

УПРАВЛІННЯ ОСВІТИ І НАУКИ
ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ
КОМУНАЛЬНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД «ЧЕРКАСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ІНСТИТУТ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ РАДИ»

Безпілотні (роботизовані) системи в оновленому предметі «Захист України»

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ АЛЬБОМ

ЧЕРКАСИ-2024

УДК 373.5.016:623.746

Рекомендовано до друку вченою радою комунального навчального закладу «Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради». Протокол № 2 від 10.06.2024 року

АВТОРИ-УКЛАДАЧІ:

Юлія ЗОРЯ, завідувач навчально-тренінгового центру STEM-освіти комунального навчального закладу «Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради», кандидат педагогічних наук;

Євген КАЧКАР, методист навчально-тренінгового центру STEM-освіти комунального навчального закладу «Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради», кандидат технічних наук, доцент;

Віталій КУРАС, методист навчально-тренінгового центру STEM-освіти комунального навчального закладу «Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради»;

Олег ТКАЧЕНКО, методист навчально-тренінгового центру STEM-освіти комунального навчального закладу «Черкаський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних працівників Черкаської обласної ради».

За загальною редакцією *Валерія ДАНИЛЕВСЬКОГО*, начальника управління освіти і науки Черкаської обласної державної адміністрації, кандидата історичних наук та *В'ячеслава СКІЧКА*, президента міжнародного благодійного фонду «Наш батальйон»

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Андрій КОВАЛЬОВ, доцент кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, доктор технічних наук, с.н.с.;

Юрій ОТРОШ, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України, доктор технічних наук, професор

Б40

Безпілотні (роботизовані) системи в оновленому предметі «Захист України». Навчально-методичний альбом / авт.-уклад Ю. Зоря, Є. Качкар, В. Курас, О. Ткаченко. Черкаси: КНЗ «ЧОІПОПП ЧОР», 2024. 178 с.

Повномасштабне вторгнення росії в Україну призвело до значних змін в усіх галузях розвитку нашого суспільства, в освітній зокрема. Тому виявлення готовності діяти в інтересах національної безпеки й стати на захист національних інтересів та територіальної цілісності України – пріоритетне завдання соціальної і здоров'язбережувальної освітньої галузі, реалізацію якої в освітній системі забезпечує і оновлений предмет «Захист України»! А військові технології та БПЛА є однією з наскрізних тем модельної програми предмета «Захист України».

Відповідно до програми оновленого предмета «Захист України» у навчально-методичному альбомі представлено навчально-методичні матеріали про класифікацію БПЛА, підготовку операторів FPV-дронів, пілотування, технічні можливості та обмеження щодо застосування БПЛА, безпеку під час польоту, експлуатації, в екстрених ситуаціях та ін.

У виданні запропоновано навчально-методичні матеріали для учителів предмета «Захист України», керівників гуртків, викладачів професійної (професійно-технічної) освіти.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
I. БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ: ІСТОРІЯ, РОЗВИТОК ТА ШЛЯХ ДО ОСВІТИ	9
1.1.Безпілотна авіація: історія та розвиток	10
1.2. Бойові безпілотники планети	19
1.3 Дрони у сучасній війні	30
1.4. Класифікація БПЛА	33
1.5. Нормативно-правова база та державне регулювання виконання авіаційних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів	48
II. БАЗОВИЙ КУРС FPV-ПІЛОТУВАННЯ	54
2.1. Принципи польоту БПЛА квадрокоптерного типу	55
2.2. Види корисних навантажень БПЛА	59
2.3. Конструкція БПЛА коптерного типу	60
2.4. Додаткове обладнання для застосування FPV-дронів	80

III. АПАРАТУРА УПРАВЛІННЯ І ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОСИГНАЛУ	82
3.1 Основи поширення радіохвиль	82
3.2. Діапазони частот FPV-дронів	83
3.3 Апаратура управління БПЛА	84
3.4 Система передачі та прийому відеосигналу FPV-дронів	88
3.5 Антени FPV-дронів	91
3.6. Радіобезпека	97
IV. ПОРЯДОК ПІДГОТОВКИ ОПЕРАТОРА FPV-ДРОНА ДО ПОЛЬОТУ І ОБЛІК ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ОБМЕЖЕНЬ БПЛА	101
4.1 Підготовка до виконання польотного завдання та візуальне орієнтування	102
4.2 Вплив метеоумов на польоти FPV-дронів	112
4.3. Технічні можливості та обмеження щодо застосування БПЛА	114
V. ПІДГОТОВКА FPV-ДРОНА ДО РОБОТИ І НАЛАШТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ	117
5.1. Складання FPV-дрона	118
5.2 Підготовка FPV-дрона до польоту	126

VI. БЕЗПЕКА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ	136
6.1.Первинна підготовка	136
6.2. Техніка безпеки при складанні та технічному обслуговуванні	137
6.3.Передпольотна підготовка	138
6.4. Безпека перед зльотом	139
6.5. Безпека у польоті	140
6.6. Дії в екстрених ситуаціях	141
VII. ПІЛОТУВАННЯ FPV-ДРОНІВ	142
7.1.Загальні рекомендації щодо управління FPV-дроном	142
7.2. Безпека польоту. Дії оператора FPV-дрона в особливих випадках у польоті	147
СПИСОК КОРИСНИХ ПОСИЛАНЬ	150
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	152
ДОДАТКИ	158
СКАНУЙ ПЛАКАТИ ДЛЯ УРОКУ	178

ВСТУП

Метою навчального предмета «Захист України» є формування національної та громадянської ідентичності, громадянської стійкості та оборонної свідомості здобувачів та здобувачок профільної середньої освіти, здатних виявляти свою національну та громадянську ідентичність у повсякденному житті і в умовах негативних зовнішніх впливів та готовність до захисту незалежності і територіальної цілісності України, конституційних засад державного ладу, національних інтересів та суспільно-державних (національних) цінностей України (із модельної навчальної програми Захист України 10-11 клас) [22]



Система освіти нашої країни перебуває у постійному пошуку інноваційних підходів, здатних ефективно підготувати учнів до викликів сучасного світу. І саме у цьому контексті новітні технології відіграють ключову роль, пропонуючи нові можливості для збагачення освітнього процесу та розвитку навичок, необхідних для успішної адаптації у часи, коли ворог веде жорстоко війну. Одним із найбільш захоплюючих та перспективних інноваційних рішень в освіті є навчання управлінню безпілотними літальними апаратами або дронами.

Саме тому оновлення інтегрованого курсу «Захист України» та запровадження навчальних курсів та модулів з управління безпілотними літальними апаратами (БПЛА) до навчальних планів закладів загальної середньої та професійної(професійно-технічної) освіти є стратегічно важливим кроком.

Навчання управлінню безпілотними літальними апаратами сприяє інтеграції різних предметних галузей в освітньому процесі. Наприклад, навчання програмування та управління дронами тісно пов'язане з математикою, фізикою, інформатикою, географією і навіть мистецтвом. Що дозволяє набути цілісного досвіду для учнів, а курси з управління безпілотниками, які є у складі навчальних програм сприяють створенню більш гнучких та адаптивних освітніх систем.

І якщо у ХХ столітті безпілотник був сміливою фантазією, то сьогодні він стає частиною реального життя, економіки, створює нові методи діагностики та моніторингу, робочі місця та є незамінним в умовах жорстокої війни.



I. Безпілотні літальні апарати: історія, розвиток та шлях до освіти

Безпілотний літальний апарат, БПЛА/ дрон – з англ. drone «трутень»



Згідно з визначенням, схваленим Асамблеєю ІКАО (міжнародна організація цивільної авіації), **«безпілотний літальний апарат (дрон)»** є повітряним судном без пілота, яке виконує політ без командира повітряного судна на борту та/або повністю дистанційно керується з іншого місця з землі, з борту іншого повітряного судна, з космосу, або запрограмоване та повністю автономне».



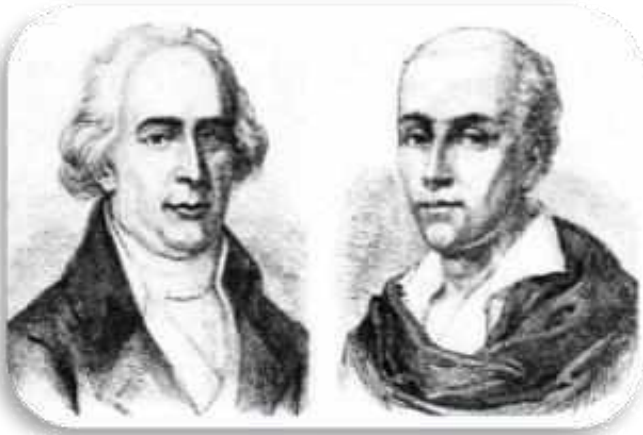
DRONE



DRONE

1.1.Безпілотна авіація: історія та розвиток

Мирний початок



Формально історія безпілотників починається в далекому 1782 році, коли **брати Етьєн і Жозеф Монгольф'є** підняли у повітря кулю, наповнену димом.

Діаметр несучої оболонки був 3,5 метри, а вага всього апарату – 154 кілограми.

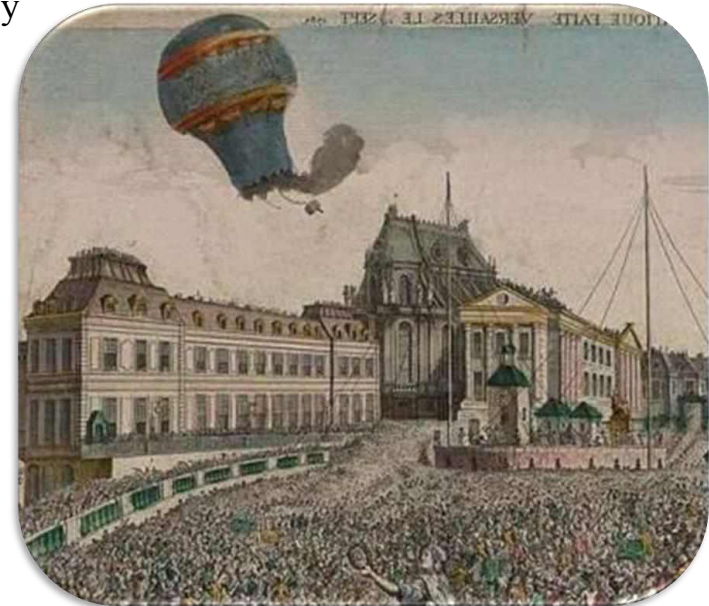
Куля протрималася у повітрі близько 10 хвилин, при цьому вона піднялася на

висоту майже 300 метрів і пролетіла понад кілометр.

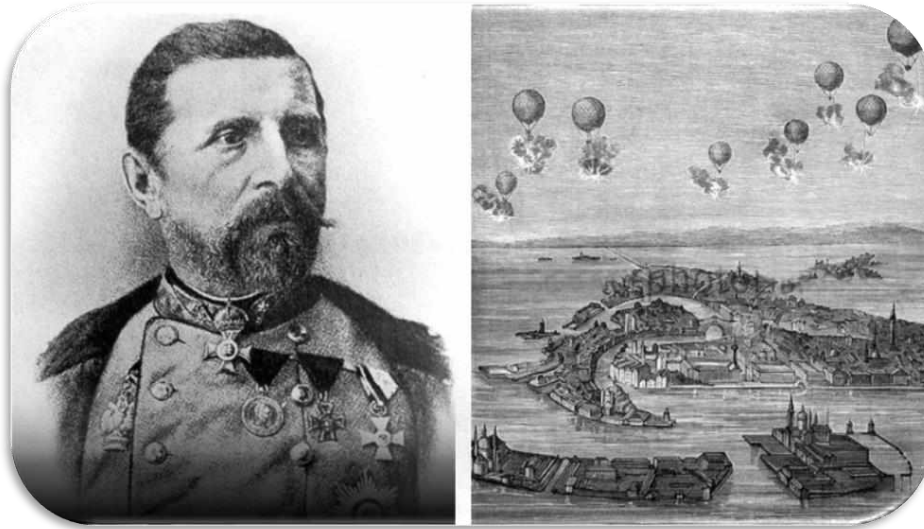
Початок був покладений і брати замислилися над розвитком проєкту. Другий запуск став більш видовищним: до кулі був прикріплений кошик, в якому помістилися перші пасажери безпілотника: баран, качка та півень.

Політ тривав 8 хвилин на дистанції близько 4-х кілометрів.

Повітряні кулі, які згодом названі дирижаблями, відіграли велику роль в історії авіації, але саме безпілотники стали справжньою знахідкою у військовій справі [12].



Перший бойовий дрон: бомбардування Венеції у 1849 році



Початком військової історії безпілотників можна вважати Італійську революцію 1848-1849 років, коли австрійські війська провели бомбардування бунтівної Венеціанської республіки з аеростатів.

У 1849 р. Венеціанська республіка повстала проти австрійського панування. Лейтенант австрійської артилерії **Франц фон Юхатіус** висунув ідею бомбардувати місто з аеростатів. За його пропозицією, аеростати мали запускатися за вітром у бік Венеції, а у

розрахований момент часу спеціальний пристрій відчіплював підвішений вибуховий заряд. Австрійці прив'язували до повітряних кульок бомби вагою 13 кг. У розрахунковий момент повинні були спрацювати годинникові механізми, що відпускали вибухові пристрої.

Оскільки місцеві умови рельєфу не давали можливості для ефективної роботи артилерії, командування армії запустило над повсталим містом два аеростати, начинені бомбами. Проте часто бомби не долітали до мети, падали у воду чи кулю зносило поривами вітру. Повітряні кулі були оснащені механізмами автоматичного скидання боєприпасів. І хоч бомбардування особливого успіху не принесло, венеціанці були в паніці, а день 12 липня 1849 увійшов в історію бойових дронів [13].

Нікола Тесла та перший дрон на радіокеруванні

Кінець 19 століття ознаменувався відкриттями у галузі електрики та радіочастот. Відомий фізик, інженер та винахідник **Нікола Тесла** у 1898 році на озері в Медісон-сквер гардені (Нью-Йорк, США) демонструє перший човен на радіокеруванні.

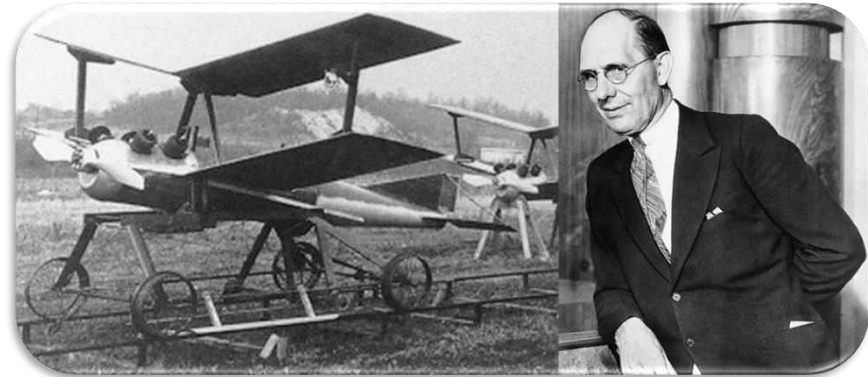
Радіосигнали з пульта приймалися антеною, встановленою на кораблику, а потім передавалися всередину його, де деякі пристрої слухняно виконували всі прийняті сигнали. Це була перша радіокерована модель.



Незважаючи на вдалі досліди, другим бойовим радіокерованим безпілотником стало не судно, а військовий літак. Американець **Чарльз Кеттерінг** створює «літаючу бомбу».

За задумом винахідника літак, начинений вибухівкою, керувався не пілотом, а годинниковим механізмом. У запрограмований момент він скидав крила і каменем падав на голову ворога.

Ідея знайшла підтримку в уряді США. Проєкт отримав фінансування, але кілька невдалих «бомбардувань» призвели до того, що виробництво «дронобомби» було припинено ще до початку Першої світової війни [12].

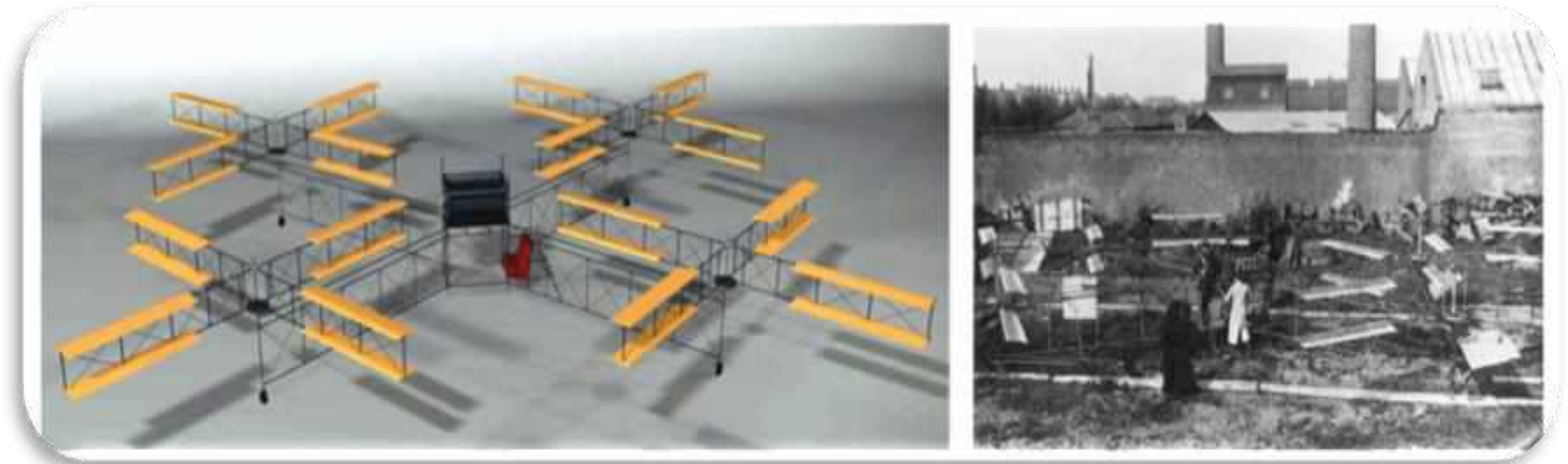


Апарат мультироторного типу

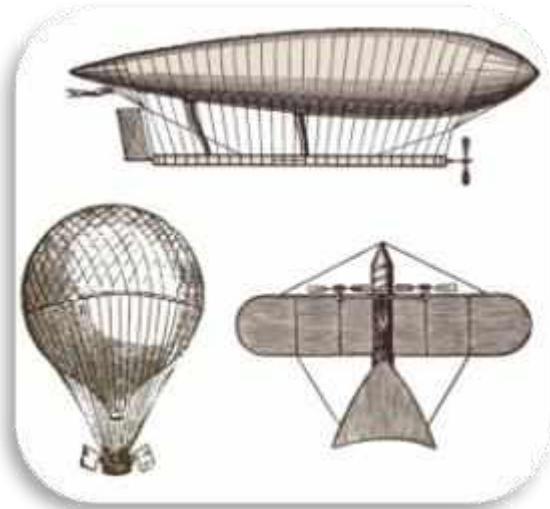
У вересні 1907 року вперше в історії авіації гелікоптер **Луї Бреге**, потужністю встановленого на ньому двигуна, підняв людину в повітря. Апарат побудували **брати Жак та Луї Бреге** (Louis et Jacques Breguet) у співпраці з професором **Шарлем Ріше** (Charles Richet).

Апарат, названий авторами Жиропланом №1 (Gyroplane №1), мав 4 ротори з лопатями біпланного типу. Загальна площа 32-х лопатей становила 26 метрів².

Восьмициліндровий поршневий двигун Antoinette розвивав номінальну потужність 44-45 к/с (максимальна – 50 к/с), ротори оберталися зі швидкістю 78 об/хв. Під час випробувань сидіння пілота займав інженер Волюмар (Volumard). 29 вересня апарат масою 578 кг піднявся на висоту 1,6 м ходу.



Період до та після Першої світової війни



У період від зародження ідеї безпілотних літальних апаратів до кінця Першої світової війни простежується стійка закономірність перенесення робіт зі створення безпілотних крилатих літальних апаратів (БКЛА) з гвинтомоторною групою з бази крилатих ракет на літальні апарати з гвинтомоторною групою. Об'єднуючим фактором було те, що практично всі БКЛА мали стартувати з наземних пускових установок. Відмінність полягала в тому, що, якщо американські інженери намагалися з допомогою радіо керувати автопілотом на базі гіростабілізатора, то німецькі та англійські конструктори намагалися передавати радіосигнали управління прямо на виконавчі органи

БКЛА.

У 1916 р. військово-політичне керівництво Німеччини вирішило створити дешевий радіокерований безпілотний літак для дальнього бомбардування. Розробляв такий літак **А. Фоккер**. Завдання слід було виконати у дуже стислий термін. Фоккер встиг побудувати тільки планер, що буксирується.

На його базі було запропоновано розробити плануючу бомбу. У період між двома світовими війнами у галузі створення БКЛА велися роботи у багатьох країнах. Так вже застарілі літаки Е-1, союзники по Антанті, що залишилися після війни, переобладнали в літаючі бомби. У 1923 р. у Німеччині під егідою Міністерства авіації почалася розробка кількох безпілотних, керованих по радіо літаків [13].

Гірокомпас і розумні літаючі бомби. 1916 – 1920 роки

У 1917 році доктор **Пітер Купер та Елмер**

Сперрі винайшли автоматичний гіростабілізатор (гірокомпас).

Він дозволяв літаку утримувати заданий напрямок польоту. У результаті вдалося перетворити навчальний літак Curtiss N-9 на першу безпілотну літаючу бомбу. Під час тестових польотів літак пролетів 50 миль із 300-ти фунтовим (136 кілограм) боєприпасом на борту, проте йому так і не довелося взяти участь у боях.

12 вересня 1916 року відбулися випробування першого радіокерованого літака-снаряду «Хевіт-Сперрі».

У 1917 році була випробувана «повітряна торпеда» – літальний апарат конструкції одного з піонерів авіації - **О. Райта** (O. Wright). Він був оснащений апаратурою фірм «Сперрі гіроскоп» (Sperry Gyroscop) та «Дженерал моторс» (General Motors) [36]



Queen Bee: родоначальник усіх БПЛА

Справжнім проривом для безпілотників ХХ століття став 1933 рік, який офіційно вважається родоначальником всіх подальших розробок. Саме в цей рік силами інженерів Великобританії був розроблений перший БПЛА

багаторазового використання. Проєкт отримав назву DH.82B Queen Bee.

Такими БПЛА були відреставровані моделі біпланів Fairy Queen, якими дистанційно керували з корабля по радіо.

Цей безпілотник мав швидкість до 170 км/год, максимальну висоту підйому 5000 м і був першим апаратом з можливістю повторного використання, у тому числі як повітряна ціль при підготовці пілотів до повітряного бою.

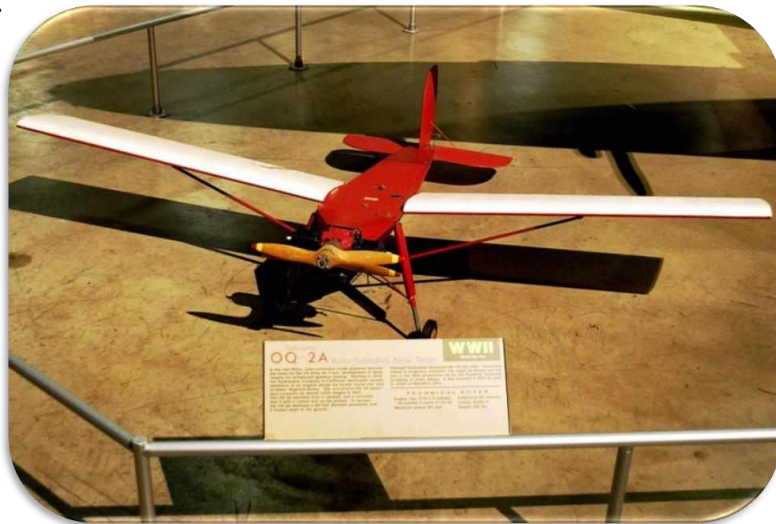
Моделі DH.82B Queen Bee успішно використовувалися в армії з 1934 по 1943 роки як літаки-мішені.



З початком Другої Світової війни безпілотники для армії стали випускатися масово. Три основні воюючі сторони (СРСР, США та Німеччина) не раз звертались до послуг безпілотної авіації, відчуваючи її явну перевагу над пілотованими апаратами, а саме:

- США 1939 року масово випускають (понад 14 тис. одиниць) радіоплани типу Target – модель QQ-2;
- Німеччина проектує та використовує радіокеровані бомби «Henschel Hs 293» та «Fritz X», а також ракети «Фау-1» та «Фау-2»;
- СРСР у 1941 році використовує важкий безпілотний бомбардувальник ТБ-3 для знищення мостових конструкцій.

Після Другої Світової війни безперечним лідером у розробці та застосуванні БПЛА вважаються США. Так, безпілотники вже багато років перебувають на озброєнні американської армії нарівні з пілотованими апаратами [37].



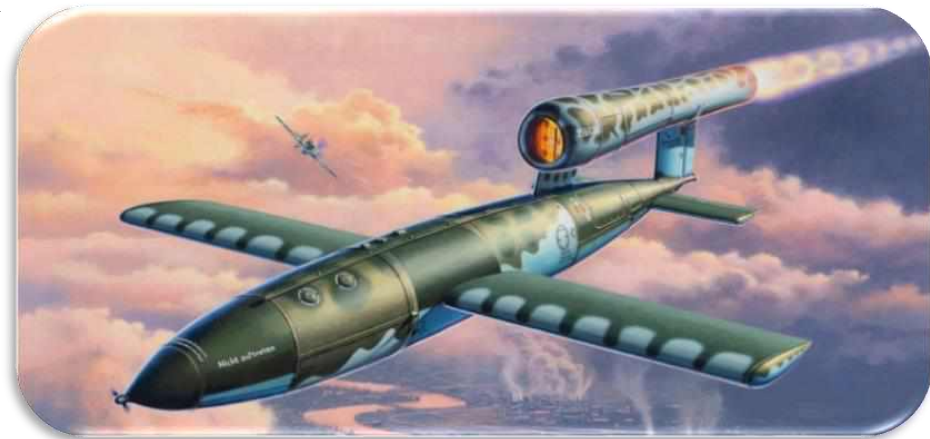
«Фау-1» – Масове застосування БПЛА в бойових діях

У 1941 проект літака-снаряда Fi-103 був представлений на розгляд Міністерства авіації. Основним двигуном апарату був пульсуючий повітряно-реактивний двигун, створений у 30-ті роки німецьким конструктором **Паулем Шмідтом**.



