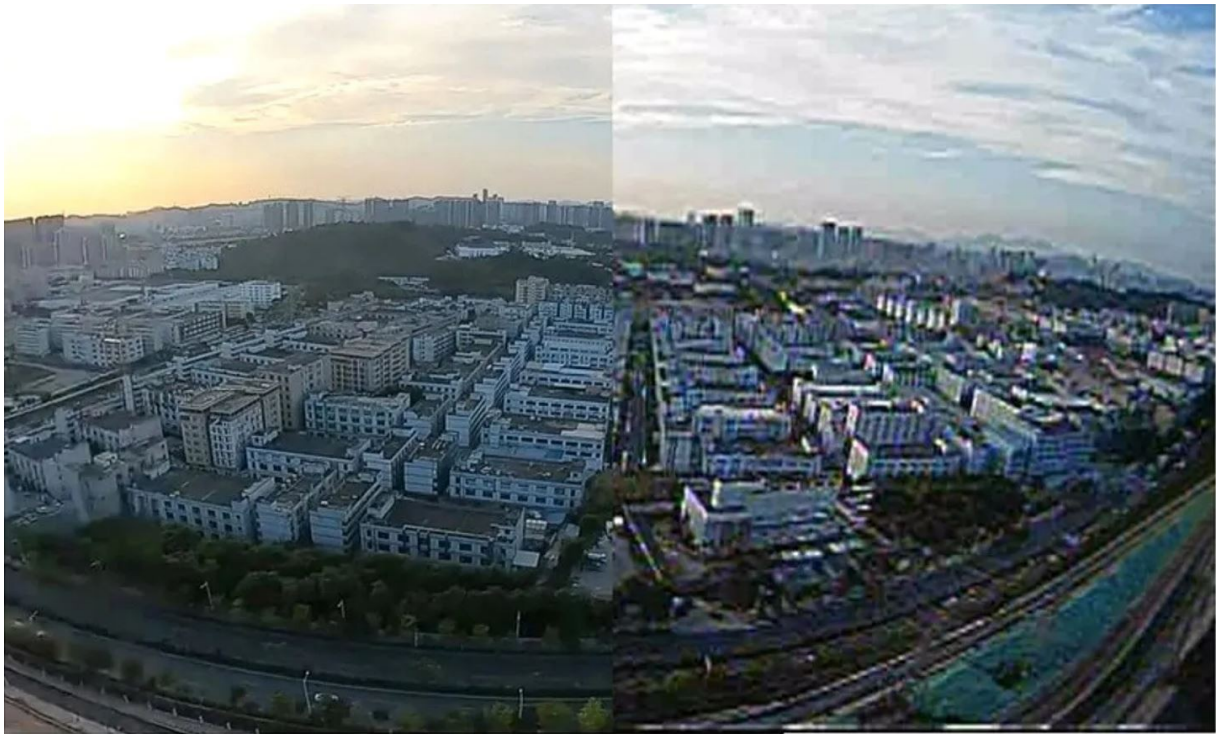
10-сурет. Күштік сымдардан алысырақ орнатылған ықшам GPS-модуль.

GPS-модуль платасына жиі бірге дәнекерленетін компасты (магнитометрді) 5" мен 7" дрондарда іс жүзінде ешқашан дерлік қолданбайды, Betaflight оны қолдаса да. Себебі физикада: күштік сымдар мен батареяның өзінен шығатын магниттік кедергілер қашықтыққа қарай тез азаяды, алайда шағын жарыс дронында компасты күштік электроникадан жеткілікті алыс орналастыратын жер жоқ. Нәтижесінде мұндай дронда тіпті мұқият калибрленген компас та кедергілерді қағып алып, газ деңгейі өзгергенде бағытты дәл көрсетпейді. Сондықтан қауымдастықтағы стандартты практика - GPS-пен, бірақ компассыз ұшу: GPS Rescue да, позицияны ұстау да (Position Hold) магнитометрсіз жұмыс істейді, курсты қозғалыстағы GPS-координаттардың өзгеруінен анықтайды. Бір ескертпе бар: дрон ұшпайынша, курсты алар жері жоқ, сондықтан көтерілгеннен кейін қалыпты жылдамдықпен тұмсығын алға қаратып түзу бойымен кемінде бірнеше секунд ұшу керек, тек содан

кейін ғана Position Hold қосыңыз. Бұл гайдқа негіз етіп дәл осындай жинақ - GPS-і бар, компасы жоқ - алынған.

Бейнежүйе: аналог және цифра

Бейнежүйе - пилот ұшуды сөзбе-сөз «көретін» құрал, сондықтан мұндағы таңдау хоббиден алатын ләззатқа тікелей әсер етеді. Соңғы жылдары нарық қатты өзгерді: бүгінде классикалық аналогтан бөлек, бағасы әбден қолжетімді цифрлық (HD) жүйелер бар, сондықтан 2026 жылы жаңа дронды ескірген аналогқа әдейі құрастыру едәуір даулы шешім. Дегенмен аналог әлі тірі, бәрінен арзан тұрады және үйлесімділік пен үнемдеу үшін жақсы нұсқа болып қала береді, сондықтан бұл тарауда екі нұсқа да талданған.



11-сурет. Бір көрініс: сол жақта цифрлық жүйе, оң жақта аналогтық жүйе.

Камералар

Аналогтық камералар

PAL (720×576, секундына 25 кадр) немесе NTSC (720×480, секундына 30 кадр) стандартындағы кәдімгі теледидар сигналын кодектермен еш сығымдамай береді. Мұндай камералардың ажыратымдылығы TVL-мен (TV lines) өлшенеді - бұл пиксель саны емес, детализацияның шартты бірлігі, әрі өндірушілер жарияланған сандарды жиі асырып жібереді. Сенсоры CCD (ескілеу, дірілде «желе» эффектісі

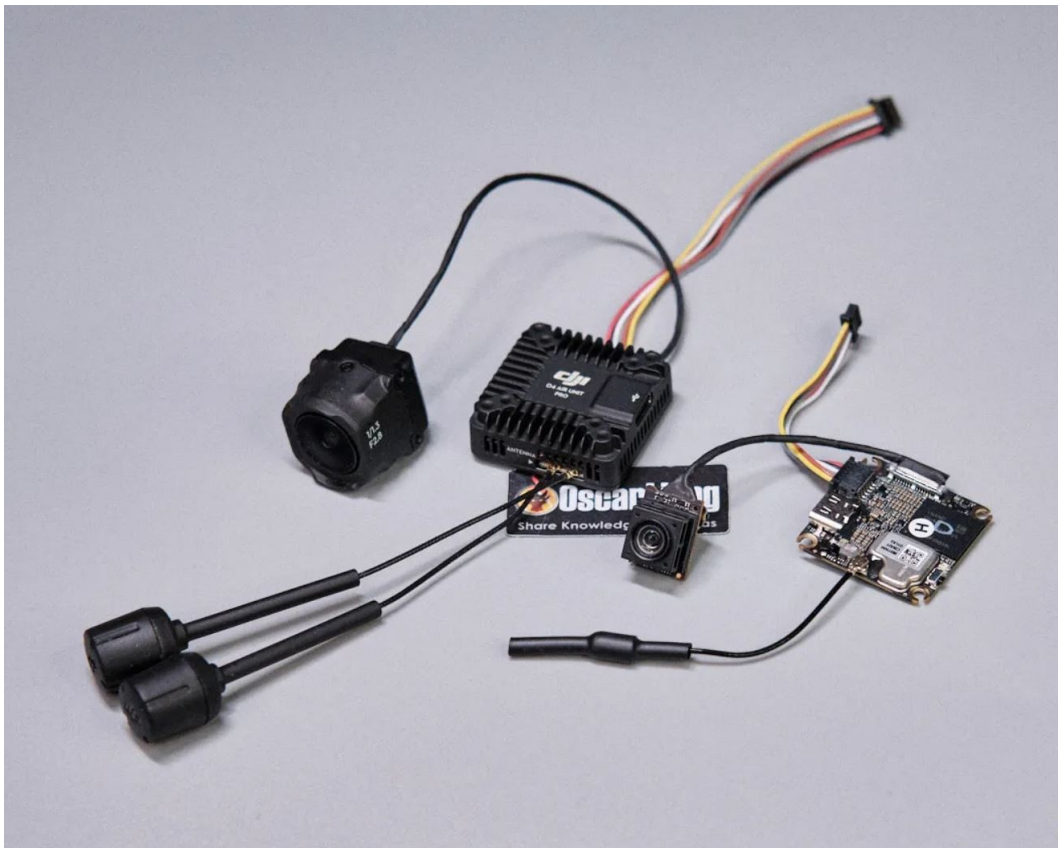
азырақ, контрасты жақсырақ) немесе CMOS (қазіргі стандарт, сигнал кідірісі төменірек, суреті өткірлеу) болады.



12-сурет. Аналогтық FPV-камералар және оларға ауыстырмалы объективтер.

Цифрлық камералар (Air Unit)

Цифрлық жүйелерде камера бейнетаратқышпен бір борт блогына (air unit) біріктірілген. Қымбат кәсіби жүйелерге бірден ақша салуға дайын емес жаңадан бастаушыға жақында пайда болған, жаңа Artosyn чипіндегі қолжетімді цифрлық шешімдер бәрінен қызық көрінеді: олар бюджеттік аналог жинағымен шамалас бағада классикалық аналогтан айтарлықтай жоғары сурет сапасын береді. Мұндай жүйелердің қатарында - BetaFPV Artlynk (VTX пен камера жинағы), сондай-ақ бюджеттік цифра шығаратын басқа өндірушілердің осы чиптегі шешімдері.



13-сурет. Цифрлық air unit: камера, таратқыш және антенналар бір жинақта.

Бөлек, нарықта анағұрлым «ересек» әрі айтарлықтай қымбат кәсіби жүйелер бар: мысалы, топ көзілдіріктермен қосақталған DJI флагмандық желісі (мысалы, O4 Pro) немесе толыққанды Walksnail Avatar. Олардың сурет сапасы мен сенімділігі жоғары, бірақ дронның құнын да айтарлықтай өсіреді. Ұшуды үйреніп, алғашқы сессияларда дронды сындырып аламын деп қорықпау маңыздырақ жаңадан бастаушыға мұндай қымбат жүйелер әдетте артық: бюджеттік цифрадан немесе аналогтан бастаған ақылға қонымды, ал кәсіби жабдыққа тәжірибе жинап, саналы түрде көшкен жөн.

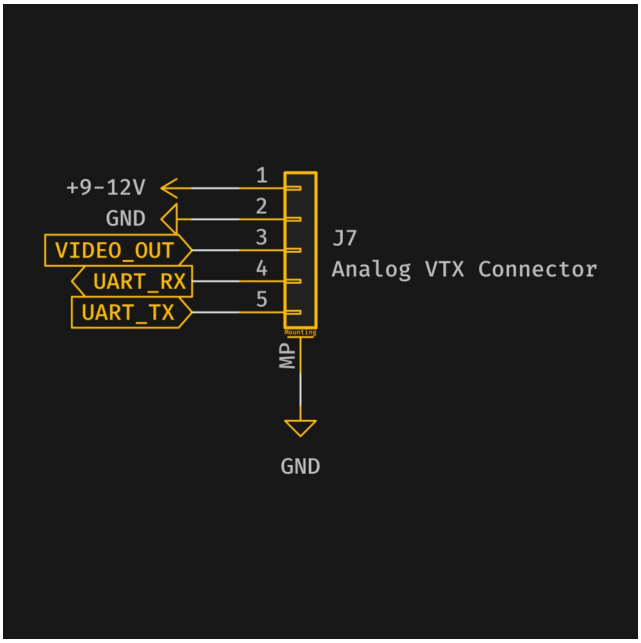
Бейнетаратқыштар (VTX)

Аналогтық VTX

5.8 ГГц жиілігінде жұмыс істейді; ол стандартты түрде әрқайсысында 8 арнадан 5 диапазонға (A, B, E, F/Fatshark, R/Raceband) бөлінген, барлығы таңдауға 40 арна. Үйреншікті 5.8 ГГц-тен бөлек, аналогтық бейненің тарихи 1.2 ГГц диапазоны да бар: жиілігі төмен болғандықтан қашықтығы үлкенірек және кедергілерді жақсырақ айналып өтеді, бірақ мамандандырылған жабдықты талап етеді және пульт қабылдағыштарымен жиіліктік үйлесімсіздік проблемаларына байланысты бүгінде әлдеқайда сирек қолданылады. Сондай-ақ аналог жүйені 80 арнаға және 4.9-6.1 ГГц жиіліктерге дейін кеңейтетін қосымша диапазондар (L, U, X, O, H) бар, алайда

оларды қолдану ұсынылмайды: бұл жиіліктерді пайдалану көптеген елдерде заңсыз және оларға ерекше оңтайландырылған антенналар қажет.

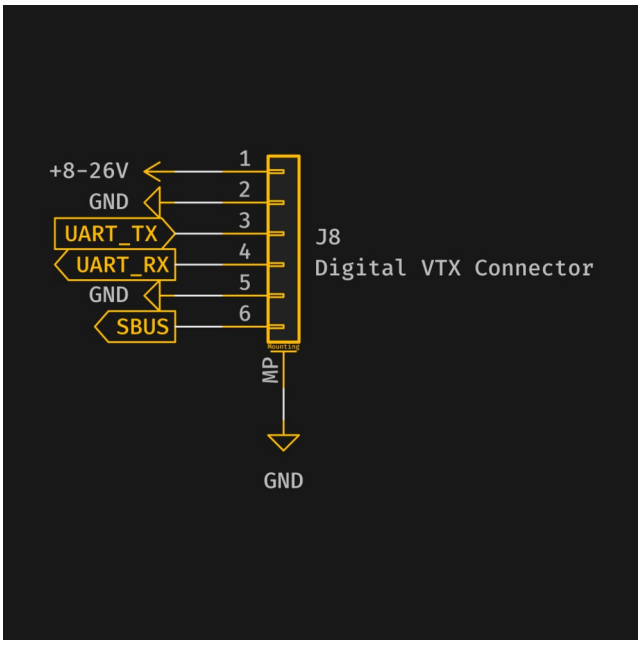
Тарату қуаты 25 мВт-тан (көптеген юрисдикцияларда үй ішінде ұшуға рұқсат етілген) далада 2000 мВт-қа дейін өзгереді. Жаңадан бастаушы бәрі дұрыс қосылмаған екен деп жиі ойлайтын, бірақ олай емес маңызды практикалық сәт: көптеген заманауи бейнетаратқыштарда қосылғаннан кейін әдепкі бойынша минималды 25 мВт қуат тұрады, оны қолмен жоғарырақ қуатқа ауыстыру керек. Бөлек Pitmode режимі болады - бұл тесттерге және дронды басқа пилоттардың жанында қауіпсіз қосуға арналған нөлге жуық қуат, ұшар алдында одан да шығу керек. Көпшілік VTX-те мұның бәрі тікелей платада жасалады: бір батырма арналарды ауыстыруға, ал екіншісі, әдетте қызыл жарықдиодты индикациясы бар, қуат деңгейіне жауап береді - нақты модельдің нұсқаулығымен салыстыра отырып, керек қуат тұрғанша баса беру керек. VTX-ті SmartAudio (TBS стандарты) немесе Tramp (ImmersionRC стандарты) телеметрия протоколдары арқылы Betaflight-тің OSD-мәзірінен тікелей пультпен де баптауға болады; ол үшін конфигуратордың VTX қойындысында сіздің модельге арналған арналар мен қуаттар кестесі (VTX Table) толтырылған болуы керек, әйтпесе тізім бос немесе қате болады. Жаңадан бастаушыға бұл міндетті емес: платаның өзіндегі сол батырмалар әрқашан резервтік тәсіл ретінде жұмыс істейді.



14-сурет. VTX-ті ұшу контроллеріне қосуға арналған разъем схемасы.

Цифрлық VTX

Цифрлық FPV-жүйелерде VTX пен камера - тұтас блок, сондықтан VTX бөлек таңдалмайды. Цифрлық жүйелерде аналогтағы 40-тың орнына бар болғаны 8 шақты жиілік арнасы бар, әрі оларды басқару әлдеқайда оңай.



15-сурет. Цифрлық бейнетаратқышты (air unit) ұшу контроллеріне қосуға арналған разъем схемасы.

Заманауи платаларда VTX антеннасы көбіне жіңішке коаксиалды кабель арқылы қосылады: ол артқа шығарылып, керек қалыпқа абайлап иіледі (әдетте бұл диполь немесе «саңырауқұлақ» антенна). Бұл - бекітудің жалғыз ықтимал нұсқасы емес, нақты тәсіл антеннаның түріне, ұзындығына және мұның нақты рамаға қалай сыятынына байланысты, сондықтан әрқашан орнына қарай жеке шешу керек.

Заңды жиілік нұсқалары және оларды неге шатастырмау керек

Стандартты емес радиожиіліктердегі жабдықты, әсіресе рұқсат етілген максималды қуаттан асырып қолдануға барлық жерде бірдей рұқсат жоқ; бұл туралы толығырақ дрон өлшемі мен форматын таңдау тарауында. Жиілік комбинациясын таңдауда ұқыпты болудың таза техникалық себебі де бар: мысалы, ELRS басқаруын 900 МГц-ке, ал бейнені 1.2 ГГц-ке қойса, байланыс қашықтығы шын мәнінде күткеннен нашар шығады, ал 1.2 ГГц бейне мен 2.4 ГГц басқару комбинациясында қуатты бейнетаратқыш басқару радиоқабылдағышын шуымен жиі тұншықтырады. Жаңадан бастаушыға дұрыс таңдау - стандартты әрі жақсы үйлесетін байлам: басқару 2.4 ГГц, бейне 5.8 ГГц (немесе 5 ГГц диапазонындағы сәйкес цифрлық арна).

Антенналар

Антенналар бағытталмаған (omni) - пилоттың айналасын біркелкі қамтиды, және бағытталған - тар секторда қашықтығы үлкенірек болып бөлінеді. Поляризациясы бойынша сызықтық (LP) және дөңгелек (CP: RHCP/LHCP, «оңға» және «солға» айналатын) деп ажыратады.

- **Поляризация әсіресе аналогқа маңызды:** дронның VTX антеннасы мен қабылдағыш антеннасы поляризациясы дұрыс сәйкес келетіндей таңдалса, қабылдағыш жерден және кедергілерден қайта шағылысқан сигналдарды әлдеқайда аз «көреді», демек аналогқа тән бөгеуілдер мен сурет өшулерінің (ghosting, fading) деңгейі айтарлықтай төмендейді. Цифрлық жүйелерге поляризация онша шешуші емес: цифрлық сигнал кірістірілген қате түзеу алгоритмдерін қолданады, сондықтан поляризацияның шамалы сәйкессіздігі соңғы сурет сапасына жоқтың қасы әсер етеді, бірақ қашықтыққа елеулі әсер етеді.
- **Спираль (helix) антенналар және антенна трекері:** helix-антенналардың бағытталу диаграммасы, әдетте, өте тар, сондықтан антеннаны дронға үнемі бұрып отыратын автоматты антенна трекерісіз оларды қолдану іс жүзінде мағынасыз - типтік жаңадан бастаушыға бұл артық қиындық.
- **Патч (панельді) антенналар:** трекерсіз алысқа ұшуға айтарлықтай практикалық таңдау: бекітілген штативтегі бағытталған панельді антеннаның шолу секторы алыс қашықтықта сигналды қалыпты ұстауға жеткілікті кең, үнемі дәл көздеп отыруды талап етпейді.
- **Дрондағы диполь антенналардың бағдары:** қарапайым сымды немесе «саңырауқұлақ» антеннаның бағытталу диаграммасы оның қай жазықтықта орналасқанына қатты тәуелді. Қабылдағышта екі антенна болса, оларды әртүрлі жазықтыққа қою - жақсы практика (мысалы, бірін тігінен, екіншісін бұрышпен немесе көлденең): ұшуда дрон қалай бұрылса да, сигнал ешбір қалыпта толық жоғалып кетпейді.

Көзілдіріктер және жердегі бейнеқабылдағыштар (VRX)

Аналогтық көзілдіріктерде бір линзалы (екі көзге бір экран, «бинокулярлық оптика», бірақ іс жүзінде бір сурет көзі) және екі линзалы модельдерді (әр көзге жеке кішкентай экран) ажырата білген жөн. Бір қызығы, жаңадан бастаушыға қарапайымдау әрі әдетте қолжетімдірек бір экранды бір линзалы модельдер жиі ыңғайлырақ болып шығады: олар нақты көру аймағын кеңірек береді және пилоттың нақты көру қабілетіне өткірлікті баптауда ықшам, жеңіл екі линзалы көзілдіріктерден гөрі аз қыңырланады.



16-сурет. Екі антеннамен қабылдайтын (диверсити) бір линзалы аналогтық көзілдірік.

- **Бренд бойынша жақсы бағдар:** Skyzone желісі - сапалы, бірақ ең қымбат емес нұсқалардың бірі. Мысалы, Skyzone Cobra Lite деңгейіндегі бір линзалы модель шамамен жүз долларға түседі (осы жерде және әрі қарай бағалар шамамен). Бұл - дәл аналогтық жүйелерге арналған бағдарлар; цифрлық көзілдіріктерде өндіруші орнатқан бейнемодуль әдетте жалғыз жұмыс істейтін нұсқа болып табылады, заманауи цифрлық жүйелерде ауыстырмалы бейнемодульдер, әдетте, енді жоқ.
- **FPV-ге кірудің ең бюджеттік нұсқасы:** көзілдірік сатып алуға әзірге дайын болмасаңыз, жеке жердегі бейнеқабылдағышты алуға болады (бейнетаратқышпен жинақта жеңілдікпен жиі сатылады) және оны 7-10 дюймдік қымбат емес аналогтық мониторға қосуға болады. Жарықтығы арттырылған мамандандырылған FPV-мониторлар бар, бірақ олар қымбатырақ; ал бастапқыда автомобильдердің артқы көрініс камераларына арналған қымбат емес мониторлар да бар. Мұндай мониторға қосымша экранды үш жағынан шағылысудан жабатын күнқағар (sunshade) алады, бәрін шағын штативке

қояды, антеннасы бар бейнеқабылдағышты қосады - сөйтіп аналогтық FPV-дің ақшаға ең қолжетімді жұмыс нұсқасы шығады.

Ұшу жазбасының көзін (DVR) бөлек ескерген жөн: көзілдірікке кірістірілген DVR, әдетте, суретті радиоарнадан өтіп, сығымдалғаннан кейін жазады (кейбір цифрлық жүйелерде, мысалы Walksnail-де, әсіресе байқалады), сондықтан сапасы тікелей дрон бортында жасалған жазбадан төмен шығады. Бұл аналогқа да, цифраға да бірдей қатысты: борттағы жазба радиоарна арқылы қабылданған жазбадан әрқашан әлеуетті түрде сапалырақ.

Борттағы экшн-камера

Ұшуды сапалы жазуға арналған жеке (FPV емес) камера бейне тарату жүйесіне қосымша қолданылады, өйткені тіпті ең жақсы цифрлық FPV-сурет те жазба сапасы жағынан мамандандырылған экшн-камерадан қалыс қалады. Мұнда ірі өндірушілердің мүлдем кішкентай әрі жеңіл модульдері әсіресе қызық, мысалы DJI Osmo Nano немесе Insta360 GO желісі: олардың басты ерекшелігі - ықшам да жеңіл блокқа камераның өз гироскопының деректері бойынша жұмыс істейтін қуатты бағдарламалық бейне тұрақтандыру кірістірілген. Соның арқасында мұндай камераны дірілден оқшаулау арқылы дрон рамасына жай бұрап немесе желімдеп қоюға болады: ол салмақ пен ұшу сипаттамаларына жоқтың қасы әсер етеді, ал шығысында ауыр үш осьті механикалық гиротұрақтандырылған аспасыз-ақ тегіс, тұрақтандырылған бейне шығады. Тұрақтандыру одан да көбірек керек болса, дронның FC-нен ұшу логтарын түсіріп алып, бейнені Gyroflow бағдарламасында өңдеуге болады.



17-сурет. Дрон рамасына бекітілген ықшам экшн-камера.

Пилоттың жердегі жабдығы

Дронның өзінен бөлек, пилотқа әрқашан қолыңызда және рюкзагыңызда жүретін жердегі жабдық жинағы қажет.

Басқару пульті (radio transmitter)

Пульт саусақтарыңыздың қозғалысын радиокомандаларға айналдырады. Осы гайдпен жұптасқан жаңадан бастаушыға екі нәрсе маңызды: пульт EdgeTX прошивкасында жұмыс істеуі және кірістірілген немесе қосылатын ExpressLRS радиомодулі болуы керек. Бағасы, сипаттамалары мен сапасы жағынан бүгінде жаңадан бастаушыға ең жақсы бағдарлардың бірі - RadioMaster пульттерінің желісі.

Модель	Деңгейі	Ерекшеліктері
RadioMaster T8L	Ең бюджеттік кіріс	Экраны жоқ, баптау USB арқылы веб-конфигуратормен жасалады, ELRS кірістірілген
RadioMaster Pocket	Бастапқы, ықшам	Экраны бар, батырмалары мен мүмкіндіктері көбірек, Hall-гимбалдар, жаңадан бастаушыға ыңғайлы
RadioMaster Boxer	Орта деңгей	Толық өлшемді Hall-гимбалдар, ақ-қара экран, 6 тумблер

Модель	Деңгейі	Ерекшеліктері
RadioMaster TX15	Ілгері деңгей	Boxer-дің табиғи жалғасы: қуатты процессор, түрлі-түсті экран

- **Кірістірілген радиомодуль сыртқыдан маңыздырақ:** FPV-квадрокоптерлерге JR форматындағы сыртқы модульдерді қарастырудың мәні жоқ: мұндай дрондар ұзақ ұшпайды, ал аталған модельдерге кірістірілген ELRS молынан жеткілікті.
- **Стиктер (Gimbals):** потенциометрлі (ең бюджеттік модельдерде; жеткілікті ұзақ қызмет етеді, бірақ уақыт өте тозады) немесе Холл эффектісіндегі (Hall-сенсорлар, контактісіз, дәлірек әрі төзімдірек; бүгінде тіпті RadioMaster-дің көптеген қымбат емес модельдерінде тұр) стиктер болады. Жаңадан бастаушыға Hall-гимбалдар - ақылға қонымды ұзақ мерзімді инвестиция.
- **Стик режимі (Mode):** Mode 2 (газ бен рыскание - сол стикте, газдың өздігінен ортаға оралуы жоқ; крен мен тангаж - оң стикте, екі осі де өздігінен ортаға оралады) - жаңадан бастаушыға сөзсіз әлемдік стандарт. Бірден Mode 2-де үйрену керек: рефлекстері қалыптасып қалған адамға Mode 1-ден Mode 2-ге (немесе керісінше) қайта үйрену өте азапты, өйткені газ бен тангаж арналары физикалық орын алмасады.
- **Автономдылығы:** типтік пульт кірістірілген аккумуляторлардың (Li-ion 18650/21700) бір зарядымен 6-12 сағат жұмыс істейді, USB-C арқылы зарядталады.



18-сурет. Экрансыз бюджеттік пульт: ELRS кірістірілген RadioMaster T8L.



19-сурет. Түрлі-түсті экранды ілгері деңгейлі RadioMaster TX15 пульті.

Көзілдірік/шлем және жердегі бейнеқабылдағыш

Бейнежүйе тарауында егжей-тегжейлі қарастырылған, оның ішінде бренд бойынша ұсыныстар және көзілдіріктің орнына кәдімгі монитор қолданатын бюджеттік нұсқа да бар.

Зарядтағыш құрылғылар

Смарт-зарядтағыш - баланстап зарядтайтын, бапталатын құрылғы: ол батареяның әр ұяшығының кернеуін жеке JST-XH balance-разъемы арқылы оқып, барлық ұяшықтың біркелкі зарядталуын қадағалайды.