Серійне виробництво ракет почалося 1942 року на острові Узедом. Там був розташований концентраційний табір, де нацисти активно використовували працю ув'язнених.

Бойове розгортання «Фау-1» стартувало 1943 року. У червні 1944 року відбулося перше застосування «Фау-1», ними німці завдали удару по англійській столиці



1.2. Бойові безпілотики планети

США лідирують у сфері виробництва бойових дронів. За прогнозами провідних світових аналітиків військової галузі [5], у 2028 році американська армія матиме більше безпілотних літальних апаратів-розвідників, ніж решта світу разом узятого. Армії інших країн такою кількістю дронів «у погонах» похвалитися не можуть, натомість на бойове чергування здатні виставити найпотужніші бойові дрони на планеті.

«GAAS Avenger»

Це безпілотник для авіаносців, модифікація Predator, знятого з озброєння ВПС США у 2020 році. Крила складаються так, щоб апарат займав менше місця і міг поміститись на кораблі.

Хоча він небезпечний, звичайно, не цим. Вантажний відсік GAAS Avenger здатний нести дві бомби з лазерним прицілом, загальною вагою 440 кг. Крім них, безпілотник легко перевозить ще півтонни зброї та спорядження. «Месник» надзвичайно швидкий – розганяється до 740 км/год. Верхня частина корпусу складає 18 м.





«Heron TP»

Ізраїльський Heron, ймовірно, – один з найбільш популярних військових безпілотників у світі. Heron TP – середньовисотний багатоцільовий безпілотник великої тривалості польоту. Розмах крил – 26 м. Верхня частина корпусу – 13,7 м. Тривалість польоту - 36 год. Може нести на собі засоби управління вогнем та ударні комплекси. «Heron TP» бачить в оптичному та інфрачервоному діапазонах.

Крейсерська швидкість 296 км/год, здатна розігнатися до 460 км/год.

«MQ-9 Reaper»

І знову американець. Один із найпотужніших і найвідоміших у світі БПЛА. Це основний розвідувально-ударний безпілотний літальний апарат армії США. Він може злітати на висоту 14 км і перебувати у повітрі до 30 годин. Крейсерська швидкість – 280-310 км/год, максимальна – до 480 км/год. Безпілотник здатний підняти в небо вантаж вагою до 4,7 т. Оптичолоконна система AN/AAS-52 розпізнає та відстежить ціль, телекамери прочитають номерний знак, навіть перебуваючи за 3 км від автомобіля. Час реакції на отриману від оператора команду – 1,5 с. Озброєний Reaper протитанковою ракетою AGM-114 Hellfire, а також керованими бомбами GBU-12 та GBU-38. Може нести до 14 ракет Hellfire класу «повітря-земля».



«Bayraktar TB2»

Турецький апарат відноситься до класу тактичних середньовисотних БПЛА з великою тривалістю польоту. Його програмне забезпечення дещо перевершує подібний компонент у деяких конкурентів, у тому числі й ізраїльського дрону «Heron».

Крейсерська швидкість – 130 км/год, максимальна – 250 км/год. Робоча частина – 7,3 м. Довжина – 6,5 м, розмах крила – 12 м. Безпілотник важить 630 кг, здатний підняти до 55 кг боєприпасів. Максимальний час перебування у повітрі – доба.

Може нести на собі дві протитанкові керовані ракети та кориговані бомби МАМ-С (8 кг) та МАМ-L (23 кг) з наведенням по лазерному променю, небезпечні для автомашин та легкої бронетехніки.



«CH-5 (Rainbow-5)»

Новий середньовисотний розвідувально-ударний безпілотник із Китаю. «Rainbow-5» може нести до 16 ракет класу «повітря-земля» або інших високоточних боєприпасів загальною масою до 900 кг. Розмах крил – 21 м, максимальна швидкість – 400 км/год. Без дозаправки триматиметься у повітрі 60 годин.



«Taranis»

Британського розвідника-штурмовика п'ятого покоління названо на честь кельтського бога грому. Донедавна деталі його розробки трималися в таємниці. Достеменно відомі лише маса – 3 т, довжина – 11 м, розмах крил – 10 м і те, що безпілотник оснащується технологією «Стелс», яка робить апарат практично невидимим для ППО противника. Максимальна швидкість – надзвукова, розрахована на виконання міжконтинентальних польотів. Розробкою «Taranis» займалися вчені та системні інженери з 250 британських компаній.



«Yabhon United 40»

Середньовисотний розвідувально-ударний БПЛА розроблений в ОАЕ може перебувати в повітрі до п'яти діб (120 годин). Здатний нести 1030 кг боеприпасів. Верхня частина корпусу – 7 м.

БПЛА «ADCOM United 40 block 5» сміливо підкорює сучасні авіаційні виставки.



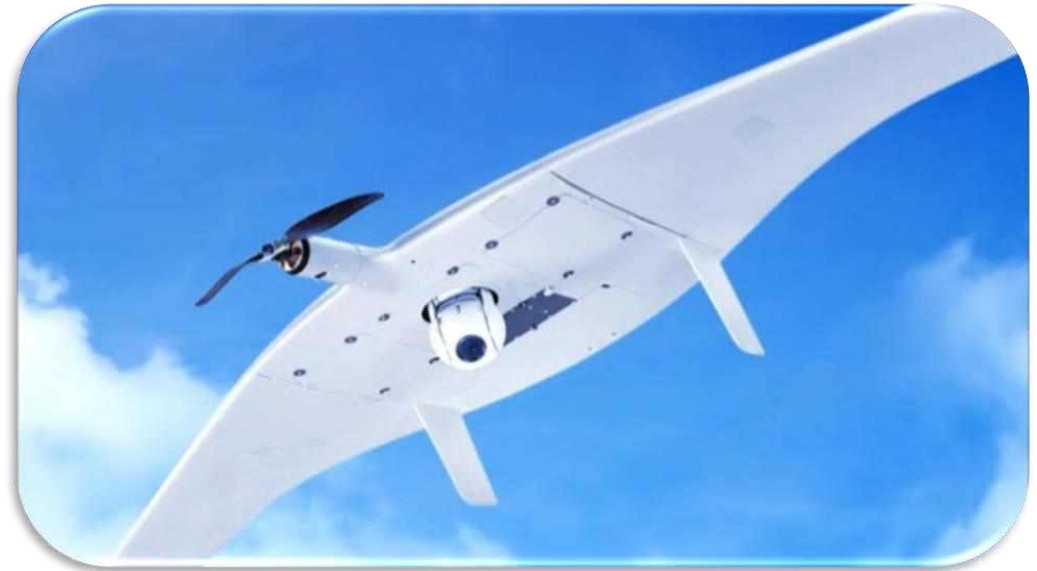
«Скат»

Бойовий безпілотний літальний апарат (ББЛА) «Скат» призначений для завдання ударів як по заздалегідь розвіданим стаціонарним цілям, в першу чергу, засобам ППО, в умовах сильної протидії зенітних засобів противника, так і по мобільних наземних і морських цілях при веденні автономних і групових, спільних з пілотованими літальними апаратами, дій.

Апарат виконаний з композитних матеріалів за схемою «крило, що літає» і не має хвостового оперення.

Ця конструкція сприяє зниженню помітності радіолокації. Керуючі органи апарату – поверхні, що відхиляються на задній кромці крила. З їх допомогою здійснюється управління по крену, тангажу, а також по аеродинамічному гальмуванню. «Скат» має турбореактивний двигун РД-5000Б тягою 5040 кг/с.

На носі апарату розміщено повітрязабірник двигуна. ББЛА володіє традиційним триопорним літаковим шасі, що забирається. У середині корпусу ББЛА «Скат» обладнано два відсіки бойового навантаження довжиною 4,4 м, розрахованих або на ракети класу «повітря-земля» або на бомби калібру, що коригується 250-500 кг. Маса бойового навантаження апарату становить близько 2000 кг



«Форпост»

«Форпост» – не що інше, як ліцензійна копія ізраїльського БПЛА Searcher II (розробки ізраїльської компанії Israel Aerospace Industries IAI), що був прийнятий на озброєння Армії оборони Ізраїля «ЦАХАЛ» у червні 1998 року, а з 2012 року випускається в росії за ліцензією.

Це аеро-розвідувальний комплекс, до якого входять три БПЛА та наземна станція управління.

БПЛА має прямокутний фюзеляж, здвоєні хвостові балки, встановлений згори горизонтальний стабілізатор, нескошене закінчення прямого крила, яке встановлено високо в задній частині корпусу.

Дрон у керуванні має 2-а керма висоти на горизонтальному стабілізаторі.

Злітна вага – 500 кг, операційний радіус – 250 км, час польоту – 17 год. Максимальна висота – 6000 м за умов використання одноциліндрового двигуна 3W-55i німецької компанії 3W-Modellmotoren Weinhold GmbH, елементів паливної системи від ірландської Tillotson.



«Дозор-85»

Дозор-85 (застаріла назва – Дозор-4) – російський багатоцільовий БПЛА, розроблений компанією «Транзас». Почав серійно випускатися у 2007 році та призначений для аеро-картографії, патрулювання державних кордонів, геодезії лісового господарства, загальної розвідки, моніторингу надзвичайних ситуацій тощо.

До комплексу «Дозор-85» входить командний пункт управління. У командному пункті розташовані 2-а автоматизовані робочі місця оператора та приймально-передаючого модуля. Комплекс оснащений 12-ти метровою

телескопічною щоглою, що дозволяє збільшити дальність зв'язку. Для зльоту та посадки БПЛА потрібен майданчик розміром 100 на 20 метрів. В аварійних ситуаціях можлива парашутна посадка.

«Дозор-85» оснащений оптико-тепловізійною системою. Відеопотік записується на накопичувач, розташований безпосередньо на БПЛА, а також передається на наземний пункт управління в режимі реального часу.





«Орлан-10»

«Орлан-10» – російський багатофункціональний безпілотний комплекс, призначений для ведення спостереження за протяжними та локальними об'єктами у важкодоступній місцевості, у тому числі при проведенні пошукових та ремонтних робіт. Розроблений російським підприємством «Спеціальний технологічний центр». Входить до складу системи управління тактичною ланкою ЕСУ ТЗ, завдяки чому може транслювати цілі для ураження всіма бойовими машинами (САУ, танки, БМП, машини ППО), підключеними до ЕСУ ТЗ.

БПЛА має досить велику дальність та тривалість польоту: до 600 км та до 16 годин. Це дозволяє БПЛА вести розвідку на великій дальності та патрулювати райони тривалий час. Корисне навантаження БПЛА має обмеження до 5 кг, тому БПЛА має безліч різних комплектацій під різний вид розвідувальної апаратури і може нести широкий спектр військового корисного навантаження, що дозволяє виконувати різні завдання і використовуватися у поєднанні з іншими системами, наприклад іншими БПЛА. Різні комплектації БПЛА можуть проводити спостереження в оптичному та інфрачервоному діапазоні. «Орлан-10» може автоматично визначати положення включених GSM-телефонів, станцій УКХ-зв'язку, що працюють РЛС у х-діапазоні. Засоби РЕБ для «Орлан-10» дозволяють виконувати глушення GSM-зв'язку, а також простих GPS-приймачів. Особливістю «Орлан-10» є щільна інтеграція з САУ «Мста-СМ», що дозволяє відразу ж знищувати цілі як окремих солдатів, так і працюючі РЛС безпосередньо після виявлення. БПЛА можна використовувати як коригувальника артилерійського вогню.

«Орион»



«Орион» – середньовисотний безпілотник великої тривалості польоту. Розмах крил – 16 м, довжина – 8 м, злітна маса – 1 т. Крейсерська швидкість заявлена на рівні 120 км/год, максимальна швидкість невідома. Апарат здатний працювати на висотах до 7,5 км. Максимальний час польоту – 24 години.

Планер середніх розмірів, нормального аеродинамічного компонування має пряме крило та хвостове оперення V-подібної форми. Фюзеляж має велике подовження, несиметричний

поперечний переріз. Для зменшення маси та збереження показників міцності планер виготовляється з композитних матеріалів. Крило – середньорозташоване, пряме, великого подовження з невеликим звуженням з розвиненою механізацією. Усі основні засоби механізації керуються з допомогою електродистанційної системи керування (ЕДСУ).

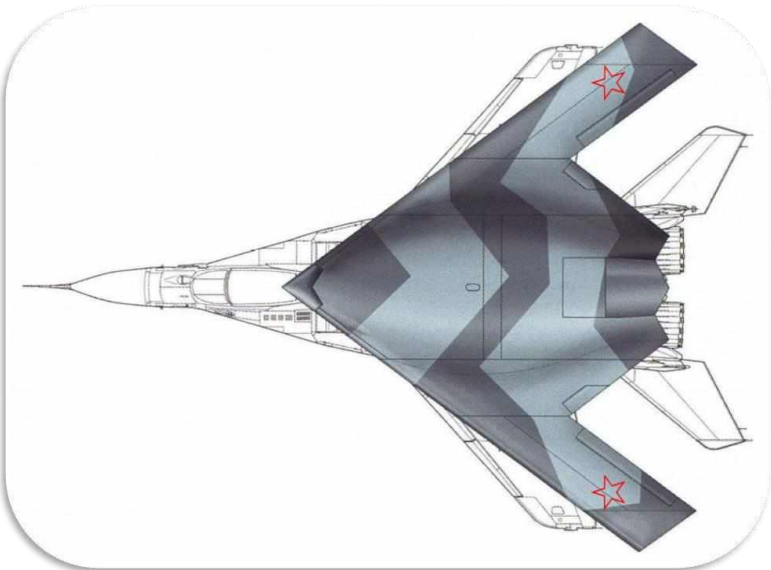
БПЛА має середню масу, при цьому маючи значні показники тривалості польоту та вантажопідйомності. Бортове обладнання призначене для оптико-електронної, радіолокаційної або радіотехнічної розвідки із можливістю тривалого патрулювання у заданому районі. Безпілотник може нести керовані ракети та авіабомби кількох типів. Передбачається встановлення до чотирьох ракет «повітря-земля». Спеціально для нього виготовлені боеприпаси малих калібрів, щоб «Орион» міг підняти вантаж у повітря.

С-70 «Мисливець» («Охотник»)



Поки що детальні характеристики російського «Мисливця» («Охотник») засекречені. Однак відомо, що «Охотник» за своїми характеристиками – дуже габаритний літальний апарат, з довжиною фюзеляжу 14 метрів та розмахом крила 19 метрів (тобто, доволі близько до габаритів, наприклад, МіГ-29).

При цьому заявлена злітна маса С-70 складає аж 25 тон, зокрема бойове навантаження – до 3-х тон.



Розробники запевняють, що кілька «Охотников», укомплектованих ракетами «земля-повітря» Х-58, Х-35, Х-74М2 і авіабомбами КАБ-25, що коректуються, можуть завдати страшної шкоди інфраструктурі супротивника.

Максимальна швидкість апарату – 920 км/год. Бойове навантаження – 6 т, максимальна висота польоту – 18 км [5; 32; 33; 41; 42; 43;44].

БПЛА та ШІ (штучний інтелект)



У квітні 2021 року на авіабазі ВПС США вперше здійснили запуск безпілотною «Kratos UTAP-22» з допомогою штучного інтелекту.

Система Skyborg підняла апарат, керувала ним та посадила. Досі, коли йшлося про бойові дрони, малося на увазі протистояння людей.

А навесні 2021 року, можливо, почалася інша історія про протистояння машин ... [47]

1.3. Дрони у сучасній війні

У 1991 безпілотники «AAI RQ-2 Pioneer» і «AeroVironment FQM-151» Pointer використовувалися для спостереження під час війни в Перській затоці.

У 1993 безпілотні апарати General Atomics Gnat були протестовані для спостереження в Югославських війнах (2001-2002 рр.).

Безпілотники MQ-1 Predator були оснащені ракетами для ураження ворожих цілей. З початку століття більшість ударів безпілотниками було завдано збройними силами США в таких країнах, як Афганістан, Пакистан, Сирія, Ірак, Сомалі та Ємен, з використанням ракет класу «повітря-земля». Але переважно це були точкові антитерористичні удари.

Масована атака дронами була здійснена з боку ІДІЛ на сирійську авіабазу Хмеймім 6 січня 2018 року. Її відбили розміщені там війська РФ. Це вважається першою атакою дронів в історії воєн. Але потім БПЛА стали широко застосовуватися також Туреччиною та Азербайджаном.

В Україні виготовлення військових дронів розпочалося з 2016 року на авіазаводі «Антонов». Наразі активно використовуються військові тактичні безпілотники «Лелека-100», Spectator-M1, «Фурія», «PD-2», «Валькірія», призначені для розвідки. Український ударно-розвідувальний БПЛА «Punisher» застосовують і в рятувальних операціях, дрон допомагає транспортувати медичні засоби, щоб надавати допомогу пораненим.

Крім того, зараз є безліч інших моделей «Shark», «Довбуш», «Інквізитор», «Ельф», «Колдун», «Баба Яга» та інші БПЛА, створені українськими інженерами для ЗСУ, за які протягом 2023 року 58 українських виробників дронів отримали держконтракт, а 67 моделей отримали кодифікацію. Всього на ринку працює понад 200-і

українських компаній, які займаються БПЛА або сервісами та продуктами у сфері дронів. Але про них мало що відомо у відкритих джерелах, що й зрозуміло [29]. Деякі моделі вітчизняних БПЛА показано на фото нижче.





1.4. Класифікація БПЛА

Аналіз науково-методичних джерел дав змогу виокремити класифікацію БПЛА за 15-ма базовими ознаками [7; 20; 28]:

- 1) використання;
- 2) тип системи керування;
- 3) правила польоту;
- 4) клас висоти польоту;
- 5) тип літального апарату;
- 6) тип крила;
- 7) спосіб зльоту/посадки;
- 8) тип двигуна;
- 9) паливна система;
- 10) тип паливного бака;
- 11) діапазон застосування;
- 12) категорія (з урахуванням маси та максимальної дальності дії);
- 13) радіус дії;
- 14) висота польоту;
- 15) функціональне призначення.



Пропонуємо розглянути детально кожен із виокремлених класифікацій БПЛА.

1. За способом використання БПЛА поділяють на:

- військові (ВА),
- цивільні (ЦА) та
- антитерористичні (АА).

У свою чергу, цивільні (в залежності від ліцензій для пілотів, зазначених у дужках) можуть бути:

- державними (National Private Pilots Licence (NPPL));
- приватними (Private Pilots Licence (PPL));
- комерційними (Commercial Pilots Licence (CPL));
- транспортними (Airline Transport Pilot Licence (ATPL)).

2. За типом системи керування (для одного БПЛА) можна класифікувати як:

- дистанційно пілотовані (тип 0);
- дистанційно керовані (тип 1);
- автоматичні (тип 2);
- дистанційно керовані авіаційною системою (тип 3);
- безпілотно-автоматичні-1, що використовують зональну навігацію 1-ї категорії ЗН-I (тип 4-I);
- безпілотно-автоматичні-2, використовують ЗН-II (тип 4-II).

Дистанційно пілотовані (ДПЛА) (Direct) – керуються безпосередньо оператором у зоні видимості через наземну станцію.

Дистанційно керовані (ДКЛА) (Monitored) – працюють автономно, але можуть потенційно керуватися пілотом або оператором, який використовує тільки зворотний зв'язок через інші підсистеми контролю.

Автоматичні (БАЛА) (Autonomous & Non-Adaptive) – виконують попередньо запрограмовані дії без керування пілотом і не мають можливості змінювати план дій під час польоту або адаптуватися до зовнішніх змін, але багаторазово можуть перепрограмовуватися перед кожним вильотом з урахуванням зміни навколишнього середовища та зібраного матеріалу на попередніх вильотах.

Дистанційно керовані авіаційною системою (ДКАС) (Supervisory) – виконують низько-рівневе керування вбудованими системами або наземною станцією, а високо-рівневе керування траєкторією польоту та/або стани контролюються оператором.

Безпілотно-автоматичні-І (БПАЛА-І) (Autonomous & Adaptive) – польотом управляють повністю вбудовані системи без втручання оператора або використання наземної станції, які можна перепрограмувати з урахуванням змін у середовищі або нових цілях. БПАЛА має можливість зв'язку з іншими підсистемами контролю та використовує зональну навігацію 1-ї категорії.

Безпілотно-автоматичні-II (БПАЛА-II) (Autonomous & Adaptive) – аналогічні

БПАЛА-I. Але використовують ЗН-II (RNAV-II) 2-ї категорії. Така класифікація на типи, згідно з режимом керування польотом, дозволяє використовувати певний ступінь автоматизації або автономії БПЛА. Режими керування польотом у програмному забезпеченні розташовані за класами, в порядку збільшення автоматизації або автономії та обираються пілотом або оператором [32].

3. За правилами польотів БПЛА поділяють на:

- візуальні;
- приладові;
- візуально-приладові.

Якщо БПЛА знаходиться і виконує політ у межах видимості пілота, який керує та контролює його у світлий час доби, то політ – **візуальний**, а якщо виконується політ в автоматичному режимі («автопілоті» для пілотованих ЛА) не тільки у видимій зоні, а й у сліпих зонах, а також у темний час доби з відповідною системою управління політ – **приладовий**.

Візуально-приладові – це такі системи, коли під час одного польоту використовуються візуальні та приладові правила (наприклад, зліт та посадка – візуальні, а основна частина польоту – приладова) [20].

4. За класом висоти польоту БПЛА можна розділити на сегреговані та несегреговані. У свою чергу, несегреговані бувають класу А, В та С. **Сегреговані** – виконують польоти у сегрегованих (заборонених) зонах, зонах обмеження польотів, а також спеціальних зонах польотів для БПЛА (якщо це передбачено авіаційними стандартами держави), а **несегреговані** – відповідно у несегрегованому класі А, В, С, де необхідні відповідні бортове обладнання, ліцензії та дозволи служб організації та обслуговування повітряного руху [30].

5. За типом літального апарату БПЛА класифікують на:

- літакові,
- вертолітні,
- БПЛА з гібридною конструкцією,
- мультикоптер (багатороторний вертоліт).



БПЛА літакового типу – це клас БПЛА, у яких підйомна сила створюється аеродинамічним способом за рахунок напору повітря, що набігає на нерухоме крило. БПЛА літакового типу, як правило, відрізняються великою тривалістю польоту, великою максимальною висотою польоту та високою швидкістю. Недоліками БПЛА літакового типу є необхідність використання пускових установок, злітно-посадкових смуг, неможливість нерухомого зависання повітря на одному місці.

БПЛА вертолітного типу – клас БПЛА, в яких

підйомна та рушійні сили на всіх етапах польоту створюються одним або декількома несучими гвинтами з приводом одного чи кількох двигунів. Крила або немає зовсім, або відіграє допоміжну роль. Очевидними перевагами БПЛА вертолітного типу є здатність зависання в точці та висока маневреність. Основним недоліком

Вертолітної схеми БПЛА є невисока швидкість польоту.



БПЛА з гібридною конструкцією – це клас БПЛА з вертикальним зльотом та посадкою. Під



такою класифікацією апаратів маються на увазі всі БПЛА, які здатні контролювано змінювати напрям вектора тяги та поєднують в собі конструкційні принципи літака та квадрокоптера. Мають переваги вертикального зльоту за рахунок наявності додаткових двигунів, встановлених у горизонтальній площині, і одночасно можуть розвивати високу швидкість, завдяки аеродинамічній схемі з нерухомим крилом за рахунок гвинта, що штовхає або тягне.

Мультикоптер (багатороторний вертоліт) –

літальний апарат, збудований за вертолітною схемою, з трьома та більш несучими гвинтами. Їхньою основною перевагою є відносно низька вартість, легкість в управлінні, можливість вертикального зльоту з непередбаченого майданчика та здатність зависання в повітрі, і навіть висока точність позиціонування. Недоліками є низька швидкість, високі енерговитрати, обмежений радіус дії, нетривалий час польоту. Існує кілька різновидів мультикоптерів, що різняться кількістю та розташуванням двигунів щодо центру апарату: бікоптер; трикоптер; квадрокоптер; гексакоптер; октокоптер.



Квадрокоптер – найпопулярніший мультикоптер, тому що «чотири» – це оптимальна кількість електродвигунів для балансу ціни, продуктивності, стабільності та часу польоту [18].



6. За типом крила БПЛА бувають фіксованими та плаваючими (змінюють форму (Φ), положення (Π), розмір (P) під час зльоту/посадки та виконання польоту).

Фіксовані – як правило, літакового та гелікоптерного типів, що використовують фіксоване крило, а **плаваючі** – використовуються в конвертопланах, що мають плаваюче крило.

7. Виділяють такі принципи польоту БПЛА:

- балістичний,
- аеродинамічний,
- ракетодинамічний (реактивний),
- аеростатичний.

Балістичний принцип польоту – це політ вільно кинутого тіла, що відбувається під впливом сили тяжіння. Підйомна сила визначається силою інерції тіла, що летить. Для здійснення польоту по балістичному принципу тіло має мати початковий запас висоти чи швидкості, тому балістичний політ називають також пасивним.

Аеродинамічний принцип польоту заснований на третьому законі Ньютона, згідно з яким пластина, поміщена під якимось кутом в повітряний потік, дає можливість оператору відчувати тиск зі сторони потоку.