20-сурет. Баланстап зарядтайтын, баптау экраны бар смарт-зарядтағыш.

- **Зарядтау тогы жөніндегі ереже:** қарапайым LiPo үшін қауіпсіз бағдар - шамамен 1C зарядтау тогы (батареяның ампер-сағаттағы сыйымдылығына тең). Жылдам разрядқа есептелген мамандандырылған жоғары токты LiPo әдетте 2C, тіпті 3C зарядтауды да еркін көтереді; 21700 элементтерінен өз қолмен құрастырылған батареялар да сыйымдылығы балама қарапайым LiPo-дан жиі жылдамырақ зарядталады - нақты санды әрқашан нақты аккумулятордың құжаттамасынан нақтылаңыз.
- **Зарядтағыштардың танымал брендтері:** ISDT, ToolkitRC, HOTA және SkyRC - бюджет пен керек қуатқа қарай осылардың ішінен таңдаған жөн.

- **AC немесе DC:** зарядтағыштарда розеткаға тікелей қосуға мүмкіндік беретін кірістірілген айнымалы ток (AC) қорек блогы, немесе жеке сыртқы қорек көзін қажет ететін тек тұрақты ток (DC) кірісі болады. Жаңадан бастаушыға AC кірістірілген модельді алған ыңғайлы: мұндай зарядтағышты үйде розеткаға да қосуға, далада автомобиль аккумуляторына немесе инверторға да үйлесімділік проблемасыз жалғауға болады.
- **Зарядтағыш қуатын есептеу:** қуат (Вт) = зарядтау тогы (А) × 4.2 В × ұяшық саны. Мысалы, 6S 1300 мАч батареяны 2C-мен зарядтауға шамамен 66 Вт қажет.
- **Параллель зарядтау:** арнайы плата зарядтағыштың бір арнасынан бірнеше батареяны бір мезгілде зарядтауға мүмкіндік беріп, далаға шыққанда циклды жеделдетеді; бірақ параллель зарядтауды қолдану үшін батареялардың сыйымдылығы мен ұяшық саны бірдей, заряд деңгейі жақын болуы керек.



21-сурет. Параллель зарядтау платасы: бір зарядтағыштан бірнеше бірдей батарея.

LiPo-ны қауіпсіз сақтау және тасымалдау

- **LiPo bag** (жұмсақ отқа төзімді сөмке) - қауымдастықтағы стандартты шешім: жеңіл, қымбат емес, сақтауға да, қадағалаумен зарядтауға да ыңғайлы.



22-сурет. LiPo-батареяларды сақтауға және зарядтауға арналған отқа төзімді сөмке.

- **Жалпы ережелер:** бөлме температурасында, тік күн сәулесінен алыс сақтаңыз; ұзақ сақтау үшін - тек storage voltage деңгейінде (ұяшығына 3.80-3.85 В); ұшақпен тасымалдағанда - тек қол жүгінде, разъем контактілері оқшауланып, қорғаныш сөмкеде.

Құрастыруға және қызмет көрсетуге арналған құралдар мен шығын материалдары

- **Дәнекерлеу жинағы:** бәрін бөлек-бөлек сатып алу міндетті емес: жинағында бірден дәнекерлегіш, тұғыр, пинцеттер, ауыстырмалы ұштар, припой сорғыш, қарапайым стриппер (сым аршығыш), бүйір кескіштер, флюс, припой және припой кетіретін өрім жүретін қымбат емес жинақтар бар. Мұндай жинақ бастауға әбден жарайды, бірақ кейін C245 дәнекерлеу жүйесінің клондары негізіндегі кәсібирек жабдыққа ие болған дұрыс.



23-сурет. Мультиметрі мен керек-жарағы бар бастапқы дәнекерлеу жинағы.

- **Бүйір кескіштер:** ең өткір ықшам кескіштер, сымдармен жұмыс істегенде міндетті. Жіңішке сигнал сымдарын аршуға да ыңғайлы, ал моторлар мен батареялардың күштік сымдарын стриппермен аршыған дұрыс: бүйір кескішпен талшықтардың бір бөлігін кесіп алу оңай, ал ондаған ампер токта бұл енді проблема.
- **«Үшінші қол» ұстағышы:** иілгіш кронштейндердегі қысқыш; XT60 разъемдері сияқты қиын нәрселерді дәнекерлеуді қатты жеңілдетеді: бөлшек «крокодил» тәрізді қысқышқа бекітіледі, ал қолдар дәнекерлегіш пен припойға бос қалады.
- **Силикон төсеніш:** жоғары температураға төзімді жұмыс беті. Жаңадан бастаушының стандартты проблемасы - не қолын күйдіріп алу, не ыстық дәнекерлегішпен немесе припой тамшысымен үстелді күйдіру; төсеніш бұл проблеманы шешеді.
- **Алты қырлы бұрауыштар жинағы** - рама құрастыруға арналған 1.5, 2.0 және 2.5 мм өлшемдері.



24-сурет. Дрондарды құрастыруға және қызмет көрсетуге арналған дайын құрал жинағы.

- **Пропеллер гайкаларына арналған кілт** (әдетте 6-8 мм, тартқан кезде гайканы байқаусызда босатып алмау үшін бір бағытты механизмі бар).
- **Цифрлық мультиметр** - алғаш қосар алдында тізбектерді тексеріп шығуға (прозвонға) және батарея кернеуінің көрсеткіштерін калибрлеуге міндетті.
- **LiPo кернеу индикаторы (LiPo checker)** - далада батареялардың және олардың банкаларының күйін жеке-жеке жылдам тексеруге арналған.
- **Smoke stopper** - жаңа немесе өзгертілген стекті алғаш қосуға міндетті құрылғы, қысқа тұйықталу болған жағдайда токты шектейді.
- **Термоотырғызғыш түтік (heat shrink):** дәнекерленген жерге немесе карбон пластиналарға үйкелетін жерлердегі оқшаулауға кигізіліп, қыздырумен отырғызылады; қысқа тұйықталудан да, дірілден дәнекерленген жерлердің үзілуінен де қорғайды.

- **Терможелім және B-7000 / T-7000 герметиктері:** терможелім сымдар мен разъемдерді жаман бекітпейді, бірақ едәуір қатты болып шығады және температура мен спиртке төзімсіз. Арнайы B-7000 және T-7000 желім-герметиктері консистенциясы жағынан резеңкеге жақындау болып қатады және сымдар мен разъемдерді бекітуге әсіресе жақсы келеді, бірінші кезекте қабылдағыштардың ұсақ разъемдері мен контакт қадамы 1.25-2.5 мм осыған ұқсас периферияларға үшін. Жаңадан бастаушының типтік қатесі - бәрін дәнекерлеп, разъемді желіммен бекітпей жай тығып қою: бірнеше ұшудан кейін дірілден мұндай разъем шығып кетеді.
- **Бұранда бекіткіші (threadlock):** мысалы, моторларды бекітуге де, рама бөліктеріне де стандартты ұсақ M3 бұрандасына жарайтын тұтқырлықтағы Loctite.
- **Платаларға арналған қорғаныш лак (conformal coating):** мысалы, Plastik 71 тәрізді оқшаулағыш акрил лак; оны (артық жерге құйып алмау үшін аэрозоль спрейімен емес) қылқаламмен ұқыпты жағу стектің, ESC мен бейнетаратқыштың өмірін айтарлықтай ұзартады: дәнекерлеу мен электрониканы ылғал мен дірілден қорғайды. Толығырақ физикалық құрастыру тарауында.
- **Далада зарядтауға арналған кабель:** батареяларды желілік розеткадан алыста - машинадан немесе жеке сыйымды 12 В аккумулятордан - зарядтауды жоспарласаңыз, зарядтағыш құрылғыны қосуға сәйкес күштік өткізгіш-адаптер қажет.

Симуляторлар: нақты ұшу алдындағы міндетті қадам

Шындап ұшпас бұрын симуляторда жаттығып алу қатты ұсынылады, әрі кейін нақты дронмен ұшатын дәл сол пультті қолданыңыз: ол компьютерге USB арқылы кәдімгі ойын джойстигі ретінде қосылады.

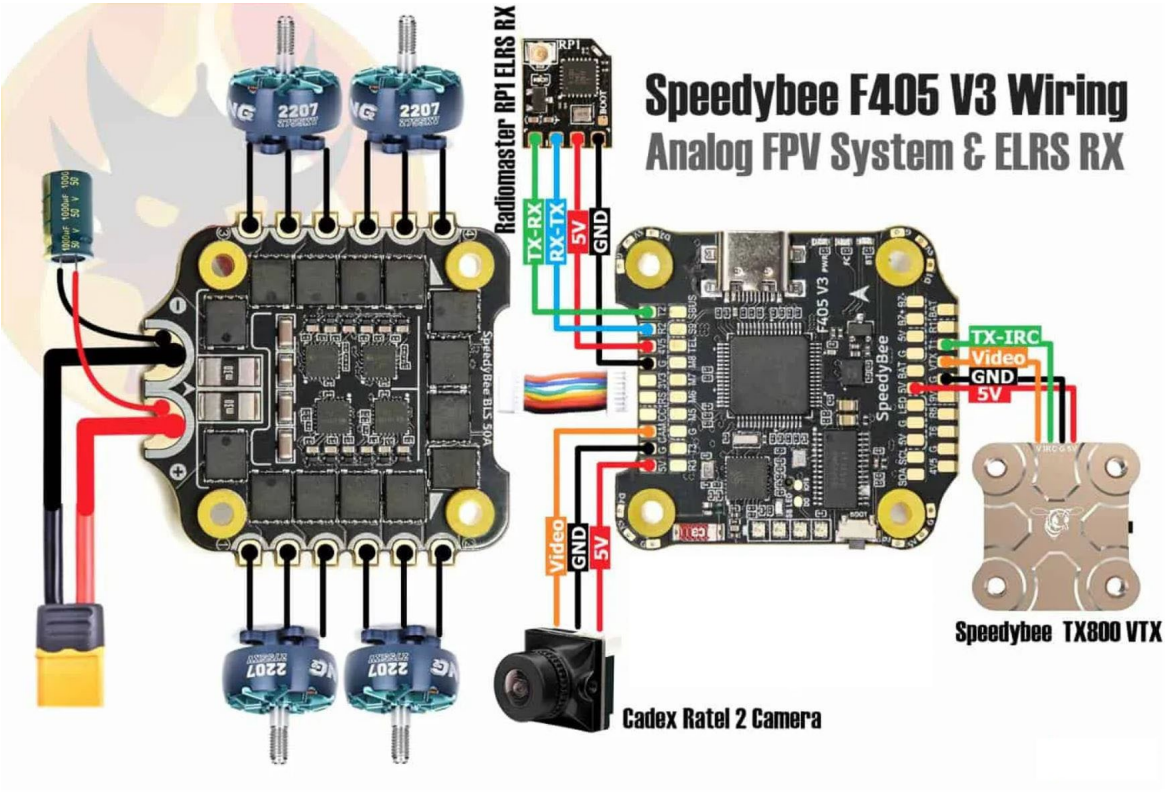
- **Liftoff:** ең әмбебап нұсқа: дрондар мен пайдаланушылар жасаған трассалардың үлкен жинағы, фристайлға да, жарысқа да жарайды.
- **Velocidrone:** қауымдастық оны ұшу физикасының өте шынайылығы үшін ерекше бағалайды; компьютер темініне талабы азырақ, жарысатын гонщиктер арасында танымал.
- **FPV Freerider Recharged:** темірге ең талғамсыз нұсқа: қуатты ойын компьютері жоқ жаңадан бастаушыларға тамаша келеді; қолдың базалық координациясын пысықтауға физикасы қарапайым да түсінікті.

Бұл кезеңді өткізіп жібермеген жөн: нақты дронда бірден «жай солай» ұша бастауға болмайды, алдымен симуляторларда базалық координацияны пысықтау керек - виртуалды полигонда кемінде 6-8 сағат ұшып шығу қажет, бұл алғашқы

апталардағы сынған дрондар санын да, қаржы шығынын да айтарлықтай азайтады.

Дронды физикалық құрастыру

Бұл тарауда типтік 5"-7" дронды құрастырудан қадам-қадаммен өтеміз: раманы дайындаудан пропеллерлерді орнатуға дейін. Қадамдар реті мен тәсілдер қауымдастықтың тексерілген құрастыру гайдтарынан алынып, қазіргі компонент жинақтарының көпшілігіне жарамды жалпы жағдайға бейімделген.



25-сурет. Аналогтық бейнежүйесі бар типтік жинақтың қосылым схемасы.

- **Бұл кезеңде пропеллерлер мүлдем орнатылмайды:** олар тек ұшар алдында, ұшу орнында, электроника мен бағдарламалық жасақтаманың барлық тексерісінен кейін ғана тағылады.

Қажет болатын құралдар мен шығын материалдары

- Дәнекерлегіш, сапалы жіңішке припой (мысалы, Kaina CF-10, құрамы 60/40), ТТ индикаторлық флюс-гелі
- Дәнекерлеу жұмыстарынан кейін флюс қалдықтарын жууға арналған изопропил немесе этил спирті және қылқалам

- 1.5 / 2.0 / 2.5 мм алты қырлы бұрауыштар
- Цифрлық мультиметр
- Сымдарды аршуға және кесуге арналған бүйір кескіштер мен стриппер
- Ені 2 мм нейлон қамыт-тартпалар, сырлау скотчы, екі жақты көбікті скотч, термоотырғызғыш түтік
- Мотор бұрандалары мен раманың күштік бекітпелеріне арналған бұранда бекіткіші (threadlock)
- Платаларға арналған қорғаныш лак (conformal coating) және оны жағуға арналған қылқалам
- Smoke stopper (алғаш қосуға арналған ток шектегіш)

1-қадам. Раманы дайындау

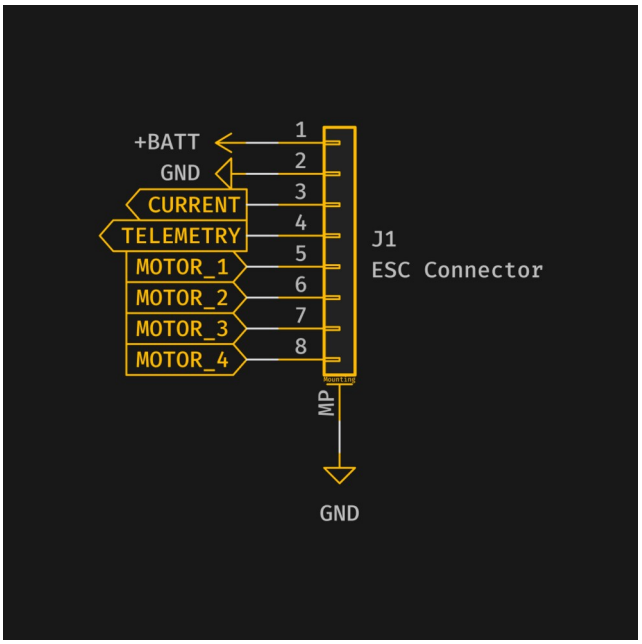
1. Карбон пластиналардың жиектерін ұсақ түйіршікті наждак қағазымен тазалаңыз: бұл қолды жарақаттауы немесе оқшаулауды зақымдауы мүмкін өткір қылтанақтар мен микроскопиялық карбон талшықтарын кетіреді. Одан кейін бөлшектерді жай сүртіп қана қоймай, жылы сабынды сумен жуып, кептірген дұрыс: карбон шаңы электр тогын өткізеді, стек платаларына қонған шаң тіпті өздігінен де тұйықталу тудыруы мүмкін.
2. Лучтарды раманың астыңғы пластинасына жинаңыз, астыңғы пластинаны бұрандалармен бекітіңіз, алюминий тіреуіштерді орнатыңыз (әдетте 8 дана; алдыңғы тіреуіштер артқыларынан жиі ұзынырақ, нақты раманың нұсқаулығымен салыстырыңыз).
3. Келесі қадамдағы мотор бұрандалары сияқты, раманың өз күштік бекітпелеріне де (тіреуіш бұрандалары мен пластина бұрандалары) бір тамшы бұранда бекіткішін жағыңыз: бұл - раманың кез келген күштік бекітпесінің дірілден бірте-бірте босап кетуінен сақтайтын арзан да жылдам кепілдік.

2-қадам. Моторларды орнату

1. Төрт мотордың әрқайсысын раманың тиісті лучіне бұрап бекітіңіз.
2. Әр мотор бұрандасына бір тамшы бұранда бекіткішін (threadlock) жағыңыз: ұшудағы діріл бекітілмеген бұрандаларды уақыт өте босатып, бақылаусыз құлауға әкелуі мүмкін.
3. Бұрандаларды ұзындығына қарай таңдаңыз: жұмыс ережесі - луч қалыңдығы плюс 3-4 мм. Тым ұзын бұранда статор орамдарына жетіп, моторды ішінен зақымдайды, сондықтан тартар алдында мотордың ішіне қарап, бұранда ұшының статор орамдарына тіреліп тұрмағанына көз жеткізген жөн.

3-қадам. FC + ESC стегін орнату

1. Бүкіл стекті бекітуге болатындай, рама жинағындағы ұзын бұрандаларды (әдетте M3×30 мм) қолданыңыз. Бұрандалар металл болуы керек: мұндай ұзындықта нейлон бұрандалар иіліп, қиылып кетеді, ал стек оларда уақыт өте босап қозғала бастайды.
2. 4-і 1-де ESC-ті күштік контакт алаңдары (батареядан келетін сымға арналған) артқа, ал мотор сымдарына арналған алаңдары жоғарыға, дәнекерленетін жерлерге қарайтындай етіп орнатыңыз.



26-сурет. ESC платасының FC-ге қосылатын разъемінің схемасы.

4-қадам. Мотор сымдарын дәнекерлеу

1. Әр мотордың сымдарын керек ұзындықпен кесіңіз, салбырап тұрмауы және дәнекерлеуге ыңғайлы болуы үшін оларды рама лучінің бойымен сырлау скотчымен бекітіңіз; ал кейінгі тұрақты бекіту үшін лучке алдын ала термоотырғызғыш түтік кигізіп қойған немесе құрастырудан кейін мата скотчын қолданған дұрыс.
2. **Мотордың үш сымының реті маңызды емес.** Сымдар қалай ыңғайлы жатса, солай дәнекерлеңіз: мотор ақыры теріс бағытқа айналса, бағыт Betaflight конфигураторының Motors қойындысында бағдарламалық түрде өзгертіледі, ештеңені қайта дәнекерлеудің қажеті жоқ. Ал қай мотордың ESC-тің қай арнасына қосылғаны - маңызды, ол да сол қойындыда тексеріледі.
3. Әр сымның ұшындағы 2-3 мм-дей оқшаулауды аршыңыз, бір тамшы индикаторлық флюс-гель жағыңыз (дәнекерлеу қышқылы тәрізді қышқыл флюстерді қолданбаңыз: олар жақсы қалайылайды, бірақ қалдықтары уақыт өте дәнекер мен платаны жеп қояды). Сымның өзін де, контакт алаңын да

бөлек-бөлек қалайылаңыз, яғни екі бетті де жұқа припой қабатымен жауып алыңыз, тек содан кейін ғана қосыңыз: дәнекерлеу осылай жылдамырақ әрі сенімдірек шығады. Дәнекерлегіштің ұсынылатын температурасы: жіңішке сигнал сымдарына шамамен 350 °C, жуан күштік сымдар мен XT60 разъемдеріне 400-450 °C. Мәселе градуста ғана емес: массивті алаңды бірінші кезекте ұшы жалпақ, жылу қоры мол жало қыздырады, сондықтан күштік дәнекерлеуге температураны жай көтере салмай, жалоны ауыстырған жөн. Қалай болғанда да жалоны алаңда ұзақ ұстамаңыз: қызып кетуден мыс қабыршақтанып көтеріледі.

4. Дәнекерлеу біткеннен кейін флюс қалдықтарын изопропил немесе этил спиртіне малынған қылқаламмен жуып тастаңыз: бұл эстетика ғана емес - жуылмаған флюс уақыт өте коррозия тудырып, электроникасы бар платаларды бүлдіреді.
5. Бір-біріне жақын ашық қосылыстарға және сымдардың раманың карбон пластиналарының үстінен шығатын жерлеріне термоотырғызғыш түтік кигізіп, оны ауа температурасы шамамен 200-250 °C дәнекерлеу фенімен абайлап отырғызыңыз: бұл кездейсоқ қысқа тұйықталуды болдырмайды әрі сонымен бірге сымды иілген жерінде дірілден сынып кетуден қорғайды.

5-қадам. Күштік разъем және конденсатор

1. Күштік силикон кабельдегі XT60 разъемін ESC-тің кіріс алаңдарына полярлықты қатаң сақтап дәнекерлеңіз (плюс - плюске, минус - минусқа; разъемде де, платада да белгіленген, стандарт бойынша минус - бұрыштары қиғашталған жақта). Шатастырылған полярлық қорек берілген сәтте электрониканы лезде істен шығарады.
2. Үлкен күштік алаңдарда припой мен флюсті жеткілікті қолданыңыз: дәнекер тегіс, жылтыр және толық өткізгіш болуы керек. Нашар дәнекерленген контакт қызады және жүктеме астында дәнекердің ажырап кетуіне себеп болуы мүмкін.
3. Көптеген заманауи ESC жинағында сүзгі конденсаторы онсыз да бар, базалық жинақтардың көпшілігіне сол әбден жеткілікті. Жинақта мүлдем болмаса, сыйымдылығы шамамен 1500 мкФ төмен импедансты (Low-ESR) электролит конденсаторын қолданыңыз (мысалы, Rubycon ZLH), 6S үшін жоғарғы шекке жақынын алыңыз. Кернеу бойынша қор керек: 6S-ке дейінгі жинақтарға 35 В жетеді, 8S үшін 50 В-тікін алыңыз. Оны ESC-тің кіріс күштік сымдарына дәнекерлеңіз: минус контактісі - конденсатор корпусындағы жолақтың жанындағысы. Ол токтың күрт өзгерістерінен болатын электр секірістерін тегістеп, электрониканы бөгеуілден қорғайды.

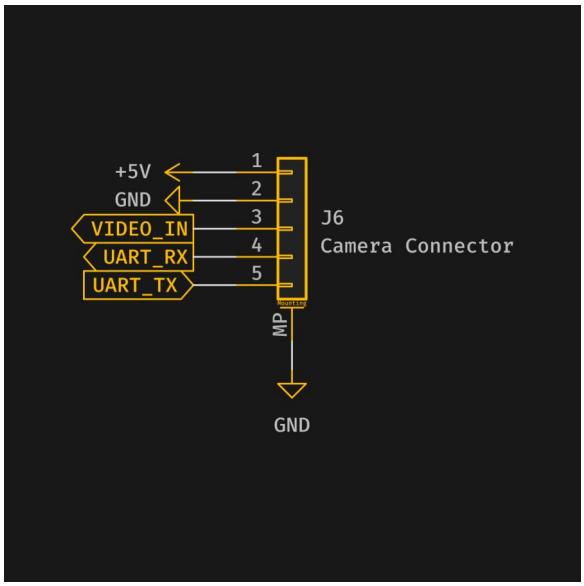
6-қадам. Қабылдағышты қосу

1. Қабылдағышты тікелей FC платасына немесе стектің үстіне бекітпеңіз - бұл жаман практика: қабылдағыш антенналары электроника қабаттарының арасына қысылып қалады, ал шулайтын күштік сымдар мен ESC-ке тығыз көршілік сигнал қабылдауды нашарлатады. Қабылдағышты раманың алдыңғы немесе артқы жағында, оған бос орын бар жерде, күштік сымдардан алысырақ екі жақты скотчпен бекітіңіз.
2. Төрт сымды - 5 В қоректі, GND жерін және екі сигнал сымын - FC-нің тиісті алаңдарына дәнекерлеңіз (қорек пен жер, ал сигнал протоколдар тарауында сипатталғандай UART арқылы қабылдағыштың TX және RX порттарына). Сымдарды жіңішкесін алыңыз, 28-30 AWG: жуан сымдар қабылдағышты жинап, бекітуге кедергі жасайды.
3. Қабылдағыш антенналарын әр жаққа және мүмкіндігінше әр жазықтыққа таратыңыз (мысалы, бірін көлденеңге, екіншісін тікке жақынырақ): бұл поляризация бойынша таралу береді және ұшуда дрон бұрылғанда сигнал жоғалу қаупін азайтады. Антенналарды рама лучтарының астынан күштік сымдар мен карбоннан алысырақ бекітіңіз, сигнал қабылдағышын қорғау үшін термоотырғызғыш түтікпен қаптап, нейлон қамыттармен бекітіңіз.

7-қадам. Камера және бейнетаратқыш

Аналогтық жүйе үшін

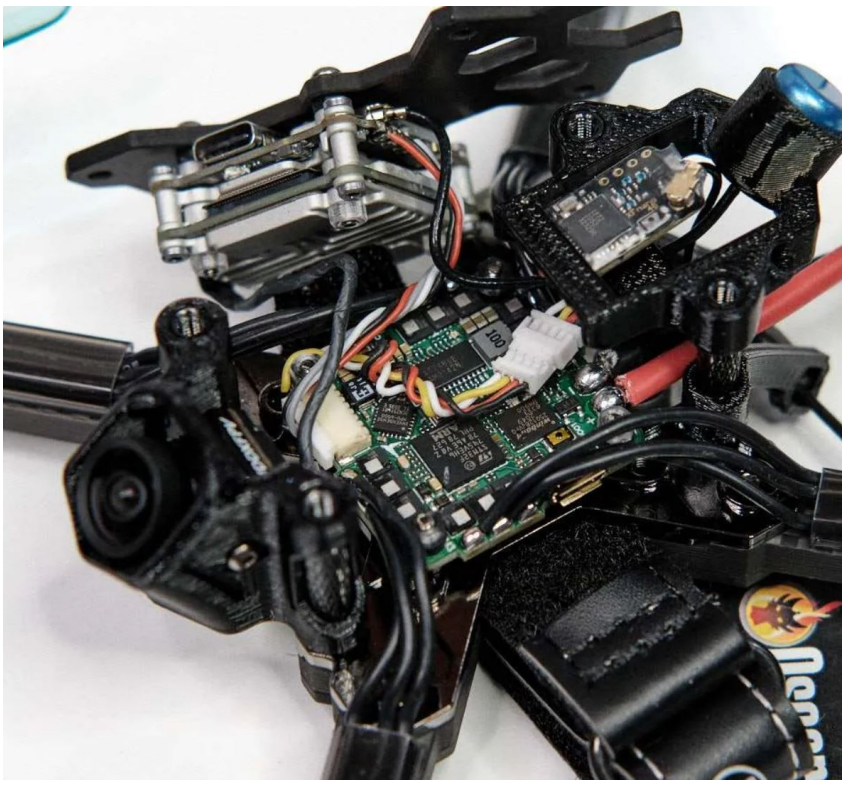
1. Камераны раманың бүйір пластиналарының арасына керек еңкею бұрышымен орнатыңыз, алғашқы ұшуларға әдетте 20-30 градус.
2. Камераның үш сымын FC-ге дәнекерлеңіз: жерді (қара) GND-ге, бейнесигналды (сары) CAM алаңына, ал қоректі (қызыл) камераның қорек алаңына. Барлық дерлік заманауи аналогтық камера қорек жағынан талғамсыз: 5 В-тан да, 12 В-тан да еркін жұмыс істейді, сондықтан кез келген қорек желісі жарайды, бірақ кернеуді нақты камераның сипаттамаларынан нақтылаған жөн. Платаңызда камера мен бейнетаратқышқа бөлінген, LC-сүзгісі бар жеке 9-12 В желісі болса, дәл соны қолданған дұрыс: ол бөгеуіл жағынан айтарлықтай таза, ал ортақ 5 В желісінде басқа да сезімтал электроника отыр - одан келетін кедергілер суретте жолақ болып көрінеді.
3. VTX-ті екі жақты скотчпен және рамадағы монтаж тесіктері арқылы тартпалармен бекітіңіз. VTX антеннасы жіңішке жартылай қатты коаксиалды кабельде болса, оны абайлап артқа шығарып, үлкен радиуспен жұмыс қалпына иіңіз: кабельді күрт бүкпеңіз және түбінен қайырмаңыз - күрт қайырылу ішіндегі талсымды оңай зақымдап, антеннаны жарамсыз етеді.