Реактивний принцип польоту також ґрунтується на третьому законі Ньютона, але взаємодія літального апарату з оточуючим його повітрям не є обов'язковою для нього умовою. Сутність реактивного принципу полягає в тому, що необхідна для польоту підйомна сила створюється в результаті згоряння палива, при якому утворюються гази, які мають велику енергію. Ці гази, витікаючи з великою швидкістю із сопла двигуна назовні, створюють реактивну силу протилежного напрямку [34; 48].

Аеростатичний принцип польоту заснований на законі Архімеда. Відповідно якому на тіло, що знаходиться в газовому середовищі, діє підйомна сила, що дорівнює вазі витісненого ним газу. За таким принципом літають дирижаблі, аеростати, повітряні кулі.

8. БПЛА розрізняють за напрямком зльоту та напрямком посадки (спосіб реалізації підйомної сили).

За напрямком зльоту БПЛА бувають:

- горизонтальними,
- вертикальними,
- мультипідйомними.

За напрямком посадки БПЛА поділяють на:

- горизонтальні,
- вертикальні,
- парашутні,
- щогли,
- безпосадкові,
- мультиспускові (використовують комбінації та різні типи посадки) [1].

9. За типом двигуна БПЛА можуть бути:

- електричні,
- гібридні,
- двигуни внутрішнього згоряння, які, у свою чергу, поділяють на:
 - ✓ поршневі,
 - ✓ реактивні двигуни,
 - ✓ газотурбінні,
 - ✓ прямо-потоківі повітряно-реактивні.

10. За особливістю паливної системи БПЛА поділяють на:

- монозаправні (одноразові);
- полізаправні (багаторазові).

Монозаправка – одноразова заправка паливної системи, що здійснюється виробником на заводі, а

полізаправна – багаторазова заправка, яка може, у свою чергу, бути:

- *наземною* (виконується на землі),
- *платформною* (морська на борту морського судна),
- *бортовою* (на борту пілотованого ЛА, призначеного для перевезення, запуску та заправки БПЛА),
- *польотньою* (заправка повітря під час польоту ЛА заправником).

11. За типом паливного бака БПЛА бувають

- базовими та
- базово-резервними.

Базові БПЛА мають основний паливний бак, а **базово-резервні** – основний та резервні паливні баки.

12. За кількістю використання, залежно від паливної системи, можуть бути

- одноразовими (безпосадковими; посадковими) і
- багаторазовими.

13. За категоріями БПЛА (з урахуванням маси та максимальної дальності дії) поділяють на

- тактичні,
- оперативно-тактичні,
- оперативні,
- оперативно-стратегічні,
- стратегічні,
- спеціальні [1; 5; 48].

За масою (злітної та корисного навантаження) залежно від категорії

БПЛА поділяють на:

- нано (Nano) з масою менше 0,025 кг;
- мікро (Micro (μ)) з максимальною злітною масою – до 5 кг;
- міні (Mini) менше 20...150 кг;
- понад легкі (CR) 25...150 кг;
- легкі (SR) 50...250 кг; середні (MR) 150...500 кг;
- середньо-важкі (MRE) 500...1500 кг;
- важкі низьковисотні (LADP) 250...2500 кг;
- легкі низьковисотні (великі тривалості польоту / LALE) 150 ... 250 кг;
- важкі середньовисотні (середньовисотні великої тривалості польоту / MALE) 1000 ... 1500 кг;
- важкі висотні (висотні великий тривалості польоту / HALE) 2500 ... 5000 кг;
- безпілотні бойові літаки (UCAV),
- камікадзе (Lethal/LETH),
- міраж (Decoy/DEC),
- стратосферні (STRATO),
- екзостратосферні (EXO),
- космічні (SPACE) понад 1000 кг [31; 48].

За максимальною дальністю дії, залежно від категорії:

- Nano – менше 1 км;
- Micro – менше 10 км;
- Mini – не більше 30 км;
- CR – 10 ... 30 км;
- SR – 30-80 км;
- MR – 80 ... 200 км;
- MRE – 200 ... 500 км;
- LADP-250 ... 800 км;
- LALE-500 – понад 800 км;
- MALE-500 – понад 800 км;
- HALE – понад 2000 км;
- UCAV, Lethal (LETH), Decoy (DEC), Stratospheric (STRATO), екзостратосферні (EXO), космічні (SPACE) – щонайменше 1500 км.

14. За радіусом дії БПЛА бувають:

- близького радіусу дії – до 40 км,
- малого радіусу дії – до 70 км,
- середнього радіусу дії – до 300 км,
- дальнього радіусу дії – до 1500 км,

- БПЛА довготривалого польоту – щонайменше 1500 км.

15. По висоті БПЛА можна поділити на:

- низьковисотні,
- середньовисотні,
- висотні.

У свою чергу, **НИЗЬКО-ВИСОТНІ** поділяються на:

- гранично маловисотні,
- маловисотні,
- низьковисотні;

а **середньовисотні** на:

- низько-середньовисотні,
- середньовисотні, високо-середньовисотні;

ВИСОТНІ на:

- стратосферні,
- суборбітальні,
- спеціально-висотні,
- орбітальні [33].

16. За функціональним призначенням БПЛА бувають:

- спостережувальними,
- розвідувальними,
- моніторинговими,
- дистанційно-зондуючими,
- розвідувально-ударними,
- ударними,
- інформаційно-розвідувальними,
- радіоелектронної безпеки,
- радіоелектронної боротьби зв'язку,
- транспортними,
- бойовими,
- винищувальними,
- бомбардувальними,
- охоронними,
- мішеневими,
- багатоцільовими [14; 48].

Функціональне призначення БПЛА взаємопов'язане із відповідними завданнями, які, в свою чергу, залежать від усіх названих вище тактико-технічних характеристик та вимог, що висуваються до бортового обладнання для виконання завдань, поставлених перед БПЛА [34].

1.5. Нормативно-правова база та державне регулювання виконання авіаційних робіт з використанням безпілотних літальних апаратів [25]



Європейська агенція авіаційної безпеки (ЄААБ) оприлюднила загальні норми використання дронів, які невдовзі стануть обов'язковими для всіх країн-членів ЄС.

Враховуючи стрімкий розвиток світової галузі безпілотників, поява таких норм була лише питанням часу. Адже досі безпілотні літальні апарати залишалися поза увагою законодавців, не маючи навіть чітко визначеного статусу. Розмови про необхідність регулювати стрімко зростаючу галузь приватних безпілотних літальних апаратів – більш відомих в народі як дрони – точаться в урядових структурах світу вже доволі довгий час.

Особливої уваги дане питання набуло після історії, коли безпілотні літальні апарати несподівано «атакували» територію британських аеропортів Гатвік і Хітроу, через що на добу припинилися всі польоти і аеропорти понесли багатомільйонні збитки. Кілька подібних випадків було також і в інших країнах. Після цього Європейське агентство авіаційної безпеки всерйоз взялося за дрони і нещодавно оприлюднило результати своєї роботи – один з перших в світі комплекс регулятивних актів, що на загальноєвропейському рівні встановлює правила та обмеження для приватних безпілотників. Основну частину правових норм становлять технічні вимоги, і вони торкнуться тільки

деяких із рядових власників та операторів безпілотників. Зокрема, починаючи з 22 червня 2020-го року, оператори безпілотних літаків повинні зареєструватися в країні ЄС, де вони проживають або мають основну роботу. Кожен безпілотний літальний апарат також підлягатиме реєстрації, що дозволить його відстежити у випадку необхідності. Це допоможе запобігати випадкам, подібним тим, що сталися в британських аеропортах. Також по всьому Європейському Союзу вводяться універсальні критерії до визначення класу, безпеки та вимог до дронів [24].

В цілому нові європейські закони дещо спростять життя рядовим власникам дронів. Раніше дрони практично жодним чином не регулювалися на міжнародному рівні. Певні документи, особливо що стосуються технічної комплектації, кожна країна так чи інакше розробляла, але тепер вони приведуть свої документи у відповідність загальним правилам. Поява універсального законодавства надзвичайно спростить життя власникам дронів, які багато подорожують країнами Європейського Союзу, бо їм не потрібно буде в кожній окремій країні вивчати правила. Для державних структур з'явиться виклик, адже потрібно буде переглядати власні регулюючі акти, а от з точки зору приватних власників все стане простіше.

Україна, попри доволі суворе законодавство в сфері малої авіації, залишається «вольницею» для авіації безпіотної. Перші правові норми для дронів були прийняті в нашій країні лише у 2018 році. На осінь 2019 року Державіаслужба запланувала підготовку та оприлюднення проекту загальних правил експлуатації дронів, а отже робота в цьому напрямку вже ведеться. І враховуючи курс України на євроінтеграцію та підписану угоду про асоціацію з Європейським союзом, немає сенсу будувати якісно відмінні від нещодавно оголошених Євросоюзом правила. Україна має намір увійти в спільний європейський авіаційний простір. А тому наше законодавство має повністю відповідати вимогам Європейського Союзу. Звісно, якісь свої особливі норми можуть бути, але загальні

принципи мають повністю співпадати. Тому, швидше за все нові правила, які збирається опублікувати Державіаслужба, будуть скориговані та врегульовані відповідно до нових європейських норм, щоб потім наша авіаційна галузь не мала проблем, зокрема й обмежень чи заборон на польоти.

Сьогодні виробники дронів, програмуючи свої вироби і закладаючи туди карти для польотів, просто мають внести в ці карти обмеження – аеропорти та заборонені зони, і безпілотний літальний апарат фактично не зможе там літати. Таке програмне забезпечення є навіть в дронів, які керуються дистанційно, а не просто літають по заданій програмі. Недобросовісні власники, звісно, можуть зламати програмне забезпечення і зняти таке обмеження. Тому такі модифікації європейське законодавство наразі забороняє і переслідує.

Однак паралельно використовуються і засоби, які стоять на заваді для польоту дронів над певною територією. На сьогоднішній день саме європейські аеропорти найбільше вкладаються в оснащення такими системами. В той час як системи фізичного знищення дронів більше популярні в східних країнах. Хоча галузь малих безпілотних літальних апаратів сформувалася доволі недавно, загрози та виклики від їх неправомірного використання вже стали очевидними для багатьох. А тому напрацювання Європейським Союзом єдиних правових норм її регулювання – своєчасний і закономірний крок. І до приєднання до цих норм в Україні немає жодних перешкод.

Європейська агенція з безпеки польотів докладає зусиль, аби врегулювати використання дронів у спільному європейському просторі. Більш того, міжнародна група експертів працює над розробкою стандартів для безпілотних літальних апаратів, включаючи безпечну інтеграцію малих та великих безпілотних літальних апаратів у повітряний простір та аеропорти. Хоча Україна і не є членом цієї організації, вона, як частина міжнародного повітряного простору, зобов'язана забезпечувати умови для цивільної авіації. Більш того, як майбутній член об'єднаного європейського неба, Україна має запровадити нове законодавство у відповідності з європейськими стандартами.

Варто зазначити, що у сучасному законодавстві існує дефініція безпілотних літальних апаратів, але їх використання не є окремо врегульованим і частково описується у якості частини широкої групи цивільної та комерційної авіації, відповідно до нормативно-правового регулювання повітряного простору. В цілому, спеціальні регулятивні документи щодо польотів безпілотних літальних апаратів, сертифікації, атестації операторів, а також інтеграції у сферу управління повітряного руху, відсутні.

На даний момент безпілотні літальні апарати підпадають під регулювання наступних нормативно-правових актів:

- ✓ Повітряного кодексу України;
- ✓ Правил реєстрації цивільних повітряних суден в Україні;
- ✓ Положення про використання повітряного простору України.

Правилами польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України. **«Безпілотне повітряне судно»** визначається там як повітряне судно, призначене для виконання польоту без пілота на борту, керування польотом якого і контроль за яким здійснюються за допомогою спеціальної станції керування, що розташована поза повітряним судном. Такі безпілотні літальні апарати мають перебувати у Реєстрі цивільних повітряних суден України. Однак, безпілотні літальні апарати, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кілограмів і які використовуються для розваг та спортивної діяльності, не потребують реєстрації.

Як і іншим цивільним повітряним суднам, зареєстрованим безпілотним літальним апаратам заборонено здійснювати польоти у певних зонах, а саме:

- ✓ захищених (урядові будівлі, промислові об'єкти);
- ✓ з обмеженим доступом (кордони країн, військові об'єкти);
- ✓ зарезервованими для інших літальних об'єктів.

Користувачі, зацікавлені у специфічних зонах, мають надсилати запит до Державного підприємства обслуговування повітряного руху України. З іншого боку, безпілотні літальні апарати, що мають вагу менше 20 кілограм, не потребують реєстрації чи будь-якого дозволу на польоти від державних органів. Більш того, немає обмеження на використання дронів у містах для особистих потреб, окрім як у стратегічно важливих для держави зонах з обмеженим доступом. У травні 2018 року Державна авіаційна служба України оприлюднила проєкт Концепції положення та процедур по забезпеченню безпеки польотів повітряних суден авіації загального призначення, спортивних, аматорських та безпілотних літаків. Хоча підготовка проєкту Положення мала завершитись до кінця 2016 року, її було відкладено більш ніж на рік. Тим не менш, зміст цього проєкту демонструє, що законодавець має за мету помістити всі безпілотні літальні апарати у чітке правове поле.

Документ складається з таких частин:

- ✓ класифікація та реєстрація безпілотних літальних апаратів;
- ✓ навчання та сертифікація персоналу;
- ✓ медичні вимоги до операторів, інтеграція безпілотних літальних апаратів до загальної системи повітряного руху;

- ✓ ліцензування та сертифікація операторів безпілотних літальних апаратів для комерційного використання, страхові питання;
- ✓ моніторинг та забезпечення безпеки діяльності безпілотних літальних апаратів.

Вказані положення дублюють відповідні норми Резолюції Європейського парламенту з безпечного використання так званих «дистанційно пілотованих літальних систем (ДПЛС)», що відомі як «безпілотні літальні апарати (БПЛА)», у сфері цивільної авіації. Однак, схоже що Проект відповідає Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, що зобов'язує держави забезпечувати безпечні умови для цивільних повітряних суден у зонах, де використовуються дрони.

З 24 лютого 2022 року, відповідно до Закону України **«Про правовий режим воєнного стану»**, в Україні введено режим воєнного стану! З 24 лютого 2022 року закрито повітряний простір України для цивільних користувачів повітряного простору, включаючи й безпілотні повітряні літальні апарати (БПЛА). Рішення щодо можливості використання повітряного простору безпілотними повітряними суднами в конкретній області ухвалює Генеральний штаб Збройних Сил України. Для можливості забезпечення належного використання безпілотних повітряних суден у сільському господарстві суб'єктам господарювання необхідно звернутися до відповідної обласної військової адміністрації на предмет можливості використання на конкретній території безпілотних повітряних суден [25; 26].



II. Базовий курс FPV-пілотування

Сучасний етап розвитку світової авіації характеризується створенням комплексів з безпілотними літальними апаратами різного функціонального призначення та безперервним розширенням діапазону їх номенклатури. А стрімкий розвиток БПЛА обумовлений їх новітніми можливостями та перевагами у порівнянні з пілотованими авіаційними комплексами чи іншими видами озброєнь та військової техніки.



Масова поява FPV-дронів на фронті російсько-української війни здійснила прорив у військовій справі. Міноборони України та багато дослідників називають їх революційним засобом ведення бою та порівнюють їх застосування зі снайперською зброєю. Революційність пояснюється тим, що до їхньої появи можливості завдання високоточних ударів були прерогативою дорогих і складних систем, застосовуваних точково, а FPV-дрони є надзвичайно доступнішими масовими виробами [16].

Однією з ключових переваг таких безпілотників над іншими засобами є те, що дрон вартістю від кількох сотень до кількох тисяч доларів може ефективно знищити техніку вартістю мільйони доларів (танк, артилерія, РЕБ, ЗРК та ін.).

2.1. Принципи польоту БПЛА квадрокоптерного типу

Для того, щоб ефективно застосовувати FPV-дрони, оператор БПЛА повинен досконало опанувати навички управління цим типом БПЛА.

Виконуючи політ за маршрутом та здійснюючи бойове маневрування, оператор FPV-дрона повинен постійно оцінювати положення БПЛА у просторі та прогнозувати його реакцію на переміщення органів управління. Для цього йому необхідно розуміти, які сили діють на квадрокоптер у польоті, а також від яких параметрів залежать його динамічні та маневрені характеристики.

Конструкція квадрокоптера, як і вертоліта, реалізує аеродинамічний принцип польоту, тому що підйомна та рушійна сили на всіх етапах польоту створюються кількома повітряними (несучими) гвинтами – пропелерами.



Повітряний гвинт (пропелер) – лопатевий рушій, що створює при обертанні тягу за рахунок відкидання повітря назад з деякою додатковою швидкістю, що приводиться в обертання двигуном, перетворюючи крутний момент двигуна з тяги.

Лопаті повітряного гвинта, закріплені на осі, що обертається (на валу двигуна або редуктора) таким чином, щоб передня кромка лопаті була спрямована у бік обертання (це важливо враховувати під час складання квадрокоптера), а самі лопаті встановлені під невеликим кутом (кут установки) до потоку, що набігає. Потік, що набігає, обтікає лопаті повітряного гвинта, а відстань, пройдена повітряним потоком по верхній (вигнутій) кромці

лопаті, більше, ніж відстань, пройдена по його нижній поверхні. Відповідно швидкість повітряного потоку на верхній кромці буде вищою, ніж на нижній. Різниця швидкостей повітряного потоку, що з'явилася, за законом Бернуллі призводить до різниці тисків. Різниця у тисках дає підйомну силу.

Підйомна сила, що виникає на лопатях, перетворюється на тягу повітряного гвинта, що додається до його втулки. Бо у квадрокоптера є чотири гвинти, то щоб квадрокоптер відірвався від землі сумарна сила тяги пропелерів має бути більшою за силу тяжкості.

Квадрокоптер має шість ступенів руху. Рух квадрокоптера являє собою сукупність поступального руху в декартовій тривимірній системі координат, а також обертальний рух навколо кожної з трьох взаємно перпендикулярних осей.

На квадрокоптер, як і всі літальні апарати, діє сила тяжкості G та сила опору повітря Q . Підйомна та пропульсивна сили створюються несучими гвинтами квадрокоптера. Сили тяги кожної гвинтомоторної групи складаються в сумарну силу тяги, яка загалом прикладена до центру мас квадрокоптера. Обертання квадрокоптера навколо однієї з осей пов'язаної системи координат x , y , z призводить до нахилу вектора тяги у бік обертання і розкладається на складові T_x , T_y , T_z . Якщо квадрокоптер зависає горизонтально і нерухомо, це означає, що вектор тяги спрямований вертикально вгору і повністю перейшов у підйомну силу, яка врівноважила силу тяжкості G .

Важливо пам'ятати, що при незмінній тязі двигунів збільшення поздовжньої або бічної складової вектора тяги призводить до зменшення підйомної сили. Тому при нахилах коптера для збереження висоти польоту необхідно координовано збільшувати потяг двигунів.

Зміна величини та напрямки вектора тяги здійснюється за допомогою нахилу та повороту квадрокоптера у потрібну сторону, а також зміною частоти обертання гвинтів. При цьому сили, що виникають, змушують

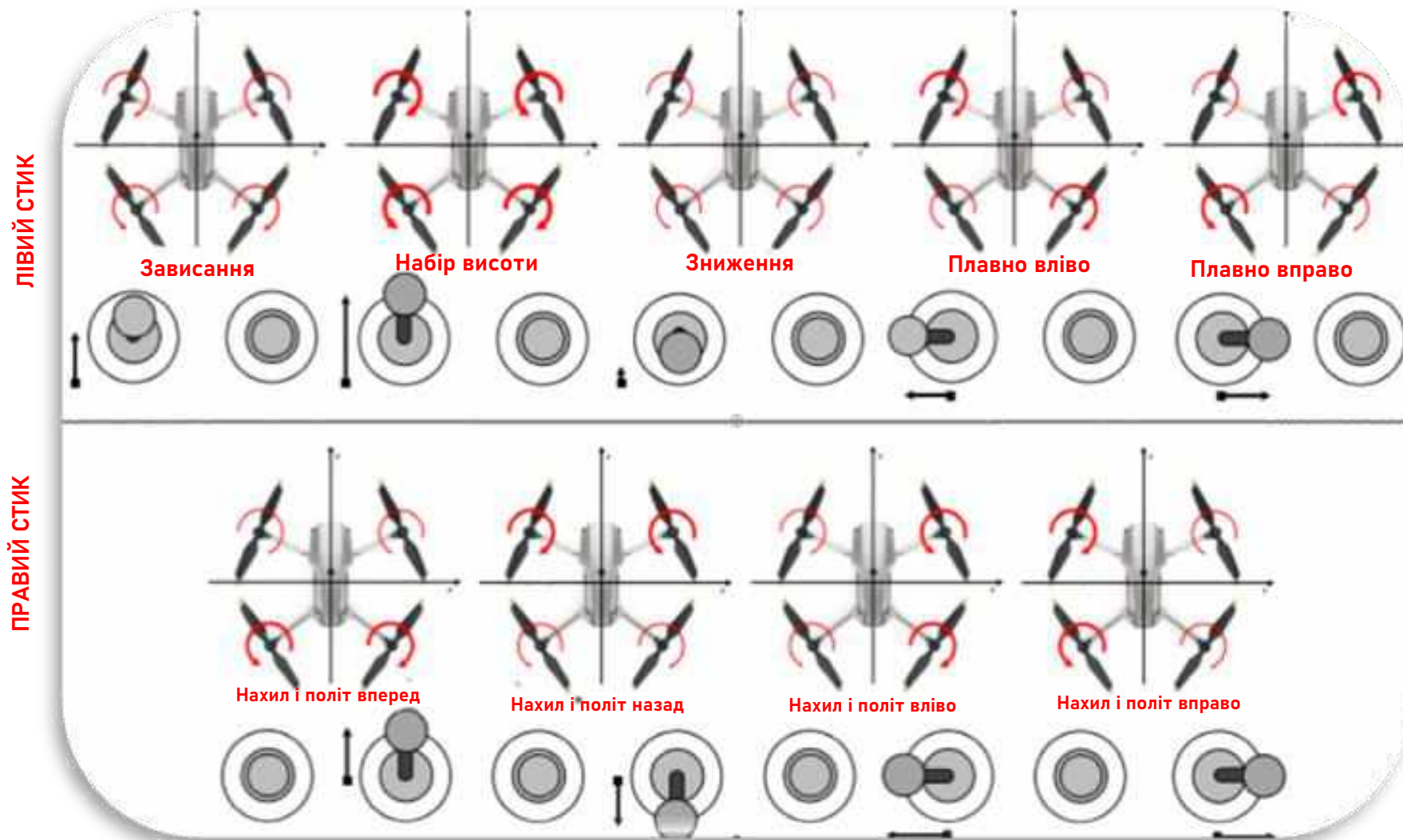
квадрокоптер рухатися вперед чи назад, вліво чи вправо, вгору або вниз. Поздовжня, поперечна та вертикальна складові швидкості утворюють у просторі траєкторію руху квадрокоптера, яка може бути досить складною.

Квадрокоптер змінює напрям обертання навколо центру мас за рахунок зміни швидкості обертання кожного із пропелерів. Коли дрон «ширяє», сусідні пропелери обертаються в протилежних напрямках, щоб підтримувати стійкість дрону. Змінюючи швидкість обертання кожного з двигунів, можна маніпулювати силами тяги та моментами, які змушують дрон обертатися та переміщатися у всіх трьох вимірах.

За узгоджену зміну швидкості обертання електродвигунів відповідає польотний контролер, а оператор лише задає бажані сумарну тягу, крен, тангаж і нишпорення за допомогою ручок управління (стиків) на пульті управління. Політний контролер, як правило, має кілька автоматичних режимів, наприклад, підтримки висоти, обмеження крену та тангажу, а також акробатичні режими для досвідчених пілотів.

Основні режими польоту квадрокоптера, зміни положень органів управління, що їм відповідають, і те, як вони реалізуються польотним контролером, шляхом зміни частоти обертання двигунів, наведено на малюнку 2.1. Напрямок обертання та швидкість обертання позначені стрілками, що товщі стрілки, то вище швидкість обертання.

Виконання складніших просторових маневрів досягається комбінацією перелічених вище простих маневрів. Тому оператор дрона повинен уміти узгоджено працювати одночасно двома стиками, керуючи одночасно тангажем, креном, нишпоренням і тягою, змушуючи коптер рухатися заданою траєкторією [19; 48].



Мал. 2.1. Основні маневри квадрокоптера

2.2. Види корисних навантажень БПЛА

Корисне навантаження – це обладнання, яке БПЛА несе на собі для виконання різноманітних бойових завдань. Може включати відеокамери, тепловізори, далекоміри, системи скидання, засоби ураження тощо.

Тип корисного навантаження, як і тип БПЛА, залежить від типу бойової завдання. Основні типи корисних навантажень БПЛА та розв'язувані ними бойові завдання наведено у таблиці 1.2. Корисне навантаження може бути змінним і незмінним [40].