27-сурет. Аналогтық камераны FC-ге қосуға арналған разъем схемасы.

Цифрлық жүйе үшін

Air unit камера мен VTX-ті бір модульге біріктіреді, сондықтан дәнекерлеу қатты жеңілдейді: әдетте тек қоректі (мұны да плата қарастырса, жеке таза 9-12 В желісі арқылы қосқан дұрыс), жерді және бір UART-портты (MSP Displayport пен басқаруға) нақты air unit моделінің нұсқаулығына сай қосу керек. Бекітудің жалпы логикасы (екі жақты скотч + тартпалар, антенна тіреуішке немесе жұмсақ радиуспен артқа шығарылған коаксиалды кабель) сол күйінде қалады.



28-сурет. Цифрлық air unit-і бар ықшам жинақ.

8-қадам. Раманың үстіңгі бөлігін құрастыру

1. Стекті бекітетін үстіңгі гайкаларды қолмен, артық тартпай бекітіңіз: олар стектің резеңке демпферіне жай тиіп тұруы керек, оны шегіне дейін қыспауы тиіс. Шамадан тыс қысу дірілден оқшаулауды жоққа шығарады және гироскоп деректерінің дәлдігін қатты нашарлатады.
2. Раманың үстіңгі пластинасын орнатып, батарея бекіту белдігін өткізіңіз.
3. Дәнекерленген барлық жерді тағы бір рет мұқият қарап шығыңыз: дәнекерленбей қалған контактілер, қысқа тұйықталулар және зақымдалған оқшаулау жоқ па. Дымқыл ауа райында немесе судың жанында ұшуды жоспарласаңыз, дәл қазір дәнекерленген жерлер мен стек электроникасына қылқаламмен жұқа қорғаныш лак (conformal coating) қабатын жағатын кез: алдын ала разъемдерді, контакт алаңдарын, жад картасы мен барометрді - лак ішіне кірмеуі керек жерлерді - сырлау скотчымен желімдеп қойыңыз.

9-қадам. Қоректі алғаш қосар алдындағы тексеріс

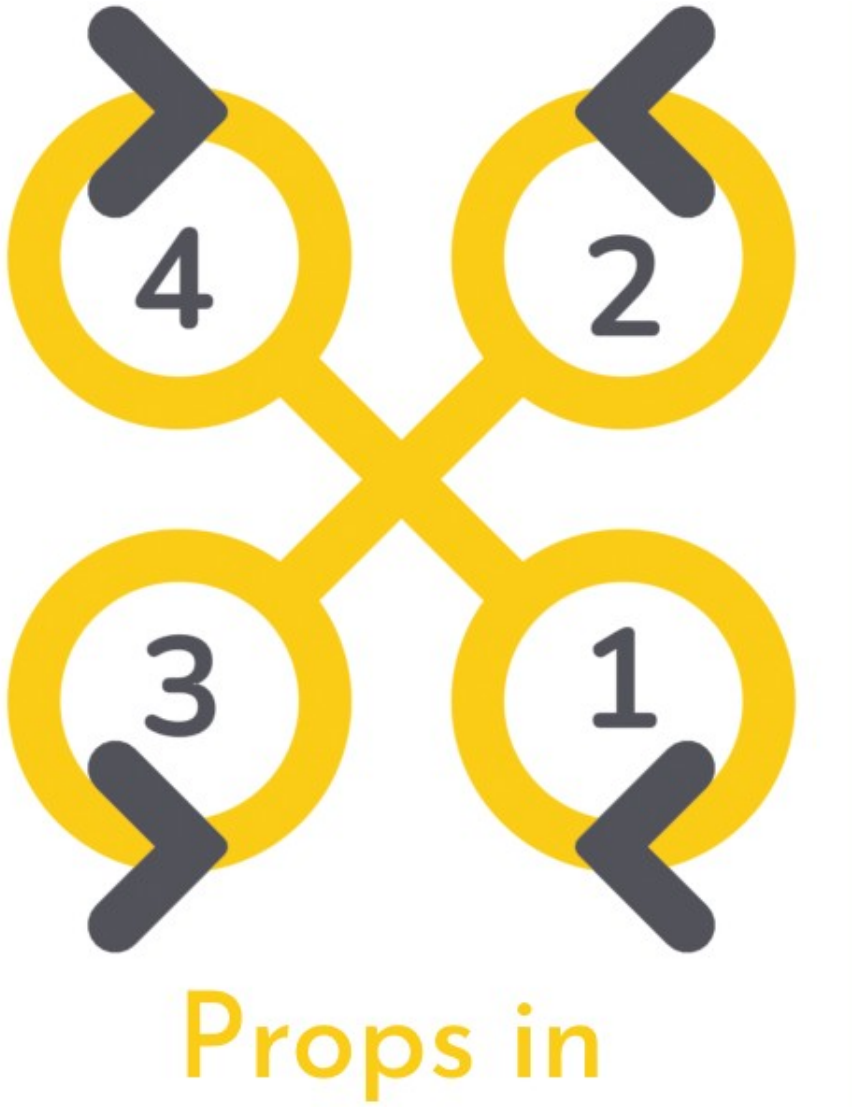
1. **Барлық күштік тізбекті мультиметрмен тексеріп шығыңыз:** кірістегі XT60 қорек разъемін ғана емес, стектегі әр қорек желісін де (5 В, камера/VTX үшін 9-12 В) дыбыстық индикаторы бар кедергі өлшеу режимінде жеке-жеке тексеріңіз. Мультиметр осы желілердің кез келгенінің плюсі мен минусының арасында нөлге жуық кедергі көрсетіп шыңғырласа (қысқа тұйықталу), проблеманы тауып, жоймайынша батареяны еш жағдайда қоспаңыз.
2. **Дронда GPS-модуль орнатылған болса,** UART портындағы TX және RX сымдарының орны ауысып кетпегенін FC платасының құжаттамасымен алдын ала салыстырыңыз (еске сала кетейік, бұл - UART-құрылғыларды қосудағы ең жиі қате); егжей-тегжейін платаңыздың өндіруші құжаттамасынан қараңыз.
3. **Батареяны алғаш рет smoke stopper арқылы қосыңыз:** сым тартуда бәрібір қате қалып қойса, ток шектегіш оның қауіпсіз көрінуіне мүмкіндік береді - тікелей платадағы түтін мен ұшқын емес, резистордың әлсіз қызуы арқылы.
4. **Бұл кезеңде пропеллерлер орнатылмайды:** прошивкалардың бұдан кейінгі бүкіл баптауы (келесі тараулар) оларсыз орындалады.

10-қадам. Пропеллерлерді орнату (тек ұшар алдында)

1. Әр мотордың айналу бағытына және оған сәйкес пропеллер бағытына (CW/CCW) көз жеткізіңіз: бұл Betaflight конфигураторының Motors қойындысында тексеріледі және қажет болса бағдарламалық түрде өзгертіледі, тиісті тарауды қараңыз.
2. Пропеллерлерді мотор білігіне төмендегі жалпы схемадағы белгілерге сай («Props In») қалақ дөңесін керек жаққа қаратып кигізіңіз. CW немесе CCW

айналу бағытына қарамастан, пропеллер алға бағыт осі бойынша раманың ортасына қарай айналғанда ауаны төмен айдауы керек.

3. Өздігінен бекінетін нейлон гайканы тығыз, бірақ артық фанатизмсіз тартыңыз. Қарапайым өлшем: мотор қоңырауын бір қолмен ұстап тұрып, пропеллерді екінші қолмен бұрап көріңіз. Пропеллер бұралмаса - жеткілікті тартылған. Жеткіліксіз тартылған гайка - ұшуда пропеллердің ұшып кетуінің нақты да жиі себебі, ал артық тартылғаны мотор білігінің бұрандасын зақымдайды. Тартқан кезде білік бұралып кетпеуі үшін моторды әрқашан екінші қолмен немесе ұстағыш құралмен ұстап тұрыңыз.



29-сурет. Моторлардың айналу бағытының схемасы және пропеллерлердің соған сәйкес бағдары. Стрелкалар айналу бағытын көрсетеді.

Betaflight баптау

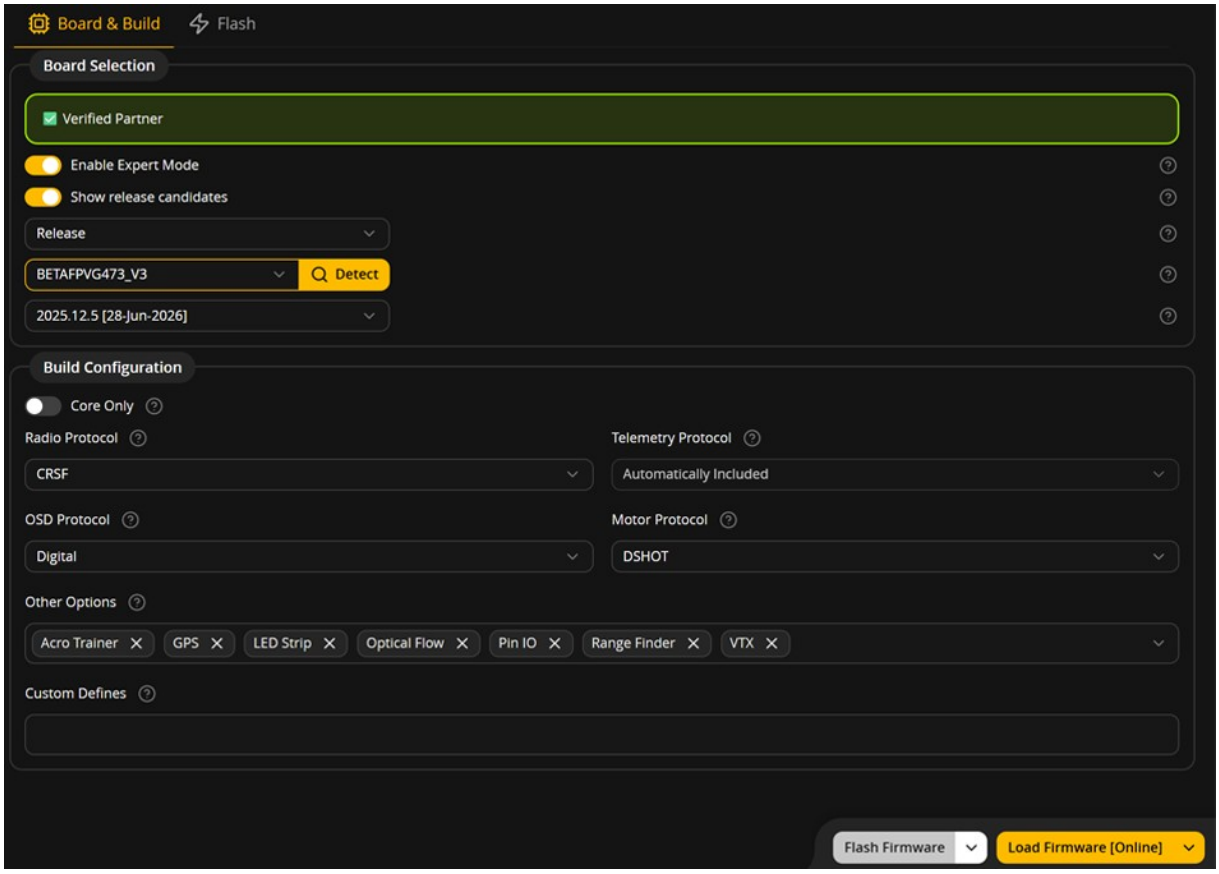
Betaflight Configurator - ұшу контроллерінің бүкіл баптауы жасалатын бағдарлама. Бүгінде бұл ең алдымен веб-қосымша: ол Google Chrome браузерінде тікелей мына бетте ашылады: https://app.betaflight.com/ - компьютерге ештеңе жүктеп алудың қажеті жоқ. Немесе жеке бағдарлама ыңғайлырақ болса, мына сайтта Windows/macOS/Linux/Android нұсқасы бар: https://downloads.betaflight.com/. Дронға USB-кабель арқылы қосылады.

- **Бірден жаттап алуға тұрарлық жалпы ереже:** көпшілік қойындыда өзгеріс жасағаннан кейін, келесі қойындыға өтпес бұрын «Save and Reboot» («Сақтау және қайта жүктеу») батырмасын басу керек, әйтпесе баптаулардың бір бөлігі қолданылмайды немесе жоғалып кетеді.
- **Сарапшы режимін (Expert Mode) қосыңыз:** ауыстырғышы Options қойындысында тұр және әдепкі бойынша жаңадан бастаушыдан жасырылған, бірақ толыққанды баптауға қажет қойындылар мен опцияларды ашады. Осы режимде Virtual Connect функциясы да қолжетімді: ол физикалық дрон мен ұшу контроллері мүлдем жоқ болса да конфигураторға «қосылып», нақты темірде байқап көрмес бұрын интерфейсте жаттығуға, ненің қайда тұрғанын көруге мүмкіндік береді.

Firmware Flasher: прошивка жазу

1. FC-ні компьютерге USB арқылы қосыңыз. Бұл жаңа платаның ең алғашқы қосылуы болса, драйвер орнату қажет болуы мүмкін - конфигуратор мұны әдетте өзі ұсынады.
2. Платаңыздың нақты моделін (target) және керек Betaflight нұсқасын таңдаңыз (жаңа жинаққа - өзекті тұрақты нұсқа).
3. **Прошивка жазар алдында «Other Options» блогын міндетті түрде ашыңыз:** қосымша функциялар дәл осы жерде қосылады, әйтпесе олар прошивкада мүлдем болмайды. Жаңадан бастаушыға кем дегенде шынымен керек болатынын алдын ала белгілеген пайдалы: GPS (бұл құсбелгісіз спутниктер де, GPS Rescue да болмайды), Altitude Hold және Position Hold, сондай-ақ FPV-камера сервожетекті қозғалмалы бекітпеде тұрса - Servos. Осы жерде радиоқабылдау протоколын (ExpressLRS пен Crossfire үшін CRSF, немесе басқа жабдыққа SBUS) және OSD протоколын да дұрыс таңдау керек: аналогтық бейнежүйеге OSD (SD) немесе цифрлыққа OSD (HD) - дронда нақты тұрған темірге қатаң сай. Бұл - жаңадан бастаушы кейін «неге ештеңе жұмыс істемейді» деп түсінбей жүретін ең жиі сәт: керек функция немесе протокол құрастырылған прошивкада жоқ, себебі прошивка жазғанда құсбелгі қойылмаған.

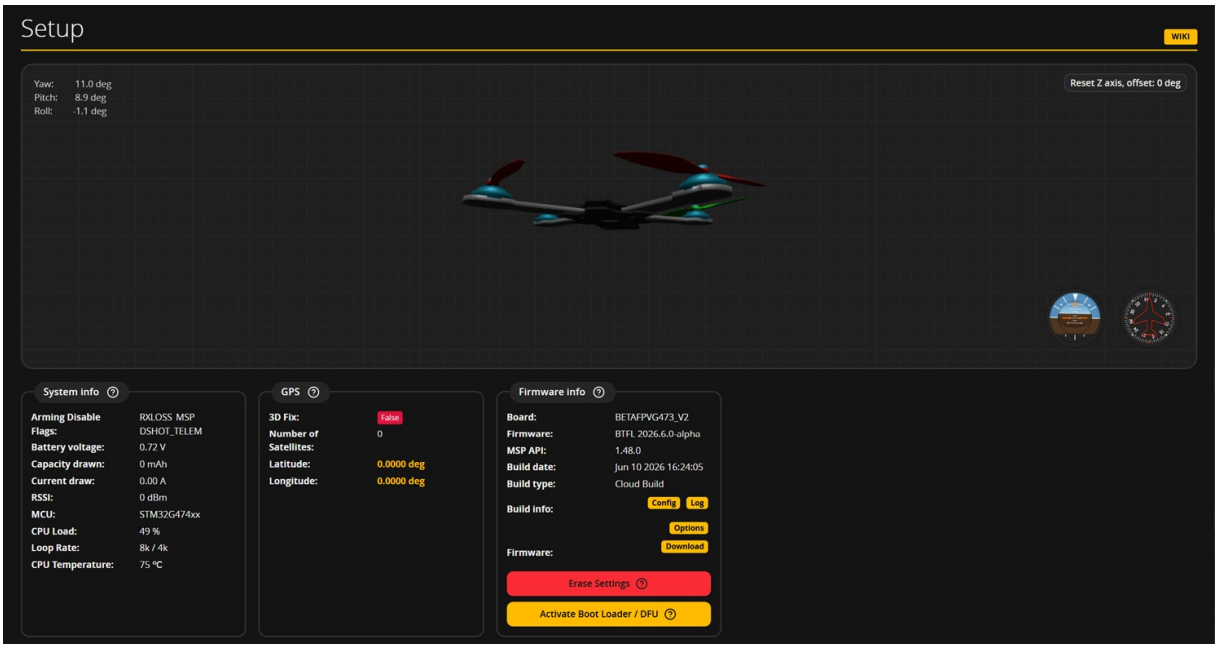
4. Прошивка жазу үшін плата DFU (Device Firmware Update) режиміне ауыстырылады: әдетте бұл USB арқылы қорек берген сәтте платадағы арнайы BOOT батырмасын басып тұрумен, немесе конфигуратордан бағдарламалық түрде жасалады.
5. Windows-та кейде DFU режиміндегі платаға USB қолжетімділігі үшін конфигураторды (немесе браузерді) әкімші атынан іске қосу қажет - прошивканың құрылғыны «таба алмауының» жиі себебі осы.



30-сурет. Firmware Flasher қойындысы: платаны, Betaflight нұсқасын таңдау және қосымша функциялары бар Other Options блогы.

Setup: алғашқы экран

Прошивка жазылған платаға алғаш қосылғаннан кейін конфигуратор дронның қалпын нақты уақытта қайталайтын 3D-моделі бар Setup қойындысын ашады - бұл гироскоптың қосылғанын және дұрыс жұмыс істейтінін тексерудің ыңғайлы тәсілі. Осы жерде жүйе статусы да көрсетіледі: батарея кернеуі, процессор жүктемесі, спутник саны мен координаттары бар GPS модулінің күйі, сондай-ақ басқа қосымша датчиктер. Сондай-ақ бұл экранда платаны Boot батырмасын басып тұрмай-ақ прошивка режиміне ауыстыруға болады (Activate Boot Loader / DFU).

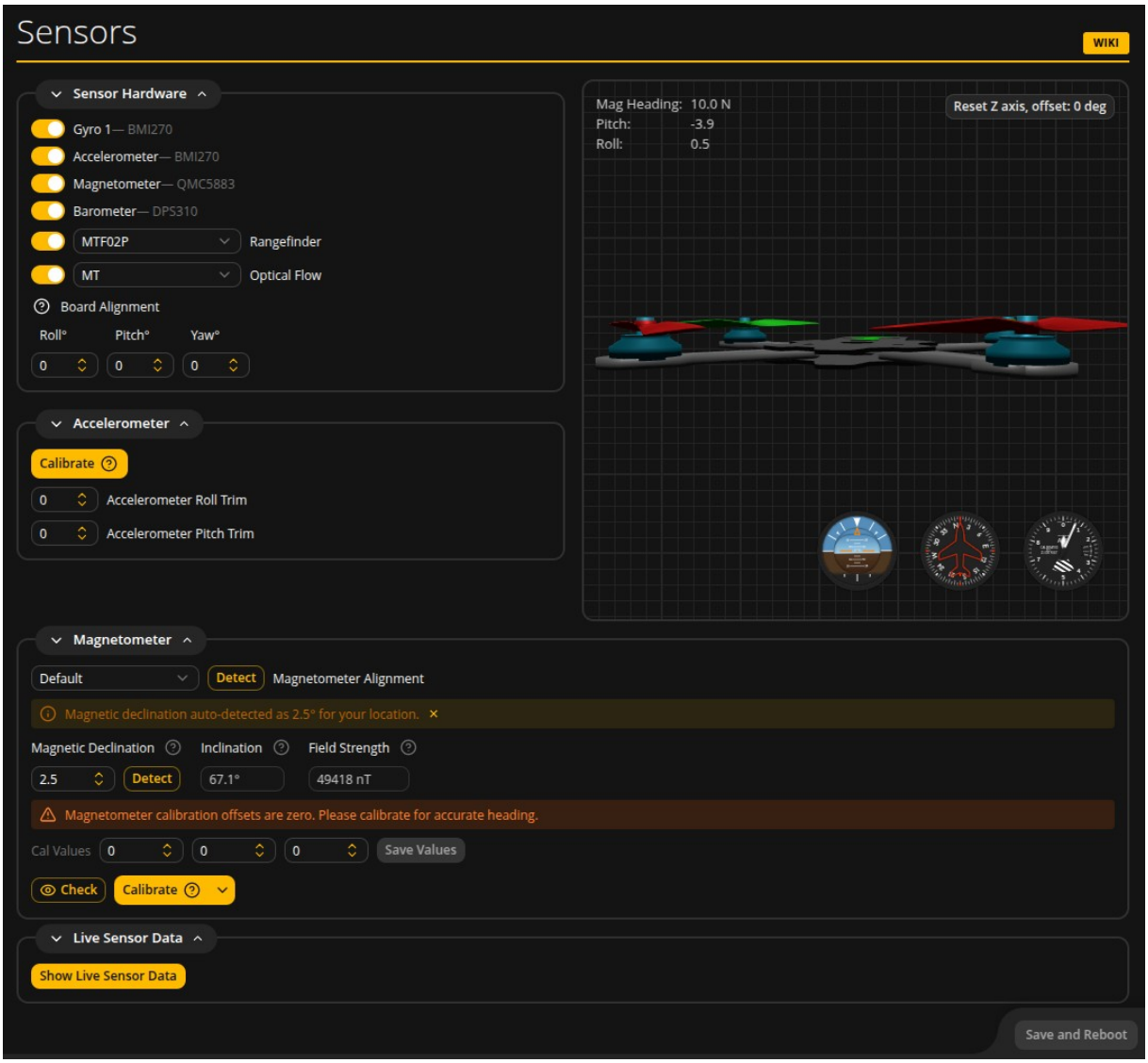


31-сурет. Setup қойындысы: дронның 3D-моделі және датчиктер күйі.

Sensors: датчиктерді тексеру және калибрлеу

Пайдалы диагностикалық экран: мұнда гироскоп пен акселерометрдің көрсеткіштері график түрінде нақты уақытта көрінеді. Акселерометрді калибрлеу де осы жерде жасалады: дронды көпіршікті деңгей бойынша тегіс бетке қатаң көлденең қойыңыз, Calibrate Accelerometer басыңыз және дронды бірнеше секунд қозғамаңыз. Акселерометрді дрон толық құрастырылып, стек рамаға бекітілгеннен кейін калибрлеу маңызды: соңғы құрастырудан бұрын жасалған калибрлеу ұшудағы дронның нақты еңкеюіне сай келмейді. Сондай-ақ FC стандартты емес орнатылған жағдайда - платадағы стрелка алға қарамағанда - бағдар түзетуі осы экранда жасалады: ең оңайы - Board Alignment Wizard қадамдық шеберінен өту, ол керек бұрыштарды өзі таңдайды.

- **Стекті қалай да ажыратқаннан кейін акселерометрді қайта калибрлеңіз:** стек бекітпесінің бұрандаларын бұрап алсаңыз, бейнетаратқышты шешсеңіз (ол үшінші қабат болып кірістірілген стектерде), сенсордың рамаға қатысты орны сәл өзгеруі мүмкін. Осындай ажыратудан кейін ұмытылған қайта калибрлеу - стиктер ортаға жіберілгеннің өзінде дронның ұшуда бір орында тегіс «тұрмауының» жиі себебі.



32-сурет. Sensors қойындысы: графиктер, датчиктерді баптау және калибрлеу.

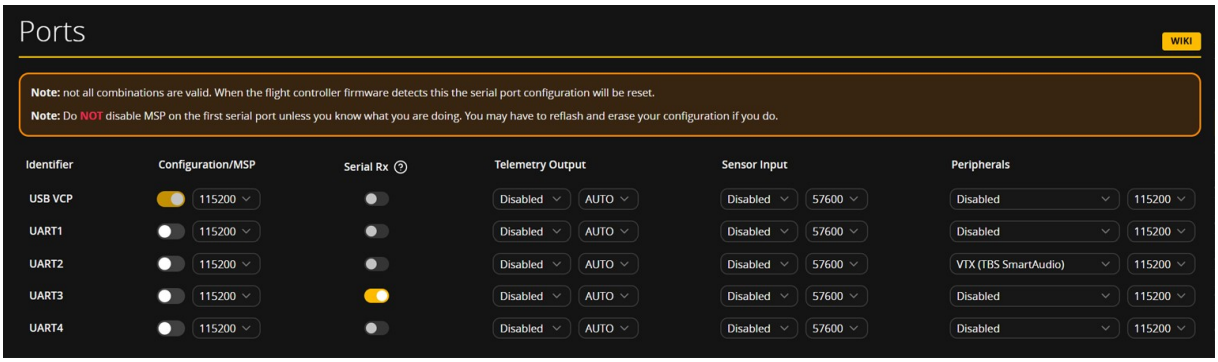
Ports: UART-порттарды тағайындау

Мұнда платаның әр физикалық UART-портына рөл тағайындалады; UART пен протоколдар логикасы бөлек тарауда егжей-тегжейлі талданған. Бірнеше маңызды сәт.

- **Serial RX біреу ғана бола алады:** радиобасқару қабылдағышы дәл бір UART-портты алады (CRSF немесе GHST үшін бұл командаларға да, телеметрияға да бір мезгілде жеткілікті), бұл рөлді бірнеше портқа бірдей тағайындауға болмайды.
- **USB VCP-ні өшіруге болмайды:** бұл - конфигуратормен USB арқылы байланысқа арналған виртуалды COM-порт; оны өшірсеңіз, конфигуратор FC платасымен байланысын жоғалтады.
- **Жылдамдықты (baud rate) Auto күйінде қалдыруға болады:** бұл әсіресе GPS-модульге қатысты: заманауи модульдер қосылым жылдамдығын

автоматты режимде өздері келіседі, қолмен жылдамдық әдетте тек стандартты емес периферияларға үшін ғана қажет.