Таблиця 1. Види корисних навантажень БПЛА та їх призначення

Тип корисного навантаження	Призначення	Завдання, яке вирішує
Фото-або відеокамера	Отримання фотографій або відеоряду з повітря	Повітряна розвідка, об'єктивний контроль, цілевказівка, аерофотозйомка, пошуково-рятувальні роботи
Тепловізор	Зйомка об'єктів у інфрачервоному діапазоні	Повітряна розвідка, об'єктивний контроль, цілевказівка, пошукові рятувальні роботи
Апаратура радіотехнічної та радіолокаційної розвідки	Розвідка	Вирішення розвідувальних завдань
Апаратура ретрансляції та зв'язку, установки перешкод	Ретрансляція та збільшення дальності сигналу, постановка перешкод	Організація каналів зв'язку, системи РЕБ
Лідар, лазерний далекомір	Прилад визначення висот та відстаней до об'єктів, цілевказівки	Коригування вогню, цілевказівка, аерофотозйомка
Газоаналізатор	Прилад для аналізу хімічного складу повітряного середовища	Розвідка

Мультиспектральні камери	Отримання даних у різних спектральних проекціях	Повітряна розвідка
Системи підвісу та скидання	Для переміщення вантажу та його скидання	Застосування засобів ураження, доставка вантажів, обладнання
Магнітометр, барометр, термометр та інші датчики	Для вимірювання вектора геомагнітного поля, тиску, температури тощо	Навігація

2.3. Конструкція БПЛА коптерного типу

Для виконання польоту на FPV-дроні потрібний повний комплект обладнання, що складається з БПЛА, засобів керування, засобів відображення відеоінформації з курсової камери, що дозволяє безпосередньо виконувати управління БПЛА «від першої особи».

До складу типового БПЛА коптерного типу входять такі компоненти:

- ✓ корпус або фюзеляж;
- ✓ силова установка (двигун);
- ✓ автопілот (польотний контролер) із датчиками;
- ✓ апаратура управління;
- ✓ повітряний гвинт (пропелер);
- ✓ передавач та приймач інформаційного сигналу та телеметрії;
- ✓ бортова електроніка;
- ✓ джерело живлення (акумулятор, генератор);

- ✓ шасі (стійки).

Велика різноманітність комплектуючих для складання FPV-дронів вимагає від осіб, які займаються їх експлуатацією та обслуговуванням, знання основних характеристик та принципів роботи пристроїв, що входять до комплекту обладнання FPV-дрона.

На основі цих знань можна оптимально підібрати комплектуючі, якісно виконувати передпольотне та післяпольотне обслуговування, ефективно його експлуатувати, виконувати діагностику та, при необхідності, ремонт різних систем FPV-дрона.

Розглянемо склад, основні параметри та характеристики обладнання, входить у типовий комплект FPV-дрона [27].

На малюнку 2.2. представлений типовий комплект FPV-дрона.

До складу комплекту входить наступне обладнання:

- ✓ FPV-дрон з акумулятором;
- ✓ окуляри (монітор, шолом);
- ✓ апаратура (пульт) управління;
- ✓ зарядний пристрій для акумулятора.



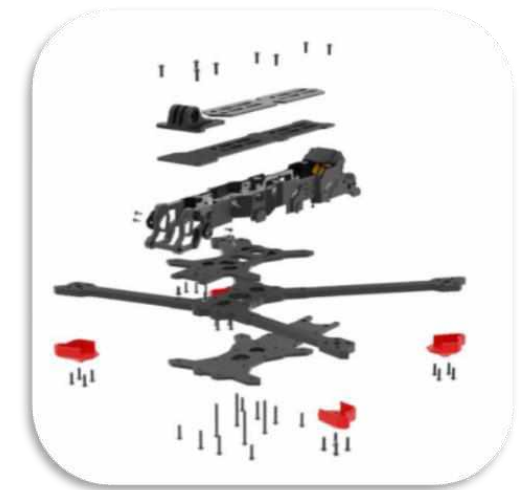
Мал. 2.2. Комплект FPV-дрона

До складу FPV-дрона входять такі елементи:

- ✓ рама;
- ✓ гвинтомоторна група (електродвигуни, пропелери, електронний регулятор оборотів);
- ✓ польотний контролер;
- ✓ плата розподілу живлення;
- ✓ радіоприймач (що сполучається з радіопередавачем на пульті управління);
- ✓ відеопередавач;
- ✓ акумуляторна батарея;
- ✓ GPS-модуль (опціонально);
- ✓ підвіс для камери;
- ✓ камера;
- ✓ звуковий сигналізатор із вбудованою батареєю (опціонально);
- ✓ сполучні дроти;
- ✓ кріплення.

Розглянемо докладніше кожен із елементів FPV-дрона.

Рама – це основний та несучий елемент конструкції дрона, до якого кріпляться всі інші комплектуючі та двигуни. Рама відповідає за важливі функції дрона:



Мал. 2.3. Рама FPV-дрона

забезпечує надійність та жорсткість конструкції при її малій вазі, захист усіх електронних елементів. Жорсткість конструкції підвищує стабільність управління за рахунок зменшення небажаних вібрацій, а мала вага збільшує тривалість польоту.

Рама квадрокоптера має чотири промені із цільного шматка матеріалу або окремі промені, що скріплюються гвинтами (малюнок 2.3.) [2].

Фюзеляж – місце розміщення електроніки (польотного контролера, камери та ін.) та системи скидання засобів ураження. Центральна частина рами складається з двох пластин, нижньої та верхньої, з'єднаних стійками.

Промені – направляючі для встановлення двигунів та регуляторів (малюнок 2.4.).



Мал. 2.4. Промені рами FPV-дрона

Ці деталі повинні бути досить міцними, щоб витримати не лише вагу самої конструкції БПЛА, а й протистояти ударам та падінням.

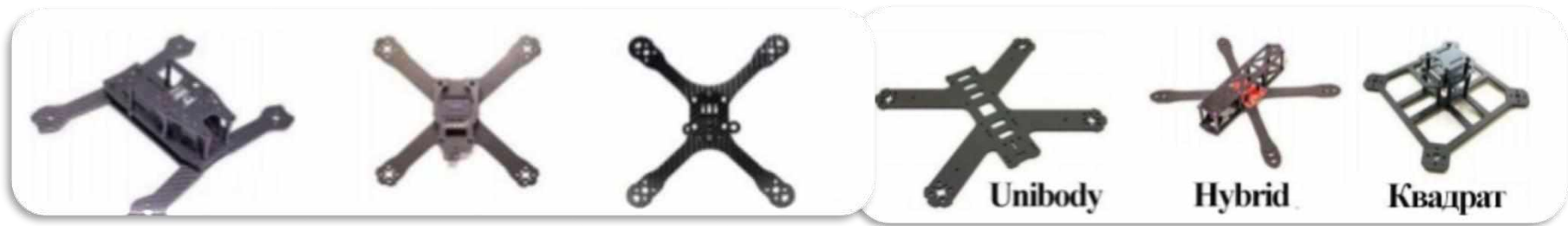
Розмір FPV-дрона визначається максимальним діаметром пропелера, який на нього можна встановити. Діаметр пропелера зазвичай вказується в дюймах. Також розмір може вказуватися в міліметрах (наприклад, 450 мм) та визначає найбільшу відстань між двома моторами на БПЛА. Розмір також може визначати клас БПЛА (мікро, міні та ін.).

Чим далі двигуни від центру і довші промені, тим більший момент інерції у конструкції.

Розмір рами впливає на:

- ✓ розмір пропелерів;
- ✓ розмір двигунів;
- ✓ вид регуляторів оборотів – окремі або у контролері 4 в 1;
- ✓ сумісність із певними FPV або HD-камерами;
- ✓ опір повітря;
- ✓ інерцію;
- ✓ вагу.

Форма рами та конфігурація її променів визначається способом та формою приєднання променів до рами. Основні види рам FPV-дрону наведені на малюнку 2.5.



Мал. 2.5. Види рам FPV-дрона

Крім того, рама може бути цільною (єдина пластина) або збірною.

Монорама набагато легша і не вимагає складання, але, якщо зламати промінь, міняти доведеться всю пластину, тому збірна рама є більш ремонтпридатною.

Рама БПЛА міні-класу робиться з різних матеріалів: пластик, текстоліт, скловолокно, алюміній, карбон та ін.

Часто для виготовлення рами використовується карбон. Його переваги полягають у легкості, міцності, довговічності та жорсткості конструкції.

Недоліками карбону є електропровідність, як наслідок, екранування радіосигналів. Конструкція та матеріал рами визначають, наскільки вона стійка до аварій. Міцні рами зазвичай важкі, але більш стабільні в повітрі, в той час як легкі навпаки – маневрені.

Гвинтомоторна група – це вузол БПЛА, який включає три компоненти: електродвигуни, пропелери та регулятори обертів.

Одна з найголовніших частин квадрокоптера – електродвигуни.

Електродвигуни квадрокоптерів поділяються на колекторні (щіткові) та безколекторні (безщіткові).

Електродвигун – це електрична машина, в якій електрична енергія, за допомогою магнітного поля, перетворюється на механічну енергію обертання. Ефективність цього процесу – коефіцієнт корисної дії (ККД) електродвигуна залежить від конструкції двигуна, а також джерела струму (постійного чи змінного).

На малюнку 2.6. наведено два типи електродвигунів постійного струму: колекторні та безколекторні.



Мал. 2.6. Види електродвигунів

Колекторний двигун складається з корпусу, всередині якого знаходяться магніти (статор), має нерухомий корпус, а його рух забезпечує ротор з обмоткою за допомогою щіток, що подають електрику на обмотку.

Колекторні двигуни розвивають незначні оберти та потужність. Колекторні електродвигуни використовуються в основному на легких літальних апаратах початкового рівня. Такий тип електродвигунів може швидко виходити з ладу через особливості щітковоколекторного вузла. Тому у БПЛА мультироторного типу застосовуються безколекторні електродвигуни [6; 7; 48].

Безколекторний двигун складається з таких елементів: статор, магніти, корпус, вал. Статор безколекторного двигуна – це обмотка електродвигуна, що складається з трьох фаз довгих тонких проводів, які

обмотуються навколо сердечника. Провід покритий емаллю (лаком), щоб запобігти короткому замиканню в обмотці. Струм, що протікає по дроту, створює магнітне поле. Коли провід обмотаний навколо якогось об'єкта, це призводить до збільшення магнітного поля. Чим більший струм, тим більшою є сила магнітного поля та крутний момент у двигуна. Однак великі струми призводять до сильного нагрівання обмотки, особливо, якщо використовувалися тонкі дроти. У такому разі захисна емаль може оплавитися, що призведе до короткого замикання і двигун вийде з ладу.

Корпус двигуна захищає магніти та обмотку. Зазвичай він виготовлений із легкого металу, такого як алюміній. Деякі двигуни мають корпуси, зроблені як вентилятори, тобто, при обертанні наганяють повітря на обмотку сердечника, щоб охолоджувати її.

Вал електродвигуна жорстко прикріплено до верхньої частини. Це компонент мотора, який передає крутний момент на пропелери.

Зміна напрямку обертання двигуна здійснюється шляхом зміни полярності обмоток (змінюються місцями два контакти з трьох). Такі електроприводи мають різну кількість полюсів, і чим їх більше, тим повільніше, але із значним зусиллям, обертатиметься ротор [38].

За **конструкцією безколекторні двигуни** поділяються на дві групи:

- ✓ двигуни, які мають розташовані по внутрішній поверхні корпуси обмотки (статор) і магнітний ротор, що обертається всередині (Inrunner);
- ✓ двигуни, які мають у центрі нерухомі обмотки (статор), навколо яких обертається корпус із поміщеним на його внутрішню стінку постійними магнітами (ротор) (Outrunner).

Принцип дії безколекторного двигуна полягає в тому, що керуюча електроніка (електронні регулятори обертів електродвигунів – ESC) створює в обмотках статора, що обертається, магнітне поле, яке, взаємодіючи з магнітами на роторі, викликає його обертання [10; 33].

Повітряний гвинт (пропелер) – лопатевий рушій, що створює при обертанні тягу за рахунок відкидання повітря з деякою швидкістю. Лопаті гвинта при обертанні захоплюють повітря і відкидають його в протилежний рух напрямку. Перед гвинтом створюється зона зниженого тиску, за гвинтом – підвищеного. Чим більша маса і швидкість повітряного потоку, що відкидається гвинтом, тим більше сила тяги гвинта.

При виборі пропелерів необхідно враховувати чотири основні параметра:

- Розмір.
- Форма крильчатки.
- Конфігурація пропелера.
- Матеріал.

Від форми крильчатки залежить відстань, яку пропелер може подолати за один оберт, у певному щільному середовищі.

Розмір лопатей квадрокоптера залежить від кута атаки лопатей. Пропелер з великим кутом атаки піднімає апарат вгору за один оберт більшого значення, але, сильніше навантажує мотор.

Пропелери малого розміру швидше реагують на зміну швидкості обертання двигунів. Вони проштовхують через себе менше повітря, відповідно витрачають менше енергії під час зміни швидкості обертання.

Невеликі пропелери ставлять на маневрені квадрокоптери, а пропелери з більшим діаметром – на більш вантажопідійомні коптери.

Пропелери повинні відповідати потужності електродвигуна. Найбільш популярним пропелером вважається 5-дюймовий, якому підходять двигуни у діапазоні розмірів 2204-2307.

Конфігурація пропелера – це кількість лопатей, що використовуються в ньому. За кількістю лопастей пропелери поділяються на (малюнок 2.7.):

- ✓ 2-лопастні;
- ✓ 3-лопастні;
- ✓ 4-лопастні;
- ✓ 5-лопастні.



Мал. 2.7. Види повітряних

Збільшення числа лопастей пропелера компенсує його розмір, саме тому у мікроскопічних найчастіше використовуються 4-лопастеві пропелери, а в БПЛА більшого розміру – трилопастеві.

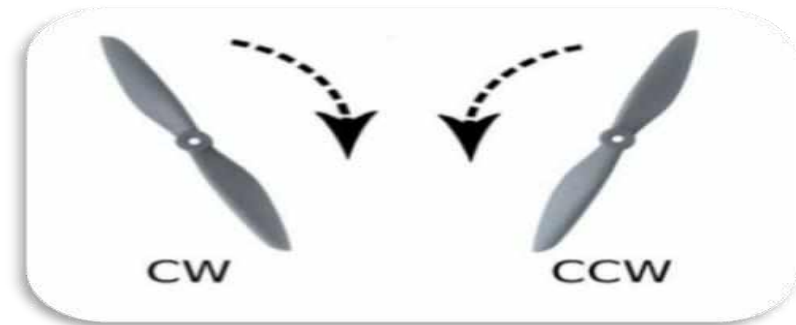
У найпоширенішій категорії 5-дюймових пропелерів прийнято вважати, що пропелери з трьома лопастями забезпечують найкращий баланс ефективності тяги та зчеплення.

Важливим фактором, якому часто не приділяють належної уваги, є довговічність дронів. Під час польотів, особливо, якщо дроном керує пілот-початківець, - може бути багато «аварій та падінь», а пропелери стануть витратним матеріалом.

Пропелери виготовляються з полікарбонату, який характеризується такими якостями як пластичність та високий рівень міцності, адже в його складі є вуглецеві волокна та АБС-пластик. Вуглецеве волокно має також високу жорсткість, але разом з тим конструкції легкі і піддаються балансуванню та не втрачають форму. АБС-пластик – це теж дуже міцний матеріал, але тендітніший. Слід пам'ятати, що вибір матеріалу пропелерів також залежить від пори року.

Пропелери мають такі позначення, які відповідають за напрямки обертання (малюнок 2.8.):

- ✓ **CW** – стандартна система з роботою за годинниковою стрілкою;
- ✓ **CCW** – обертання лопатей проти годинникової стрілки.



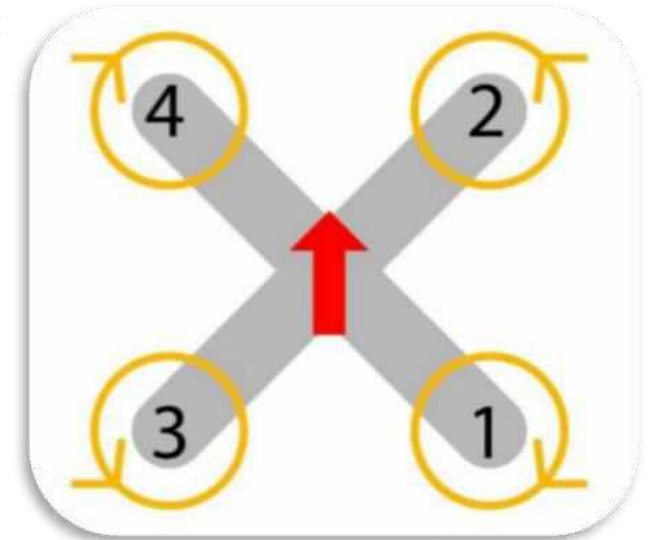
Мал. 2.8. Маркування напрямку обертання

Для того, щоб визначити, який пропелер потрібний для спрямування обертання, потрібно звернути увагу на підняту кромку лопасті на ньому. Ця частина деталі прямує у бік обертання.

Перш ніж встановлювати пропелери на квадрокоптер, слід дізнатися, в правильну сторону крутитимуться мотори чи ні. Більшість квадрокоптерів літає на конфігурації, представленій на малюнку 2.9.

Червоною стрілкою показано напрямок польоту квадрокоптера.

Жовті стрілки – напрямки обертання пропелерів [33; 35].



Мал. 2.9. Конфігурація напрямків обертання пропелерів квадрокоптера

Електронний регулятор обертів

(ESC, Electronic Speed Controller) спеціальний пристрій для керування обертами електродвигуна (малюнок 2.10).

Основне завдання ESC – передача енергії від акумулятора до безколекторного електродвигуна. Потреба їх у застосуванні виникла внаслідок деяких особливостей безколекторного електродвигуна.

Акумулятор віддає постійний струм, а безколекторний електродвигун споживає трифазний змінний струм.



Мал. 2.10. Електронні регулятори обертів, закріплені на променях рами

На вхід подаються напруга з акумулятора та сигнали від польотного контролера (рівень газу), а на вихід регулятор видає керуючу напругу на безколекторному двигуні, змінюючи швидкість його обертання.

Регулятор повинен забезпечувати:

- сумісність із польотним контролером;
- максимальний струм для двигуна (розраховується зі специфікацій мотора та пропелера плюс 20 – 30%);
- споживання струму менше, ніж струм, що віддається акумулятором.

Компоненти регулятора швидкості:

- мікроконтролер;
- драйвери ключів;
- силові транзистори;
- стабілізатор живлення мікроконтролера;
- конденсатори (фільтри);
- датчик струму;
- світлодіоди.

Додатково до основної функції, регулятори обертів можуть також передавати живлення до інших вузлів БПЛА: польотного контролера, сервопривода і таке інше.

Регулятор обертів може бути налаштований на різні режими роботи, для нього пишуть окреме програмне забезпечення. Оновлення програмного забезпечення включають виправлення помилок та більш досконалі алгоритми управління [4; 10; 48].

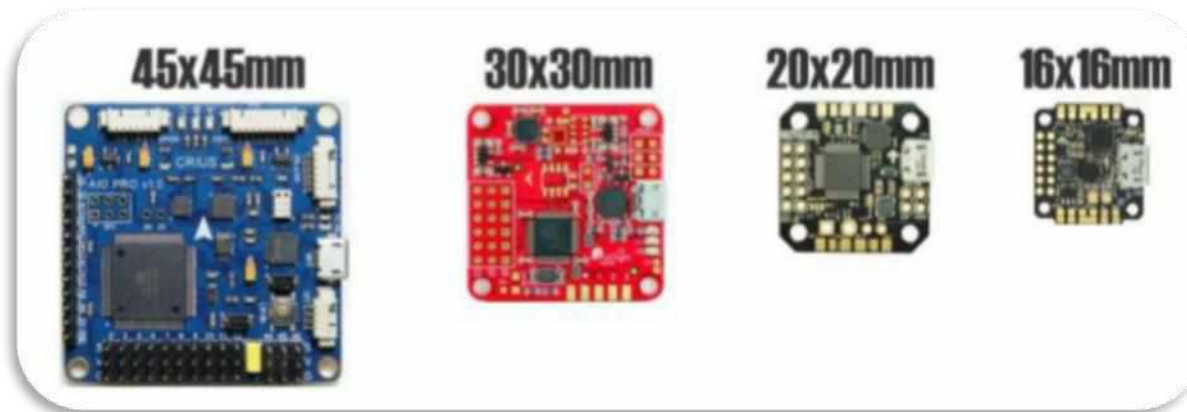
Змінити програмне забезпечення регулятора можна кількома способами:

- використовуючи спеціальну плату управління;
- використовуючи польотний контролер;
- використовуючи програматор.

Виходячи з усього перерахованого вище, можна виділити особливі критерії вибору регулятора оборотів для БПЛА:

- сумісність із польотним контролером. Польотний контролер повинен підтримувати ВЕС та прошивку ESC.
- сумісність зі специфікаціями мотора та акумулятора;
- тепловідведення та герметичність.

Польотний контролер (ПК, FC – Flight Controller) – електронний пристрій, що представляє собою обчислювальну систему, що працює по складним алгоритмам та керує польотом БПЛА. Функції польотного контролера можуть визначатися встановленою на борту БПЛА міні-класу додатковою периферією (GPS/ГЛОНАСС, модем, OSD, підвіс для фото/відеокамери, датчики струму та напруги, пошукові засоби та ін.). За своєї суті ПК – це плата з великою кількістю різних датчиків, яка відстежує положення літального апарату та команди від користувача (малюнок 2.11.) [16].



Мал. 2.11. Польотний контролер

Польотний контролер виконує наступні завдання:

1. Стабілізація апарату в повітрі – збір та обробка інформації з інерційного вимірювального блоку (IMU), датчиків прискорень та кутової швидкості, забезпечуючи аеродинамічну стійкість апарату в горизонтальну площину. Деякі IMU включають магнітометри, дозволяючи стабілізувати орієнтацію апарату щодо магнітного меридіана та утримання напрямку руху.

2. Автоматичне утримання висоти – збирання та обробка інформації з барометричних, ультразвукових, інфрачервоних сенсорів або радіотехнічних висотомірів. Датчики розраховують висоту та забезпечують стабілізацію апарату у вертикальній площині. Є можливість прив'язки позиції БПЛА міні-класу на заданій висоті та в заданій точці за допомогою модуля GPS/ГЛОНАСС.

3. Автономний політ – виконання заздалегідь побудованого польотного завдання, створеного у спеціальному програмному забезпеченні, з дотриманням заданих оператором параметрів польоту та автоматичне повернення до точки старту за допомогою модуля GPS/ГЛОНАСС.

4. Зупинка перед перешкодами та їх подолання – забезпечує зупинку перед перешкодами та їх подолання за допомогою набору сенсорів, визначальних відстань до об'єкта. У разі оснащення системою технічного зору, польотний контролер повинен мати високу обчислювальну потужність, що дозволяє в реальному часі акумулювати та обробляти дані з сенсорів, що постійно сканують довкілля. У різних коптерів склад системи технічного зору може відрізнятися типом і кількістю датчиків, принципом роботи, математичними алгоритмами та порядком взаємодії між цими датчиками.

5. Передача поточних параметрів польоту – збір та обробка даних із зовнішніх джерел даних (GPS/ГЛОНАСС, датчики струму, напруги, температури) та штатних (барометр, акселерометр, магнітометр) з подальшою передачею потоку даних на модуль OSD (On-Screen Data), які у оператора відображаються у FPV-окулярах або на дисплеї. Дані телеметрії також можуть передаватися безпосередньо з польотного контролера за допомогою радіомодему, що забезпечує двосторонню зв'язок за протоколом UART (універсальний асинхронний приймач) через радіоканал.

Польотні контролери можуть мати різний набір датчиків та функціонал, залежно від його призначення. Як правило, у FPV-дронах більш простий польотний контролер, ніж у класичних квадрокоптерах, призначені для відеозйомки. Останні ПК мають повноцінний автопілот, що виконує розширений функціонал, наприклад, політ по точках, керування корисним навантаженням, стеження за об'єктом інтересу чи автономна навігація.

У той же час ПК FPV-дрона виконує в здебільшого лише завдання стабілізації БПЛА у повітрі та управління по команді оператора (малюнок 2.12.).

Система електроживлення FPV-дрона складається з акумуляторної батареї, плати розподілу живлення та з'єднувальних проводів.

Одним із основних технологічних досягнень, що зумовили зліт популярності цивільних БПЛА, стали літій-полімерні (Li-Po – lithium-ion polymer battery) батареї. Літій-полімерні батареї мають набагато більше співвідношення «ємність/вага» порівняно з нікель-кадмієвими (NiCD) та нікельметалгідридними (NiMH) батареями [15; 16].

Літій-полімерний акумулятор (Li-Po) – це вдосконалена конструкція літій-іонного акумулятора, де в якості електроліту використовується полімерний матеріал.



Мал. 2.12. Види польотних контролерів:
а) – ПК FPV-дрона; б) – автопілот БПЛА

Переваги Li-Po АКБ:

- ✓ велика щільність енергії на одиницю маси;
- ✓ низький саморозряд;
- ✓ можливість набувати дуже гнучких форм;
- ✓ незначний перепад напруги в міру розряду;
- ✓ широкий діапазон робочих температур від -20 до +40 °С.

Недоліки Li-Po АКБ:

- ✓ пожежонебезпечні при перезаряді та/або перегріві. Для боротьби з цим явищем всі побутові акумулятори забезпечуються вбудованою електронною схемою, яка запобігає перезаряду та перегріву внаслідок занадто інтенсивного заряду. З цієї причини вимагають спеціальних алгоритмів зарядки (зарядних пристроїв);
- ✓ кількість робочих циклів 800 – 900, при розрядних струмах у 2А до втрати ємності 20 %.

Вибір акумулятора. Вибір параметрів акумулятора залежить від маси коптера, встановленого корисного навантаження, додаткового обладнання, а також необхідної швидкості, дальності та тривалості польоту.

Експлуатація Li-Po та Li-ion АКБ має свої особливості:

- ✓ обмежена кількість циклів заряду-розряду;
- ✓ чутливість до перезаряду та глибокого розряду;
- ✓ чутливість до високої температури (робочий режим від -20 до 50°C);
- ✓ чутливість до вібраційних та ударних навантажень;

- ✓ зниження ресурсу акумулятора при великих струмах розряду.

Правильна експлуатація Li-Po та Li-ion АКБ, з урахуванням їх особливостей, забезпечить тривалий термін служби. Найбільш важливими етапами експлуатації АКБ, що суттєво впливають на термін служби, є правильна зарядка та зберігання акумуляторів.