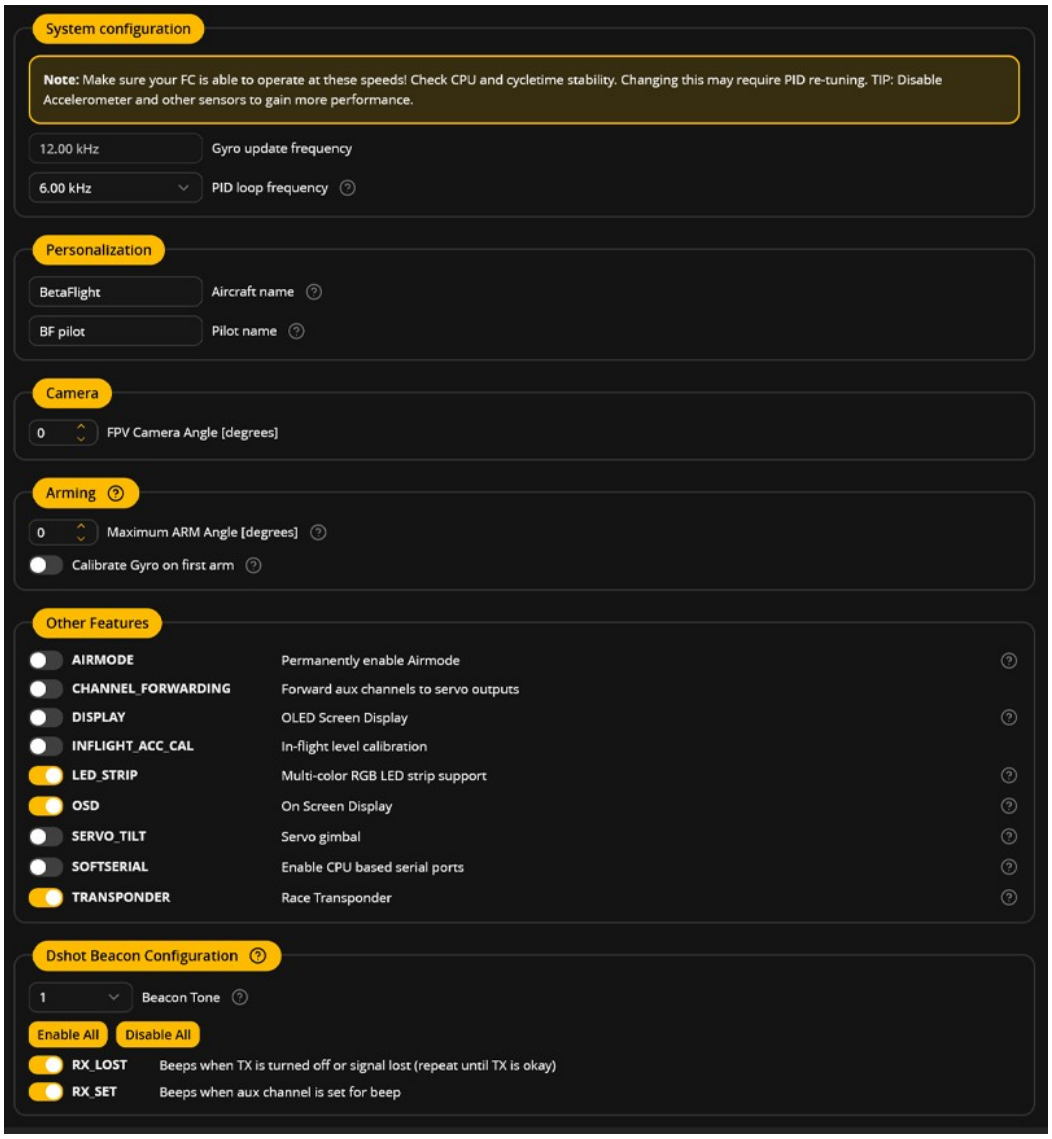
- **Нақты распиновканы плата өндірушісінің сайтынан қараңыз:** әр FC моделінің өз UART-порт нөмірленуі мен платадағы TX/RX алаңдарының өз орналасуы бар, бәріне бірдей схема жоқ; өндіруші әрдайым дерлік порттары қол қойылған платаның егжей-тегжейлі схемасын жариялайды - перифериняны қосқанда соны пайдалану керек.



33-сурет. Ports қойындысы: UART-порттарға рөл тағайындау.

Configuration: жалпы баптаулар

Бұл қойындыда ESC/мотор протоколы (әдепкі бойынша DShot600, протоколдар тарауындағы кестені қараңыз), сондай-ақ жаңадан бастаушыға шешуші Air Mode функциясы белгіленеді. Air Mode нөл газдың өзінде дронды басқаруды сақтайды: онсыз газ тасталғанда моторлар тоқтауға жақындап, дрон стиктерге бағынбай қалады, ал акробатикалық режимде бұл қалыптан айырылумен тез аяқталады. Қалыпты ұшу үшін оны үнемі қосулы ұстайды. Сондай-ақ дрон биік шөпке қонғанда іздеу үшін моторларымен шыңғыра алуы үшін DShot Beacon функциясын баптаған пайдалы.



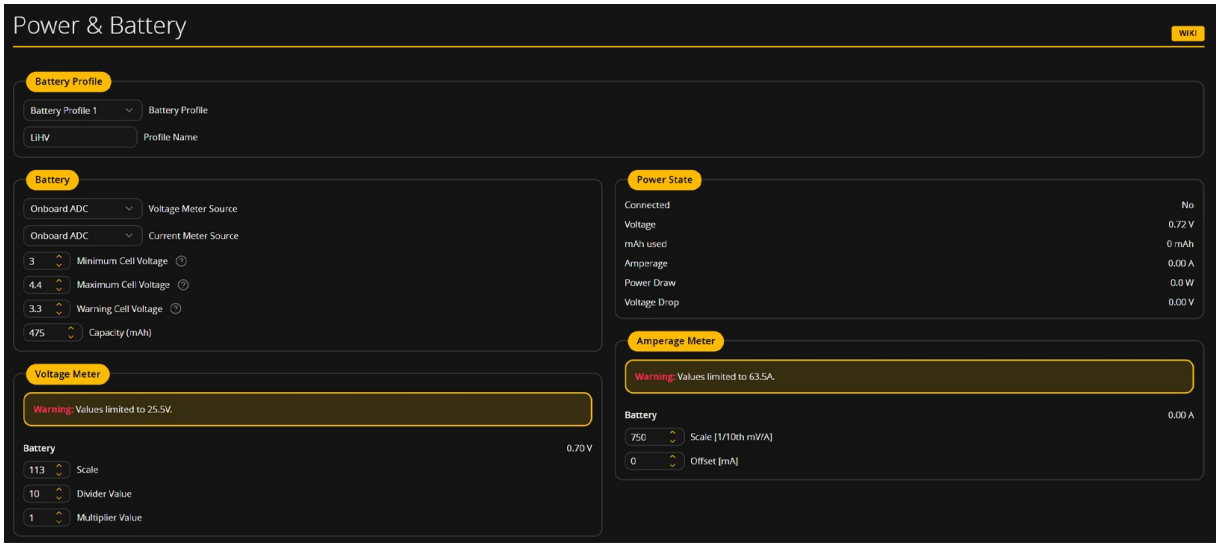
34-сурет. Configuration қойындысы: мотор протоколы, Air Mode және басқа жалпы баптаулар.

Power & Battery: қорек және кернеу

Батарея кернеуін дұрыс калибрлеу аса маңызды: OSD-дегі батарея разряды туралы ескерту де, төмен кернеуге жауап беретін failsafe логикасы да дәл соның негізінде жұмыс істейді. Қойынды көрсеткіштерін батареяның баланстау разъемінде мультиметрмен өлшенген нақты кернеумен салыстырыңыз және қажет болса, калибрлеу коэффициентін түзетіңіз: зауыттық мәндер шындықтан 0.1-0.5 В-қа жиі алшақтайды.

Кернеу ескертулерінің диапазондары ұяшыққа шаққанда беріледі және батарея химиясына байланысты: қарапайым LiPo-ның жұмыс диапазоны ұяшығына шамамен 3.3-4.2 В (3.3 В-тан төмен түсу жағымсыз), LiHV-де сәл жоғарырақ - зарядталған күйде ұяшығына 4.35 В-қа дейін, Li-ion 21700 өз қолдан құрастырылған батареяларда айтарлықтай төмен: әдетте ұяшығына шамамен 3.0-4.2 В. Дәл өз

жинағыңыздың вольттағы ескерту шектерін алу үшін керек диапазонды нақты батареяның ұяшық санына (S) көбейтіңіз.



35-сурет. Power & Battery қойындысы: вольтметрді калибрлеу және батарея баптаулары.

Failsafe: байланыс үзілгендегі әрекет

Бұл - гайдтағы ең маңызды қойындылардың бірі, оған ерекше көңіл бөлген жөн. Пультпен байланыс кенет үзілсе, дронның не істейтінін Failsafe анықтайды.

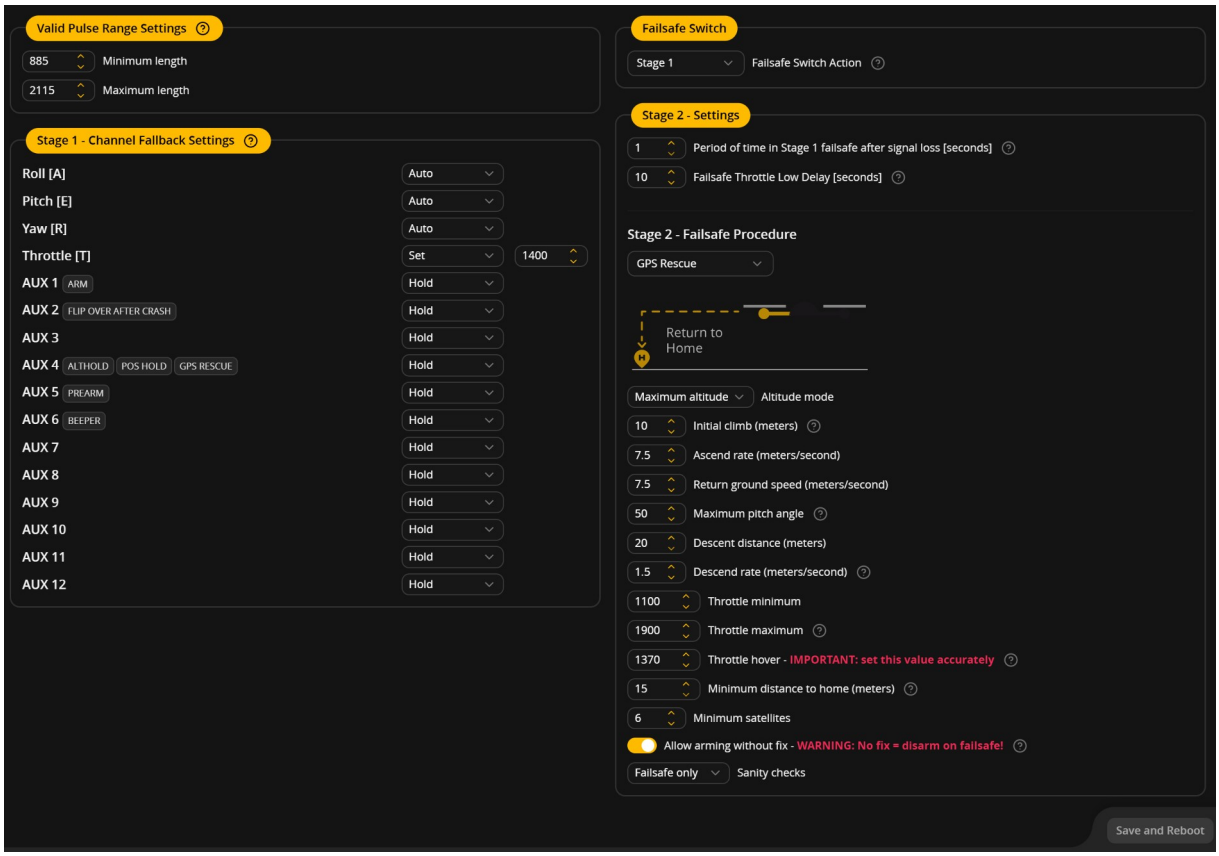
- **Stage 1:** сигнал жоғалғаннан кейінгі алғашқы секундтардағы әрекет: әдетте бұл - қысқа мерзімді бөгеуіл жағдайына пульт арналарының соңғы мәндерін аз уақыт ұстап тұру.
- **Stage 2:** байланыс сонда да қалпына келмесе не болатыны: айналымды нөлге түсіріп құлау (Drop), баяу қону (Land), немесе GPS бойынша қайту (GPS Rescue - бапталған болса және GPS-модуль болса).
- **Стиктер диапазоны (Valid Pulse Range):** арна сигналы қате деп есептеліп, failsafe қосылатын шектер. Зауыттық 885 және 2115 микросекунд мәндері барлығына дерлік жарайды, оның ішінде EdgeTX пен ExpressLRS байламына да (оның нақты арна диапазоны шамамен 988-2012), себепсіз оларды өзгертудің қажеті жоқ.

GPS Rescue егжей-тегжейлі

GPS Rescue - дронның ұшып көтерілген нүктесіне автоматты апаттық қайтуы - жаңадан бастаушы үшін, бәлкім, ең пайдалы қауіпсіздік функциясы. Логикасы мынадай: Stage 2 failsafe кезінде дронда сенімді GPS сигналы болса (кемінде 8 спутник және ұшар алдында бекітілген старт нүктесі қажет), құлаудың немесе төмен газбен жай төмендеудің орнына дрон автоматты түрде белгіленген қауіпсіз биіктікке көтеріледі, ұшып көтерілген нүктеге қарай бұрылады, оған түзу ұшып барып, пилот басқаруды қайта алуы үшін төмендейді. Бұл - DJI дрондарындағыдай автоқонуы бар

толыққанды үйге қайту емес. Бірақ GPS Rescue болмаса, байланыс үзілгенде дрон, сірә, Stage 2-де Land орнатылғандағы газ деңгейінде жай төмен құлайды, ал биік шөптен немесе бұталардан оны табу өте қиын болады. Тәжірибесіздіктен жаңадан бастаушы байланысты дәл әдеттегіден сәл алысырақ немесе аласалау ұшып кеткендіктен жиі жоғалтады.

- **Әр ARM қосу алдында GPS бекінуін күту маңызды:** конфигуратор мен OSD көрінетін спутник санын және 3D Fix статусын көрсетеді; ұшып көтерілу нүктесі сенімді бекітілгеннен кейін ғана көтерілген жөн.
- **Жаңадан бастаушыларға GPS-модульді әрқашан орнату ұсынылады:** ол мүлдем қымбат емес, әрі жаңа пилоттардың дронды біржола жоғалтуының ең жиі себептерінің бірінен сақтандырады.



36-сурет. Failsafe қойындысы: радиобайланыс үзілгендегі дрон әрекетін баптау және GPS Rescue параметрлері.

Төменде алғашқы ұшулардан бұрын міндетті түрде баптап, тексеру керек GPS Rescue-дың негізгі параметрлері талданған.

- **Altitude mode:** қайту биіктігін таңдау логикасы. Maximum altitude - ең қауіпсіз нұсқа: бүкіл ұшудағы максималды биіктікті қорымен алады.
- **Initial climb (м):** іске қосылғаннан кейін бірден, үйге қарай бұрылғанға дейінгі алғашқы көтерілу биіктігі. Әдетте 10 метр.

- **Ascend rate (м/с):** биіктік алу жылдамдығы. Әдетте секундына 5 метр.
- **Return ground speed (м/с):** үйге қарай көлденең ұшу жылдамдығы. Максимумға көтермеген жөн, әдетте секундына 10 метр.
- **Descent distance (м):** үйге дейінгі қашықтық: соған жеткенде дрон қайту биіктігіндегі көлденең ұшудан тік төмендеуге көшеді. Қауіпсізі - 25 метр.
- **Descend rate (м/с):** соңғы төмендеу жылдамдығы, қауіпсізі - 1-2 м/с. Бұл автоқону емес, үйдің жанында жерге жақындау: әрі қарай басқаруды қолмен алу керек.
- **Throttle minimum / Throttle maximum:** реттегіш шықпайтын қатаң газ дәлізі - есептеу қателігі жағдайына кепілдік.
- **Throttle hover:** дәл сіздің дроныңыздың толық зарядта Angle mode-та ауада ілініп тұратын газы; нақты ілініп тұру тесті бойынша қолмен орнату қажет.
- **Minimum distance to home (м):** іске қосылу сәтінде дрон үйге осы қашықтықтан жақын тұрса, GPS Rescue қосылмайды; шамамен 10 м.
- **Minimum satellites:** GPS Rescue дайындығына және моторларды армдауға рұқсатқа қажет минималды спутник саны; әдепкі бойынша 8, төмендетпеген жөн.
- **Allow arming without fix:** қосулы болса, GPS бекінусіз көтерілуге рұқсат етіледі, бірақ ондайда нақты failsafe кезінде GPS Rescue іске қосылмайды және моторлар дизармдалып, дрон биіктіктен құлайды. Жаңадан бастаушыға өшірулі ұстаған қауіпсіз.
- **Sanity checks:** ұшуда GPS Rescue әрекетінің дұрыстығын тексерулер. Зауыттық Failsafe only мәнін қалдырыңыз: ол байланыс шынымен үзілгенде қатаң бақылау береді, ал қайтуды қолмен қоссаңыз - тумблерді кері қайтаруға уақыт қоры қалдырады. Off мәні тек тесттерге арналған және бәрібір сәтсіз қайтудың шамамен 20 секундынан кейінгі апаттық дизармды жоймайды.

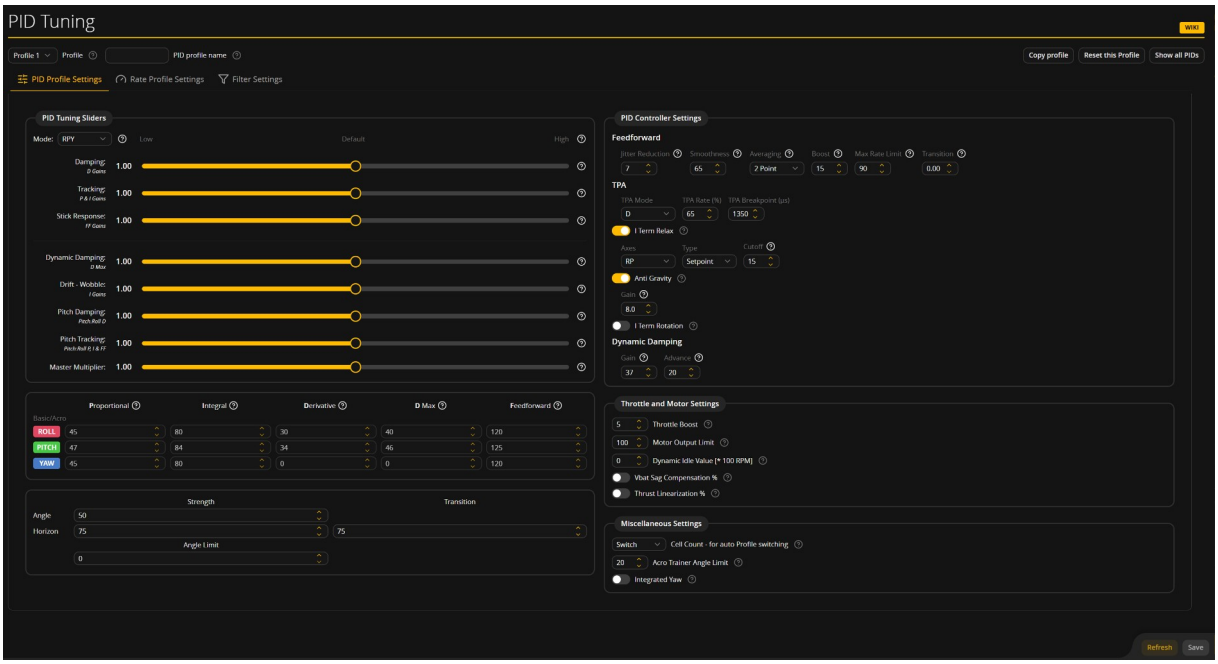
PID Tuning: ұшу мінезін баптау

PID - дронның әр осіне арналған үш коэффициент: FC солар бойынша дронның қалпын ұстау немесе өзгерту үшін моторларды қаншалықты қатты айналдыру керегін есептейді. PID логикасын кәдімгі автокөлік жүргізумен салыстырып түсіндірген оңай. Алда қиылыс бар, 90 градусқа бұрылу керек делік. «PID-і жақсы бапталған» жүргізуші рульді дәл керегінше бұрып, бұрылыстан жұмсақ өтіп, рульді бастапқы қалпына қайтарады. Тәжірибесіз жүргізуші, керісінше, рульді артық бұрап, кері қайыра бастайды, сосын тағы бұрайды - көлік екі жаққа «шайқалып» жүреді.

- **P (Proportional):** дәл қазір қаншалықты қатты жауап беретініңіз - бұрылысқа әлі қаншалықты кірмегеніңізге пропорционал. Яғни ағымдағы қате неғұрлым үлкен болса (керек бұрыштан алыс), руль соғұрлым қатты бұралады.
- **I (Integral):** біраз уақыттан бері бағыттан ауытқып келе жатқаныңызға реакция. Қате ұзақ уақыт кетпесе (мысалы, көлік баяу, бірақ табанды түрде қарсы жолаққа жылжып барады), I курсты қалай да түзеу үшін рульді бірте-бірте қаттырақ бұрайды.
- **D (Derivative):** тым күрт жұлқуларды басады және қатенің өсу жылдамдығына жауап береді. Руль тым күрт тартылып, көлік «шайқала» бастаса, D рульді кері қайтарып, P-ның өзі тудырған тербелістерді тегістейді.

Betaflight жеңілдетілген баптауға дайын слайдерлер ұсынады (Simplified Tuning), жаңадан бастаушыға солар әбден жеткілікті; Blackbox-логтар арқылы қолмен дәл баптау ұшу тәжірибесі жиналған сайын ғана мағыналы. Feed Forward (FF) басқару сигналына стик қозғалысының жылдамдығына тікелей пропорционал құраушыны қосады - бұл дронның реакциясын, әсіресе жылдам қозғалыстарда, өткірлеу етеді және Betaflight-тің әдепкі бойынша қосулы. Сондай-ақ бұл қойындыда бұрыштарды ұстау режимі Angle, оның күші (Strength) және максималды еңкею бұрышының шектеуі бапталады (әдепкі бойынша 60 градус, алғашқы ұшуларға оны шамамен 45 градусқа дейін төмендеткен ақылға қонымды, бұл - Angle Limit). Қосымша, батарея кернеуінің отыруын өтеу функциясын 100%-ға (Vbat Sag Compensation) және газ қисығын түзеу функциясын 30%-ға (Thrust Linearization) қосқан пайдалы - соңғысы әсіресе кішкентай дрондарға пайдалы.

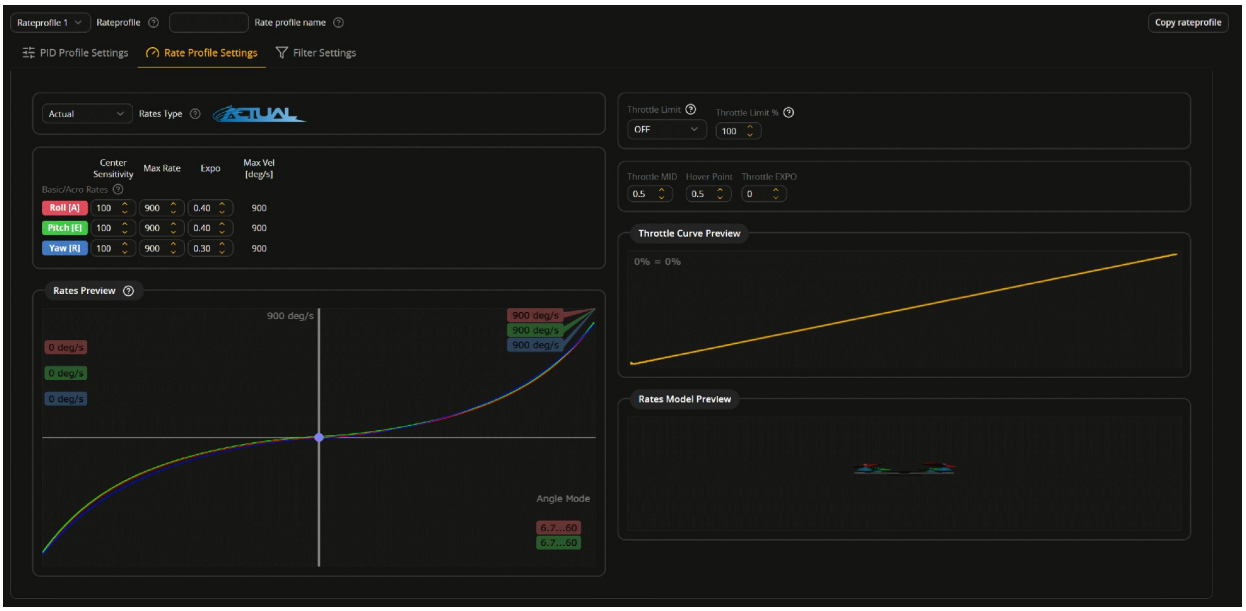
- **CHIRP-автотюнинг:** Betaflight-тің салыстырмалы жаңа мүмкіндігі, екі қадаммен жұмыс істейді. Алдымен Modes қойындысында CHIRP режимі тумблерге тағайындалады, дрон ұшуда әр ось бойынша басқарылатын қысқа тербелістер сериясын өзі жасап, бәрін Blackbox-логқа жазады. Кейін бұл логты конфигуратордың Autotune қойындысында ашады, ол нақты дронға PID коэффициенттерінің дайын мәндері мен Simplified Tuning слайдерлерінің қалпын ұсынады. Бұл ыңғайлы әрі қолмен баптаудан айтарлықтай жылдам, бірақ коэффициенттердің өзі нені білдіретінін түсінудің орнын бәрібір баспайды және ұшу тесттерін қауіпсіз жағдайда аса ұқыпты жүргізуді талап етеді. Autotune қойындысы тек сарапшы режимі қосулы кезде көрінеді, өйткені жүйені жақсы түсінетін тәжірибелі пайдаланушыларға арналған.



37-сурет. PID Tuning қойындысы: әр оське арналған PID, FF коэффициенттері және Simplified Tuning.

Rate Profiles: айналу жылдамдығы және экспоненталар

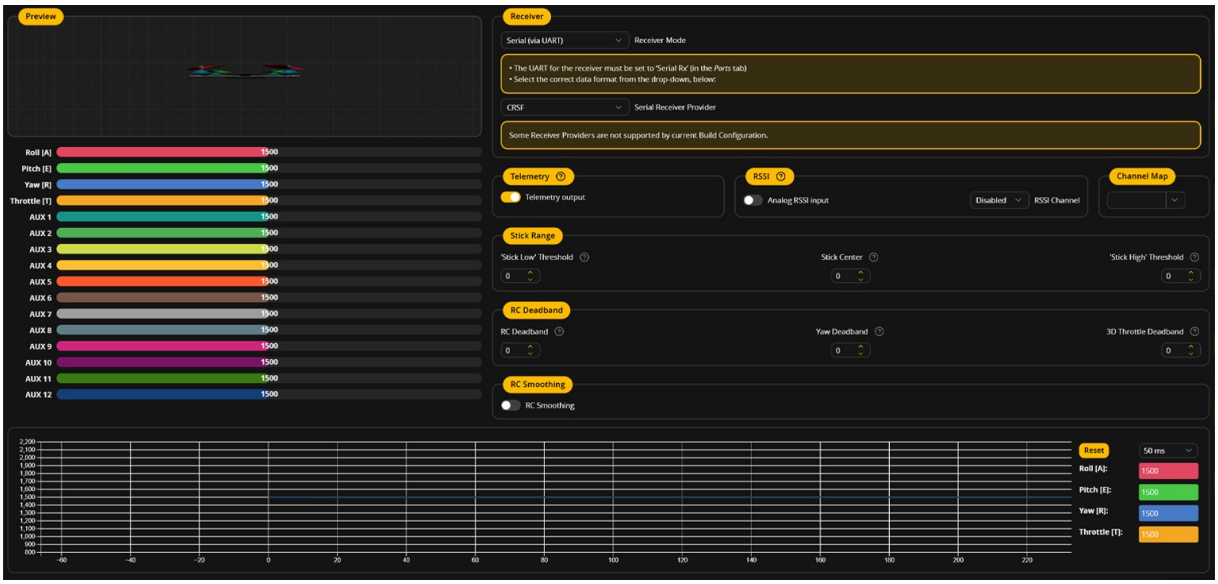
Rates стик әр ось бойынша толық бұрылғанда дронның қаншалықты жылдам айналатынын анықтайды - бұл енді тұрақтандыру туралы емес, басқарудың «өткірлігі» туралы. Экспонента (Expo) стик ортасына жақын шағын қозғалыстарға реакцияны жұмсартып, жүріс шеттерінде толық жылдамдықты қолжетімді қалдырады. Жаңадан бастаушыға төмендетілген rates пен жоғарылатылған экспонентадан бастау ұсынылады: бұл дронды басқаруда болжамды әрі жұмсақ етеді, алғашқы ұшуларда бұл әсіресе маңызды. Қауіпсіз мәндер: Roll және Pitch осьтері бойынша секундына 540 градус, Yaw осі бойынша секундына 360 градус, сондай-ақ Expo шамамен 0.5. Бөлек, осы қойындыда газ осінің баптаулары бар: Throttle MID және Throttle EXPO. Жаңадан бастаушыға оларды тимеген жөн: сызықтық газ биіктікті бақылауды оңайлатады. Және ескеріңіз: Throttle EXPO нөлге тең тұрғанда Throttle MID өздігінен ештеңеге әсер етпейді - бұл газ қисығының иілу нүктесі ғана.



38-сурет. Rate Profile қойындысы: дрон айналуын және стик экспоненталарын баптау.

Receiver: қабылдағышты баптау

Қабылдау протоколын көрсетіңіз: ExpressLRS байламы үшін бұл - UART арқылы Serial, CRSF протоколы. Арналар реті (Channel Map) де осы жерде беріледі: CRSF үшін ол әдетте AETR1234 (Aileron / Elevator / Throttle / Rudder) = (Крен / Тангаж / Газ / Рыскание) стандартына онсыз да сай, оны өзгертпеген жөн. Бұл қойындыда барлық арнаның тірі мәндерін нақты уақытта көру ыңғайлы. Төменде Stick баптаулар блогы бар: бұл арналарды масштабтау емес, Betaflight стиктің шетке жеткізілгенін немесе дәл ортада тұрғанын түсінетін шектер (олар, мысалы, стик командалары мен калибрлеуге керек); EdgeTX пен ExpressLRS байламы үшін зауыттық мәндерді өзгертудің қажеті жоқ. Сол жерде стиктердің өлі аймағы да бапталады (RC Deadband және Yaw Deadband). Әдепкі бойынша ол нөл, дұрыс жұмыс істейтін Hall-гимбалдарда солай қалдырған жөн: өлі аймақ стик жүрісінің бір бөлігін жеп қояды. Шағын мән қосудың мағынасы стиктер дәл ортаға оралмағанда немесе тыныштықта арна мәндері байқалып дірілдегенде ғана бар.



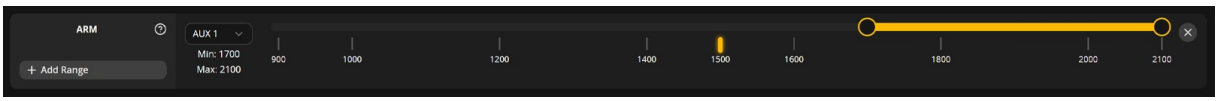
39-сурет. Receiver қойындысы: арналарды көрсету және қабылдағышты баптау.

Modes: режимдер мен тумблерлер

Шын мәнінде міндетті жалғыз режим - **ARM** (моторларды қосу). Оны ұшуда байқаусыз тиіп кету қиын тумблерге тағайындаңыз: тәжірибелі пилоттар іс жүзінде басқалардың қасындағы кішкентай тумблерді емес, пульт шетінен алшақ орналасқан бөлек қорғалған батырманы ұсынады - саусақ оңай сырғып кетеді, ал ауадағы кездейсоқ дизарм дронды жоғалтумен аяқталады.

- **Angle:** ең қарапайым ұшу режимі: FC горизонтты өзі ұстайды және максималды еңкею бұрышын шектейді, жіберілген стиктер дронды горизонтқа түзейді. Биіктікті басқару бұл ретте қолмен, тікелей газ арқылы. Барлық жаңадан бастаушы Angle-ден бастайды, сипаттамасы алғашқы ұшу тарауында.
- **Horizon:** Angle мен Acro гибриді: стик жүрісінің ортасында горизонтқа өздігінен түзелу жұмыс істейді, ал жүріс шеттерінде дрон толыққанды акробатикалық режимдегідей еркін айналуға мүмкіндік береді.
- **Air Mode:** Configuration-да тұрақты қосылмаған болса, осында бөлек тумблерге тағайындалады; нөл газдың өзінде тұрақтандыруды белсенді ұстайды. Жаңадан бастаушыларға оны Configuration-да тұрақты қосып қойған дұрыс.
- **Beeper:** жоғалған дронды дыбыспен іздеуді қосады: пульт командасымен моторлар немесе қосылған шыңғырғыш (buzzer) шыңғыра бастайды.
- **GPS Rescue:** пилот дронды үйге қауіпсіз қайтарғысы келетінін өзі шешсе, қайту режимін қолмен қосатын бөлек тумблер.
- **Position Hold / Alt Hold:** бұл опциялар прошивка жазғанда қосылған болса және барометрі бар GPS тұрса, стиктер ортаға жіберілгенде дрон ауадағы орнын көлденеңінен және/немесе биіктігін тігінен ұстап тұрады.

- **Autopilot:** Betaflight 2026.6-да маршрут нүктелері (waypoints) бойынша ұшатын автопилоттың алғашқы жасалымдары пайда болды. Әзірге бұл болашаққа арналған дайындама ғана: әзірлеушілер функцияның эксперименттік екенін, тек симуляторда тексерілгенін және нақты ұшуға дайын емесін тіке ескертеді, ал прошивканың өзі Autopilot режимі қосулы тұрғанда моторларды армдауға тыйым салады. Нақты дронда әзірше қолдануға болмайды.
- **Режимдерді тек газ стигінің орта қалпында, дрон биіктігін өзгертпей тұрғанда ғана ауыстырыңыз.** Минималды немесе максималды газда режим ауыстыру (мысалы, қосулы тұрған Angle-ге Alt Hold қосу және кері қайтару) дронның күрт әрі мүлдем күтпеген секіруі мен аударылуына әкелуі мүмкін, ал газдың орта қалпы ауадағы кез келген ауыстыруға қауіпсіз.

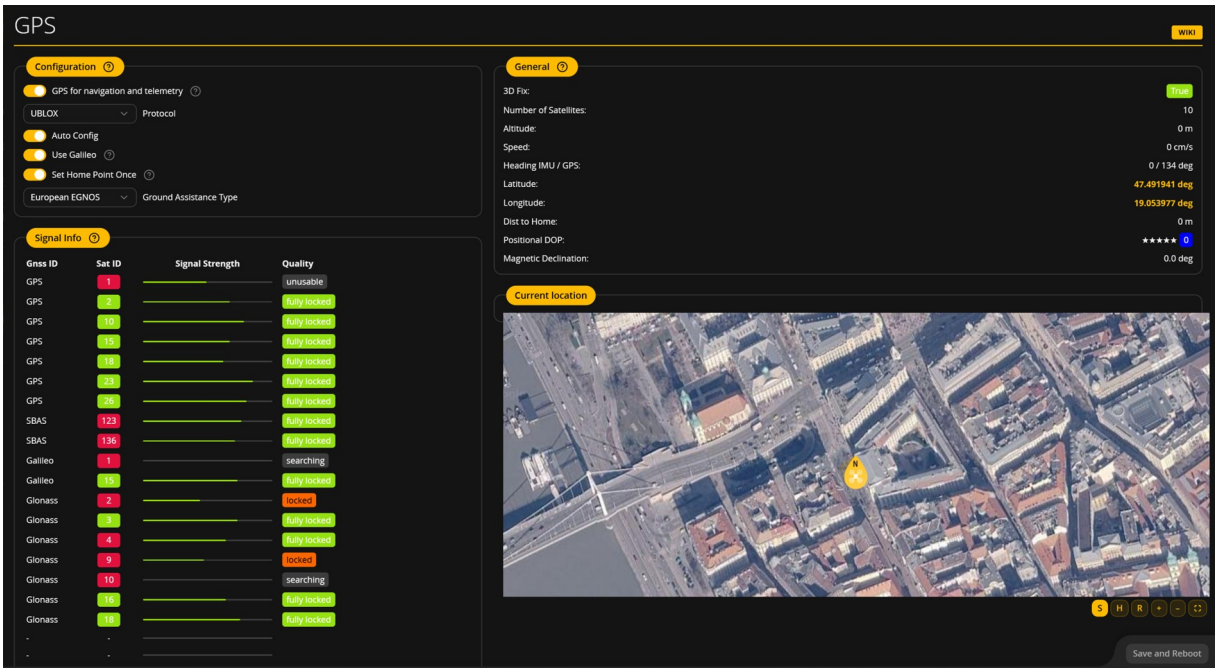


40-сурет. Modes қойындысында ARM режимін пульт тумблерлеріне тағайындау.

GPS: позициялау модулін баптау

GPS-модульді қосымша опция деп санамаған жөн: бағасы мүлдем қымбат емес, u-blox M10 чипіндегі бюджеттік модульге шамамен 10-15 доллар, ал сақтандыратыны - жаңадан бастаушының хоббиден алған әсерін ең жиі бүлдіретін дәл сол жағдай: дрон тәжірибесіздіктен тым алысқа, тым аласаға немесе көріну шегінен тыс ұшып кетті, байланыс үзілді - GPS Rescue болмаса, аппарат Failsafe-те белгіленген газ деңгейімен жай құлап зақымдалады, оны кейін табу өте қиын болады (GPS Rescue егжей-тегжейін жоғарыдан, Failsafe қойындысынан қараңыз).

Модульмен байланыс протоколы осында бапталады (әдетте UBLOX, ол автоматты анықталады). Спутниктермен жақсырақ қамту үшін, нақты модуль қолдаса, бірден бірнеше навигация топтамасының (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou) қолдауын қосу ұсынылады. 5-7 дюймдік кішкентай жарыс рамаларында компас (магнитометр) іс жүзінде пайдасыз: күштік сымдардан, 4-і 1-де ESC-тен және батареяның өзінен келетін магниттік кедергілер компасты орнатуға болатын кез келген ақылға қонымды орынға тым жақын және оның көрсеткіштерін компас калибрлеумен түзей алатыннан қаттырақ бұрмалайды. Сондықтан пилоттардың басым көпшілігі GPS-пен, бірақ мүлдем компассыз ұшады - бұл стандартты әрі жұмыс істейтін конфигурация: Position Hold ондайда да жұмыс істейді, тек FC курсты дронның орын ауыстыруы бойынша анықтайды, оны қосар алдында тұмсықты алға қаратып түзу бойымен бірнеше секунд ұшу керек (толығырақ компоненттер тарауында).

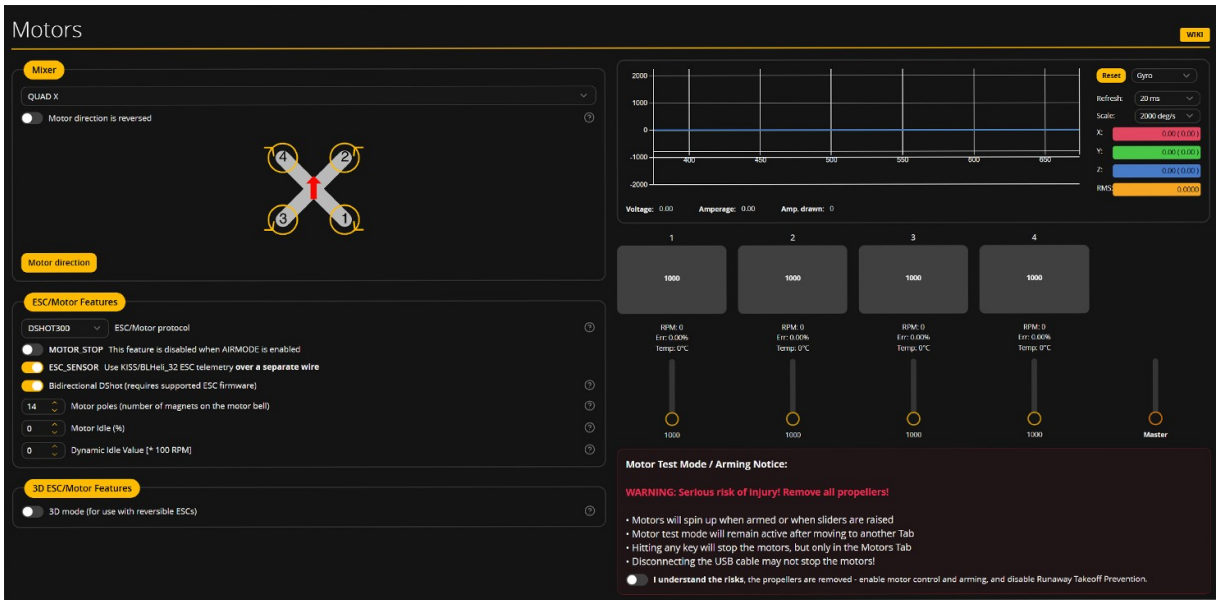


41-сурет. GPS қойындысы: GPS Rescue үшін позициялау модулін баптау.

Motors: тексеру және айналу бағыты

Бұл қойындыда әр моторды жеке жүгірткілермен қауіпсіз тексеруге болады, бұл ретте пропеллерлер міндетті түрде шешілген болуы керек. Motor Idle де осында бапталады - ARM қосулы және нөл газ кезіндегі мотор айналымының минималды пайызы: тым төмен мән күрт маневрлерде мотордың ауада тоқтап қалуына, тым жоғарысы - көтерілгенде дронның жағымсыз «секіріп кетуіне» әкелуі мүмкін. Зауыттық мән - 5.5%, көпшілік жинаққа солай қалдырады; іс жүзіндегі реттеу диапазоны нақты моторлар мен пропеллерлерге қарай шамамен 5-8%.

- **Motor Direction:** осы қойындыдағы бөлек батырма ESC-те сымдарды қайта дәнекерлемей-ақ кез келген мотордың айналу бағытын бағдарламалық түрде өзгертуге мүмкіндік береді. Motor Direction Wizard құралын қолдануға болады: ол қадам-қадаммен, мотордан моторға өтіп, дұрыс бағытты белгілейді әрі сонымен бірге әр мотордың ESC-тегі өз разъеміне дұрыс қосылғанын тексереді; немесе қайсысы шатасқанын дәл білсеңіз, әр мотордың айналу бағытын жеке-жеке қолмен өзгертуге болады.
- **Bidirectional DShot және Motor Poles:** екі бағытты DShot-ты міндетті түрде қосыңыз және мотор қоңырауындағы магнит санын көрсетіңіз (Motor Poles: 2207 және соған жақын өлшемді моторларда - 14). Гироскоп сигналын бәрінен қатты тазартатын мотор айналымы бойынша сүзгі (RPM filter) дәл осы деректермен жұмыс істейді. Магнит саны қате болса, айналым қате есептеледі, сүзгі тиісінше жұмыс істемейді.



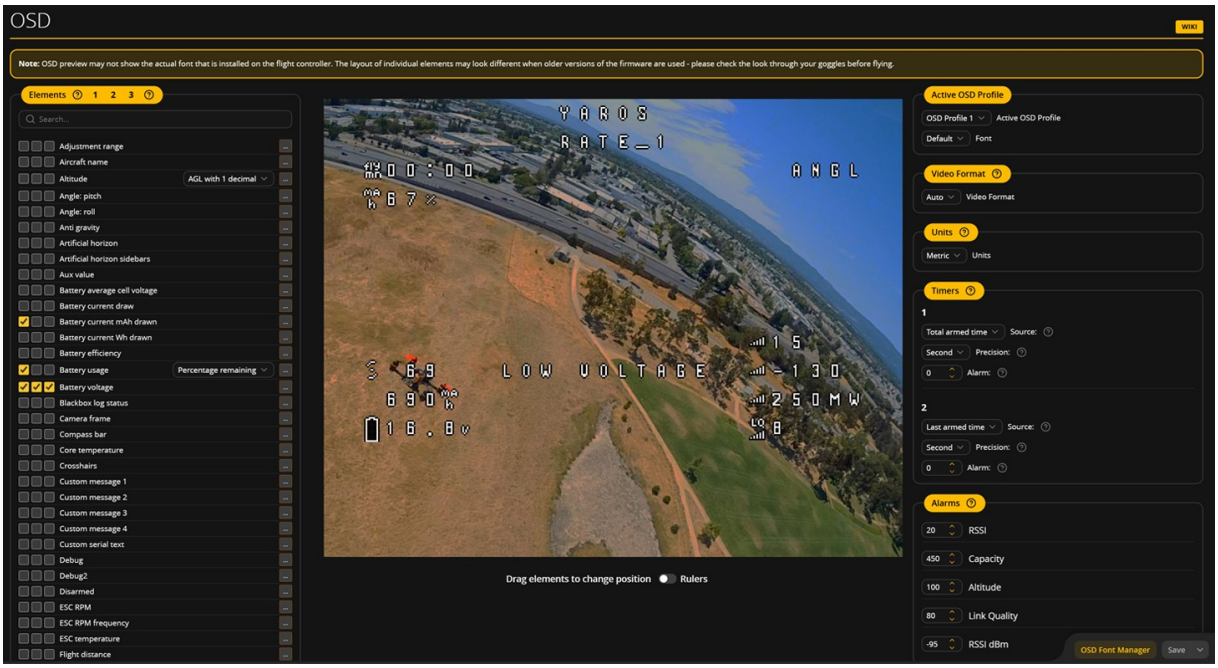
42-сурет. Motors қойындысы: моторларды тексеру, Motor Idle және Motor Direction диалогы.

OSD: экрандық телеметрия

Пилот көзілдірігіндегі бейне үстіндегі көрнекі телеметрия элементтерінің орналасуы осында бапталады: керек элементтер құсбелгілермен қосылады, содан кейін алдын ала қарау терезесінде тышқанмен сүйреп қойылады. Сондай-ақ бірнеше OSD орналасымын баптап, оларды басқару пультіндегі тумблермен ауыстырып отыруға болады.

- **Қаріпті ауыстырыңыз:** стандартты OSD қаріпі едәуір ұсақ және нашар оқылады, әсіресе аналогтық жүйеде, көзілдіріктің шағын экранында. Оны қаріп баптауларында (Font Manager) ірілеу бірдеңеге ауыстырыңыз, мысалы Bold, Large немесе Clarity - ұшудағы оқылу айырмашылығы орасан. Ескеріңіз: Font Manager тек аналогтық OSD үшін жұмыс істейді; цифрлық жүйелерде қаріп көзілдірік немесе air unit-тің өз жағында беріледі.
- **Ескертулерді қосыңыз (Alarms және Warnings):** кем дегенде батареяның төмен кернеуі, әлсіз RSSI, ARM тыйымы және Failsafe туралы ескертулерді: олар параметрлер қауіпсіз шектен шыққан дәл сол сәтте сурет үстіне ірі мәтінмен шығады және ұшудан алаңдамай-ақ оңай байқалады.
- **Элементтердің минималды жинағы:** батарея кернеуі (Battery Voltage, бір банкаға шаққанда да болады), байланыс сапасы (Link Quality) және сигнал деңгейі (RSSI dBm value) - ExpressLRS-пен біріншісі ақпараттырақ, GPS көрсеткіштері (GPS Sats), биіктік (Altitude), жасанды горизонт (Artificial horizon), нысана белгісі (Crosshairs), ұшу режимі (Fly mode), үйге дейінгі бағыт пен қашықтық (Home direction және Home distance), газ деңгейі (Throttle position), вариометр (Numerical vario) және барлық ескертулер (Warnings), сондай-ақ ұшу статистикасы (Post Flight Statistics) - максималды биіктік пен жылдамдықты,

жүріп өткен жалпы қашықтық пен үйден алшақтауды, сондай-ақ жалпы ұшу уақытын көрсетеді, бұл ұшудан кейін прогресті бақылауға ыңғайлы.



43-сурет. OSD қойындысы: қаріпті, ескертулерді таңдау және телеметрия элементтерінің бейнедегі орналасуы.

Blackbox: ұшу логтарын жазу

Blackbox құралы ұшудың егжей-тегжейлі логын (датчик көрсеткіштерін, басқару командаларын, PID жұмысын) не платаның кірістірілген флеш-жадына, не microSD жад картасына жазады. CHIRP-автотюнингке және пилот тәжірибесі өскен сайын PID-ті қолмен дәл баптауға дәл осы логтар қолданылады. Жазылған деректерді графикалық талдауға конфигуратордың Blackbox Viewer қойындысы қызмет етеді. Екі қойындыны шатастырмаңыз: Blackbox жазуды баптап, логтарды платадан жүктеп алады, ал Blackbox Viewer оларды ашып, графиктер салады.

- **Дрон жақсы бапталып болғаннан кейін** Blackbox-та барлық дерек өрісінің жазуы қосулы күйде үнемі ұшпаған жөн: бұл жад пен процессорға артық жүктеме. Жазуды тек мақсатты тест ұшуларының уақытына ғана қосулы қалдырған (мысалы, CHIRP-автотюн алдында немесе нақты проблеманы талдағанда), жазылатын өрістер жинағын мүмкіндігінше талдауға шынымен керегімен ғана шектеген, сондай-ақ жазу жылдамдығын (Logging Rate) минималды қажеттіге дейін төмендеткен ақылға қонымды.

CLI: баптаулардың резервтік көшірмесі

Кез келген байыпты экспериментке кіріспес бұрын дронның барлық баптауының резервтік көшірмесін міндетті түрде сақтап алыңыз. CLI қойындысында (конфигуратордың командалық жолы) төрт негізгі команда бар.

- **diff all** - тек зауыттық баптаулардан өзгеше мәндерді ғана көрсетеді; резервтік көшірменің ықшам әрі ең ыңғайлы нұсқасы, конфигурацияларды басқа пилоттармен бөлісуге де жарайды.
- **dump all** - әдепкі FC параметрлерін қоса алғанда, барлық баптаудың толық дампын шығарады; жаңа нұсқаларға жаңартқанда пайдалы, бірақ басқа модельдегі FC-ге жүктемеген жөн.
- **save** - баптаулардың барлық өзгерісін энергияға тәуелсіз жадқа сақтап, ұшу контроллерін қайта жүктейді.
- **help және help аты** - барлық қолжетімді команданың қысқаша сипаттамасы бар тізімін, сондай-ақ нақты команданың егжей-тегжейлі сипаттамасын шығарады.

Мына команданың шығысын мәтіндік файлға көшіріңіз: **diff all** - және файлды компьютерде сақтаңыз. Конфигурацияны қалпына келтіру үшін прошивкасы жазылған платада CLI қойындысын ашып, алдымен мына команданы орындаңыз: **defaults** (зауыттық мәндерге толық қайтару, әйтпесе ескі және жаңа баптаулар араласып кетеді), содан кейін сақталған бүкіл мәтінді енгізу өрісіне бір блокпен қойып, Enter басыңыз - CLI барлық команданы жол-жолымен орындап, сақталған конфигурацияны бірнеше секундта қалпына келтіреді; осыдан кейін мына команданы енгізіңіз: **save** - және қайтадан Enter басыңыз. Бұл әсіресе іркілістерден, баптаулардың қате қайтарылуынан (Reset to Defaults) кейін немесе тексерілген конфигурацияны жаңа дронға көшіргенде көмекке келеді. Сондай-ақ CLI интерфейсі конфигуратордың графикалық интерфейсінде жоқ баптаулардың толық жинағына мына командалар арқылы қолжетімділік ашады: **get** және **set** - алайда мұндай функциялар тек өте тәжірибелі пилоттар мен әзірлеушілерге ғана қажет.

EdgeTX баптау (ақ-қара экранды пульт)

EdgeTX - басқару пульттеріне арналған ең танымал ашық прошивка. Бұл тарау ең қолжетімді әрі кең таралған ақ-қара (монохромды) экранды пульттерге бағытталған. Түрлі-түсті экрандардың баптау логикасы дәл сондай, тек мәзірлері көзге басқаша көрінеді. Басқару пультін жылдамырақ баптау үшін компьютерге арналған EdgeTX Companion қосымшасын қолдануға болады: https://edgetx.org/getedgetx/.

Пульт прошивкасын жаңарту

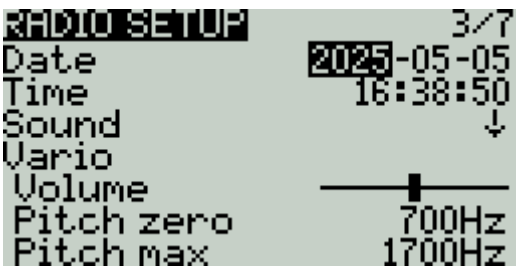
1. Ресми көмекші сайтқа кіріңіз: https://buddy.edgetx.org/ - онда прошивкалардың барлық өзекті нұсқасы және нақты пульт модельдеріне арналған қадамдық нұсқаулықтар жиналған.
2. Пультіңіздің нақты моделін және EdgeTX-тің соңғы нұсқасын таңдаңыз.

3. Пультті DFU/Bootloader режиміне ауыстырыңыз; кіру тәсілі әр модельде әртүрлі (әдетте қосқан кезде белгілі бір батырманы немесе олардың комбинациясын басып тұру), нақты нұсқаулықты өндіруші сайты көрсетеді.
4. EdgeTX Buddy веб-интерфейсінен тікелей USB арқылы прошивка жазыңыз.
5. Сол веб-сервис арқылы пульттің microSD-картасының мазмұнын да жүктеуге болады: дыбыстар, интерфейс тілі, безендіру тақырыптары, ExpressLRS-ке арналған скрипттер.

Radio Setup: пульттің жалпы баптаулары

Нақты дронға модель жасамас бұрын Radio Setup бөлімінен бір рет өтіп шыққан жөн: ол жеке модельдің ғана емес, тұтас пульттің өз баптауларына жауап береді.

- **Стик режимі (Mode):** FPV-дрондар үшін бұл - Mode 2, әлемдік стандарт (газ бен рыскание - сол жақта, газдың өздігінен ортаға оралуы жоқ; крен мен тангаж - оң жақта), ТМД елдеріндегі ең кең таралған таңдау да осы. Стик режимін оқудың басында бір рет саналы түрде шешіп алыңыз: кейін басқа режимге үйрену бұлшықет моторикасын толық қайта құруды талап етеді.
- **Жалпы параметрлер:** осы жерде регион (жергілікті жиілік шектеулеріне сай болу үшін маңызды), өлшем бірліктері, дыбыс қаттылығы, экранның жарықтығы мен контрастылығы бапталады. Кірістірілген аккумулятордың заряд индикаторын калибрлеу (Batt. Calib) көрші Hardware қойындысында тұр.
- **Стиктер мен тумблерлерді калибрлеу:** Hardware → Calibration бөлімінде экрандағы кеңестерге еріңіз. Hall-датчиктегі барлық дерлік пультке, оның ішінде бюджеттік RadioMaster-ге де өзекті маңызды практикалық сәт: стиктердің өзін крест тәрізді қозғалыспен (ортадан тірелгенше қатаң жоғары, төмен, солға, оңға және кері) калибрлеу керек, квадрат контурымен айналдыра емес. Бюджеттік Hall-гимбалдардың жүріс шеттері сәл «қисайған», контурмен айналдыра калибрлеу адал квадраттың орнына қисайған рұқсат етілген мәндер аймағын береді; орта арқылы крестпен қозғалу айтарлықтай дәлірек әрі болжамдырақ нәтиже береді.



44-сурет. Radio Setup экраны: пульттің жалпы баптаулары.



45-сурет. Стиктер мен потенциометрлерді калибрлеу экраны.

ExpressLRS-ке арналған ішкі және сыртқы радиомодуль

Пультіңізде ExpressLRS кірістірілген болса, пульттің жүйелік мәзірінде (SYS батырмасы) Hardware бетінде Internal RF Type = CRSF таңдаңыз. Ал сыртқы ExpressLRS модулі қолданылса, дәл сондай баптау Model Setup → External RF ішінде жасалады.