Зберігання Li-Po акумуляторів – це важливий момент, на який слід звернути пильну увагу.

Якщо просто зарядити Li-Po акумулятор до кінця і не використовувати його – він стрімко почне втрачати ємність і незабаром прийде в непридатність. Якщо розрядити Li-Po акумулятор і не використовувати – він також втратить ємність і прийде в непридатність протягом 1-2-х місяців. Необхідно використовувати спеціальний режим STORAGE, тобто, зберігання, що є на зарядному пристрої. У цьому режимі кожна секція заряджається чи розряджається до 3,85V. При такій напрузі в акумуляторі хімічні процеси протікають не так інтенсивно, внаслідок чого акумулятор прослужить набагато довше [33; 45].

Після того, як акумулятор переводиться в режим зберігання, необхідно покласти його в холодне місце і зберігати при низькій температурі для уповільнення хімічних процесів.

Для виконання цільових завдань на FPV-дрони встановлюються курсові FPV-камери. Камера може бути видимого діапазону, тепловізійна та нічного бачення. Курсові камери під конкретний FPV-дрон підбирають по габаритами його рами. Можна встановити камери на рами меншого розміру, але для цього необхідно використовувати спеціальні утримувачі. Варіанти кріплення FPV-камер на рамах дронів представлені на малюнку 2.13.



Мал. 2.13. Варіанти кріплення FPV-камер

За розміром FPV-камери поділяються на такі типи:

- ✓ повнорозмірні або стандартні (28 мм);
- ✓ міні (21 мм);
- ✓ камери DJI O3 Air Unit (20 мм);
- ✓ мікро (19 мм); нано (14 мм).

FPV-камери мають такі характеристики:

- ✓ тип матриці CMOS та CCD та її роздільна здатність;
- ✓ співвідношення сторін 4:3 або 16:9;
- ✓ дозвіл TVL;
- ✓ формат системи кодування сигналу PAL або NTSC;
- ✓ розмір об'єктиву та лінзи;
- ✓ світлочутливість (ISO);

- ✓ наявність ІЧ-фільтра;
- ✓ форм-фактор (без корпусу, пластиковий чи металевий корпус);
- ✓ вага камери.

Деякі FPV-дрони для польотів у нічний час оснащуються **тепловізорами** – спеціальними приладами, що реєструють інфрачервоне (ІЧ) випромінювання, яке випромінюють нагріті об'єкти. У тепловізорі чутливий елемент змінює опір при попаданні на нього ІЧ випромінювання. Тепловізійна камера має особливий об'єктив, зроблений, як правило, із германієвої лінзи, яка пропускає інфрачервоне випромінювання.

Тепловізори набагато дорожчі за камери, що працюють у видимому діапазоні, тому на FPV-дронах їх застосовують лише у виняткових ситуаціях [33; 39; 48].

2.4. Додаткове обладнання для застосування FPV-дронів

Зумер (Buzzer, сигналізатор) для квадрокоптера – важливий елемент конструкції квадрокоптерів. Зумер сигналізує про різні події, що відбуваються в програмній частині БПЛА, починаючи від помилок і закінчуючи сигналом розряду акумулятора. Завдяки гучному писку зумера набагато простіше знайти квадрокоптер.

М'які монтажні втулки – гасять вібрації та ударні навантаження.

Кейси або рюкзаки – для зручності перенесення комплектуючих дронів необхідно використовувати спеціальні кейси, які мають відсіки або кишені під обладнання, що входить до комплексу з БПЛА.

Вогнетривкі пакети – для запобігання поширенню вогню в у разі займання Li-Po акумуляторних батарей.

Powerbank та зарядні станції – для зарядки АКБ. Зарядну станцію можна підключити як до штатної електромережі, і до генератору. Powerbank необхідно використовувати як резервне джерело живлення.

Стартовий (посадковий) майданчик або підставка використовується для того, щоб нижня частина БПЛА не дряпалася від частого дотику до земної поверхнею, а також для надання дрону кута нахилу, що відповідає куті кріплення FPV-камери.

Виносні ретранслятори та підсилювачі сигналу – застосовуються для збільшення дальності польоту та забезпечення максимальної зони покриття сигналу.

Системи скидання та доставки вантажів – для підвісу корисного навантаження на БПЛА. Можуть застосовуватися системи скидання, що кріпляться до фюзеляжу. Як правило, їх виготовляють на 3D-принтері під кожен тип БПЛА. Система скидання має зсувний механізм для відчеплення вантажу, який керується сервоприводом по сигналу з датчика [10; 35; 46; 48].

III. Апаратура управління і передачі відеосигналу

Найбільш важливою складовою FPV-системи є апаратура управління та передачі даних. Основою у передачі даних є телеметрія та відеопотік з FPV-камери. Принцип роботи апаратури заснований на використанні радіосигналів для передачі сигналів керування від оператора до дрона та даних від дрона на пульт оператора та FPV-окулярів.

3.1 Основи поширення радіохвиль

Радіосигнал – це сигнал, який передається з використанням радіохвилі.

У свою чергу **радіохвиля** – це взаємопов'язані коливання електричного і магнітних полів, які здатні поширюватися у просторі зі швидкістю світла. Радіосигнали мають такі властивості, як: відбиття, згасання, заломлення.

Основним параметром радіохвилі є її довжина, яка через швидкість світла пов'язана із частотою. Частота вимірюється у Герцах (Гц).

Дальність поширення радіохвиль залежить від частоти радіохвилі та потужності передавача. В апаратурі управління та передачі даних БПЛА використовуються сигнали надвисокої частоти (ультракороткі хвилі).

Довжина хвилі ультракоротких хвиль (УКХ) становить від 1 см до 10 м, до них відносяться метрові (МВ), дециметрові (ДМВ), сантиметрові (СМВ).

Особливістю поширення УКХ є необхідність знаходження приймача та передавача в зоні прямої видимості.

3.2. Діапазони частот FPV-дронів

Аналіз досвіду застосування FPV-дронів Збройними силами України (ЗСУ) показав, що для передачі відеоінформації в основному використовувалися частоти, розташовані в діапазонах 900 МГц, 2,4 ГГц та 5,8 ГГц. При цьому для передачі сигналів керування та телеметрії використовувалися загальнодоступні діапазони частот, які були розташовані близько 433 МГц та 2,4 ГГц.

Представлені вище діапазони частот мають свої особливості:

2,4 ГГц – це найпоширеніший діапазон частот для управління та передачі даних. Він дозволяє безперешкодно керувати дроном на відстані до кількох кілометрів. Однак через широку популярність та використання інших пристроїв, що працюють на цій же частоті, виникає ризик інтерференції та втрати сигналу. Діапазон 2,4 ГГц є стандартним для більшості комерційних дронів. Він має більший радіус дії та меншу кількість перешкод. Дрони в цьому діапазоні частот можуть використовуватися для вирішення більшості розвідувально-ударних завдань.

5,8 ГГц – діапазон використовується в основному для передачі відео та даних з дрона на землю, оскільки має більш високу пропускну здатність і малими затримками, що дозволяє передавати відео високої якості.

Зі збільшенням відстані загасання сигналів у даному діапазоні частот відбувається швидше, ніж у інших аналізованих діапазонах.

433 МГц та 900 МГц – низькочастотні діапазони використовуються в системах передачі сигналів керування та телеметрії. Завдяки своїм властивостям, вони є більш ефективними у міській, лісовій місцевості та ін. Однак слід пам'ятати, що використання 900 МГц вимагає відповідного дозволу та реєстрації в мережі аеронавігації.

Вибір діапазону частот залежить від конкретного завдання та умов використання дрона. При виборі слід враховувати вимоги місцевого законодавства, радіошум та особливості навколишнього середовища.

Залежно від конкретного типу дрона та його призначення, діапазон частот може змінюватись. Однак управління та передача даних у цих діапазонах дозволяє дронам функціонувати надійно та ефективно в різних умовах. В цілому, різні діапазони частот дозволяють дронам працювати у різних умовах та виконувати різні завдання [4; 7; 23; 33; 35].

3.3 Апаратура управління БПЛА



Мал. 3.1. Пульт керування

Слід пам'ятати, що вибір пульта керування визначає тип приймача, який можна використовувати. Якщо купується пульт одного бренду, то в цьому випадку необхідно купувати приймач цього ж виробника.

Радіопередавачі та приймачі різних виробників спільно працювати не будуть. Останнім часом набирають популярності пульти із багатопроколовим модулем. Така апаратура управління може підключатися до величезної кількості різних приймачів різних брендів, оператору необхідно лише в налаштуваннях пульта вибрати назву бренду та тип приймача.

Основними характеристиками пульта управління є:

- форм-фактор (повнорозмірні та «геймпад»);
- кількість перемикачів, а також режими їхньої роботи;
- робоча частота радіопередавача;
- протоколи зв'язку;
- наявність відсіку для зовнішнього модуля;
- потужність передавача;
- дальність дії;
- кількість каналів;
- програмне прошивання;
- підтримка телеметрії;
- підтримка FPV-симуляторів;
- наявність тренерського порту (Trainer Port).

Пульти керування в стилі «геймпад» компактніші, але обмежені в функціях. Вони мають екран невеликого розміру, меншу кількість перемикачів та дрібніші стики управління. Повнорозмірні пульти керування ергономічніші, що підходить ширшому колу користувачів, стики стандартного розміру забезпечують більш високу роздільну здатність і точність.

При виборі пульта керування крім габаритів важливо враховувати дизайн і такі фактори, як зручність захоплення, наявність петлі для шнура, розташування та типи перемикачів. Важливим фактором є вага пульта керування. Робота з важким пристроєм може швидко викликати втому.

Основними елементами пульта управління є два стики (англ. gimbals), що використовуються оператором для управління рухом БПЛА по чотирьом каналам (осям):

Газ/дросьель (Throttle) – управління тягою електродвигунів, використовується для переміщення літального апарата вгору або вниз.

Тангаж (Pitch) – управління обертанням БПЛА вздовж поперечної осі, використовується для переміщення літального апарата вперед чи назад.

Крен (Roll) – управління обертанням БПЛА вздовж поздовжньої осі, використовується для переміщення літального апарата ліворуч або праворуч.

Рискання (Yaw) – управління обертанням БПЛА навколо вертикальної осі, використовується для повороту літального апарата ліворуч або праворуч.

Існують чотири різні режими роботи стиків пульта управління: Mode 1, Mode 2, Mode 3 та Mode 4.

Вибір пульта з відповідним режимом залежить від особистих переваг оператора, але найкраще вибирати режим Mode 2, що часто використовується пілотами дронів (малюнок 3.2.). У режимі Mode 2 команди Throttle та Yaw подаються з лівого стику, а Pitch та Roll – з правого стику [2; 9; 15; 41; 42; 43; 44; 45].



Мал. 3.2. Режим роботи пульта керування **MODE 2**

Існує два основних типи стиків, що використовуються в сучасних пультах управління: на базі потенціометрів та з датчиками Холла. Механізми на основі потенціометрів мають нижчу вартість, але вони швидше зношуються, а блоки керування з датчиком Холла мають вищу точність і довговічніші.

Перемикачі пультів керування служать для активації додаткових функцій (запуск, режими польоту, звуковий сигнал та ін.). Ці перемикачі можуть бути двопозиційними або трипозиційними, а також мати повзунки та поворотні ручки.

При виборі пульта керування слід враховувати **кількість каналів** – це кількість функцій літального апарату, якими можна керувати.

Виробники радіообладнання, як правило, вказують на характеристиках інформацію про те, скільки каналів підтримують їхні пристрої. Це пов'язано з максимальною кількістю елементів керування та доступних перемикачів, оскільки кожен з них вимагає виділеного каналу для передачі на приймач дрона [40].

3.4 Система передачі та прийому відеосигналу FPV-дронів

Система передачі та прийому відеосигналу призначена для передачі відеосигналів оператору від відеокамери FPV-дрона та складається з наступного обладнання:

- ✓ FPV-окуляри з відеоприймачем;
- ✓ відеопередавач FPV-дрона.

FPV-окуляри (Smart окуляри) або FPV-шолом – пристрій, на який у режимі реального часу передається відеопотік з відеопередавача, розміщеного на БПЛА, та яке відображає отриману відеоінформацію на вбудованому дисплеї. Відеоприймач (video receiver/VRX), що приймає відеосигнал від БПЛА, може бути або вбудований в окуляри, або підключений як зовнішній модуль. Джерелом відеоінформації є курсова відеокамера, розміщена на БПЛА [8; 9].

FPV-шоломи, як правило, мають прямокутну довгасту форму, кріпляться на голові двома ремінцями. Усередині знаходиться екран та велика лінза (малюнок 3.3.).



Мал 3.3. – FPV-шолом, FPV-окуляри

Використання FPV-окулярів, шоломів дозволяє створити реалістичне занурення у політ «від першої особи». Крім того, є можливість прийому відеосигналу на окремий FPV-монітор.

FPV-монітор (екран) є дисплеєм (малюнок 3.4.), що входить до складу відеоприймача з приймальними антенами. Монітор для зменшення впливу сторонніх джерел світла на якість зображення, обладнаний козирком. Для гоночних FPV-дронів окремі екрани не використовуються.



Мал.3.4. FPV-монітор

Основними характеристиками FPV-шоломів є:

- ✓ роздільна здатність екрану (наприклад, 1280×720, 800×400, 480×272, 500×300 – чим більше вказані числа, тим краще);

- ✓ кут огляду окулярів FPV (FOV) – кут, який визначає розмір видимого зображення;
- ✓ наявність вбудованого відеоприймача;
- ✓ частота приймача (кількість каналів, що підтримуються) (наприклад, 40 каналів, 32 канали, 5.8ГГц);
- ✓ функція Diversity (наявність двох рознесених приймачів, приймають сигнал, і система обирає найкращий з них);
- ✓ співвідношення сторін – відношення ширини до висоти екрана (наприклад, 16:9, 4:3);
- ✓ наявність DVR (відеореєстратора для запису відео);
- ✓ розмір та вага;
- ✓ час роботи від акумулятора та його наявність;
- ✓ міжзоряна відстань (IPD) (для окулярів);
- ✓ наявність додаткових лінз із діоптріями (для окулярів);
- ✓ вентилятор для запобігання запотіванню екранів та лінз окулярів;
- ✓ наявність функції відстеження голови (Head tracking);
- ✓ наявність аудіовиходу для підключення навушників;
- ✓ наявність HDMI роз'єму для підключення окулярів до монітора;
- ✓ підтримка перегляду 3D-відео;
- ✓ відеовхід – для підключення зовнішнього приймача.

Модуль відеопередавача FPV-дронів – це пристрій, який отримує відеосигнал з камери FPV-дрона, перетворює його на відеосигнал певної частоти та передає на відеоприймач, який знаходиться, наприклад, у шоломі.

Відеоприймач FPV-дронів – це пристрій, який призначений для прийому відеосигналу від відеопередавача та передачі його на відображення оператора управління БПЛА (FPV-шолома або FPV-окулярів) [9; 17; 21; 48].

3.5 Антени FPV-дронів

У FPV-дроні зазвичай є дві радіосистеми: система радіокерування для керування дроном та відеосистема для трансляції відео через FPV-камеру. У кожній системі є антена, яка призначена для перетворення осцилюючої електричної енергії на електромагнітне випромінювання та навпаки. Антени в залежності від функціонального призначення мають різноманітні характеристики.

Кожна FPV-антена, незалежно від зовнішнього вигляду, має однаковий **набір компонентів**, а саме:

1. Провідний елемент – перетворює електричний осцилюючий сигнал в енергію електромагнітних хвиль, що випромінюються в ефір у вигляді радіохвиль. Кожна антена має хоча б один провідний елемент. Деякі можуть мати кілька провідних елементів, наприклад, диполі.

2. Земля/основа (проти вага) – компонент роблять металевим, він з'єднаний з квадрокоптером за допомогою конектора, також, він при правильному позиціонуванні посилює сигнал, який передається до/від квадрокоптера. Підставку потрібно розташовувати так, щоб вона була паралельна землі.

3. Структура – матеріал корпусу антени зазвичай виготовляють із пластику чи акрилу.

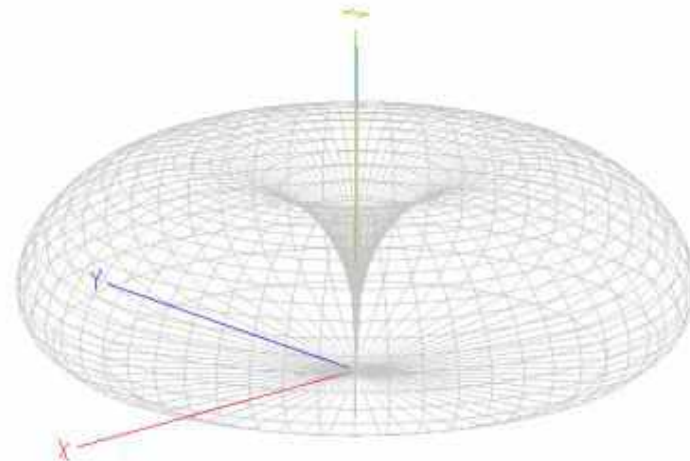
4. Коаксіал – кабель, що є спеціальним типом захисного дроту, який може передавати електричні сигнали від однієї точки до іншої без випромінювання радіосигналу.

5. Конектор – роз'єм, за допомогою якого антена з'єднується з передавача на дроні. Служить провідним елементом.

FPV-антени бувають таких типів:

- ✓ штирева (монопольна);
- ✓ дипольна;
- ✓ грибоподібна;
- ✓ спіральна;
- ✓ патч-антена.

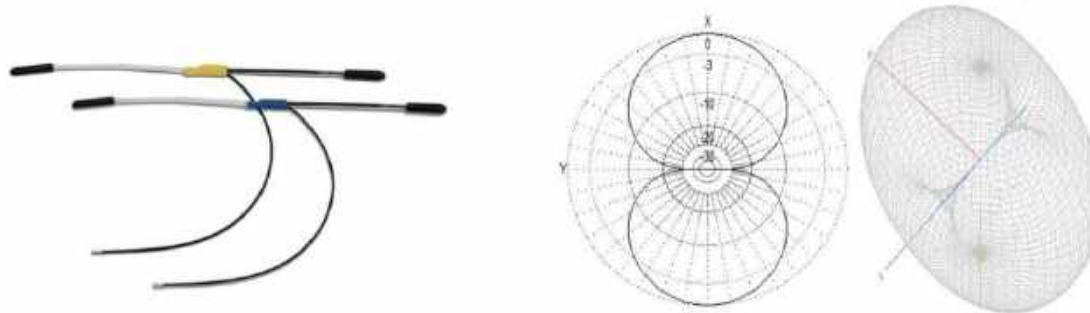
Штирева (монопольна) антена є всеспрямованою та має кругову діаграму спрямованості у горизонтальній площині та тороїдальну – у вертикальній (малюнок 3.5.), а також лінійну поляризацію (вертикальну або горизонтальну, залежно від положення антени у просторі).



Малюнок 3.5. Штирева (монопольна) антена: зовнішній вигляд; діаграма спрямованості

Якість зв'язку з використанням монопольної антени буде найкращою, коли антени розташовуються в одній площині. Якщо ж такі антени (приймальну та передавальну) розташувати перпендикулярно одна одній або направити одна одної, то якість зв'язку буде дуже поганою.

Дипольна антена є всеспрямованою та має кругову діаграму спрямованості в горизонтальній площині та тороїдальну – у вертикальній (малюнок 3.6.), а також лінійну поляризацію, як і штирєва антена.

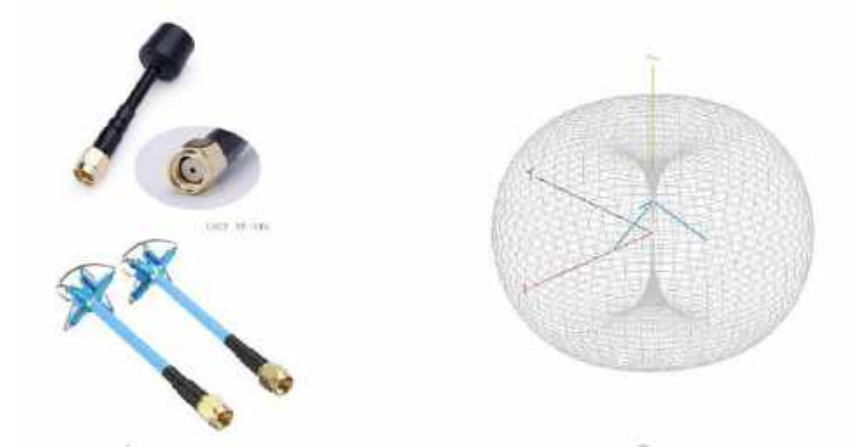


Мал. 3.6. Дипольна антена: зовнішній вигляд; діаграма спрямованості

Різниця між дипольною та монопольною антеною полягає в тому, що дипольна антена має велику ширину головної пелюстки, порівняно з діаграмою спрямованості монопольної антени, що забезпечує найкращі характеристики.

Грибоподібна антена має діаграму спрямованості як у штирєвої антени (малюнок 3.7.) і має кругову поляризацію, що забезпечує відмінну передачу та прийом майже в будь-якому положенні.

Найбільше посилення відбувається у горизонтальній площині, а найменше – у вертикальній. Така антена працюватиме гірше, якщо її кінець направити на квадрокоптер, але сигнал все одно буде.



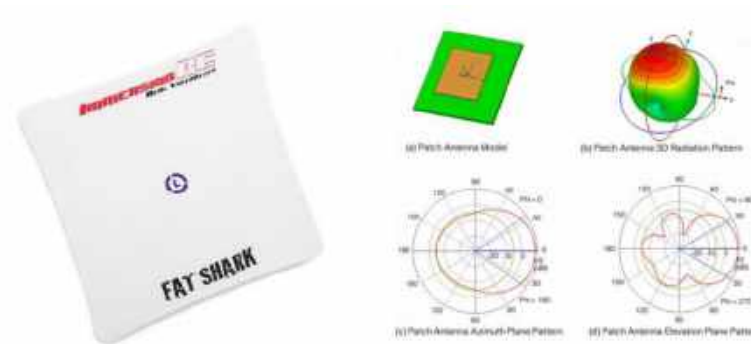
Мал. 3.7. Грибоподібна антена: зовнішній вигляд; діаграма спрямованості

Спіральна антена є спрямованою з круговою поляризацією (малюнок 3.8.). Чим більше витків спіралі має антена, тим менша ширина ДН. Однак додавання витків (6 і більше) може значно звужити ДН та підвищити спрямовані властивості антени.



Мал. 3.8. Спіральна антена

Патч-антена має тривимірну діаграму спрямованості випромінювання у формі краплі в одному напрямі, що свідчить про її високий рівень спрямованості. Такі антени, як правило, використовуються як приймальні антени (малюнок 3.9).



Мал. 3.9. Патч-антена

Найбільш поширеною антеною для FPV-дронів є антена **FoxxerLollipop 4 Plus 5,8 ГГц (RHCP/LHCP)**, представлена на малюнку 3.10., яка має такі характеристики: робочий діапазон частот: 5,5-6 ГГц; коефіцієнт посилення: 2,6 дБ; діаграма спрямованості; поляризація: RHCP для аналогового відео та LHCP для цифрової системи DJI FPV; осьове співвідношення близько 1.0.



Мал. 3.10. Лінійка антен **FoxxerLollipop 4 Plus 5,8 ГГц**

Встановлення антени має велике значення, тому що від цього залежить якість каналу зв'язку та можливості застосування FPV-дрона. Слід пам'ятати, що карбонове волокно рами відбиває радіохвилі, тому антени потрібно ставити так, щоб вони якнайменше екранувалися рамою [1; 3; 23; 31; 32; 33; 48].

3.6. Радіобезпека



Під час організації польотів на БПЛА рекомендується дотримуватись додаткових заходів радіобезпеки. Це пов'язано з тим, що технічні засоби радіотехнічної розвідки можуть знаходити джерело радіовипромінювання і пеленгувати місце знаходження випромінюючої антени, а також визначити тип обладнання передавача.

Слід дотримуватися рекомендацій – чим менше використовується у БПЛА джерел радіовипромінювання, тим складніше противнику запеленгувати місце, звідки він працює. Також не варто без необхідності вести радіопереговори та тримати включеним пульт управління або модем наземної станції управління БПЛА. Якщо є необхідність включення цих пристроїв для налаштування роботи комплексу з БПЛА, то розміщувати їх передавальний тракт слід так, щоб діаграма спрямованості антен не була спрямована у бік супротивника. Крім того, не варто крутити спрямовану антену у різні сторони без необхідності.

Також не варто постійно літати з одного і того ж стартового майданчика. Необхідно використовувати кілька різних майданчиків для польотів в той же сектор. Підрозділи, що знаходяться в районі польотів, слід попереджати про намір використовувати БПЛА безпосередньо перед самим виходом на майданчик для мінімізації наслідків від витоку інформації [8].

Необхідно розуміти, що сигнали апаратури керування, телеметрії та відеопередавач може бути пригнічений перешкодами. Типи завадових впливів бувають активними, тобто перешкоди, які представляють собою навмисно

генеровані радіосигнали певного виду, та пасивними, тобто перешкодами, які виникають при переображенні корисного радіосигналу, наприклад, від кутових відбивачів.

Також є засоби електромагнітного ураження, які працюють по принципу магнетрону, тобто генерації індукційних струмів у ланцюгах електротехнічних пристроїв об'єкта, що піддається опроміненню.

Найпоширенішим і найдоступнішим способом є придушення сигналу. Суть процесу полягає в тому, що на частоті працюючого обладнання, яке необхідно заглушити, подається сильніший шумовий сигнал, що забиває корисний інформаційний сигнал.

Можливі комплексні види впливу, тобто комбінація одразу кілька частот дії. Наприклад, одночасне придушення каналу телеметрії та сигналу GPS призводить до переривання зв'язку з БПЛА та його дезорієнтації у просторі, за відсутності інших систем навігації це зазвичай призводить до втрати апарату.