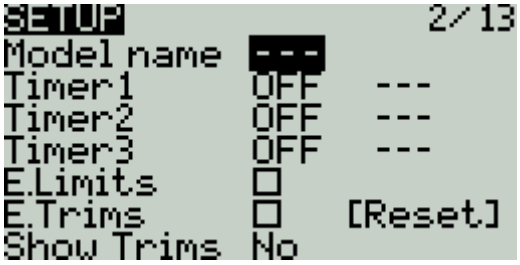
Жаңа модель жасау

EdgeTX терминологиясындағы модель - нақты дронға (немесе басқа радиобасқарылатын модельге) арналған баптау профилі: өз микстері, калибрлеулері, тумблер тағайындаулары. Әр дронға бөлек модель жасаған жөн.

1. Model Select экранын ашыңыз (әдетте MDL/Model батырмасы).
2. Бос слотты таңдап, Enter → Create Model басыңыз.
3. Басқа дрондармен шатастырмау үшін модельге түсінікті ат қойыңыз.



46-сурет. Model Select экраны: модельдер тізімі.



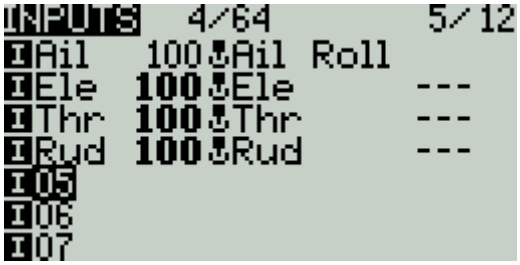
47-сурет. Модельдің Setup экраны: аты, параметрлері.

Қабылдағышты Bind (байланыстыру)

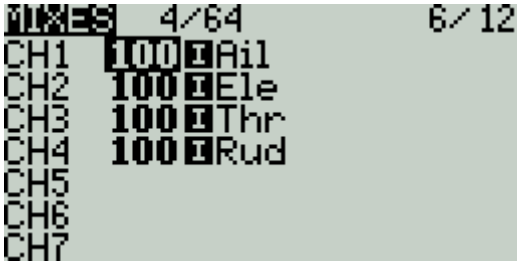
ExpressLRS байламында қабылдағышты пультпен байланыстыру ExpressLRS тарауында егжей-тегжейлі сипатталған екі тәсілдің бірімен жасалады: бірегей Binding Phrase арқылы (заманауи жабдықта ұсынылатын тәсіл), немесе дәстүрлі power cycle bind арқылы (пульт өшіріледі, қабылдағышқа қатарынан үш рет қорек беріліп, 2 секундқа жетпей ажыратылады - ол жарықдиодтың жылдам қос жыпылықтауымен байланыстыру режиміне кіргенше; содан кейін пульт қосылады және кірістірілген ExpressLRS скрипті арқылы байланыстыру іске қосылады; сәтті болса қабылдағыш жыпылықтамай бірқалыпты жанады, осыдан кейін скрипттен шығуға болады).

Inputs → Mixer → Outputs: арналарды баптау

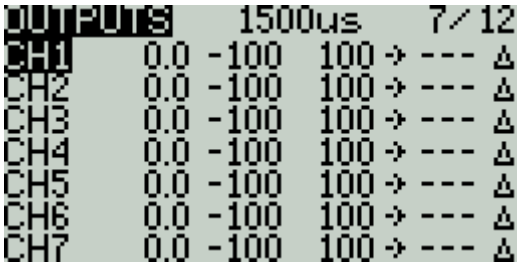
EdgeTX-те арналарды баптау дәл мына реттегі үш логикалық кезеңнен өтеді: Inputs қай физикалық стик немесе тумблер бастапқы кіріс мәнін қалыптастыратынын анықтайды; Mixer кірістерді радиоэфирге кететін қорытынды арналарға біріктіреді; Outputs әр шығыс арнаға соңғы шектеулерді (реверс, шеткі нүктелер, subtrim) белгілейді.



48-сурет. Inputs экраны: физикалық стиктерді логикалық кірістерге байланыстыру.



49-сурет. Mixer экраны: кірістер мен тумблерлерді басқару арналарына біріктіру.



50-сурет. Outputs экраны: әр арнаға диапазон мен реверсті баптау.

Мультикоптерге арналған стандартты арна орналасымы

Ерекше себеп болмаса, жаңадан бастаушылар ұшуды бастауға тиіс стандартты әрі ұсынылатын арна орналасымын талдайық.

Арна	Міндеті	Түрі
1-4: AETR	Roll, Pitch, Throttle, Yaw Крен, Тангаж, Газ, Рыскание	Пульт стиктері
5: ARM	ARM және DISARM Моторларды қосу және тоқтату	Екі позициялы тумблер немесе бекінетін батырма
6: MODE	Betaflight режимдері Angle, Altitude, Position Hold	Үш позициялы тумблер
7: AUX1	GPS Rescue режимін мәжбүрлеп қосу	Екі позициялы тумблер
8: AUX2	Beeper функциясы Дронды дыбыспен іздеу	Екі позициялы тумблер

Назар аударыңыз: ARM дәл бесінші арнада тұр. ExpressLRS-те бұл арна әр пакетте минималды кідіріспен беріледі, сондықтан дизарм дәл осы арнада бәрінен сенімді іске қосылады - оны басқа арнаға көшірмеген жөн. ARM арнасына мүмкіндігінше басқалардың қасындағы қарапайым тумблерді емес, бекінетін (сырт етіп жабылатын) бөлек батырманы қолданыңыз: мұндай тумблерге кездейсоқ тиіп кету физикалық тұрғыда қиынырақ, әрі бұл - рефлекторлық емес, саналы әрекет. Бұл көтерілуде ғана емес, қонуда да аса маңызды. Жаңадан бастаушының шиеленісті ұшудан кейін қолы жиі сәл дірілдейді, толық қонғанға дейін дизармды тым ерте басып қалу азғырығы бар - бұл дронды биіктіктен құлатады. ARM тумблері ұшудың кез келген сәтінде саусақтың кездейсоқ емес, саналы қозғалысын талап етуі керек. Кейде осы мәселені шешу үшін екі физикалық тумблерді бір логикалық тумблерге (Logical Switch) біріктіреді.

- **Дронды басқаратын барлық стиктің триммерлерін (trim) өшіріңіз:** бұл газға ғана емес, жалпы барлық оське қатысты - крен, тангаж және рысканиені қоса, тіпті акробатикалық режимде (Acro) ұшсаңыз да. Радиобасқарылатын ұшақтардан айырмашылығы - коптерге кез келген ось бойынша нейтралдың жылжуы әрқашан кедергі. Триммерлер Inputs және Flight Modes бөлімдерінде өшіріледі.
- **FPV-коптердің экспонентасын (Expo) пультте емес, ұшу контроллерінің өзінде баптаған дұрыс:** бұл - жақсы практика: пульт кірістеріндегі (Inputs) баптауларды сызықтық қалдырып (экспонентасыз және толық салмақтармен), стик реакция қисықтарының бүкіл дәл баптауын Betaflight конфигураторының Rate Profile қойындысында жасаған дұрыс, тиісті тарауды қараңыз. Бұл

әлдеқайда ыңғайлы: ұшудың барлық параметрі бір жерде, қалған PID және rates баптауларымен бірге сақталады.

Пульттің ұшу режимдері (Flight Modes): Betaflight-пен шатастырмаңыз

EdgeTX-те пульттің өзінің бірнеше «ұшу режимін» (Flight Modes) баптауға болады, мысалы, әртүрлі ұшу жағдайына әртүрлі экспонентамен немесе арна шектеуімен. Мынаны анық түсіну маңызды: пульттің ұшу режимдері (Flight Modes) мен Betaflight-тің ұшу режимдері (конфигуратордың Modes қойындысында тағайындалатын Angle/Horizon/Acro) - бір-бірімен тікелей еш байланысы жоқ мүлдем екі бөлек нәрсе, тек атаулары ұқсас. Жаңадан бастаушыға бастапқыда пульттің жалғыз, ең бірінші, базалық режимін (Flight Mode 0) қолданып, онда жай триммерлерді өшіріп қою жеткілікті. Ал Betaflight режимдерін (Angle/Horizon/Acro) ауыстыру Mixer экраны арқылы нақты физикалық тумблерге бапталады, режимдердің өз логикасы алғашқы ұшу тарауында талданады.

Pre-start Checks

Бұл - пультті қосқанда және модельді жүктегенде EdgeTX көрсететін ұшу алдындағы тексерулер (мысалы, «газ төменгі қалыпта емес» немесе «ARM тумблері дұрыс емес күйде»): пульт қауіпсіз бастапқы күйге келтірілмейінше, дронды басқаруға кездейсоқ өтуге жол бермейді. Модельдің басқа параметрлерімен бірге Model Setup ішінде бапталады. Checklist те сол жерде қосылады - модельді таңдағанда пульт көрсететін өз мәтіндік чек-листіңіз.



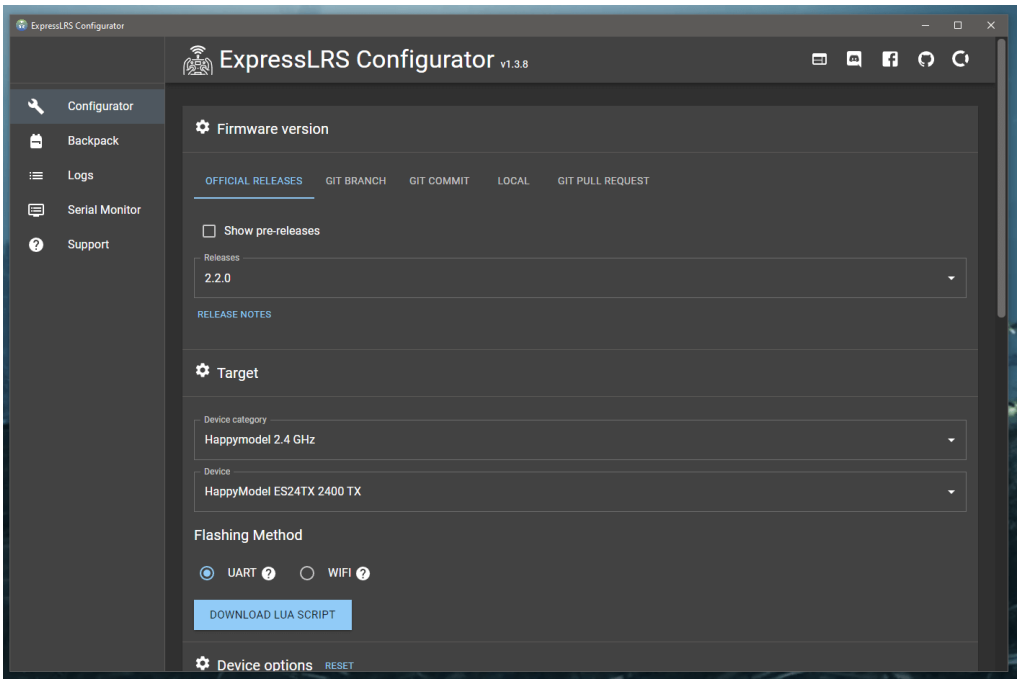
51-сурет. Pre-start Checks экраны: пультті қосқандағы ескертулер.

ExpressLRS баптау

ExpressLRS (ELRS) - пультті дрондағы қабылдағышпен жалғайтын ашық радиожүйе. Оның бөлек-бөлек прошивка жазып, баптау керек екі физикалық компоненті бар: пульттің радиомодулі (TX) және дронның қабылдағышы (RX). Баптау алдында екі компоненттің де - пульт модулінің де, қабылдағыштың да - прошивкасын жаңартқан жөн: әртүрлі прошивка нұсқалары кейде функциялар бойынша қақтығысады.

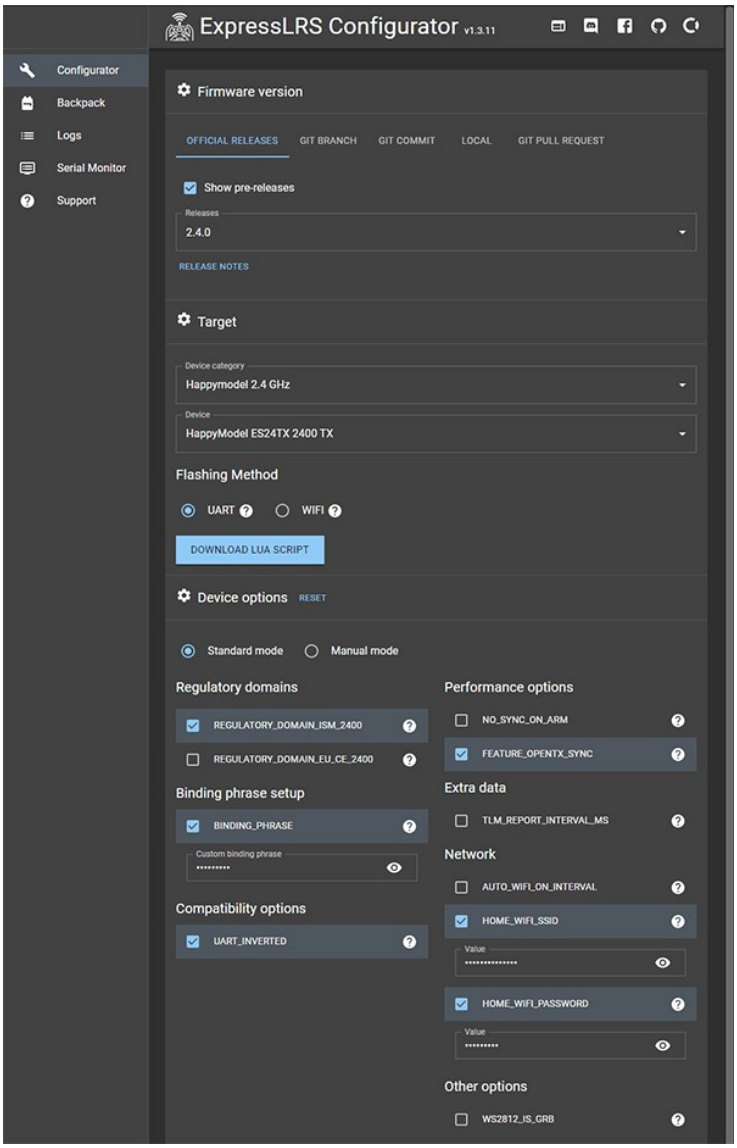
ExpressLRS Configurator арқылы прошивка жазу

1. Ресми десктоптық ExpressLRS Configurator-ды жүктеп алыңыз: https://www.expresslrs.org/quick-start/installing-configurator/ - жаңадан бастаушыға прошивка жазудың ұсынылатын әрі ең тұрақты тәсілі. Балама Web Flasher веб-қосымшасы да бар: https://expresslrs.github.io/web-flasher/ - оның ыңғайлылығы: орнатуды қажет етпейді және тікелей браузерде жұмыс істейді.
2. Пульт радиомодулінің (TX) немесе қабылдағыштың (RX) нақты моделін, сондай-ақ ExpressLRS прошивкасының керек нұсқасын таңдаңыз.



52-сурет. ExpressLRS Configurator: жабдық пен прошивка нұсқасын таңдау.

3. Regulatory Domain-ды - прошивканың жиілік доменін - белгілеңіз. 2.4 ГГц үшін ISM 2400 таңдаңыз, ал Еуропа мен нормалары ұқсас елдерге қуаты шектелген EU CE 2400 нұсқасы бар. Маңызды: домен пультте де, қабылдағышта да бірдей таңдалуы керек, әйтпесе олар жай байланыспайды.
4. Binding Phrase-ды - қолмен байланыстыру процедурасын алмастыратын бірегей фразаны - белгілеңіз (төменнен қараңыз). Дәл осы фраза пультке де, қабылдағышқа да прошивка жазғанда көрсетіледі.



53-сурет. 2.4 ГГц пульт радиомодулінің (TX) прошивка опциялары.

- **UART_INVERTED:** ESP32 негізіндегі радиомодульдерге (мысалы, танымал RadioMaster пульттеріне кірістірілгендерге) әрдайым дерлік қажет; қажеттілігін нақты модель бойынша нақтылаңыз.
- **UNLOCK_HIGHER_POWER:** жоғарылатылған тарату қуатын ашатын опция; салқындатумен қолданыңыз, модульдің қызуын арттырады.

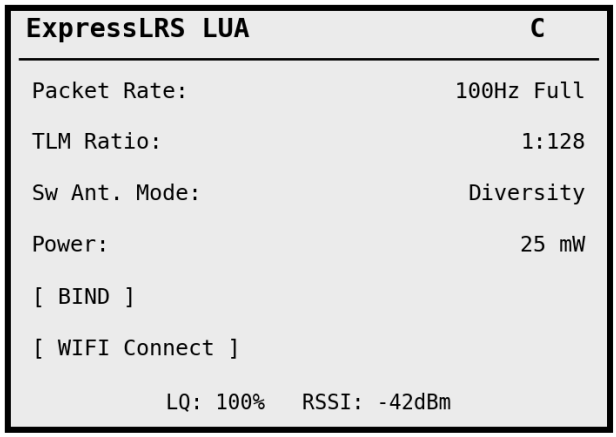
Пакет жиілігі (Packet Rate) және арна саны

Пульттегі ExpressLRS баптауларында (Lua-скрипт арқылы, төменнен қараңыз) байланыстың жаңару пакет жиілігін және бір мезгілде берілетін арна санын таңдауға болады. Төмен жаңару жиіліктерінде RX қабылдағышының сезімталдығы жақсарады, тиісінше сигнал беру қашықтығы артады, алайда кідіріс өсіп, жауап беру жылдамдығы нашарлайды - бұл жайбасар ұшақтарға жарайды, бірақ жылдам да маневрлі FPV-дрондарға жарамайды. 2.4 ГГц типтік жинаққа ақылға қонымды

бастау нүктесі - 250 Hz: реакция онсыз да жылдам, ал қарапайым ұшуларға қашықтық қоры молынан жеткілікті. Басқару өткірлігі емес, қашықтық керек болса, 150 Hz немесе 50 Hz алыңыз. Радиобасқарудың сегіз арнасы бұл ретте барлық керек функцияға (ARM, ұшу режимдері, GPS Rescue, дыбыспен іздеу) жетеді, яғни пульт тумблерлерінің санын үнемдеуге тура келмейді.

Пульттегі ExpressLRS Lua-скрипті

ExpressLRS Lua-скрипті - TX радиомодулін компьютерге қоспай-ақ, тікелей пульт экранынан басқаруға арналған EdgeTX-ке кірістірілген мәзір. Жүйелік мәзір арқылы ашылады (пульт моделіне қарай SYS батырмасы немесе MENU-ді басып тұру). Ол арқылы компьютерсіз байланыстыру (Bind) жасауға, пакет жиілігі мен тарату қуатын баптауға, сондай-ақ қосылым статусы мен қабылдағышпен байланыс сапасын қарауға болады.



54-сурет. Пульт экранындағы ExpressLRS Lua-скриптінің интерфейсі.

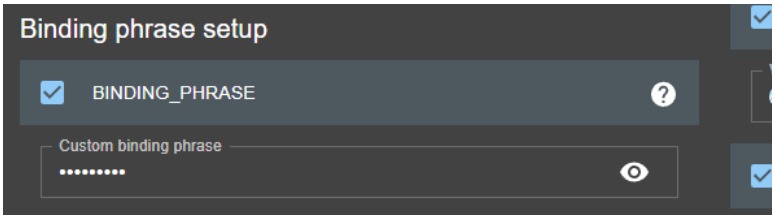
Bind (байланыстыру)

Байланыстыру - нақты қабылдағыштың нақты пультпен бір реттік «танысуы»: бұдан былай олар бірден қосылатын болады. Негізгі әдіс екеу, олар төменде талданған. Қабылдағышқа физикалық жету ыңғайсыз болса, оны байланыстыру режиміне ауыстырудың тағы екі қосымша тәсілі бар: Betaflight конфигураторындағы Receiver қойындысындағы «Bind Receiver» батырмасы және қабылдағыштың өзіндегі батырманы жарты секундтай емес, шамамен бір жарым секунд басып тұру. Содан кейін басқару пультіндегі Lua-скрипт интерфейсінде BIND батырмасы басылады.

1-тәсіл: Binding Phrase (ұсынылады)

Пульт модуліне де, қабылдағышқа да прошивка жазғанда бір ғана бірегей Binding Phrase (мәні бойынша пароль сияқты) белгіленген болса, олар алғаш қосылғанда

ешқандай қосымша әрекетсіз автоматты жалғанады. Бұл - ең сенімді әрі ыңғайлы тәсіл, әсіресе FPV-дегі жаңадан бастаушыларға.



55-сурет. ExpressLRS Configurator-дағы Binding Phrase енгізу өрісі.

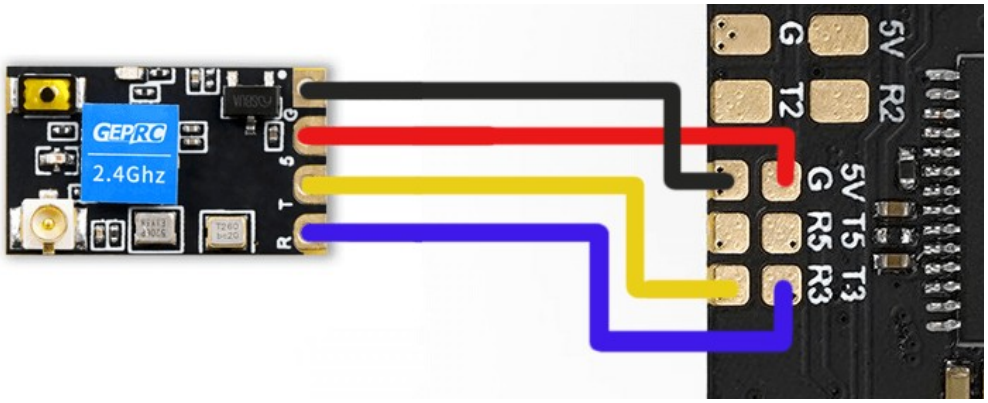
2-тәсіл: power cycle арқылы дәстүрлі байланыстыру

1. Қабылдағышқа қорек беріп, 2 секундқа жетпей ажыратыңыз, осылай қатарынан үш рет қайталаңыз (power-cycle). Қабылдағыш байланыстыруды күту режиміне өтеді - мұны жарықдиодтың үзіліспен қос жыпылықтауынан көруге болады.
2. Пультте жүйелік мәзір арқылы ExpressLRS Lua-скриптін ашыңыз.
3. Lua-скриптте BIND басыңыз: қабылдағыш жарықдиодтың бірқалыпты (жыпылықтамайтын) жану күйіне өтуі керек - бұл байланыстырудың сәтті болғанын растайды.

Қосылымның орнағанын тікелей пульттегі Lua-скрипттен тексеруге болады: экранның оң жақ жоғарғы бұрышындағы «C» әрпі Connected (қосылған) дегенді білдіреді.

Қабылдағышты ұшу контроллеріне қосу

Распиновка - кез келген UART-қосылымдағыдай айқастырып (протоколдар тарауын қараңыз): қабылдағыштың GND-і FC-нің GND-іне, қабылдағыштың VCC-і (қорегі) FC-нің тиісті 5 В қорек желісіне, қабылдағыштың TX-і сол UART-порттың RX-іне, қабылдағыштың RX-і сол порттың TX-іне. Физикалық құрастыру тарауынан еске салайық: қабылдағышты тікелей FC платасына немесе стектің үстіне бекітпеңіз, оны раманың алдына немесе артына бөлек орналастырып, антенналарын әр жаққа таратыңыз.



56-сурет. ExpressLRS қабылдағышының қосылу схемасы.

Қабылдағыш жарықдиодының индикациясы: баяу жыпылықтау - пульттен сигнал күту; үзіліспен қос жыпылықтау - байланыстыру режимі (bind mode); үзіліспен үш жыпылықтау - байланыс бар, бірақ пультте басқа модель таңдалған (Model Match); жиі жыпылықтау - Wi-Fi арқылы жаңарту режимі; бірқалыпты жыпылықтамайтын жарық - қабылдағыш басқару пультіне сәтті қосылған және дұрыс жұмыс істеп тұр.

Betaflight-ті ExpressLRS қабылдағышына баптау

1. Ports қойындысында қабылдағыш физикалық қосылған UART-портта Serial RX қосыңыз.
2. Receiver қойындысында Receiver Mode = Serial-based UART, Serial Receiver Provider = CRSF таңдаңыз.
3. Telemetry қосулы екеніне көз жеткізіңіз: бұл пультте батарея кернеуін, RSSI-ді және дроннан келетін басқа деректерді көруге мүмкіндік береді.

RSSI, LQ және алғашқы қосуға дайындық

Дронның алғашқы ұшуының алдында bench-тест жүргізу ұсынылады: пультте таратқыштың минималды қуатын қойыңыз, RX қабылдағышты TX таратқыштан бір метр жерге орналастырыңыз және OSD-де немесе пульттің Lua-скриптінде RSSI көрсеткіштерін (дБм-дегі сигнал күшін) тексеріңіз - бұл антенналар немесе дәнекерлеу проблемаларын ұшудан бұрын анықтауға мүмкіндік береді. 2.4 ГГц жабдыққа норма - шамамен -40-тан -25 дБм-ге дейін, 900 МГц үшін - шамамен -20 дБм. Сандар айтарлықтай нашар болса, проблеманы антенналардан, разъемдерден және дәнекерлеуден іздеңіз. Тест біткеннен кейін бастапқы қуатты қайтаруды да ұмытпаңыз.

AM32 прошивкасындағы ESC-ті баптау

ESC-теріңіз AM32 прошивкасында жұмыс істесе (компоненттер тарауын қараңыз), оның да өз бөлек конфигураторы бар - мына веб-сайт: https://am32.ca/. Betaflight жеке ESC-термен байланысты DShot-қа қолданылатын дәл сол порттар арқылы мөлдір өткізеді, сондықтан AM32 конфигураторына FC компьютерге қосылатын дәл сол USB-кабельмен қосылу керек - бағдарлама қосылған ESC-терді ұшу контроллері арқылы өзі табады. Баптау едәуір көп, жаңадан бастаушыға оларға терең кірудің әдетте қажеті жоқ: зауыттық мәндер негізінен жұмысқа жарамды, бірақ бірнеше сәтті саналы түрде түзеткен жөн.

- **Low Voltage Cutoff және Temperature / Current Limits:** фристайл мен жарыс дрондарында бұл қорғаныстарды әдетте өшіру ұсынылады. ESC жүктемеде

отырған кернеуден немесе қызып кетуден қуатты апаттық түрде өзі төмендетуді шешсе, бұл ұшуда тартымның жоғалуы ретінде сезіледі - ал бұл сессияны физикалық тұрғыда шыдай алатын батареямен аяқтап шығудан әлдеқайда қауіпті.

- **ШИМ жиілігі (PWM Frequency):** қажетсіз тым жоғары көтермеген жөн. ESC-тің күштік транзисторларының ауысу жиілігі неғұрлым жоғары болса, олар соғұрлым қатты қызады: тым жоғары жиілік көпшілік жинаққа нақты пайдасыз-ақ ESC платасының қызуын айтарлықтай арттырады.
- **Мотордың KV-і:** AM32 конфигураторында дронда тұрған дәл сол моторлардың нақты KV мәнін көрсетіңіз: ESC-тің кейбір ішкі есептеулерінің дұрыстығы осыған байланысты.
- **Complementary PWM:** бұл опция газ күрт төмендегенде мотордың мәжбүрлі белсенді тежелуін қосады - бұл жауап беру жылдамдығын қатты арттырып, ұшу динамикасын жақсартады. Алайда іс жүзінде жақсы конденсаторы мен TVS диоды жоқ қымбат емес ESC-терде қауіпсіз емес деңгейге дейін жоғары кернеу шығарындыларына әкелуі мүмкін.
- **Stuck Rotor Protection керек, Stall Protection керек емес:** тұрып қалған ротордан қорғаныс (Stuck Rotor Protection) коптерлерге пайдалы және қосулы болуы керек: механикалық қысылып қалғанда моторды дер кезінде өшіреді. Ал «свалдан» қорғаныс (Stall Protection) әдетте керек емес және айналымның қысқа мерзімді түсуі апат емес, басқару процесінің қалыпты бөлігі болып табылатын күрт акробатикалық маневрлерге зиян келтіруі мүмкін.



57-сурет. AM32 веб-конфигураторында ESC параметрлерін баптау.

Соңғы тексеріс және алғашқы ұшу

Ұшу қауіпсіздігінің практикалық тұрғысынан бұл, бәлкім, жаңадан бастаушыға ең маңызды тарау. Мұнда соңғы тексерулердің қадамдық реті және алғашқы көтерілудің ұсынылатын әдістемесі сипатталған: үстелдегі толықтай қауіпсіз тесттен ауада алғашқы қысқа ілініп тұруға дейін.

Терминология жайлы: бұл тарауда, нағыз пилоттар қауымдастығындағыдай, сипаттамалы сөз орамдары емес, «армдау» (ARM тумблерімен моторларды айналуға дайын күйге келтіру) және «дизармдау» (бұл дайындықты мәжбүрлеп алып тастап, моторларды дереу тоқтату) терминдері қолданылады.

1-кезең. Үстелде пропеллерсіз тексеру

Көтерілу туралы ойламас та бұрын дронды әу бастан қауіпсіз түрде - яғни мүлдем пропеллерсіз - толық тексеру керек.

1. Батареяны қосыңыз (пропеллерлер шешілген) және дронның күйік иіссіз, түтінсіз және қандай да бір компоненттің әдеттен тыс қызуынсыз қосылатынына көз жеткізіңіз.
2. Betaflight конфигураторының Setup қойындысында дронды қолда үш осьтің әрқайсысы бойынша абайлап шайқағанда 3D-модельдің платаның нақты

еңкеюлерін қайталайтынына көз жеткізіңіз - бұл гироскоптың дұрыс жұмыс істейтінін растайды. Сондай-ақ басқа барлық датчиктің, әсіресе GPS-тің көрсеткіштерін тексеріңіз.

3. Дронды үстелде армдаңыз және Motors қойындысында дыбыс пен жеңіл дірілден төрт мотордың да газға синхронды және бөгде дыбыссыз (сытыр, сықыр) жауап беретініне көз жеткізіңіз.
4. Дронды дизармдап, батареяны ажыратыңыз.

2-кезең. Пропеллерсіз, қолда тұрақтандыру тесті

Бұл - дәл жаңадан бастаушыға өте пайдалы тест: Betaflight тұрақтандыруының қалай жұмыс істейтінін өз көзіңізбен, ешнәрсемен тәуекел етпей көруге мүмкіндік береді, өйткені пропеллерлер әлі жоқ.

1. Дронды кездейсоқ құлап кетпейтіндей қолыңызға мықтап ұстаңыз, оны Angle режимінде армдаңыз (төменнен қараңыз) және абайлап аздап газ қосыңыз - моторлар айналып бастауы керек.
2. Дронды қолда әр жаққа баяу еңкейтіп бақылаңыз: «төмендеп бара жатқан» жақтың моторлары «көтеріліп бара жатқан» жақтың моторларынан айтарлықтай қатты айналуы керек - бұл дронды горизонтальға қайтаруға тырысатын тұрақтандырудың жұмысы.
3. Әр стикке реакцияны жеке-жеке тексеріңіз: крен (roll), тангаж (pitch), рыскание (yaw), газ деңгейі (throttle).
4. Әрекеті дұрыс емес көрінсе (мысалы, моторлар «керісінше» жауап беріп, төмендеп бара жатқан жақтың орнына көтеріліп бара жатқан жақта күшейсе), дереу дизармдаңыз, батареяны ажыратыңыз және конфигураторда моторлардың айналу бағыты мен FC платасының бағдар баптауларын тексеріңіз.

3-кезең. Қосымша тест: байлап көтерілу (tethered)

Бұл - дронды толық еркін ұшуға жібермес бұрын, енді пропеллерлермен, бірақ әлі бақыланатын жағдайда орындауға тұрарлық жеке, өте пайдалы практика. Дронды жіңішке, бірақ берік созылмайтын баумен (мысалы, парашют стропасының немесе кір жаятын арқанның кесіндісімен) ауыр әрі қозғалмайтын бірдеңеге (үстелге, кірпішке, зәкірге) байлаңыз: жерден сөзбе-сөз 1-1.5 метрге ғана көтерілетіндей, одан артық емес шағын ұзындық қоры қалдырыңыз.

1. Дронды Angle режимінде армдап, газды дәл жерден шағын биіктікке көтерілетіндей ғана баяу көтеріңіз - пропеллерлердің жерден шағылысқан өз ағыны әлі сезілетін жерге дейін (ground effect); бұл аймақта дрон әдетте жоғары-төмен сәл шайқалып тұрады.

2. Дронды осы шайқалған ілініп тұруда газ стигімен ұстап тұрыңыз және оны әр жаққа кезекпен, бір уақытта бір бағытқа ғана абайлап еңкейтіңіз: алдымен крен солға және оңға, сосын тангаж алға және артқа, сосын рыскание сағат тілімен және оған қарсы - дронның дәл күтілген жаққа және күтілген күшпен дұрыс жауап беретінін бақылап отырыңыз.
3. Газды баяу түсіріп, дронды қондырыңыз, дизармдаңыз. Байлау бірдеңе қате бапталса да бақылаусыз ұшып кету қаупін жоққа шығарады - бұл алғашқы еркін көтерілу алдындағы тамаша соңғы тексеру шебі.

4-кезең. Ұшуға шығар алдындағы соңғы чек-лист

- **Пропеллерлер** дұрыс жағымен, «Props In» схемасы бойынша бағытпен орнатылған (физикалық құрастыру тарауындағы айналу бағыты схемасымен салыстырыңыз), гайкалар қолмен жәйден-жәй емес, нақты күш салып, шынымен тығыз тартылған, пропеллерлер біліктерде бұралмайды.
- **Батарея** толық зарядталған, разъем люфтсіз, тығыз қосылады.
- **Пульт** зарядталған, дронмен байланыстырылған (ExpressLRS-тен келетін RSSI-ді тексеріңіз), ARM тумблері жұмыс істейді және оңай қолжетімді, бірақ кездейсоқ емес, саналы басуды талап етеді.
- **Failsafe** бапталған және мүмкіндігінше тексерілген: үстелде армдалған дрон тұрғанда (пропеллерсіз) пультті өшіріп, күтілген әрекеттің іске қосылатынына көз жеткізіңіз.
- **GPS Rescue** спутниктердің сенімді 3D Fix бекінуі бар және спутник саны кемінде сегіз; бұл әр ұшу алдында тексеріледі және пилот тәжірибесіздіктен кеңістікте бағдарынан айырылса, радиобайланыс шегінен шығып кетсе немесе RX басқару қабылдағышының антенналарын іліп жұлып алса - дәл сол қауіпсіздік шебі осы.
- **Rates** алғашқы ұшуларға зауыттық максимумдардан төмендетілген, ал экспонента жоғарылатылған: стиктердің күрт реакциясы жаңадан бастаушыға кедергі ғана.
- **Ауа райы** екпіні бар қатты желсіз және жауын-шашынсыз: алғашқы ұшу сыртқы факторлар тұрғысынан барынша «стерильді» болуы керек.
- **Орын** ашық, адамсыз, жолдардан, құрылыстардан, адамдар мен жануарлардан алыс, ұшқышсыз аппараттардың ұшуы туралы жергілікті заңнама талаптары ескерілген.

5-кезең. Алғашқы көтерілу: қадамдық қауіпсіз әдістеме

Алғашқы ұшу тек қана Angle mode режимінде (еңкею бұрыштарын тұрақтандыру режимі) орындалады: бұл режимде дрон физикалық тұрғыда аударылып кете

алмайды, ал стиктер айналу жылдамдығын емес, қалаған еңкею бұрышын басқарады - жіберілген стиктер дронды автоматты түрде көлденең қалыпқа қайтарады. Бұл алғашқы ұшуға акробатикалық Acro mode-тан әлдеқайда аяушы әрі болжамды режим; Acro-ны кейінірек, пилотта сенімді базалық дағдылар пайда болғаннан кейін меңгерген жөн.

1. Дрон ашық кеңістікте алдыңызда әрі жақсы көрінетіндей тұрыңыз, оны жерге тұмсығын өзіңізден әрі қаратып қойыңыз.
2. Дронды армдаңыз, Angle mode режимінің қосулы екеніне көз жеткізіңіз.
3. Газ стигін баяу, күрт қозғалыссыз, дрон жерден әрең көтерілетіндей ғана - сөзбе-сөз 30-50 сантиметрге - жоғары көтеріңіз.
4. Осы шағын биіктікті 10-15 секунд ұстап тұрыңыз, крен мен тангаж стиктерін барынша аз ұстауға тырысыңыз: Angle mode-тағы дрон көлденеңінен азды-көпті тұрақты қалыпты өзі ұстауы керек.
5. Газды жұмсақ түсіріп, дронды қайтадан жерге қондырыңыз, дизармдаңыз.
6. Алғашқы қысқа ілініп тұру күтпеген жайтсыз өтсе, тағы бір рет қайталаңыз: (келесі әрекеттерде) биіктікті бірте-бірте 1-2 метрге дейін көтеріп, крен мен тангаж бойынша жеңіл, жұмсақ қозғалыстар қосыңыз, бірақ рысканиесіз мүлдем; барлық ұшу бұрынғысынша Angle mode-та орындалады.
7. Алғашқы ұшу сессияларында алысқа ұшпаңыз: байланыс қашықтығын тексергіңіз келсе, сол нүктеге ауамен жетіп көрмес бұрын, қосулы пультпен керек нүктеге жаяу барып, сигналдың сонда шынымен сенімді екеніне көз жеткізген дұрыс.
8. Angle mode-та шағын биіктікте сенімді ілініп тұру мен жұмсақ орын ауыстыру тұрақты әрі қайталанатын болғанда ғана белсендірек пилоттауға көшкен жөн: рыскание осін қосу, көзілдірік немесе монитор арқылы камерамен ұшып-қону, содан кейін ұшу биіктігі мен қашықтығын арттыру және, болашақта, Acro mode-ты меңгеру. Бірақ бұл енді алғашқы ұшулар міндетінің шеңберінен шығады және бөлек, біртіндеп оқуға лайық.

Ауа райы мен климат: Қазақстанда нені білу маңызды

Еліміздегі жағдай оқыту материалдарының көпшілігі бағдарланатын орташа еуропалық жағдайдан айтарлықтай қатал. Елдің солтүстігі, оңтүстігі мен батысы қатты ерекшеленеді, бірақ үш нәрсе барлық жерде дерлік ортақ: екпінді ызғарлы жел, температураның үлкен ауытқуы және өте құрғақ шаң. Төменде дронды жоғалтпау және батареяларды алғашқы айда-ақ өлтіріп алмау үшін әуел бастан ескеруге тұрарлық жайттар.

Жел мен екпіндер

- **Орташа жылдамдыққа емес, екпіндерге қараңыз.** Болжамда әдетте екі сан болады, біз үшін екіншісі маңызды. Далада және ашық тау бөктеріндегі алаңдарда екпіндер орташа желден екі-үш есе күшті болуы оп-оңай, сіз үлгеріп жауап бергенше дронды аударатын немесе алып кететін де дәл солар.
- **Қашықтықтың қарапайым ережесі.** Дрон желге қарсы желдің өз жылдамдығынан айтарлықтай жылдам, сенімді ұшуы керек, әйтпесе кері оралмайды. Желмен ығып ұшу әрқашан оңай әрі жағымды, ал үйге оған қарсы, онсыз да отырған батареямен қайтуға тура келеді.
- **5 дюймдегі жаңадан бастаушыға:** 5-6 м/с-қа дейін жайлы, 7-9 м/с енді назар аударуды талап етеді, 10-12 м/с-тан жоғарыда алғашқы айларда мүлдем ұшпаған дұрыс. Тәжірибелі пилот одан күшті желде де ұшады, бірақ бұл - бөлек практикалық дағды.
- **Далада Tiny Whoop пайдасыз десе де болады.** Вуп 25-55 грамм тартады, оны әлсіз екпіннің өзі ұшырып әкетеді, ал желге қарсы оралуға тартымы жай жетпейді. Вуп - үй ішіне және аулада мүлдем желсіз кезге арналған дрондар класы. Қазақстанға тән қалыпты ауа райында далада ұшқыңыз келсе, минимум - 3 дюйм, ал одан да дұрысы - бірден 5 дюйм.
- **Тау бөктері болжаусыз мінез танытады.** Қырат маңында және беткей үстінде жел үдейді, ал кедергінің (беткей, орман жолағы, ғимарат) артында дрон кенет құлдырап кетуі мүмкін құйын аймағы пайда болады. Күндіз қызған беткейлердің үстіне көтерілмелі ағындар қосылады. Практикалық қорытынды: беткейге және ғимараттарға жақындамаңыз, сайларда ұшпаңыз, биіктікті қорымен алыңыз, ал алғашқы ұшуларды тегіс ашық жерде орындаңыз.

Температура және батареялар

Біздің климаттан ең қатты зардап шегетіні - LiPo. Мұндағы қателер бәрінен қымбатқа түседі, өйткені өлген батарея - ақша ғана емес, өрт қаупі де.

- **Суықта батарея әлсіз.** Минуста қолжетімді сыйымдылық айтарлықтай төмендейді, ал жүктеме астындағы кернеу отыруы тереңдей түседі. OSD разряд туралы әдеттегіден ерте ескерте бастайды - бұл калибрлеу ақауы емес: «уақыт бойынша әлі ерте» болғанда емес, ол сұрағанда қоныңыз.
- **Батареяларды ұшқанға дейін жылытыңыз.** Оларды термосөмкеде немесе күртенің ішкі қалтасында алып жүріңіз де, дронға жылы күйінде салыңыз. Суық батареяны күрт жүктеуге болмайды: көтерілгеннен кейінгі алғашқы секундтарда газды баяу қосыңыз.
- **Суық батареяны ешқашан зарядтамаңыз.** Бұл - ең жиі әрі ең қымбат қысқы қате. Литийді нөл шамасында және одан төмен температурада зарядтау ұяшықты қайтымсыз зақымдайды. Батареяны бөлме температурасына дейін

жылынуға қалдырыңыз, тек содан кейін ғана зарядқа қойыңыз. «Қысқы сессиядан кейін банка ісініп кетті» деген типтік оқиға, әдетте, дәл осы туралы.

- **Конденсат.** Аяздан жылы бөлмеге кіргізілген дрон мен батареяларды ылғал басады, оның ішінде ішінен, платада да. Оларға жабық сөмкеде немесе рюкзакта тұрып жылынуға мүмкіндік беріңіз, бірден үстелге жайып қоймаңыз.
- **Жазда керісінше.** LiPo-ны күн астындағы машинада қалдырмаңыз және қорегі қосулы дронды жерде қажеттіден ұзақ ұстамаңыз: бейнетаратқыш қызады, ал пропеллерлерден келетін үрлеу жоқ. Ұшулар арасында дронды көлеңкеге алып қойыңыз.
- **Тәуліктік ауытқу.** Таңертең нөл шамасы, ал күндіз +20 °C болуы мүмкін. Ұзақ сессияны жоспарлағанда күннің ортасына емес, басындағы жағдайға есептеңіз және батареяларды жерде емес, сөмкеде ұстаңыз.

Шаң

Дала мен тау бөктері мотор подшипниктері мен разъемдерге кіретін өте ұсақ құрғақ шаң береді. Шаңды ұшу сессиясынан кейін дронды сығылған ауамен үрлеп, әр моторды қолмен айналдырыңыз: құмды сықыр пайда болса, подшипник зардап шегіп жатыр, моторды жуырда ауыстыруға тура келеді. Мүмкіндігінше жалаңаш топырақтан көтерілмеңіз: шөп іздеңіз немесе көтерілу төсенішін ауа винттерінің ағыны ұшырып әкетпейтіндей төсеп, бекітіңіз.

Қашан мүлдем ұшпаған дұрыс

- **Екпіні 10-12 м/с-тан жоғары жел,** ал вупқа - жалпы кез келген байқалатын желде.
- **Кез келген жауын-шашын,** ылғал қарды, сіркіреуді және тұманды қоса. Су мен электроника сыйыспайды, аязда бұған мұз басу қосылады. Жаңбырдан кейінгі дымқыл шөп те есепке кіреді: оған қону стекті шашырандымен толтырады.
- **Боран мен шаңды дауыл -** бұл бір мезгілде нөлдік көріну де, бітеліп қалған электроника да, әдетте - жоғалған дрон да.
- **-10 °C-тан төмен қатты аяз -** тәжірибе жоқ кезде: батареялар да, саусақтар да зардап шегеді.
- **Найзағай,** тіпті алыстағысы да, және атмосфералық фронттың кез келген жақындауы.
- **Ашық күнде +35 °C-тан жоғары ыстық:** таратқыштар, моторлар мен батареялар қызып кетеді, күнде экрандардан қорғаныш күнқағармен де нашар көрінеді.

Алғашқы ұшулардағы ең үздік қауіпсіздік практикалары

- **Моторлары жұмыс істеп тұрған дронға ешқашан жақындамаңыз** және мұны көрермендерге де жасатпаңыз: аз газдың өзінде пропеллер жарақаттай алады.
- **Қолыңызды ARM тумблерінде ұстаңыз -** кез келген күтпеген әрекетте дронды лезде дизармдауға дайын болыңыз: дронды жарты метрден дизарммен құлатқан оның болжаусыз бағытқа ұшып кетуіне жол бергеннен артық.
- **Ұшу режимдерін тек газдың орта қалпында ғана ауыстырыңыз:** минималды немесе максималды газда ауыстыру (мысалы, қосулы тұрған Angle-ге Alt Hold қосу) дронның күрт әрі мүлдем күтпеген секіруіне немесе аударылуына әкелуі мүмкін.
- **Симуляторда жаттығыңыз -** нақты ұшулардан бұрын: EdgeTX-тегі пульт компьютерге кәдімгі USB-джойстик ретінде қосылады және тегін де, ақылы да FPV-симуляторлармен жұмыс істейді - бұл нақты дронға тәуекелсіз қолдың базалық координациясын жаттықтыруға мүмкіндік береді.
- **Алыс жерлерде жалғыз ұшпаңыз -** алғашқы кезде: жарақат алған немесе дронды жоғалтқан жағдайға жаныңызда серігіңіз болғаны пайдалы.
- **Күрделілікті біртіндеп арттырыңыз:** биіктікті, жылдамдықты, акробатиканы шағын қадамдармен меңгеріңіз, YouTube роликтеріндегі трюктарды өзіңіздің екінші-үшінші ұшу сессияңызда қайталауға тырыспаңыз.

Жаңадан бастаушылардың типтік қателері және troubleshooting

Бұл тарауда жаңадан бастаушылар құрастыру, баптау және алғашқы ұшу кезеңінде тап болатын ең жиі проблемалар - оларды диагностикалау мен шешу тәсілдерімен бірге, Betaflight, EdgeTX және ExpressLRS құжаттамасының негізінде жиналған.

Қорек, дәнекерлеу және алғашқы қосу

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Батареяны қосқанда дрон тіршілік белгісін бермейді	XT60 разъемі мен қорек желілерін мультиметрмен тексеріңіз, полярлықты және күштік сымдардың дәнекерлеу сапасын тексеріңіз. Қоректің жоқтығы әрдайым дерлік - «плата күйіп кетті» емес, дәнекерленбей қалу немесе үзілу.

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Smoke stopper жарқырап жанады немесе қатты қызады	Бұл - қысқа тұйықталу. Батареяны еш жағдайда тікелей қоспаңыз: тұйықталуды кірістен бастап, әр қорек желісінде плюс пен минус арасында мультиметрмен іздеңіз.
Алғаш қосқанда күйік иісі немесе түтін	Батареяны дереу ажыратыңыз. Көбіне бұл - шатастырылған полярлық, платаның астындағы тұйықталу немесе флюс құйылып кеткен контакт. Себебі анықталғанша қорек бермеңіз.
Стек байқалып қызады, жүктеме жоқ	Желідегі тұйықталудың немесе қате кернеудің белгісі. Қоректі ажыратып, платаның карбонға отырып қалмағанын және алаңдар арасында припой көпіршелерінің жоқтығын тексеріңіз.
Дәнекер күңгірт, «көбіктенген», «шарик» тәрізді көрінеді, түсіп қалады	Суық дәнекер: алаң қызбаған. Жақсы қосылыс жайылып, жылтырап тұрады. Флюс қосыңыз, сымды ғана емес, алаңды тұтасымен мұқият қыздырыңыз, күштік контактілерге кеңірек жало қолданыңыз.
Күрт газда дрон ұшу кезінде қайта жүктеледі	Кернеудің отыруы. ESC кірісіндегі конденсаторды, күштік дәнекерлеу сапасын, батарея күйін және XT60 разъемінің тығыз отыруын тексеріңіз.

Баптау және прошивка

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Конфигуратор DFU режиміндегі платаны көрмейді	Көбіне қорек берген кезде платадағы BOOT батырмасы жай басылып ұсталмаған: онсыз плата прошивка режиміне өтпейді. Windows-та тексеріңіз: конфигуратор (немесе браузер) әкімші атынан іске қосылған ба және керек USB-драйвер орнатылған ба.
Қойындыны баптағаннан кейін өзгерістер «жоғалып кетті»	Басқа қойындыға өтпес бұрын «Save and Reboot» батырмасы басылмаған; өзгерістерді әр қойындыдан кейін сақтаңыз.
Конфигуратордағы батарея кернеуі нақты кернеумен сәйкес келмейді	Батарея калибрленбеген: көрсеткіштерді баланстау разъеміндегі мультиметрмен салыстырып, Power & Battery қойындысында калибрлеу коэффициентін түзетіңіз.
Дрон ARM-ға жауап бермейді	Modes қойындысында тумблердің тағайындалуын, сондай-ақ armingті бұғаттау шарттарын тексеріңіз (мысалы, дронның тегіс тұру талабы, GPS спутниктерінің болуы, белсенді failsafe).
Керек функция прошивкада жай жоқ: Alt Hold, Position Hold, Servo және сол сияқты	Firmware Flasher арқылы прошивка жазғанда Other Options блогында тиісті құсбелгі қойылмаған; платаға барлық керек белгімен қайта прошивка жазыңыз.

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Конфигуратор платаны мүлдем көрмейді, бірақ ол нақты қосылған	Көбіне кінәлі - кабель: көптеген USB-кабель тек зарядтауға арналған және дерек бермейді. Жұмысқа жарамдылығы белгілі кабель алыңыз, басқа портты және хабсыз қосылуды байқап көріңіз.
Прошивкадан кейін плата өзін оғаш ұстайды, баптаулар араласып кеткен	Full chip erase опциясы қосулы күйде прошивка жазыңыз: ол ескі конфигурацияны толық өшіреді; бәрін қайта баптаңыз. Басқа прошивка нұсқасының diff-ін қалпына келтірмеген жөн.
Прошивканы жаңартқаннан кейін барлық баптау жоғалып кетті	Солай болуы да керек: толық өшіру конфигурацияны кетіреді. Оны алдын ала сақталған diff-тен қалпына келтіріңіз, бірақ оның алдында defaults қайтару командасын орындаңыз.
Процессор жүктемесі 50%-дан жоғары, интерфейс кідіріп қалады	Қолданбайтын функцияларды өшіріңіз және PID-loop жиілігін платаның шамасынан асырмаңыз. Шамадан тыс жүктелген процессор армингке кедергі жасауы мүмкін.
Плата қайта жүктелгеннен кейін баптауларды сақтамайды	«Save and Reboot» басқаныңызды тексеріңіз - қойындылар арасында жай ауысып жүрмегеніңізді. Көмектеспесе, толық өшіру жасаңыз.

Дрон армдалмайды: Betaflight не көрсетеді

Армдалудан бас тарту - жаңадан бастаушының ең жиі проблемасы, әрі Betaflight себебін әрдайым дерлік тіке айтады. Оны үш жерден қарау керек: OSD-дегі ірі жазу, конфигуратордың Setup қойындысындағы Arming Disable Flags индикаторы және CLI-дағы мына команда: **status** . Төменде шынымен жиі кездесетін себептердің толық түсіндірмесі.

Не көрсетеді	Бұл нені білдіреді және не істеу керек
THROTTLE	Газ стигі ең төменгі қалыпта емес. Газды тірелгенше төмен түсіріңіз. Флаг кетпесе, Receiver қойындысында газ арнасының төменгі мәнге жететінін тексеріңіз.
ANGLE	Дрон тым қисық тұр. Оны тегіс бетке қойыңыз (әдепкі бойынша 25 градусқа дейінгі еңкеюге рұқсат етіледі) немесе акселерометрді қайта калибрлеңіз.
ARMSWITCH	Қорек берілген сәтте ARM тумблері онсыз да қосулы болған. Betaflight әдейі армдатпайды: ARM тумблерін өшіріп, қайта қосыңыз.
RXLOSS	Пульттен сигнал жоқ. Пульттің қосулы екенін, байланыстырудың барын, қабылдағыштың қоректенгенін және порттың дұрыс бапталғанын тексеріңіз.
MSP	Конфигуратор ашық немесе USB-кабель қосулы. USB қосулы тұрғанда Betaflight армдауға рұқсат бермейді, кабельді ажыратыңыз.

Не көрсетеді	Бұл нені білдіреді және не істеу керек
CLI	CLI қойындысы ашық. Одан шығып, платаны қайта жүктеңіз.
GPS	GPS Rescue қосулы, бірақ сенімді бекіну жоқ немесе спутник аз. 3D Fix-ті және керек спутник санын күтіңіз.
BOOTGRACE	Қорек берілгеннен бері бірнеше секундтан аз уақыт өтті. Жай күте тұру керек.
CALIB	Гироскоп калибрленіп жатыр. Ол біткенше дронды қозғамаңыз.
NO_ACC_CAL	Акселерометр бірде-бір рет калибрленбеген. Дронды тегіс бетке қойып, оны Setup қойындысында калибрлеңіз.
LOAD	Процессор шамадан тыс жүктелген. Артық функцияларды өшіріңіз және PID-loop жиілігін төмендетіңіз.
MOTOR_PROTO	Мотор протоколы таңдалмаған. Configuration қойындысында DShot таңдаңыз.
RPMFILTER	Мотор айналымының телеметриясы жұмыс істемейді. Bidirectional DShot қосулы ма және оны ESC қолдай ма - тексеріңіз.
RUNAWAY	Басқарусыз көтерілуден қорғаныс іске қосылды. Дизармдаңыз, моторлардың айналу бағыты мен баптауларды тексеріңіз.
FAILSAFE	Failsafe режимі немесе тумблерге тағайындалған тесттік failsafe белсенді. Себебін жойыңыз немесе тумблерді қайтарыңыз.
REBOOT_REQD	Баптаулар өзгертілгеннен кейін платаны қайта жүктеу қажет.
Флагтар жоқ, бірақ дрон бәрібір армдалмайды	Modes қойындысында ARM режимінің арнаға мүлдем тағайындалғанын және тумблер диапазонының белгіленген аралыққа түсетінін тексеріңіз.

Қабылдағыш және радиобайланыс

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Қабылдағыш байланыспайды (bind)	Binding Phrase пульт пен қабылдағышта бірдей екенін тексеріңіз, қайта прошивка жазыңыз және жаңа power-cycle bind тізбегін орындаңыз.
Betaflight-тің Receiver қойындысында сигнал жоқ	TX/RX сымдарының айқастырылып қосылғанын (қабылдағыштың TX-і → FC-нің RX-і және керісінше), Ports-та дұрыс UART-порт таңдалғанын және Serial Receiver = CRSF екенін тексеріңіз.