Пригнічення каналу відеопередачі зазвичай є критичним для FPV-дрона та призводить до його втрати. Для комерційного розвідувального БПЛА втрата відеосигналу нешкідлива і може перешкодити виконанню візуального спостереження та коригуванню артилерійського вогню.

Активних способів протидії таким перешкодам немає, є лише рекомендації, як посилити сигнал своєї наземної станції, як виходити із зони впливу засобів РЕБ і як зменшити радіопомітність.

GPS-Спуфінг – це підміна сигналу GPS, що транслюється супутниками, іншим, сильнішим сигналом, що транслюється з наземної станції.

Сигнал від наземної станції спуфінгу вносить коректуру у визначення приймачем власного розташування, що призводить до порушення орієнтування. Протидіяти цьому екіпаж може, якщо вчасно помітить заміну, забираючи

БПЛА по магнітному компасу і наземним орієнтирам в позицію «будинок». Може виявитись ефективним деяке зниження висоти БПЛА.

Підміна каналу керування/телеметрії – це перехоплення каналу керування або телеметрії.

Станція радіоелектронної протидії помічає сигнал із пульта чи з модему, зчитує ключ, визначає протокол управління та своїм сигналом з тим же ключем, на тій же частоті перехоплює управління він. У разі такої протидії переможе той, чий сигнал від апаратури управління буде сильнішим. Як протидії розробниками БПЛА застосовуються всілякі способи кодування сигналу [20].

Процес покращення характеристик FPV-БПЛА пов'язаний із оновленням програмного забезпечення, а також модернізацією його комплектуючих та використанням доробок, що дозволяють підвищити надійність його застосування.

Слід пам'ятати, що покращення одних характеристик може призвести до погіршення інших. Наприклад, при збільшенні ємності акумулятора збільшується вага БПЛА. Отже, необхідно обирати комплектуючі, які мають найбільш оптимальні параметри та показники для вирішення наявної задачі. Також необхідно розуміти, що кожна модель має свої обмеження, які варто перевищувати.

До технічних заходів, що підвищують надійність застосування FPV-БПЛА, належать такі процедури:

- ✓ застосування посиленої рами;
- ✓ застосування термозбіжних трубок або ізоленти для притискання проведення до корпусу рами;
- ✓ застосування надрукованих на 3D-принтері кріплень для камери, антен або ESC;
- ✓ використання двох батарейних ременів або скотчу для кріплення АКБ до рами;

- ✓ використання гумових або силіконових втулок під час кріплення складання плат до рами для поглинання вібрацій та ударів;
- ✓ використання бамперів на кінцях променів;
- ✓ застосування стартових (посадкових) майданчиків;
- ✓ застосування виносних ретрансляторів сигналу для збільшення дальності польоту та забезпечення максимальної зони покриття сигналу;
- ✓ використання кількох передавачів/приймачів радіосигналу, працюючих на різних частотах;
- ✓ використання поворотних спрямованих антенних пристроїв для стеження за БПЛА [35].

IV. Порядок підготовки оператора FPV-дрона до польоту і облік експлуатаційних обмежень БПЛА



Основи успішного виконання польоту та поставленого перед розрахунком БПЛА завдання, а також забезпечення безпечного застосування БПЛА закладаються під час підготовки до польоту. Помилки, допущені на цьому етапі, важко або неможливо виправити під час польоту і можуть призвести до зриву виконання бойового завдання та інших тяжких наслідків.

При підготовці до польоту оператора БПЛА необхідно ретельно проконтролювати правильність вихідних даних та навігаційних розрахунків, необхідних виконання польоту (колієних кутів, відстаней, орієнтирів, часу польоту, перевищень рельєфу та ін.), аби уникнути помилок під час виконання завдань.

Точний розрахунок навігаційних елементів перед польотом необхідний виконання польоту та вирішення завдань бойового застосування найбільш раціональним способом з урахуванням технічних можливостей БПЛА, фактичних метеоумов за маршрутом польоту та інших обмежень [31].

4.1 Підготовка до виконання польотного завдання та візуальне орієнтування

Оператори FPV-дрона зазвичай працюють у парі з помічником. При цьому розрахунку FPV-дрона допомагає розрахунок розвідувального БПЛА, здійснює пошук цілей та наведення БПЛА-камікадзе на кінцеву ділянку польоту.

Одним із основних правил навігації при застосуванні БПЛА будь-якого типу є безперервне збереження орієнтування – це означає, що у будь-який час польоту оператор повинен знати місце знаходження літального апарату та характер його руху щодо лінії заданого шляху. Орієнтування може здійснюватися візуально та за допомогою технічних коштів.

У даний час як основні **технічні засоби навігації БПЛА** використовуються: супутникові навігаційні системи; інерційні навігаційні системи; акселерометри; гіроскопи; магнітометри; радіовисотоміри (сонари); барометри; системи технічного зору. Ці системи та засоби використовуються на борту БПЛА спільно, інформація, що надходить від них, комплексується і допомагає оператору БПЛА точно витримувати задані параметри польоту.

У разі застосування FPV-дрона, через відсутність можливості установки більшості технічних засобів навігації, оператором ведеться візуальне орієнтування.

Оператор FPV-дрона при виконанні польоту спостерігає навколишню обстановку за допомогою курсової камери та визначає положення БПЛА в просторі лише з її допомогою.

Візуальним орієнтуванням називається визначення місця БПЛА за упізнаним орієнтирам шляхом звірення карти з місцевістю. Під орієнтиром розуміють природний чи штучний об'єкт, чи ділянка земної поверхні, зображена на карті і видима оператором управління у польоті. Орієнтир вважається упізнаним тоді, коли оператор управління дізнається його за збігом із зображенням на карті.

Візуальне орієнтування ведеться з метою контролю шляху, визначення навігаційних елементів польоту, відшукування мети та виходу на неї. Основними перевагами візуального орієнтування є простота, надійність, висока точність та велика достовірність визначення місця БПЛА. Вміння вести візуальне орієнтування у польоті є одним із елементів льотної майстерності оператора управління.

Орієнтири можуть бути **природними** (дороги, населені пункти, ліси, річки тощо) або **штучними** (світломаяки, прожектори, умовні знаки, кольорові димові шашки, сигнально-орієнтирні бомби та ін.).

За конфігурацією та розмірами орієнтири поділяються: на лінійні, площадні та точкові.

Лінійними називаються орієнтири, які відносно незначної ширини мають велику протяжність (річки, дороги, канали, береги морів, гірські хребти тощо).

Орієнтири площі – займають відносно велику площу і виділяються і натомість території своїми контурами (великі населені пункти, залізничні вузли, озера, ділянки лісу у степових районах та ін.).

Точкові орієнтири – перехрестя доріг, мости, дрібні населені пункти, невеликі залізничні станції, окремі вершини гір. До точкових орієнтирів відносяться також світлотехнічні засоби (світломаяки, прожектори, димові шашки та ін.).

Орієнтири між собою розрізняються за основними та додатковими ознаками. До **ОСНОВНИХ** ознак відносяться: форма, розмір та колір орієнтиру.

За основними ознаками оператор управління відрізняє один вид орієнтирів від інших. Наприклад, населений пункт від ділянки лісу відрізняється кольором; дорога від річки відрізняється формою. Додаткові ознаки використовуються для того, щоб розрізнити однорідні орієнтири, наприклад, два населені пункти. До **ДОДАТКОВИХ** ознак головних орієнтирів відносяться розташовані поблизу них інші орієнтири, наприклад, дороги, лісові ділянки, річки, озера.

Для ведення візуального орієнтування при виході на наземну мету використовуються **характерні орієнтири**, це ті орієнтири, які чітко виділяються і легко пізнаються з цієї висоти польоту.

Для оператора БПЛА дуже важливо перед польотом, вивчаючи на карті орієнтири, вибрати характерні. Ці орієнтири слід «підняти» на карті, тобто, якщо йдеться про паперову карту або схему, виділити їх олівцем. На електронній схемі можна встановити маркер. Правильний вибір характерних орієнтирів значно полегшує ведення візуального орієнтування.

До характерних орієнтирів **при польоті на середніх та великих висотах** відносяться великі населені пункти, озера, берегова межа, великі річки.

При польоті **на малих висотах** до характерних орієнтирів відносяться ті, які мають вертикальний розвиток: труби, елеватори, вершини гір.

Під час польоту оператор БПЛА спочатку виявляє орієнтир, не розрізняючи його деталей на дальності, що називається дальністю виявлення. Впізнання орієнтира (розглядаються деталі орієнтирів) залежить від характеру та числа його відмінних ознак та тривалості спостереження. Чим більша дальність виявлення і чим ближче розташований орієнтир до лінії фактичного шляху, тим більшим часом має в своєму розпорядженні оператор для його розпізнавання. Наявність хоча б одного специфічного, неповторної ознаки дозволяє пізнати орієнтир відразу [7].

Дальність видимості орієнтирів залежить від висоти польоту БПЛА, величини орієнтиру, фону місцевості та метеорологічних умов (прозорості повітря, освітленості тощо), а також (для FPV-дрона) роздільної здатності камери, дисплея окулярів та якості прийнятого відеосигналу.

За середніх умов видимості:

- ✓ дальність виявлення орієнтирів дорівнює 10-и висотам польоту;
- ✓ дальність розпізнавання дорівнює 3-5-ти висотам польоту.

При польотах над малоорієнтирною місцевістю для орієнтування слід використовувати не лише великі, а й дрібні орієнтири: окремі височини, яри, балки, дороги, стежки та ін.

У однаковій місцевості слід використовувати ті орієнтири, які виділяються серед інших об'єктів, створюють «строкатість» місцевості, а також взаємне розташування орієнтирів. Для візуального орієнтування над «строкатою» місцевістю слід використовувати орієнтири, контури яких не зазнають змін і виразно видно на загальному тлі місцевості. У гірському районі для ведення візуального орієнтування використовуються характерні вершини, зміни хребтів і ущелин, покрив гір та його колір.



На малих та гранично малих висотах візуальне орієнтування утруднюється внаслідок невеликої дальності видимості орієнтирів та високих кутових швидкостей переміщень місцевості. При цьому орієнтири, навіть близько розташовані, видно на плані, в перспективі. Швидкість польоту також впливає на кутову швидкість переміщення орієнтирів та час їх спостереження. На малих висотах та великих швидкостях польоту час спостереження орієнтирів різко скорочується.

В основу візуального орієнтування покладено визначення місця БПЛА шляхом звірення карти з місцевістю, що спостерігається. У розрахунку FPV-дрона цю функцію може виконувати помічник оператора. При веденні візуальної орієнтування необхідно дотримуватися таких правил:

- ✓ слідкувати за курсом;
- ✓ перед звіркою карти з місцевістю необхідно орієнтувати її по сторонам світла;
- ✓ кожному визначенню місця БПЛА по можливості має передувати можливість звірити мапу з місцевістю у районі передбачуваного місцезнаходження БПЛА;

- ✓ через обмежений час на розпізнавання орієнтирів, особливо при польотах на великих швидкостях, слід очікувати появи орієнтирів в межах видимості, тобто знати, який орієнтир і з якого напрямку має з'явитися;
- ✓ з сукупності орієнтирів, видимих з цієї висоти польоту, вибирати спочатку великі, найбільш характерні, впізнавати їх, а потім переходити до розпізнавання дрібніших;
- ✓ орієнтири впізнавати не по одному, а за декількома відмінними ознаками, ніж сплутати орієнтири, схожі один на одного.

Для збереження орієнтування у процесі польоту потрібно періодично визначати місце БПЛА. Місцезнаходження БПЛА може бути визначене в момент прольоту упізнаного орієнтира чи зіставленням положення БПЛА щодо кількох упізнаних орієнтирів.

Звірення мапи з місцевістю виконується переходом від картки до місцевості. Перед польотом необхідно вибрати на карті один чи кілька характерних орієнтирів, потім знайти їх. Це дозволяє заздалегідь вивчити ці орієнтири по мапі, а потім чекати їх появи на території.

Перед вильотом оператор БПЛА повинен усвідомити мету, завдання та умови виконання польоту, визначити які технічні засоби необхідно використовувати для виконання завдання, які тактичні прийоми використовуватимуться, а також розрахувати маршрут польоту, його параметри, скласти схему польотного завдання [10; 18].



Маршрутом польоту називається проекція траєкторії польоту на земну поверхню. Лінія, по якій оператор управління має провести БПЛА, називається **лінією заданого шляху**, або заданим маршрутом. Лінія, за якою фактично пролетів БПЛА, називається **лінією фактичного шляху** або фактичним

маршрутом.

Маршрут польоту вибирається залежно від характеру завдання з урахуванням:

- ✓ розташування цілі до моменту підльоту до неї та найкращого спрямування заходу БПЛА на неї;
- ✓ надійності орієнтування та відшукування цілі;
- ✓ найбільш надійного приховування польоту від противника;
- ✓ розташування засобів радіоелектронної та вогневої протидії супротивника та найменшої тривалості польоту в цьому районі;
- ✓ рельєфу місцевості та стану погоди за маршрутом;
- ✓ заборонених зон та зон з особливим режимом польоту;
- ✓ тактико-технічних можливостей БПЛА, які виконують політ

Прокладання маршруту польотною картою може

включати:

- ✓ відмітку основних точок маршруту;
- ✓ нанесення лінії заданого шляху;
- ✓ визначення та нанесення на карту колійних кутів, відстаней та штилевого часу польоту ділянками маршруту;

- ✓ відмітку заданого (розрахункового) часу виходу на ціль;
- ✓ позначку характерних висот рельєфу місцевості на ділянках маршруту, перевищення завдань;
- ✓ розрахунок безпечних висот польоту;
- ✓ нанесення точок корекції навігаційної системи.

Розрахунок польоту виконується для забезпечення точного витримання заданого маршруту та виходу на ціль або контрольний орієнтир (рубіж) в заданий час, забезпечення координації дій розрахунків у групах та контролю над їх польотом.

Розрахунок польоту виконується одночасно з прокладанням маршруту. Він включає:

- ✓ визначення довжини ділянок між основними точками маршруту (довжину етапів) та загальної довжини маршруту;
- ✓ визначення часу польоту ділянками маршруту та загальною тривалістю польоту;



- ✓ визначення колійних кутів ділянками маршруту;
- ✓ визначення безпечних висот на ділянках маршруту;
- ✓ інші дані залежно від польотного завдання.

Отримані дані заносяться в робочий зошит або блокнот. Розрахунок польоту поділяється на попередній та остаточний. Попередній розрахунок проводиться без урахування вітру та виконується під час підготовки до польоту.

Його результати наносяться на карту та записуються в блокнот. Остаточний розрахунок польоту проводиться в період передпольотної підготовки з урахуванням фактичних даних про вітер, отриманих від розвідника погоди за маршрутом або на підставі метеорологічних даних давністю трохи більше 3-х годин.

Схема польотного завдання БПЛА повинна включати:

- ✓ графічну модель польоту (порядок та послідовність виконання польотного завдання, із зазначенням часу та висот польоту, тактичні прийоми та параметри їх виконання);
- ✓ необхідні довідкові дані та розрахунки у вигляді тексту або таблиць;
- ✓ порядок взаємодії з іншими операторами БПЛА або коригувальниками (навідниками);
- ✓ заходи безпеки під час виконання польотного завдання.

Як правило, при польотах FPV-дронів польотні карти та схеми польотного завдання не складаються. Однак так чи інакше більшість із перерахованих елементів польотного завдання продумуються заздалегідь [39; 43; 47; 48].

Виконання польотного завдання під час використання FPV-дронів має свої особливості, а саме:

1. При плануванні польоту необхідно, наскільки це можливо, враховувати погодні умови: температуру повітря, швидкість та напрям вітру.

2. Маршрут польоту будувати з розрахунку максимального часу польоту FPV-дрона мінус 25% (якщо час польоту становить 20 хв, то час виконання польотного завдання не може перевищувати 15 хв). Якщо FPV-дрон використовується для ведення розвідки, то при розрахунку часу виконання завдання необхідно враховувати час повернення до точки посадки.

3. Вивчити попередні розвідувальні дані з дислокації підрозділів супротивника. Маршрут вибирати таким чином, щоб забезпечити скритність виходу БПЛА в район цілі (ведення розвідки), виключити або знизити ефективність дії засобів протидії БПЛА супротивника.

4. Тактичні прийоми також повинні ґрунтуватися на використанні маневрених можливостей БПЛА, маскуючих засобів місцевості, фактичного стану засобів протидії БПЛА противника, сформованої бойової обстановки.

5. Висота польоту БПЛА має забезпечувати стійкий зв'язок, це досягається за рахунок забезпечення прямої радіовидимості. Вибір висоти маршруту польоту визначається з урахуванням наступного протиріччя: що вище висота польоту, тим більша зона прямої видимості, і чим нижча висота польоту, тим менша ймовірність придушення засобами РЕБ противника.

6. При виконанні завдань вогневого ураження противника при польоті маршруту необхідно вести попутну розвідку.

7. Особливу увагу необхідно приділяти вибору майданчика старту та посадки, використання виносних передавачів та ретрансляторів.

Політ маршрутом з виконанням польотного завдання вимагає від оператора управління БПЛА уваги не тільки до техніки пілотування, але й здійснення контролю за рухом БПЛА чітко за наміченою траєкторією, уважності до польоту, швидкої реакції та розрахунку вирішення непередбачуваних завдань, у разі їх виникнення. Успішне виконання польотного завдання можливе лише тоді, коли політ у повному обсязі підготовлений заздалегідь на землі.



4.2. Вплив метеоумов на польоти FPV-дронів

FPV-дрони призначені для пошуку та ураження об'єктів противника на відносно невеликій відстані від точки старту. У зв'язку з цим, а також виходячи з технічних характеристик цього типу БПЛА, операторам даних апаратів слід мати деякий обсяг знань про вплив метеоумов на їх застосування. Оскільки час та дальність польоту апарату обмежені, а висота не перевищує трьохсот метрів, можна вважати, що у більшості випадків розрахунок апарату може оцінити метеоумови в зоні його застосування візуально. При цьому необхідно розуміти, що на виконання завдання апаратом можуть вплинути такі фактори:

- ✓ швидкість вітру, що перевищує гранично допустимі значення для даного апарату;

✓ висота хмарності та (або) дальність видимості, що ускладнює або що виключає візуальний контакт з підстилаючою поверхнею, а також можливість знайти та вразити заданий об'єкт противника;

✓ небезпечні явища погоди, що впливають на безпеку польоту та які можна умовно поділити на три групи: погіршення видимості (туман, серпанок, дощ, сніг, мряка, хуртовина, курна буря), що ускладнюють вітровий режим (шквал, ураган, хуртовина, курна буря) і що призводять до виникнення деяких небезпечних ефектів (іскрові розряди (блискавка), обледеніння та ін.).

Так як політ FPV-дрона відбувається на малій висоті і з великими швидкостями, то поряд із переліченими факторами слід також враховувати аерологію рельєфу місцевості, з якої виконується політ. На швидкостях вітру понад 5-7 м/с вплив місцевих перешкод (наприклад, ділянки лісу, будови та ін.) можуть викликати турбулентні обурення, що заважають точному пілотуванню БПЛА. Чим більша швидкість вітру, тим сильніше ці обурення. Оператор БПЛА, виконуючи політ, повинен враховувати можливість виникнення таких явищ. Найбільше ці ефекти виявляються на підвітряному боці перешкод. Навітряна сторона – сторона перешкоди, на яку дме вітер, підвітряна – знаходиться з іншого боку перешкоди, протилежно навітряної. У період доби такі ефекти найчастіше спостерігаються з 12 до 18 години за місцевим часом та у теплий період року.

Застосування FPV-дронів може здійснюватися в умовах підвищеної вологості та опадів. Сніг, дощ та конденсація вологи становлять для FPV-дрона певну небезпеку – при попаданні вологи на працюючу електроніку можливе виникнення пошкоджень електронних схем польотного контролера та іншого обладнання, що призводить до раптової відмови двигунів, втрати зв'язку та ін.

Для захисту електронних компонентів FPV-дрона від попадання вологи необхідно надійно заізолювати роз'єми, контакти, елементи електронних схем, плати та герметизувати корпус, в якому вони розташовані [1; 3; 8; 13; 48].

4.3. Технічні можливості та обмеження щодо застосування БПЛА

Крім обліку метеоумов у процесі підготовки до польоту оператора FPV-дрона необхідно знати технічні обмеження БПЛА на час та дальність польоту, а також на дальність дії апаратури управління та передачі відеосигналу.

Час польоту – один із найважливіших параметрів, який необхідно враховувати перед польотом. Чим довше БПЛА знаходиться у повітрі, тим більший спектр можливості його застосування. Час польоту дрона залежить від моделі та стану батареї, а також від ваги БПЛА та погодних умов. Більшість виробників вказують час польоту у своїх специфікаціях дронів, але вони не завжди точні, оскільки ці значення часу розраховані за стандартного навантаження в лабораторних умовах. На практиці маса БПЛА відрізняється від стандартної, тому що на нього підвішують додаткове обладнання (захисні кожухи, акумулятор з більшою ємністю, велику камеру тощо).

Розглянемо одну з методик зразкового штилевого розрахунку часу польоту квадрокоптера.

Для розрахунку необхідно враховувати два параметри:

1. Вага БПЛА та його корисне навантаження.
2. Розмір та ємність акумуляторної батареї.

Очевидно, що важкий БПЛА з меншою ємністю батареї матиме менший час польоту порівняно з легшим дроном з відносно більшою ємністю батареї.

Загальна польотна вага, кг – це вага БПЛА безпосередньо перед зльотом. Вона включає в себе вагу самого БПЛА, будь-яких додаткових аксесуарів, корисного навантаження та акумулятора. Середнє споживання струму, A – це середній струм, що споживається усіма двигунами від батареї. Використовується середнє значення, оскільки фактичне споживання струму сильно відрізняється на різних етапах польоту та залежить від режиму роботи (політ на максимальних обертах споживає більше струму, ніж плавний політ). Для врахування варіації використовується середнє значення.

Питома потужність, Вт/кг – відношення потужності двигуна до маси використовується для того, щоб описати, яка електрична потужність потрібна двигунам для підйому однієї одиниці ваги. По суті, це параметр, який залежить від ККД двигуна.

Безщіткові двигуни мають значення від 80 до 120 Вт на кг, а щіткові двигуни мають вище значення – близько 150-180 Вт на кг.

Чим ефективніші двигуни, тим менша потужність потрібна для підйому 1 кг ваги. Для розрахунку можна використовувати такі значення: безщіткові двигуни – 100 Вт/кг, щіткові двигуни – 170 Вт/кг.

Загальна напруга акумуляторної батареї (UAKB) вказується у маркуванні на корпусі АКБ і залежить від конфігурації осередків (банок) батареї. Вихідна напруга залишається постійною протягом більшої частини роботи батареї (вона падає, коли батарея розряджається нижче певного значення).

Місткість батареї, Ач – це її здатність накопичувати електричний заряд. Місткість акумулятора вказана у маркуванні на корпусі АКБ та виражається в міліампер-годинниках (мАг).

Межа розрядки батареї, % – гранична глибина розрядки батареї. Для розрахунку використовується значення за замовчуванням 80%, це означає, що буде використано лише 80% від загальної ємності для розрахунку часу польоту, при цьому на АКБ залишиться 20% як запас міцності.

Енергетичний баланс лінії визначається на основі наступних параметрів:

- ✓ коефіцієнтів посилення антен приймача та передавача;
- ✓ вихідні потужності відеопередавача;
- ✓ чутливості відеоприймача [20; 28; 29; 48].

V. Підготовка FPV-дрона до роботи і налаштування обладнання

Складання та налаштування БПЛА – це технічна задача, що вимагає знань і навичок в галузі електроніки, спеціалізованого програмного забезпечення та радіомонтажних робіт. Процес складання виконується шляхом підбору компонентів з урахуванням їхньої програмно-апаратної сумісності.

FPV-дрони призначені для ударів у глибині фронту – різної дальності та швидкості польоту. Ці безпілотники можуть нести на собі гранати до РПГ-7, такі як ПГ-7ВЛ, ручні протитанкові гранати РКГ-3М, а також осколково-фугасні заряди. **Перевагою FPV-дрона** перед звичайними квадрокоптерами є зручна для оператора орієнтація в просторі і можливість легко проходити маршрут або переслідувати ціль, що рухається, на швидкості до 170 км/год. Тому їх важко виявити і перехопити, вони мають високу маневреність і дають максимальний рівень контролю оператору. Це дозволяє з максимальною ефективністю застосовувати їх для знищення цілей, що рухаються, а також знищувати живу силу в бліндажах і спеціальних укриттях. Типова схема розміщення комплектуючих FPV-дрона представлений на малюнку 5.1.



Мал.5.1. Типова схема розміщення комплектуючих БПЛА

5.1. Складання FPV-дрона

Процес складання FPV-дрона залежить від конструктивних рішень та використовуваних комплектуючих. Однак послідовність основних технологічних операцій складання для більшості дронів даного типу в загалом однакова.

У загальному вигляді складання FPV-дрона здійснюється у наступній послідовності:

1. Складання рами.
2. Встановлення двигунів та електронних регуляторів обертів.
3. Монтаж електричної проводки та підключення PDB.
4. Встановлення польотного контролера.
5. Встановлення та підключення приймача.
6. Налаштування пульта керування.
7. Поєднання передавача пульта управління з приймачем.
8. Встановлення камери, відеопередавача, сигналізатора та іншого периферійного обладнання.
9. Остаточне складання рами та фіксування проводки та компонентів дрона.
10. Підключення акумулятора [14; 48].

Розглянемо етапи складання докладніше

1. Складання рами починається з її підготовки. Перед збиранням рекомендується підготувати раму. Відшліфувати гострі краї деталей з вуглецевого волокна, особливо на зовнішній стороні променів та пластин. Гострі краї можуть пошкодити дроти та порізати ремінець акумулятора при аварії.