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Арналар «керісінше» немесе басқа ретпен қозғалады	Channel map-ты және пульттегі Inputs/Mixer тағайындауларын тексеріңіз, EdgeTX пен Betaflight баптауларын шатастырмаңыз; түзету пультте жасалады.
Қалыпты қашықтықта ELRS байланысының мерзімді үзілістері	Қабылдағыш антенналарының бүтіндігін және дұрыс орналасуын тексеріңіз (рама карбонына мен күштік сымдарға қысылмаған, әр жазықтыққа таратылған).
Қабылдағыш жыпылықтамай бірқалыпты жанады және арналарды жаңартпайды	Қабылдағыш жүктеуші (Bootloader) режимінде тұр: қоректі қайта қосыңыз немесе қабылдағышқа қайта прошивка жазыңыз.
Стандартты емес жиіліктерді қолданғанда нақты қашықтық күтілгеннен төмен	Жаңадан бастаушыға стандартты әрі сенімді үйлесетін байламды қолдану керек (басқару 2.4 ГГц, бейне 5.8 ГГц).
Қабылдағыштың жарықдиоды жанбайды	Қорек жоқ. 5 В пен жердің дәнекерін тексеріңіз, кернеуді мультиметрмен тікелей қабылдағыштың контакт алаңдарында өлшеңіз.
Қабылдағыш үзіліспен үш рет жыпылықтайды	Байланыс бар, бірақ пультте басқа модель таңдалған (Model Match). Керек модельге ауысыңыз немесе ELRS-те тексеруді өшіріңіз.
Газды күрт қосқанда байланыс жоғалады	Қабылдағыш немесе оның антенналары күштік сымдар мен ESC-ке тым жақын тұр. Қабылдағышты алысырақ көшіріңіз, антенналарды таратып, оларды карбоннан алысырақ алып қойыңыз.
Нақты қашықтық күтілгеннен әлдеқайда аз	Антенналарды тексеріңіз: разъемнің зақымдалуы, коаксиалдың қайырылуы, рамаға немесе карбонға қысылған антенна. RSSI bench-тестін жүргізіңіз - ол проблеманы бірден көрсетеді.
Арналар жұлқынады немесе қатып қалады	Пульттегі порт жылдамдығына пакет жиілігі тым жоғары, немесе қабылдағыштың қорегі тұрақсыз. Packet rate-ті төмендетіп, 5 В желісін тексеріңіз.
Пультте телеметрия жоқ	Betaflight-тің Telemetry қосыңыз және порттың CRSF протоколымен Serial RX ретінде тағайындалғанына көз жеткізіңіз.
Байланыс бар, бірақ дрон бірде-бір стикке жауап бермейді	Арналар ретін (Channel Map) және пульттегі миксерлердің арналарды мүлдем беріп тұрғанын тексеріңіз.

Моторлар және ұшу

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Мотор теріс бағытқа айналады	Айналу бағытын Betaflight-тің Motors қойындысында, Motor Direction арқылы бағдарламалық түрде өзгертіңіз: сымдарды қайта дәнекерлеу қажет емес.
Минималды газбен көтерілмек болғанда дрон аударылып түседі	Көбіне айналу бағыты немесе моторлар реті шатасқан: оларды Motors қойындысында Motor Direction арқылы, сонымен бірге FC платасының бағдарын да тексеріңіз. Ал дрон аударылмай, тек тасталған газда стиктерге бағынбай қалса, Configuration қойындысында Air Mode қосыңыз.
Моторларды армдағанда күрт жұлқу немесе секіріп кету	Motor Idle тым жоғары; мәнін Motors қойындысында азайтыңыз.
Күрт маневрлерде мотор ауада тоқтап қалады	Нақты моторлар мен пропеллерлерге Motor Idle тым төмен; мәнін арттырыңыз.
Сигнал жоғалғанда дрон бастапқыда күткендей әрекет етпейді	Failsafe баптауларын (Stage 1 және Stage 2) пропеллерсіз тестте қайта тексеріңіз: армдалған дрон тұрғанда пультті өшіріп, әрекетін бақылаңыз.
AM32-дегі ESC күтілгеннен қатты қызады немесе дрон ұшуда кенет қайта жүктеледі	AM32 конфигураторындағы баптауларды тексеріңіз: ШИМ жиілігі тым жоғары немесе бюджеттік ESC-те Complementary PWM опциясы қосулы.
Пропеллер ұшуда ұшып кетті	Өздігінен бекінетін гайка жеткіліксіз тартылған. Гайканы нақты күш салып тарту керек, құрастыру туралы тарауды қараңыз.
Мотор мүлдем айналмайды	Оны Motors қойындысында жеке тексеріңіз. Тек біреуі үнсіз болса, мәселе фазаның дәнекерінде, мотордың өзінде немесе ESC-тің жеке арнасында.
Мотор гуілдейді, бірақ айналмайды	Үш фазаның бірі дәнекерленбеген. Осы мотордың үш контакт алаңын да қайта дәнекерлеңіз.
Бір мотор қалғандарынан айтарлықтай қатты қызады	Подшипник, майысқан білік, орамға тиіп тұрған бекіту бұрандасы немесе орнатқандағы қисаю. Моторды қолмен айналдырыңыз: еркін әрі сықырсыз айналуы керек.
Стиктер жіберілгенде дрон бір жаққа жылжып кетеді	Акселерометрді деңгеймен тексерілген тегіс бетте және толық құрастырылған күйде калибрлеу қажет. Сонымен бірге пульттегі триммерлердің өшірулі екенін тексеріңіз.

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Дрон күрт жоғары атылады және газға бағынбайды	Қатты діріл гироскопқа жетіп жатыр. Стектің дірілден оқшаулауын, пропеллерлердің бүтіндігі мен балансын, моторлардың тартылуын тексеріңіз.
Дрон әрдайым бір жаққа аударылып кетеді	Осы лучтегі мотордың немесе ESC арнасының зақымдануы. Дәнекерді қарап шығыңыз, қажет болса компоненттерді ауыстырыңыз.
Газды күрт тастағанда моторлар ауада өшіп қалады	Motor Idle тым төмен немесе Air Mode өшірулі. Motor Idle-ды сәл көтеріп, Air Mode белсенді екеніне көз жеткізіңіз.
Бейнеде «желе», дрон ұсақ дірілдейді	PID теңгерімсіздігі немесе пропеллердің зақымдануы, істен шыққан подшипник, артық тартылған дірілден оқшаулау. Пропеллерлерді жаңасына ауыстырудан бастаңыз.
Дрон бір орында жұлқынып, тербеледі	Көбіне - зақымдалған пропеллер. Жаңаларымен де қалса, Simplified Tuning слайдерлерімен P мен D-ні төмендетіңіз.
Ұшу уақыты күтілгеннен айтарлықтай аз	Тозған батарея, артық салмақ, тым агрессивті ұшу немесе моторларға сай емес пропеллерлер. Батареяны жүктеме астында тексеруден бастаңыз.
Ұшудан кейін бір луч басқаларынан айтарлықтай ыстық	Осы лучтегі мотор немесе ESC проблемасының сол белгісі. Келесі ұшуға дейін тексеріңіз: әдетте бұл құлаумен аяқталады.

Бейне және OSD

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Көзілдірікте сурет жоқ	VTX пен VRX-тің диапазоны, арнасы және жиілігі сәйкес келетінін тексеріңіз; цифрлық жүйелерде - екі құрылғының бір модельдік қатардан екенін және бір-бірімен сәтті байланыстырылғанын.
Бәрі дұрыс қосылған сияқты, бірақ бейне қашықтығы күтілгеннен айтарлықтай аз	Бейнетаратқышта әдепкі бойынша минималды қуат тұр: оны VTX платасындағы қуат батырмасымен қолмен арттыру керек.
Бейне сигналы әлсіз немесе «бүлкілдейді»	Антенналардың поляризациясын тексеріңіз (RHCP/LHCP VTX пен VRX-те сәйкес келуі керек), сондай-ақ антенна разъемдері мен кабельдерінің бүтіндігін.
Цифрлық бейнежүйеде OSD мәтіні жоқ	Ports қойындысында UART-порттың MSP Displayport-қа бапталғанын және басқа протоколмен бос емес екенін тексеріңіз.

Проблема	Ықтимал себебі және шешімі
Аналогтық жүйеде OSD мәтіні жоқ	FC платасында OSD-чиптің шынымен бар екенін және OSD-нің OSD қойындысында бапталғанын тексеріңіз.
Арна дұрыс қойылған, бірақ көзілдірікте «қар»	Бейнетаратқыш қоректенбеген немесе қуаты нөлге жуық Pitmode режимінде тұр. VTX қорегін және қуат деңгейін тексеріңіз.
Суреттің көлденеңінен ақ жолақтар	Камераға немесе таратқышқа қорек жетпейді. 9-12 В желісін, дәнекерлеу сапасын және кірістегі конденсатордың барын тексеріңіз.
Сурет шамамен 10 метрдей қашықтықтан-ақ үзіледі	VTX антеннасы бұралмаған, зақымдалған немесе түбінен сынған, не карбонға тиіп тұр. SMA-разъемді де тексеріңіз.
Сурет дірілдейді, бейнеде қатты «желе»	Камера қатты бекітілген немесе, керісінше, босап кеткен, не линзасы тартылмаған. Камераны жұмсақ төсем арқылы орнатыңыз.
Құлағаннан кейін сурет жоғалды	Бірінші кезекте - антенна мен камера сымы: дәнекерленген жерлер мен разъемді қарап шығыңыз. Соққы кезінде ең осал жерлер осылар.
OSD қатып қалды және жаңармайды	Цифрлық жүйеде бұл - FC-нің air unit-пен MSP арқылы байланысының үзілуі. UART тағайындалуын және сымның бүтіндігін тексеріңіз.
Сурет ақ-қара немесе түстері бұрмаланған	PAL мен NTSC стандарты сәйкес келмейді. Камера баптаулары мен OSD-де бірдейін қойыңыз.
Бейнетаратқыш жерде қатты қызады	Жерде үрлеу жоқ. Қоректі қажеттіден ұзақ қосулы ұстамаңыз, әсіресе жазда, және ұшулар арасында дронды көлеңкеге қойыңыз.

Диагностиканың жалпы принципі

Бірдеңе жұмыс істемесе, тізбек бойымен сигнал көзінен қабылдағышқа қарай жылжыңыз: алдымен сигналдың мүлдем жіберіліп жатқанына көз жеткізіңіз (пульт, батарея, қосу), содан кейін оның дұрыс сымдар мен порттар арқылы физикалық жететініне (UART, TX/RX полярлығы), тек содан кейін ғана байланыстың екі жағындағы протоколдардың бағдарламалық баптауларын тексеріңіз. Жаңадан бастаушы проблемаларының басым көпшілігі үш санаттың біріне сияды: шатастырылған сымдар, сақталмаған баптаулар немесе байланыстың екі ұшындағы сәйкес келмейтін протоколдар/жиіліктер.

ЖИ-ассистенттерді диагностикада көмекші ретінде қолданыңыз

Диагностиканың ең практикалық заманауи құралдарының бірі - проблеманы ChatGPT, Claude немесе DeepSeek тәрізді ЖИ-модельдерге егжей-тегжейлі сипаттап беру. Жалпы кеңестер емес, шынымен пайдалы жауап алу үшін модельге бірден бір толық сұрауда барынша нақтылық берген жөн: қадам-қадаммен нақты не жасалды, нақты не және қайда қосылған, платаның/қабылдағыштың/VTX-тің дәл қай моделі қолданылады, нақты не жұмыс істемейді және ол қалай көрінеді. Модельден қадамдық диагностика ұсынуын сұраңыз: ықтимал проблемалардың үлкен спектрін бірден болжай бермей, алдымен бірін, сосын екіншісін тексеріп, ықтимал себептер шеңберін біртіндеп тарылту. Мұндай тәсіл - ЖИ-ді диагностикада белсенді әрі егжей-тегжейлі қолдану - форумдардан іздеуге кететін сағаттарды жиі үнемдейді.

Әрі қарай үйренуге арналған сілтемелер мен материалдар

Бұл гайд алғашқы құрастыру мен алғашқы ұшуға қажет базалық білімді жабады, бірақ FPV-хобби мұнымен бітпейді. Төменде әр прошивка бойынша ресми дереккөздер, әрі қарай үйренуге ең үздік қосымша материалдар және танымал жабдықтың белгілі өндірушілерінің тізімі жиналған - бұдан былай қауымдастықта өз бетіңізше бағдарлана алуыңыз үшін.

Ресми құжаттама және прошивка конфигураторлары

Прошивка	Міндеті	Ресми мекенжайы
Betaflight	Ұшу контроллерінің прошивкасы, құжаттама және конфигуратор	https://betaflight.com/ https://betaflight.com/docs/wiki https://app.betaflight.com/
EdgeTX	Басқару пультінің прошивкасы, құжаттама және конфигуратор	https://edgetx.org/ https://buddy.edgetx.org/ https://edgetx.org/getedgetx/
ExpressLRS	Пульт-қабылдағыш радиожүйесі, құжаттама және конфигуратор	https://www.expresslrs.org/ https://www.expresslrs.org/quick-start/getting-started/ https://expresslrs.github.io/web-flasher/
AM32	ESC-ке арналған ашық прошивка, түрлі конфигураторлар	https://am32.ca/ https://esc-configurator.com/

Әрі қарай үйренуге ұсынылатын дереккөздер мен арналар

- **https://oscarliang.com/:** әлемдегі FPV-хобби бойынша ең егжей-тегжейлі әрі беделді алаңдардың бірі; авторы оны көп жылдан бері қолмен жүргізіп келеді. Жаңа жаңартулар мен күрделі тақырыптардың тереңірек талдауын, құрастырылымдардың тірі фотоларын көру үшін сонда бас сұғуды қатты ұсынамыз.
- **https://www.youtube.com/@JoshuaBardwell:** FPV туралы ең белгілі әрі жаңадан бастаушыларға ең пайдалы бейнеарналардың бірі; Betaflight, EdgeTX, PID-тюнинг бойынша егжей-тегжейлі талдауларын, сондай-ақ түрлі жаңа FPV-жабдық шолуларын көрген жөн. Арнада бірнеше мың ролик бар, жаңадан бастаушының көпшілік сұрағы бойынша онда егжей-тегжейлі талдау әлдеқашан бар.

Танымал жабдықтың өндірушілері мен жеткізушілері

Төменде осы гайдта аталған немесе қауымдастық кең қолданатын FPV-жабдық брендтері мен өндірушілерінің тізімі (пульттер, батареялар, зарядтағыштар, ұшу контроллерлері, моторлар, бейнежүйелер, пропеллерлер), ал кестенің соңында - мұның бәрін сатып алуға ыңғайлы алаңдар жиналған. Қазақстанда маркетплейстерден бөлек, Қытайдан салмағы бойынша жеткізетін карго-сервистер де кең таралған: кәдімгі поштамен жіберілмейтіндер де, мысалы LiPo-аккумуляторлар, солар арқылы келеді. Өзекті мекенжайлар мен ассортимент уақыт өте өзгеруі мүмкін, сондықтан күмән туса, бренд атауын тікелей іздеумен тексеріңіз.

Бренд	Профилі	Сайты
RadioMaster	Жаңадан бастаушыға пульт стандарты: бүкіл дерлік желісі EdgeTX-те, ExpressLRS кірістірілген	https://radiomasterrc.com/
Jumper	RadioMaster-ге бюджеттік балама: пульттер, модульдер және сигнал қабылдағыштар	https://www.jumper-rc.com/
FrSky	Радиобайланыстың ескі мектебі; жаңа FPV-жинақтарда орнын ExpressLRS-ке берді	https://www.frsky-rc.com/
BetaFPV	Tiny Whoop класындағы дайын «дрон + көзілдірік + пульт» жинақтары	https://betafpv.com/
ISDT	Ықшам әрі дәл зарядтағыштар, құрастыру сапасымен бағаланады	https://www.isdt.co/hobby?lang=en

Бренд	Профилі	Сайты
HOTA	Қуатты көп арналы зарядтағыштар; көп батареяны бірден зарядтау керек болғандағы таңдау	https://hotachargers.com/
ToolkitRC	Зарядтағыштар мен өлшеу аспаптары: батарея тестерлері, тартым өлшегіштер, дәнекерлегіштер	https://www.toolkitrc.com/
iFlight	Толық циклдің ең ірі өндірушілерінің бірі: рамалар, моторлар, стектер, дрондар	https://www.iflight.com/
Axis Flying	Ең алдымен моторларымен белгілі, кейін рамалар мен дайын дрондарға дейін өсті	https://www.axisflying.com/
GEPRC	Танымал дайын дрондар мен рамалар; ықшам форматтар мен cinewhoop-та мықты	https://geprc.com/
SpeedyBee	Смартфоннан ыңғайлы сымсыз бапталатын стектер мен ұшу контроллерлері	https://www.speedybee.com/
Matek Systems	Инженерлік бренд: ұшу контроллерлері, GPS-модульдер мен периферия; long-range жинақтарда жиі қолданылады	https://www.mateksys.com/
PeakFPV	Стандартты емес жиіліктердегі сапалы бейнежүйелер	https://peakfpv.com/
Walksnail	Avatar цифрлық бейнежүйесі, сурет сапасы бойынша DJI-дың негізгі бәсекелесі	https://www.caddxfpv.com/
DJI	Ең жаппай FPV-жүйе, барлығына сапа деңгейін белгілейді	https://www.dji.com/global
RunCam	FPV-камералардың басты өндірушілерінің бірі	https://www.runcam.com/
T-Motor Hobby	Сапалы моторлар; қымбаттау жинақтарға қойылады	https://tmotorhobby.com/
EMAX	Моторлар мен қымбат емес дайын дрондар; Tinyhawk сериясы көпшілікке алғашқы дронынан таныс	https://www.emaxmodel.com/
Foxeer	FPV-ге арналған электрониканың ірі өндірушісі	https://www.foxeer.com/

Бренд	Профилі	Сайты
Team BlackSheep	Crossfire радиолиниясы мен бүгінде ExpressLRS жұмыс істейтін CRSF протоколының авторлары	https://www.team-blacksheep.com/
BrotherHobby	Жоғарғы сегменттегі моторлар; подшипниктері мен орамының сапасымен бағаланады	https://brotherhobby.cn/
Holybro	Ұшу контроллерлері, GPS және датчиктер; толық автопилот платформаларымен белгілі	https://holybro.com/
DarwinFPV	Қымбат емес дайын дрондар мен комплектілер, «сындырсаң онша өкінбейтін» нұсқа	https://darwinfpv.com/
Sub250	250 грамға дейінгі аса жеңіл жинақтарға маманданған	https://sub250.com/
Gaoneng	Танымал LiPo, әсіресе ұсақ кластар мен вуптарға	https://www.gaoneng.shop/
Dogcom	Ток беруі жоғары LiPo; гонщиктердің сүйіктісі	https://dogcombattery.com/
RushFPV	Бейнетаратқыштар мен антенналар; қауымдастықта жақсы белгілі	https://rushfpv.net/
Flywoo	Жеңіл дрондар, вуптар мен компоненттер; ықшам кластарда шешімдері көп	https://flywoo.net/
HGLRC	Орта баға сегментіндегі стектер, таратқыштар, дрондар және компоненттер	https://www.hglrc.com/
Skystars	Ұшу контроллерлері, стектер және дайын дрондар	https://www.skystars-rc.com/
HQProp	Пропеллерлердің екі негізгі өндірушісінің бірі	https://www.hqprop.com/
Gemfan	Пропеллерлердің екінші өндірушісі, вуптардың стандарты	https://www.gemfanhobby.com/
Tattu	LiPo, оның ішінде long-range-ге арналған үлкен сыйымдылықтағылары	https://genstattu.com/
ChinaHobbyLine	Беделі жақсы, қымбат емес LiPo; жиі таңдалады	https://chinahobbyline.com/

Бренд	Профилі	Сайты
FlyFishRC	Моторлар, рамалар, стектер, GPS-модульдер мен антенналар	https://www.flyfishrc.com/
NewBeeDrone	Вуптар, микрокомпоненттер және әзірлеушілерге арналған жинақтар	https://newbeedrone.com/
Skyzone	Аналогтық және цифрлық көзілдіріктер, негізгі өндіруші	https://www.skyzonefpv.com/
FPVspeed	Стандартты емес бейнежүйелер	https://fpvspeed.com/
GetFPV	Мақалалар базасы үлкен ірі американдық дүкен	https://www.getfpv.com/
Pyrodrone	Американдық дүкен, рамаларымен белгілі	https://pyrodrone.com/
DIYFPV	Бөлшектер каталогы және өз қолмен құрастыру төңірегіндегі қауымдастық	https://www.diyfpv.com/
IntoFPV	Прошивкадан бөлшекке дейін бәрі талқыланатын ірі форум	https://intofpv.com/
RCGroups	Радиобасқарылатын техника бойынша ең ескі форум, тақырыптар архиві орасан	https://www.rcgroups.com/
Reddit	Белсенді онлайн-қауымдастықтар, проблема бойынша жылдам көмек	https://www.reddit.com/r/fpv/ https://www.reddit.com/r/Multicopter/
RotorBuilds	Өзгелердің құрастырылымдар каталогы: кім, нені, қалай және немен жинағаны көрінеді	https://rotorbuilds.com/
AliExpress	Ең ірі қытай алаңы: барлық дерлік комплектілер бар, жиі тікелей өндірушіден	https://aliexpress.com/

Пилот чек-листі (басып шығаруға арналған)

Осы үш бетті басып шығарып, кем дегенде алғашқы айларда өзіңізбен бірге алып жүрген жөн. Реті кездейсоқ емес: тармақтар нақты орындалатын ретпен берілген. Өткізіп жіберілген тармақ тексеруге кететін бір минуттан әрдайым дерлік қымбатқа түседі.

Күні: _____ Орны: _____ Жағдайы: _____

A. Үйде, шығар алдындағы күні

- ☐ Барлық батарея зарядталған: дронның, пульттің, көзілдіріктің, қосалқылары.
- ☐ Пропеллерлер бүтін, сынығы, жарығы, қайрылымы жоқ, қосалқылары бар.
- ☐ Рама мен моторлардың барлық бұрандасы орнында және сенімді тартылған.
- ☐ Лучтар мықтап бекітілген және люфт жоқ, қолмен тексерілген.
- ☐ Бейнетаратқыш антеннасы орнында, түбінен сынбаған.
- ☐ Қабылдағыш антенналары бүтін, антенна разъемдері бүтін, коаксиал зақымдалмаған.
- ☐ Пульт пен қабылдағыш арасында байланыс бар, тесттен кейінгі RSSI деңгейі жарамды.
- ☐ Failsafe үстелде пропеллерсіз тексерілген, әрекеті күтілгендей.
- ☐ Көзілдірік пен экшн-камерадағы жад картасы орнында, бос орын бар.
- ☐ Соңғы сәтті ұшудан бері баптаулар мен прошивкалар өзгермеген.
- ☐ Ұшу орнындағы ауа райы болжамы қаралған, оның ішінде жел екпіндері де.

B. Өзіңізбен не алу керек

- ☐ Дрон, пульт, көзілдірік, жердегі жабдық.
- ☐ Батареялар - зарядталған, отқа төзімді сөмкеде.
- ☐ Қосалқы пропеллерлер мен пропеллер гайкалары.
- ☐ Алты қырлы бұрауыштар және пропеллер гайкаларының кілті.
- ☐ Тартпалар, изолента, екі жақты скотч, қосалқы бұрандалар.
- ☐ LiPo кернеу индикаторы.
- ☐ Су, қолғап, мониторға немесе көзілдірікке күннен қорғаныс.
- ☐ Телефон зарядталған, жергілікті жер картасы офлайн жүктелген.
- ☐ Серігіңізге сапар мен ұшулар туралы хабарлау.

C. Орнында, пропеллерлерді орнатқанға дейін

- ☐ Орын ашық әрі адамсыз, жолдардан, құрылыстардан, жануарлардан және ЛЭП-тен алыс.
- ☐ Жел орташа жылдамдығымен емес, екпіндерімен бағаланған.
- ☐ Алдымен пульт, сосын дрон қосылған. Өшіргенде - керісінше.
- ☐ Пультте байланыс пен телеметрия бар.
- ☐ Көзілдіріктегі сурет таза, бейнетаратқыштың арнасы мен қуаты тексерілген.
- ☐ GPS: 3D Fix алынған, спутник кемінде сегіз, көтерілу нүктесі бекітілген.
- ☐ OSD-дегі батарея кернеуі индикатор көрсеткішімен сәйкес.
- ☐ ARM мен DISARM пропеллерсіз тексерілген, моторлар штаттық жауап береді.
- ☐ Ұшу режимі Angle mode-қа қойылған.

D. Тікелей көтерілер алдында

- ☐ Пропеллерлер айналу схемасы бойынша орнатылған, біліктерде бұралмайды.
- ☐ Батарея тығыз отыр, белдік тартылған, қорек разъемы тірелгенше қосылған.
- ☐ Сымдар мен антенналар пропеллерлердің айналу жазықтығына түспейді.
- ☐ Дрон тегіс, ашық алаңда тұмсығын пилоттан тіке әрі қаратып тұр.
- ☐ Жанында ешкім жоқ, барлық көрермен пилоттың артында және дроннан алысырақ.
- ☐ Газ төменгі қалыпта, саусақ ARM тумблерінде.
- ☐ Алғашқы ілініп тұру: 30-50 см, 10-15 секунд, крен мен тангаж стиктерін ұстамау.

E. Ұшуда: мына жағдайда дереу қону керек

- ☐ Кернеу қону шегіне жетті: ұяшығына 3.5-3.6 В, қыста одан ерте.
- ☐ Сурет нашарлай бастады немесе мүлдем жоғалды.
- ☐ Байланыс сапасы (LQ/RSSI) төмендеді, OSD-де ескертулер пайда болды.
- ☐ Бөгде дыбыс, діріл пайда болды немесе дронды басқарусыз ығыстырып барады.
- ☐ Дрон сіз сенімді бақылайтын қашықтықтан әрі ұзап кетті.
- ☐ Жел күшейді, жауын-шашын басталды немесе көріну нашарлады.
- ☐ Ұшу аймағында адамдар, жануарлар немесе техника пайда болды.

F. Ұшудан кейін

- ☐ Жерге қонған бойда дизармдап, батареяны ажырату.
- ☐ Келесі ұшудың алдында дрон мен батареяға 10 минут суынуға мүмкіндік беру.
- ☐ Моторлардың температурасын қолмен тексеру: алақан шыдаса - қалыпты.
- ☐ Пропеллерлерді, раманы, сымдарды, антенналар мен разъемдерді қарап шығу.
- ☐ Пропеллер гайкалары мен мотор бұрандаларының босамағанын тексеру.
- ☐ Сессия шаңды болса, дронды үрлеп, әр моторды қолмен айналдыру.
- ☐ Жаңа ұшу осы аптада болмаса - батареяларды сақтауға: ұяшығына 3.80-3.85 В.
- ☐ Суық батареяны жылынғанша зарядқа қоймау.
- ☐ Аяздан кіргізсеңіз - конденсат платаларға қонбауы үшін жабық сөмкеде жылыту.

Жазбалар

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

G. Құлағаннан кейін

- ☐ Өздігінен болмаған болса - дизармдау.
- ☐ Дронды қолға алмас бұрын батареяны ажырату.
- ☐ Батареяны қарап шығу: ойығы, ісігі немесе иісі болса - кәдеге жарату керек.
- ☐ Рама мен лучтардың бүтіндігін тексеру, әсіресе моторлар бекітілген жерлерде.
- ☐ Моторлар мен барлық антенна сымдарының үзілмегенін тексеру.
- ☐ Әр моторды қолмен айналдыру: сықыр немесе қысылу - қоқыс немесе подшипник деген сөз.
- ☐ Пропеллерлерді қарап шығу: жарылғанын бірден ауыстыру - ол діріл мен «желе» береді.
- ☐ Стектің жылжымағанын, разъемдерінің ажырамағанын тексеру.
- ☐ Қатты соққыдан кейін акселерометрді қайта калибрлеу.

Жазбалар