Оброблені краї також можуть допомогти знизити можливість розшарування листа вуглецевого волокна при аваріях. Після шліфування потрібно вимити всі деталі з вуглецевого волокна в мильній воді, щоб видалити залишки вугільного пилу від різання, свердління та шліфування (необхідно враховувати, що вуглецеве волокно проводить струм). Потім потрібно ретельно висушити деталі.

Складання рами необхідно розпочати з розміщення променів та фіксатора променів поверх передньої нижньої пластини. Насамперед збирається нижня частина з променями (стійки залишаються осторонь, щоб не ускладнювати паяння). Для затягування нижніх елементів потрібні ключі шестигранники та набори головок до них. Виконується фіксування пластикових стійок для кріплення складання польотного контролера, плати розподілу живлення, електронного регулятора обертів двигунів та інших компонентів.

2. Установка двигунів здійснюється шляхом їх прикручування до рами болтами. При цьому довжина болтів підбирається таким чином, щоб не пошкодити обмотку двигуна (малюнок 5.2). З'єднання обробляються фіксатором різьблення для мінімізації ризику самостійного відкручування.



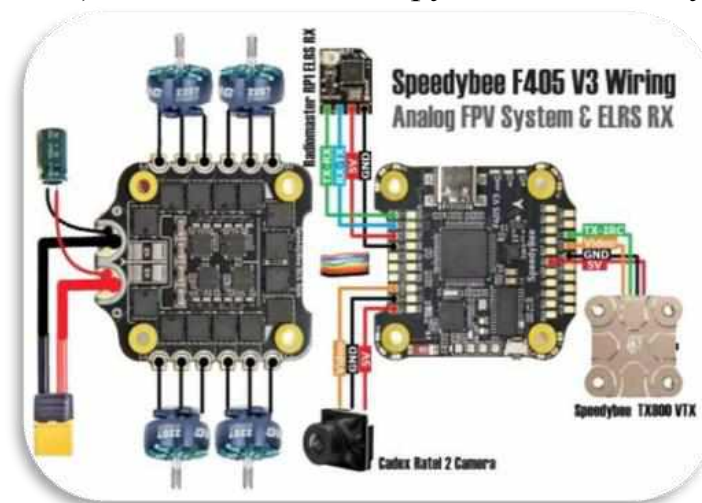
Мал. 5.2. Карбонова рама
FPV-дрона

Якщо електронні регулятори обертів не інтегровані в плату PDB, а поставляються окремо для кожного двигуна, то вони встановлюються та фіксуються на променях.

3. Елементи конструкції БПЛА з'єднуються між собою шлейфами та проводами. З'єднання комплектуючих FPV-дрона проводами здійснюється на наступних етапах складання. Монтаж електричної проводки починається з вимірювання та припасування довжини проводів (з урахуванням вигинів), необхідних для зручності монтажу. Проводи повинні бути довгими за рами на кілька сантиметрів.

Схема проводки може виглядати так (малюнок 5.3.):

- ✓ плата PDB запитується від акумулятора;
- ✓ живлення електродвигунів здійснюється від ESC через три дроти;
- ✓ живлення польотного контролера (+5V) здійснюється від PDB через відповідні виходи;
- ✓ приймач запитується (+5V) від польотного контролера та підключається через UART2 до нього;
- ✓ живлення відеопередавача здійснюється від PDB, а прийом відео для передачі здійснюється з польотного контролера;
- ✓ живлення камери (+5V) здійснюється від відеопередавача або польотного контролера.



Мал. 5.3. Схема підключення компонентів БПЛА до польотного контролера

Необхідно дотримуватися порядку та полярності підключення електродвигунів до ESC відповідно до їх розташування на рамі. Якщо змінити порядок чи полярність – двигун буде обертатися у протилежному напрямі.

Місця пайки обов'язково ізолюються термозбіжною трубкою. Перед пайкою готується термозбіжна трубка необхідного розміру і надягається на дроти. І лише після цього починається робота з паяльником.

Далі необхідно нагріти термозбіжну трубку для ізолювання місць з'єднання. Після паяння бажано покрити всі плати ізолюючим лаком, причому у кілька шарів.

У процесі монтажу не допускати, щоб дроти виступали за межі рами. Необхідно ретельно підбирати їх довжину та фіксувати стяжками.

Далі до силових контактних майданчиків PDB необхідно припаяти провід батареї (роз'єм XT60) та конденсатор на 1500 мкФ, який входить у комплект поставки, дотримуючись правильної полярності.

Конденсатор використовується для зменшення стрибків напруги та електричних перешкод, створюваних електронними регуляторами та двигунами.

4. Установка польотного контролера починається з його фіксування на рамі. У польоті ПК відчуває вібрації та шуми. Ці дії негативно впливають на показання деяких датчиків. Тому при установці слід використовувати пом'якшувальні матеріали прокладки в місцях кріплення до рами. У комплектації польотного контролера повинні бути присутніми амортизатори, що дозволяють мінімізувати негативний вплив коливань та вібрацій. Політний контролер підключається до PDB за допомогою шлейфу.

5. Встановлення та підключення приймача до польотного контролера. Для підключення приймача необхідно до відповідного контактному майданчику на ПК припаяти три дроти: білий – сигнальний, червоний – живлення +5 В та чорний – заземлення. Приймач слід розташовувати в термоусадці.

Приймач кріпиться таким чином, щоб антена була зовні рами, щоб унеможливити екранування радіосигналу елементами конструкції БПЛА. У більшості приймачів із частотою 2,4 ГГц використовуються дві дипольні антени. Антени такої конструкції повинні встановлюватись під прямим кутом один до одного.

6. Налаштування пульта керування здійснюється після встановлення приймача. Насамперед для коректної передачі даних між пультом та приймачем потрібно встановити протокол обміну даними в налаштуваннях передавача пульта керування. Протокол встановлюється у меню НАЛАШТУВАННЯ (SETUP) для зовнішнього (External RF), або внутрішнього (Internal RF) модуля передавача пульта управління. Для обраного модуля передавача з метою встановлення зв'язку з приймачами ExpressLRS або TBS – встановити налаштування РЕЖИМ (MODE) у положення CRSF.

Налаштування тумблерів на пульті керування виконується для кожного БПЛА відповідно до кількості задіяних каналів управління та перевагами оператора. Налаштування зберігаються у пам'яті пульта управління. В одному пульті управління може бути збережено декілька налаштувань – моделей (за кількістю моделей БПЛА чи варіантів керування).

Попередньо налаштування керування (модель) не мають призначених тумблерів, крім чотирьох каналів керування стіками. Тому якщо при перевірці сигналів на каналах у програмі Betaflight Configurator не працюють тумблери, необхідно їх призначити у вкладці Mixes у налаштуваннях моделі апаратури. Для перепризначення

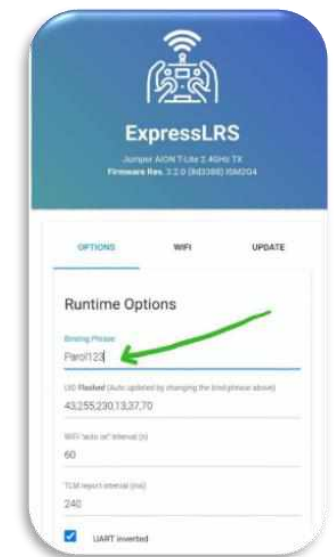
тумблера необхідно вибрати потрібний канал, затиснути кнопку вибору та натиснути Edit. Потім вибрати Source та призначити тумблер для цього каналу.

Важливо пам'ятати, що для включення та вимкнення режиму паркування (APM) у протоколах ELRS та TBS необхідно використовувати тільки AUX1 (5-й канал) та ніякий інший.

7. Поєднання передавача пульта управління з приймачем. Для виконання цієї операції необхідно затиснути на пульті керування кнопку SYS, перейти до розділу системних налаштувань та вибрати пункт меню ExpressLRS Lite або TBS Agent Lite. Потім у налаштуваннях скрипта (Lua Script) необхідно вибрати пункт WiFi Connectivity, а далі вибрати Enable WiFi. Натиснути ОК ще раз, щоб увімкнути роздачу Wi-Fi сигналу на передавачі.

Далі необхідно підключитися до бездротової мережі ExpressLRS TX паролем за промовчаням expresslrs.

Особливу увагу при поєднанні слід приділити налаштуванню програмного забезпечення, яке полягає у прив'язці передавача з приймачем по Wi-Fi. Для цього потрібно виконати налаштування однакового кодового слова (Binding Phrase) на обох пристроях. За цим словом приймач знаходитиме передавач, отже, для того, щоб до одного передавача не підключився інший БПЛА, необхідно використовувати унікальну символно-цифрову послідовність. Кодове слово вводиться в меню налаштувань передавача (малюнок 5.4.), яке повинно з'явиться в браузері комп'ютера, якщо підключення до мережі Wi-Fi доступне апаратурі. Після введення кодового слова потрібно натиснути кнопку «зберегти».



Мал. 5.4. Меню налаштувань кодового слова передавача

Для призначення кодового слова для прошивки приймача необхідно подати живлення на приймач. Якщо протягом 60 секунд після увімкнення приймача він не з'єднався з передавачем, він автоматично перейде в режим роздачі Wi-Fi сигналу. При цьому зелений світлодіод на приймачі буде швидко блимати зеленим кольором. Процес введення кодового слова на приймач аналогічний до процесу введення кодового слова на передавачі.

Більше ніяких додаткових процедур для прив'язки не потрібно, пару буде зроблено автоматично, якщо кодові слова на передавачі та приймачі збігаються.

8. Встановлення камери, відеопередавача та сигналізатора. Відеопередавач підключається до польотного контролера методом паяння. Для припаювання проводів відеопередавача використовується схема, представлена на малюнку 5.5.

FPV-камеру краще заживити або від плати розподілу живлення (PDB), або від відеопередавача.



Мал. 5.5. Монтаж відеопередавача та камери на БПЛА

Антенні відеопередавача кріпляться до рами пластиковими стяжками під прямим кутом одна до одної, як показано на малюнок 5.6.



Мал. 5.6. Способи кріплення антен на FPV-дроні:

з використанням пластикових стяжок; з використанням спеціального кріплення для антен

Сигналізатор кріпиться на відповідні польотні контакти контролера. Цей елемент передбачає отримання звукового сигналу, що полегшує його пошук у разі падіння.

9. Остаточне складання рами та фіксування проводки та компонентів дрона є завершальним етапом складання і полягає в установці верхньої пластини та ремінця кріплення АКБ. Конденсатор, проводку та інші незакріплені компоненти БПЛА необхідно прикріпити до нерухомих елементів рами за допомогою нейлонових стяжок або скотчу.

10. Підключення акумуляторної батареї здійснюється до гнізда XT60 з фіксацією до рами ремінцем. Акумулятор може кріпитися до корпусу БПЛА як знизу, так і зверху. Слід звернути увагу на те, що монтаж лопатей не проводиться до налаштування польотного контролера [13; 16; 31; 38; 39; 40; 47; 48].

5.2 Підготовка FPV-дрона до польоту

Після збирання всіх компонентів квадрокоптера на ПК встановлюється (оновлюється) та налаштовується програмне забезпечення (прошивка). Ця процедура виконується з використанням спеціальної програми-конфігуратора. Існує кілька видів програм конфігураторів, призначених для налаштування ПК, кожна з них підтримує апаратні засоби різних виробників та різні моделі одного виробника. Найбільш затребуваним для налаштування ПК FPV-дронів є

Betaflight Configurator – це програма, яка дозволяє отримати доступ до ПК та всіх його датчиків, завантажити в нього програмне забезпечення (прошивку), а також налаштувати його конфігурацію. Розглянемо процес налаштування ПК за допомогою Betaflight Configurator версії 10.9.0.

Для встановлення ПЗ на квадрокоптер необхідно наступне обладнання:

- ✓ квадрокоптер з польотним контролером, який підтримує Betaflight Configurator;
- ✓ кабель USB;



✓ комп'ютер з доступом до Інтернету.

Налаштування ПК квадрокоптера починається із запуску програми Betaflight Configurator (при цьому польотний контролер не підключається). На першій вкладці програми наведено список драйверів, які необхідно встановити. Встановлюються всі запропоновані програмою драйвери.

Для того, щоб оновити вбудоване програмне забезпечення (прошивку) ПК, необхідно затиснути та утримувати кнопку «Boot» на платі ПК, та у цей момент під'єднати його до комп'ютера. При натисканні на кнопку запускається режим Bootloader, тобто ПК переводиться в режим оновлення програмного забезпечення. Після підключення USB-кабелю до комп'ютера та польотному контролеру повинен постійно горіти лише один синій світлодіод. Якщо другий світлодіод блимає, то в налаштуваннях допущено помилку.

Насамперед потрібно переконатися в тому, що встановлений режим оновлення прошивки DFU. Якщо цього не сталося, необхідно повторити попередні кроки. Також проблеми можуть виникнути через некоректно встановлені драйвери. Потім слід перейти на вкладку «Програматор». З випадаючого списку вибрати польотний контролер, а у наступному списку, що випадає, необхідно вибрати останню стабільну версію прошивки. Натиснути на перемикач «повне стирання чіпа», а при підключенні до інтернет з'єднання натиснути кнопку «завантажити прошивку (Online)». Дочекайтесь завантаження актуальних прошивок, і саме потім кнопка «завантажити прошивку» стане активною.

Натисніть кнопку «завантажити прошивку» та дочекайтесь закінчення її завантаження у ПК. Потім потрібно відключити та підключити ПК знову, але вже без затиснутої кнопки boot. ПК повинен блимати різнокольоровими світлодіодами.

Натисніть кнопку «підключити», на верхній панелі робочого вікна увімкнеться режим експерта. Перейдіть на вкладку «система» і відкалібруйте гіроскоп/акселерометр. Для цього потрібно встановити БПЛА на рівну поверхню та натиснути «калібрувати акселерометр». У результаті калібрування стрілка на польотному контролері, що позначає напрямок руху, повинна збігатися з напрямом моделі дрона у вікні відображення положення.

Якщо не вдалося відкалібрувати гіроскоп/акселерометр, то перейдіть у вкладку «конфігурація» та програмно поверніть гіроскоп доти, доки стрілка не збігається з напрямом моделі дрона, а також перевірте чи увімкнено акселерометр [41; 48].

Далі перейдіть на вкладку «конфігурація» та увімкніть параметр «Dynamic_Filter» для фільтрації даних, що виходять із гіроскопа на регулятор оборотів. На вкладці «порти» знаходяться налаштування для UART-портів, тобто для послідовних портів, які використовуються для обміну даними з різними компонентами, такими як приймач, відеопередавач, GPS модуль та ін. Параметр USB VCP завжди повинен бути увімкнений.

У цьому розділі потрібно включити порт, який використовується для обміну інформацією із приймачем. У різних польотних контролерів він може бути різним.

Необхідно налаштувати входи портів. UART – це група контактів RX та TX. Номер поряд вказує на номер UART. Відповідно до того, як припаяні контакти приймача, необхідно увімкнути на порті UART (де припаяний приймач) Serial RX (для обміну даними польотного контролера з приймачем) та на порті UART (де припаяний відеопередавач) вибрати VTX (IRC Tramp) для перемикання каналів з польотного контролера (необов'язково).

Потім на вкладці «Приймач» потрібно налаштувати режим прийому. Тобто, порт та протокол обміну даними між приймачем та польотним контролером. Підключитись до Betaflight та перейти у вкладку «Receiver». Потім підключити АКБ, увімкнути пульт.

Перевірити, чи канали реагують на дії оператора. Коли він рухає стиками та перемикачами, кольорові смужки теж повинні рухатися. Якщо смужки не рухаються, переконайтеся, що включено приймач і пульт, чи правильно підключено приймач. Також переконайтеся, що у вкладці «Конфігурація» вибрано правильний тип приймача (IBus, SBUS і т.д.), а також чи правильно обрано протокол роботи (MultiSHOT, DSHOT і т.д.).

Виберіть у списку «Серійний порт (через UART)» та у вибір протоколу зв'язку поставте «CRSF».

Якщо смужки рухаються, але не в тому порядку, потрібно спробувати поміняти картку розмітки з AETR1234 на TEAR1234 у вкладці «receiver».

Що стосується налаштування порогів, що застосовуються для калібрування положення стиків на апаратурі, то тут прописується цифрове значення стиків у крайньому нижньому положенні та у крайньому верхньому положенні, а також по центру. Значення по замовчуванням зазвичай не вимагають зміни.

При включенні пульта та при русі стиків у різних напрямках різнокольорові смужки бігатимуть у межах від 1000 до 2000, середнє положення при відпусканні стику має бути на позначці $1500 \pm 1-2$ одиниці, але краще, щоб було точно 1500. Тому що ці 2 градуси будуть вносити свої корективи у польоті.



Виправити значення можна кнопками стримування на пульті або внісши коригування через CLI. Неправильні середні значення призведуть до того, що БПЛА почне дрейфувати і летіти в різні боки.

Далі виберіть вкладку «мотори». Перш ніж виконувати налаштування на цій вкладці, потрібно:

1. Зняти пропелери, якщо вони встановлені. Рекомендується все налаштування проводити у такому стані. Встановлені пропелери – це ризик завдати травми!

2. Підключити акумулятор до квадрокоптера.

3. Перейти на вкладку «Мотори» конфігуратора Betaflight та увімкнути повзунок.

4. Плавню підняти повзунок біля мотора №1 і контролювати напрямок обертання. Якщо обертання за годинниковою стрілкою, тоді перевести повзунок вниз. Так само слід перевірити всі мотори, що залишилися з урахуванням їх напрямку обертання. Якщо обертання електродвигунів не збігається з блоком №3, необхідно зробити індивідуальне налаштування обертання кожного двигуна, для цього необхідно натиснути: напрямок мотора – «індивідуально» та натисканням з утриманням налаштувати обертання кожного двигуна індивідуально. Якщо при пробному польоті БПЛА перевертається, потрібно перепризначити канали вкладки «Перезначити мотори».

Калібрування регуляторів обертів здійснюється натисканням команди «ESC».

У цьому блоці налаштовуються протоколи та параметри двигунів. DSHOT600 – це протокол взаємодії між регуляторами обертів та ПК. Усі сучасні регулятори ESC та ПК підтримують протоколи DSHOT300, DSHOT600 та DSHOT1000. Слід обирати той протокол, який рекомендує виробник.

MOTOR-STOP – використовується для зупинки двигунів під час увімкнення. Зазвичай функцію не використовують.

ESC_SENSOR – використовується для включення телеметрії, якщо на В регуляторах для цього використовується окремий сигнальний провід.

Двосторонній Dshot – нова функція у Betaflight 4.x, яка дозволяє ПК отримувати інформацію про обerti двигуна сигнальним каналом ESC без використання додаткових дротів та каналів.

Полюси електродвигунів – вікно, в якому вводиться кількість магнітів у електродвигуні.

Холостий хід – вікно, в якому встановлюється швидкість, з якою обертаються пропелери після включення (Arming). Зазвичай вистачає 2-4%.

Немає необхідності калібрувати регулятори, якщо використовується протокол DShot, включаючи DShot150, DShot300, DShot600, DShot1200 та DShot2400.

Однак, їх необхідно калібрувати, якщо на регуляторах протокол PWM, Oneshot125, Oneshot42 та Multishot.

Процес калібрування під OneShot нічим не відрізняється від калібрування під будь-який інший протокол.

Для калібрування під протокол OneShot слід:

- ✓ відключити FPV-дрон від живлення та зняти пропелери з двигунів;
- ✓ підключити польотний контролер до комп'ютера, запустити Cleanflight або Betaflight та перейти у вкладку Motor;
- ✓ вибрати «Test motor», у Betaflight праворуч буде повзунок, що дозволяє підняти швидкість обертання до максимуму відразу всіх двигунів;
- ✓ підняти повзунки всіх двигунів вгору, підключити живлення (підключити акумулятор) і різко опустити всі повзунки вниз. Звукова сигналізація вкаже, що всі регулятори відкалібровані.

Далі від'єднайте і знову приєднайте акумулятор і плавно додайте повзунком оберти двигунів, щоб переконатися, що всі двигуни обертаються одночасно.

Вкладка «Режими» дозволяє налаштувати різні тумблери на пульті управління. У цьому режимі в основному налаштовуються два тумблери:

⇒ arming – встановлення та зняття з охорони квадрокоптера (ARM – включення/DISARM-вимикання електродвигунів);

⇒ увімкнення режиму стабілізації (HORIZONT, ANGLE) та режиму ACRO – ручний режим керування.

Для налаштування тумблерів необхідно вибрати потрібний режим та натиснути «Додати діапазон». Далі діапазон налаштовується так, щоб положення тумблера, де він увімкнений, відповідало діапазону.

Виберіть канал, наприклад AUX1, або залиште «АВТО» та переключіть будь-який зручний тумблер на пульті управління, який буде задіяний для цієї функції. Автоматично буде обрано канал, який прив'язаний до цього тумблера. Після того, як вибрано AUX, потрібно кілька разів перемикає тумблер, при цьому на індикаторі переміщуватиметься жовтий маркер, що відповідає положенню тумблера. Якщо перемістити жовті смужки на область, де буде жовта точка, то квадрокоптер почне реагувати на це положення, в даному випадку це «Arming» або зняття з охорони.

Вкладка «Failsafe» дозволяє налаштувати режим збереження, тобто дії, які квадрокоптер робитиме при втраті зв'язку з пультом управління.

Failsafe – це функція, яка виконує певні дії після того, як зникає радіозв'язок між квадрокоптером та апаратурою управління. Увімкнення цієї функції означає, що при відмові апаратури управління, квадрокоптер не полетить далі, а екстрено здійснить посадку.

Failsafe спрацьовує у випадках, якщо:

- ✓ квадрокоптер відлетів далі за зону дії сигналу апаратури управління;
- ✓ між квадрокоптером і пультом перешкода, через яку не проходить сигнал;

- ✓ живлення у пульті або приймачі зникло (апаратура відключена/відключилася);
- ✓ приймач відключився від польотного контролера.

При налаштуванні цього Failsafe можна вибрати такі режими:

- ✓ Падіння (Drop) – квадрокоптер відключає двигуни, що призводить до падіння;
- ✓ Приземлення (Land) – БПЛА зменшує газ до 20% та повільно сідає.

GPS-порятунок (Return to Home). Якщо на квадрокоптері встановлений GPS модуль, то за його допомогою можна налаштувати повернення квадрокоптера. У випадку втрати зв'язку активується функція GPS Rescue, БПЛА підніметься на певну висоту і полетить у приблизну точку зльоту. Функція GPS Rescue екстрена та створена з метою повернути управління квадрокоптером, але не посадити його. Функція спрацює, якщо БПЛА відлетить на відстань не менше 50 метрів. Посадити БПЛА за допомогою GPS-модуля не рекомендується, оскільки він може вдаритися об землю (немає відповідних датчиків).

Вкладка «OSD» налаштовує параметри відображення різної інформації на екрані окулярів чи шолома.

По центру розміщується імітація екрана. Зліва слід поставити галочки на потрібних параметрах, потім з'являться на вікні. Для того щоб дізнатися, що означає параметр, необхідно навести на нього курсор миші – з'явиться підказка.

Рекомендується виставляти найнеобхідніше, щоб не перевантажувати екран інформацією. При налаштуванні необхідно ставити галочки та переміщати інформацію по екрану у потрібне місце.

Параметри, які відстежуються оператором БПЛА у польоті [32]:

- 1) Оптимальний напрям перевороту при падінні догори ногами.

- 2) «Приціл» – напрям поздовжньої осі квадрокоптера щодо лінії штучного горизонту.
- 3) Штучний горизонт (авіагоризонт) – показує положення горизонту щодо осі квадрокоптера.
- 4) Поточний струм споживання (миттєве значення).
- 5) Використана ємність батареї.
- 6) Напруга одного осередку батареї (середнє значення).
- 7) Час польоту.
- 8) Показчик загального режиму.
- 9) Попередження про несправність.
- 10) Температура мікроконтролера квадрокоптера.
- 11) Рівень сигналу керування.
- 12) Показчик режиму польоту.

Вкладка «PID» – аббревіатура з трьох слів:

1. P – Proportional (пропорційна);
2. I – Integral (інтегральна);
3. D – Derivative (похідна).

PID – функція в польотному контролері, що дозволяє обробляти інформацію з датчиків (як правило, це гіроскоп та акселерометр), та виробляє сигнали, що управляють БПЛА, а потім відправляє команди регуляторам оборотів електродвигунів (ESC).

Пропорційна складова лінійно змінює керуючий сигнал (забезпечує чутливість керування). Інтегральна складова забезпечує мінімізацію статичної помилки (забезпечує максимальну точність керування).

Диференційна складова знижує амплітуду перерегулювання, що знижує розгойдування.

Після складання та налаштування проводиться перевірка FPV-системи, яка полягає у перевірці якості відеозображення в шоломі/окулярах [4; 6; 7; 32; 33; 41; 44; 45; 47; 48].

VI. Безпека під час експлуатації

Перш ніж почати застосовувати БПЛА, необхідно уважно ознайомитись з інструкцією щодо експлуатації та уважно оглянути БПЛА на наявність дефектів та несправностей.

- ✓ Звертайте увагу на всі попередження, нанесені на корпус БПЛА, акумулятора, зарядної бази та викладені у посібнику користувача.
- ✓ Дотримуйтесь вказівок щодо заряджання акумуляторів.
- ✓ Дотримуйтесь усіх вказівок щодо експлуатації виробу.

6.1.Первинна підготовка

1. Дрон – переконайтеся, що всі елементи БПЛА міцно закріплені.
2. Провід – укладіть в джгути, закріпіть стяжками та зміцніть дроти.
3. Пропелери – мають бути встановлені, а гайки – міцно затягнуті.
4. Перевірте правильність установки пропелерів.
5. Перевірте, що обертанню пропелерів нічого не заважає, при необхідності – усуньте перешкоди [11].



6.2. Техніка безпеки при складанні та технічному обслуговуванні

Під час проведення робіт з технічного обслуговування та ремонту БПЛА необхідно дотримуватись вимог інструкції з експлуатації.

Заряджання акумуляторних батарей здійснювати тільки у спеціально відведених місцях, дотримуючись вимог техніки безпеки при експлуатації акумуляторних батарей даного класу та переконавшись у відсутності людей, не пов'язаних з проведенням цих робіт, на відстані не менше 5 метрів.

Забороняється експлуатувати акумулятори при виявленні механічних пошкоджень захисної плівки, здуття пластин, появі характерного запаху хімічної реакції.

У разі виявлення несправності або позаштатної ситуації під час складання, слід негайно припинити процес та провести комплекс заходів щодо їх усунення.

Після закінчення робіт згорнути комплект згідно з інструкцією з експлуатації, зняти акумуляторну батарею з БПЛА, провести зарядку батареї та прибрати її в контейнер. Зберігання акумуляторної батареї у вільному доступі забороняється.

При виникненні неконтрольованих процесів в акумуляторних батареях у процесі підключення або заряджання (підвищення температури, здуття, відкрита хімічна реакція), негайно відключити її від ланцюга живлення та ізолювати акумуляторну батарею, помістивши її в контейнер або металеву ємність (наприклад, відро, каструлю тощо). У разі виникнення пожежі, її гасіння слід здійснювати порошковим вогнегасником для пожеж класу D



(горіння металів), вуглекислотним вогнегасником, протипожежним полотном (брезентом), землею чи піском. Необхідно уникати вдихання продуктів горіння, оскільки вони токсичні.

При отриманні травм надати постраждалим першу домедичну допомогу, викликати лікаря [11; 33].

6.3. Передпольотна підготовка

1. Заряджайте акумулятор (-и) квадрокоптера до 100% перед кожним польотом. Контролюйте заряд акумулятора. Заряджайте акумулятори лише оригінальними зарядними пристроями.
2. Зарядіть акумулятор пульта (якщо вбудований) до 100%. Завжди контролюйте заряд пульта.
3. Перевірте, чи лопаті встановлені правильно, інакше дрон може перевернутися під час зльоту. Переконайтесь, чи немає на лопатях подряпин, сколів або тріщин, якщо є пошкодження, замініть потрібну кількість лопатей.
4. Розкладіть промені квадрокоптера, якщо у вас складна конструкція. Найчастіше дрон розкладається з променів із ніжками.
5. Більшість дронів включається одним коротким та другим довгим натисканням на акумулятор. Так само і пульти (апаратури управління).
6. Якщо ви бачите, що горизонт завалений, відкалібруйте підвіс.
7. Відкалібруйте компас квадрокоптера.
8. Переконайтесь, що дрон знайшов потрібну кількість супутників і перейшов у режим GPS.
9. Злітайте акуратно, при перших польотах затримуйте дрон на безпечній відстані, щоб перевірити, що його не тягне убік і все працює в штатному режимі.

10. Якщо у вас дрон без датчиків перешкод чи машинного зору, завжди оцінюйте кількість перешкод навколо та виставляйте правильну висоту повернення додому.

11. Якщо під час самодіагностики або під час польоту дрон видає помилки або сповіщення, уважно прочитайте їх і виконайте вимоги дрона.

12. Завжди контролюйте в робочому режимі політ та телеметрію з дрона [26].

6.4. Безпека перед зльотом



- Усі присутні, що є поряд, мають знаходитись за спиною пілота. На відстані 10 метрів спереду та збоку не повинно бути людей.
- Не допускайте виходу глядачів у півсферу перед пілотом.
 - Пілот має знати час польоту, на який розрахований цей коптер, та час дії його акумулятора.
 - Пілот має стояти на відстані щонайменше 3-х метрів від коптера.
 - Пілот повинен злітати із землі з рівного майданчика на відстані не менше 3-х метрів від перешкод.

Переконавшись, що всі пункти вище виконані, виконуйте включення БПЛА та переходьте до зльоту [26].

6.5. Безпека у польоті

- ✓ Чітко виконуйте всі вказівки інструктора.
- ✓ Політ слід здійснювати лише у позначеній зоні та не допускати вильоту за її межі.
- ✓ Під час навчання польотам літати слід на рівні нижче власного зросту.
- ✓ Політ здійснювати на відстані, на якій видно орієнтир коптера у просторі. У разі виникнення сумнівів у правильності орієнтирів коптера, негайно виконати посадку. Підійти ближче до коптера і здійснити зліт.
- ✓ При керуванні БПЛА всі рухи стиками слід виконувати акуратно та плавно. Не допускати різких рухів. При необхідності змінити напрям польоту, але не різко. Літати слід обережно і виконувати ті елементи, у яких немає сумнівів. Забороняється виконувати фігури пілотажу, в успіху яких виникають сумніви та ризики.
 - ✓ Дотримуйтесь швидкісного режиму. Швидкість польоту коптера тримайте в межах швидкості людини, що йде повільними кроками.
 - ✓ Повертайте коптер до місця посадки у межах розрахованого часу, не допускайте повної розрядки акумулятора в польоті. Посадку виконуйте тільки на рівній відкритий майданчик подалі від перешкод [26; 34].



6.6. Дії в екстрених ситуаціях

У разі виникнення події, яка не завдала травм

Вимкніть акумулятор, якщо це можливо. Слідкуйте за акумулятором на предмет здуття та/або загоряння. При необхідності запишіть показання свідків. Сфотографуйте місце події, щоб показати положення БПЛА. Переконайтеся, що всі зняті матеріали збережені для демонстрації як доказ. Зареєструйте подробиці аварії та повідомте за необхідності. Якщо є нагрівання, дим або полум'я від акумулятора, не торкайтеся руками, використовуйте вогнезахисні рукавички.

Втрата потужності або відмова акумулятора БПЛА

У разі втрати потужності на польотному контролері або двигунах, БПЛА може впасти, у разі відсутності горизонтальної швидкості – впасти вертикально вниз. Важливо, щоб зона під БПЛА залишалася чистою та щоб люди у цій зоні знали про потенційний ризик.

Пожежа у польоті. Якщо керування, як і раніше, можливо, спробуйте посадити дрон подалі від екіпажу на негорючу поверхню.

Пожежа на землі. Дайте акумулятору прогоріти. За необхідності загасіть розповсюдження полум'я за допомогою вогнегасника / протипожежного полотна. Уникайте вдихання диму, оскільки дим токсичний. Якщо це безпечно, використовуйте вогнегасник для пожеж класу D (пожежі металів) [1; 26].

VII. Пілотування FPV-дронів

7.1. Загальні рекомендації щодо управління FPV-дроном

До польоту на реальному FPV-дроні допускаються особи, які пройшли курс підготовки операторів та успішно здали залік на знання теорії конструкції та обладнання БПЛА, а також підтвердили наявність стійких практичних навичок управління FPV-дроном на симуляторі.

Перед початком польоту оператору необхідно:

- ✓ провести візуальний огляд обладнання на предмет ушкоджень;
- ✓ зарядити АКБ FPV-дрона, окулярів та пульта;
- ✓ встановити антену пульта;
- ✓ встановити антену окулярів;
- ✓ увімкнути пульт;
- ✓ ввімкнути окуляри;
- ✓ встановити АКБ у коптер та підключити її до роз'єму;
- ✓ одягнути окуляри;
- ✓ встановити потрібний режим польоту.

Для виконання польоту необхідно виконати такі дії:



- ✓ перевірити положення лівого стику (газ на мінімум);
- ✓ переключити режим паркування в ARMED;
- ✓ плавно штовхнути від себе лівий стик до моменту відриву БПЛА від землі;
- ✓ намагатися не допускати різких ривків стиків;
- ✓ намагатися тримати кисті рук розслабленими;
- ✓ для посадки БПЛА вийти в бажану точку та плавно знижуючи висоту та швидкість, біля землі перейти в режим паркування (DISARMED).

Рекомендації оператору управління FPV-дрона при розряді АКБ, аваріях та зіткненнях з перешкодами:

- ✓ якщо у процесі польоту в центрі екрана висвітився напис «LANDING NOW» потрібно негайно посадити БПЛА, так як через кілька секунд мимоволі відключиться АКБ через розряд;
- ✓ якщо після зіткнення не вдалося утримати дрон у повітрі, то необхідно максимально швидко переключити БПЛА в режим паркування (DISARMED) для збереження обладнання;
- ✓ якщо кінцева точка падіння коптера дозволяє злетіти, то діяти за алгоритмом «політ»;
- ✓ якщо БПЛА впав у перевернутому положенні, то перевірити стан газу, перевести у режим (DISARMED), після чого включити режим «черепашки» (режим перевероту коптера на землі), повернути режим (ARMED) та правим стиком подати сигнал для перевероту коптера. Після перевероту знову перевести в режим (DISARMED), потім в режим (ARMED) і далі діяти за алгоритмом «політ»;
- ✓ якщо самостійний переверот коптера неможливий або небажаний, встановити коптер у зручне для зльоту місце та діяти за алгоритмом «політ»;

✓ якщо неможливо візуально виявити місце падіння коптера, то необхідно включити режим «пищалки» для полегшення пошуку БПЛА;

✓ якщо після падіння коптер відключився, потрібно переглянути запис з окулярів і постаратися відновити траєкторію польоту коптера для полегшення його пошуку;

✓ якщо після аварії зображення зникло та з'явилося, а на сигнали управління коптер не реагує, слід відключити та включити живлення коптера. Можливо, так само, що АКБ розрядилася і потрібно підключити іншу.

Для оператора початківця управління FPV-дроном необхідно розуміти відмінність двох найчастіше використовуваних режимів польоту:

Angle (STAB) – це стабілізований режим польоту, який частіше всього використовується під час початкового навчання польотів на квадрокоптері. У цьому режимі відхилення стику (крену/тангажу) управляє значеннями кутів крену та тангажу. У цьому режимі не вдасться перевернути квадрокоптер на 360 градусів по осі тангажу або крену, як у режимі ACRO. У режимі Angle можна відпустити стик управління по осях тангаж/крен та коптер автоматично повернеться у горизонтальне положення. На обертання дрона по осі ристання цей режим не впливає.

ACRO (ARCO) – це режим польоту, в якому відхилення стику (крена/тангажу) визначається швидкістю обертання коптера обраної осі. Якщо відпустити стик у цьому режимі, то коптер не повернеться до горизонтального положення як в Angle (коптер продовжить рух із раніше обраними параметрами).

При реальних польотах, крім рекомендацій з пілотування FPV-дроном на симуляторі додатково слід враховувати наступні особливості.

Поведінка коптера насправді й у симуляторі відрізняється. Симулятор дає загальне розуміння про те, як відбувається управління і як на це реагує коптер, а при польоті в реальності на коптер діють усі фізичні закони, які у симуляторі не реалізовані чи реалізовані не ідеально.

У симуляторі відсутній вітер, який значно ускладнює керування коптером. Однак, чим коптер важчий, тим слабше на нього впливає вітер. Складні важкі коптери можуть самостійно компенсувати вплив вітру в деяких межах, однак мають свою межу застосування у певних погодних умовах. При польотах на відкритій місцевості щоб уникнути зіткнення з перешкодою, як правило, досить різко злетіти нагору.

Для гальмування потрібно не прибирати газ, а нахилити коптер по тангажу «на себе» і додати газ, а потім зменшити газ і повернути у горизонтальне положення. Рух обома стиками виконується координовано. Нахил камери впливає на комфортність польоту на різних швидкостях. Чим менший кут, тим простіше летіти на низькій швидкості, чим більше – на високій. У більшості коптерів камера встановлюється на 30-45 °, але для первинного навчання та вироблення навичок можна встановити 15°. Існують коптери, де камера встановлена на 60-70° для забезпечення максимальної швидкості польоту. Варто зазначити, що чим більший кут камери, тим складніше виконувати посадку/зліт оскільки видимість у нижній півсфері обмежена.

Політ на коптері у невеликих замкнутих просторах (приміщенні) вимагає більш обережного контрольованого поводження зі стиками, різкі рухи можуть стати причиною зіткнення. При підльоті коптера до вертикальної стіни створюється ефект прилипання, і коптер «притягується» передньою частиною до стіни, а ефективність електродвигунів падає.

Поведінка коптера з підвішеним вантажем значно відрізняється від поведінки дрона без вантажу через збільшену інерційність і вищий рівень тяги, який буде необхідним для підтримки висоти. Коптер з вантажем слабше прискорюється та сповільнюється.

Політ коптера на велику дистанцію по відкритій місцевості вимагає вміння вести візуальне орієнтування. При польоті над місцевістю необхідно враховувати не лише відстань до об'єкта, до якого виконується політ, а й рельєф місцевості.

Високі будинки та споруди, дерева та інші об'єкти можуть послабити сигнал відеозв'язку та управління. Лінії електропередач та інші елементи інфраструктури можуть бути погано помітні в камеру, зіткнення з ними може призвести до падіння.

Завжди вивчайте місцевість по карті перед польотом, запам'ятовуйте великі об'єкти, які легко побачити з повітря, це допоможе орієнтуватися у просторі. Після зльоту необхідно озирнутися і закріпити для себе деякі опорні об'єкти (орієнтири), наприклад, водонапірна вежа або велика відстань серед дерев у лісовій місцевості. Це необхідно для того, щоб не загубитися при польоті до об'єкта або при поверненні додому.

При заході за великий об'єкт або складний рельєф можна втратити відеосигнал, але зберегти керування. У такій ситуації потрібно переключити коптер на режим ANGLE та набрати висоту для покращення умов зв'язку. Щоб уникнути таких ситуацій, слід намагатися підтримувати висоту польоту для досягнення надійного сигналу прийому. Слід пам'ятати: щодалі знаходиться оператор від коптера, і чим нижче летить коптер щодо нього, тим легше втратити відеосигнал і сигнал керування коптером, тому свідомо слід підбирати найбільш прямолінійні траєкторії польоту до об'єкта, щоб втрата сигналу не завадила виконати завдання [36; 41; 42].

7.2. Безпека польоту. Дії оператора FPV-дрона в особливих випадках у польоті

При польотах на FPV-дронах поруч із оператором обов'язково повинен знаходитися помічник «штурман», який допоможе у разі потреби скоригувати маршрут польоту, вчасно попередити про небезпеку: появу сторонніх предметів у зоні польоту, наближення птахів, тварин, людей, машин, наближення противника та інших небезпек.

Під час виконання навчальних польотів необхідно дотримуватися таких правил:

- ✓ виконувати всі вказівки викладача (інструктора);
- ✓ літати тільки в означеній пілотажній зоні та не допускати вильоту за її межі, не залітати за спину;
- ✓ під час виконання навчальних вправ літати на рівні нижче власного зросту;
- ✓ літати в межах прямої видимості, на відстані, що дозволяє керівнику заняття (помічнику) переконатися у відсутності небезпеки зіткнення з навколишніми предметами. У разі труднощів у визначення місця розташування та орієнтації БПЛА – негайно виконати посадку дрона;
- ✓ при керуванні БПЛА всі рухи стиками виконувати акуратно та плавно, не допускати різких рухів. При необхідності швидко змінити напрям польоту, рухати стиками слід енергійно, але не різко;
- ✓ літати обережно та виконувати лише ті елементи пілотажу, які визначено планом проведення заняття. Забороняється виконувати маневри, які можуть призвести до заподіяння шкоди здоров'ю людей, тварин, навколишнім предметам та майну;

- ✓ дотримуватись швидкісного режиму. Швидкість польоту коптера тримати в межах, встановлених вправою;
- ✓ повернути БПЛА у місце посадки до розрахункового часу, не допускати повної розрядки акумулятора у польоті. Посадку виконувати на рівній відкритий майданчик далеко від перешкод;
- ✓ через особливості оптики FPV-камер при польотах у FPV-окулярах кути та відстані до об'єктів можуть сприйматися у спотвореному вигляді, тому оператору необхідно звикнути до динаміки коптера та особливостей визначення дистанції до об'єктів. Під час навчання польотів у режимі FPV необхідно спочатку літати обережно з невеликою швидкістю (5-7 км/год);
- ✓ при польотах на високій швидкості враховувати інерцію та просідання коптера, щоб не допустити зіткнення із землею або оточуючими предметами.

При польотах на FPV-дронах можуть виникати ситуації, за яких подальше застосування БПЛА за призначенням стає неможливим або висока ймовірність його втрати. Такі позаштатні ситуації називаються особливими випадками у польоті.

У складних метеорологічних умовах польотів, яких БПЛА не пристосований, необхідно вживати всіх можливих заходів щодо виведення БПЛА з них та прийняти рішення про продовження або припинення польотного завдання, враховуючи напрямок повітря, метеоумови та заряд, що залишився в акумуляторі.

Коптер під час руху в турбулентному потоці (propwash) – це критичний режим польоту, аналогічний режиму вихрового кільця у вертольота, що розвивається при різкому розвороті на 180 градусів, або при спробі різко зменшити вертикальну швидкість при швидкому зниженні квадрокоптера з малою

поступальною швидкістю. Режим характеризується тим, що відчуваються «провали тяги», дрон починає вібрувати і «надриватися» з характерним звуком – тяги двигунів не вистачає для того, щоб уникнути падіння.

Щоб уникнути виникнення явища турбулентності, не рекомендується різко виводити БПЛА з пікірування та виконувати розвороти з граничними перевантаження. При вертикальному зниженні з великою вертикальною швидкістю необхідно плавно підвищувати подачу газу.

Наведені рекомендації більш актуальні для навчальних БПЛА, тому що при падінні або зіткненні з перешкодою у бойового дрона швидше за все, спрацює встановлена на ньому бойова частина.


У разі виникнення пожежі в польоті, якщо управління як і раніше можливо, посадіть дрон у безпечному місці, подалі від розрахунку, на негорючу поверхню. Якщо пожежа сталася на землі, дайте акумулятору прогоріти, за необхідності запобігти розповсюдженню полум'я за допомогою вогнегасника, протипожежного полотна та інших підручних засобів. При відмові системи зв'язку слід зафіксувати точку розташування апарату під час втрати зв'язку, його швидкість, висоту, напрямок польоту, залишковий заряд батареї та час польоту. Якщо після закінчення передбачуваного залишкового часу польоту зв'язок з апаратом не відновлено, необхідно вжити заходів щодо пошуку апарату [7; 19; 25; 36; 37; 42].



Список корисних посилань

 Базові поради та відео


URL:[https://jablunia.org/dlya-aerorozvidnikiv-\(bpla\)-99af29e399e14d52b0b1e118404bbdfc](https://jablunia.org/dlya-aerorozvidnikiv-(bpla)-99af29e399e14d52b0b1e118404bbdfc)

 Вступ про безпілотники

URL:https://www.youtube.com/watch?v=Vn8j2q_jl0s

 Авіоніка

URL:<https://www.youtube.com/watch?v=5ywTkYeLLp4>

 Радіозв'язок в БПЛА

URL:<https://www.youtube.com/watch?v=-0mIC3isfSU>

 Безпілотники та РЕБ, РЕР та кібербезпека

URL:<https://www.youtube.com/watch?v=8gfd8sBHKc8>

 Розвідувальне обладнання

URL:<https://www.youtube.com/watch?v=W8Exv0aFDu0>

 Лекція по дешифруванню інформації з БПЛА

URL:<https://www.youtube.com/watch?v=4vA8UFaTkFw>

 Лекції та вебінари від Victory Drones

URL:https://drive.google.com/drive/folders/11FwCmnsLN2_XZC-wcsHbhbSFom8a6Vpl

 Онлайн-курс “Застосування технологій в умовах війни” від Victory Drones

URL:https://courses.prometheus.org.ua/courses/course-v1:Prometheus+UAV101+2022_T2/about?fbclid=IwAR1PT9IG0EU1u-zcA7QyX2JwsV9sGYWB8f4GSlnQiyjvX86fSoql1Mn1lak

 Центр підготовки операторів БПЛА «КРУК»

URL:<https://kruk.in.ua/>

 URL:[Dron.Ua https://dron.ua/?lang=uk](https://dron.ua/?lang=uk)

 Інтерв'ю з оператором БПЛА Raven.

URL:<https://youtu.be/B10ivFpaL2M>

 Інтерв'ю з оператором та коригувальницею дронів

https://youtu.be/Faa_9rSduDo

Список використаних джерел

1. Азаров І., Сидоренко В., Серeda Ю. Використання безпілотного літального апарата як засобу дистанційного моніторингу надзвичайних ситуацій. *Безпека життєдіяльності*. 2015. № 2. С.30.
2. Аналіз доцільності створення та застосування багатофункціональних безпілотних авіаційних комплексів цивільного призначення / автор.-уклад. А. В. Приймак, Я. В. Дар'їн, Д. М. Стрюк, А. А. Слободянюк. *Системи озброєння і військова техніка*. 2010. № 3. С. 142-145.
3. Бабак С. В., Мислович М. В Особливості практичного використання автономних діагностичних комплексів для теплового контролю повітряних ліній електропередачі. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 1. С.73-80.
4. Білотілов В. Н., Хуснутдинов Л. А. Інноваційна технологія «АКВА-МТМ» інспектування та забезпечення надійності трубопроводів нафтогазових родовищ шельфу з урахуванням стану металу і механічних напружень. *Педагогічна інноватика: напрями та перспективи*. 2018. №4. С. 193–194.
5. Гребінник А.Г. БПЛА: не тільки для війни. *Авіатор України*. 2015. № 1. С.6.
6. Волоський В. П., Лецишин Ю. З., Романишин Н. Р.. Комп'ютерна система контролю та балансування літій-іонних акумуляторних батарей. Тернопіль, 2021. Том I. С. 87–88.
7. Гребеников А. Г., Проценко М.М. Аналіз структури та варіантів побудови безпілотних авіаційних комплексів *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. Технічні науки. 2012. № 2. С.113-117.
8. Гусак О. М. Інформаційна технологія раннього виявлення лісових пожеж за допомогою безпілотних літальних апаратів [Текст] : дис. кан. техн. наук: 05.13.06 ; / О. М. Гусак ; Львів. держ. ун-т безп. жит-сті. Львів, 2018. 187 с. 100.

9. Дослідження методів підвищення достовірності інформації сучасних безпілотних авіаційних комплексів /авто.-уклад Сергій Зайцев, Ольга Башинська, Юрій Камак, Борис Горлинський. *Технічні науки та технології*. 2016. № 4. С. 97–106.
- 10.Єфремов О. В. Коршець О. А. Методика вибору раціонального типу і варіанта обладнання безпілотних літальних апаратів для виконання завдань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 5. С. 3–7.
- 11.Інструкція з охорони праці для оператора наземних засобів керування безпілотним літальним апаратом.URL: [1https://ohoronapraci.com.ua/instructions/656370-instrukciya-z-okhoronipraci-operatora-nazemnikh-zasobiv-keruvannya](https://ohoronapraci.com.ua/instructions/656370-instrukciya-z-okhoronipraci-operatora-nazemnikh-zasobiv-keruvannya)
- 12.Історія і майбутнє квадрокоптера і дронів. URL:<https://quadrone.ru/blog/stati/istoriya-i-budushchee-kvadrokoptero>
- 13.Історія розвитку дронів URL: <https://dronomania.ru/faq/istoriya-razvitiya-dronov.html>
- 14.Книш Б. П. Класифікація безпілотних літальних апаратів та їх використання для доставки товарів / Б. П. Книш, Я. А. Кулик, М. В. Барабан. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2018. № 3. С. 246-252.
- 15.Контролер Spektrum RC DX6e 6 Channel Full Range DSMX Transmitter. URL: <https://www.ebay.com/itm/123932683505>
- 16.Контролер FPV-комплекс Jumper T-Lite V2 ELRS M2. URL: <https://prom.ua/ua/p2141730066-fpv-pult-jumper.html>
- 17.Коротке замикання: причини, класифікація, захист. URL: <https://presa.com.ua/aktualne/korotke-zamikannya-prichini-klasifikatsiya-zakhist.html>

- 18.Кращі FPV симулятори гоночного квадрокоптера. URL:<https://profpv.ru/luchshie-fpv-simulyatory-gonochnogo-kvadrok/>
- 19.Крицький Д. М. Модель і методи управління змістом проекту створення безпілотної авіаційної техніки цивільного застосування : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : [спец.] 05.13.22 «Управління проектами та програмами» / Крицький Дмитро Миколайович ; МОН України, Нац. аерокосмічний ун-т імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний ін-т». Х., 2016. 21 с.
- 20.Куликовська О. Є. Оптимальна сфера застосування сучасних технологій - безпілотних літальних апаратів (БПЛА) / О. Є. Куликовська, Ю. Ю. Атаманенко // Якість мінеральної сировини: збірник наукових праць / Акад. гірничих наук України, ДВНЗ «Криворізький нац. ун-т», Виконавчий комітет Криворізької міської ради [та ін.]. Кривий Ріг: ФОП Чернявський Д. А., 2017. Т. 1. С. 617-623.
- 21.Куц Ю. В. Фазовий спосіб ультразвукової товщинометрії / Ю. В. Куц, Ю. А. Олійник, О. Д. Близнюк, О. В. Монченко. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2013. № 1. С. 23-27.
- 22.Модельна навчальна програма «Захист України. Інтегрований курс». Для закладів, що забезпечують здобуття повної загальної середньої освіти. «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України» (Наказ Міністерства освіти і науки України від 08.08.2024 року № 1116.
- 23.Нижник Ю.М. Застосування безпілотних літальних апаратів у неруйнівному контролі. *Наукові вісті КПІ*. 2020. № 2. С. 82-87.
- 24.Огляд правового поля дронів в Україні. URL: <https://uprom.info/news/other/oglyad-problemi-vikoristannyabezpilotnikov-v-ukrayini/>

25. Оропай С.Ю. Безпілотний авіаційний комплекс для ультразвукової товщинометрії.: дипломна робота – безпілотні авіаційні комплекси/ С. Ю. Оропай. Київ, 2022. 104 с.
26. Порядок використання цивільних повітряних дронів (безпілотників)
URL:<https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php/>
27. Професія: оператор безпілотних літальних апарати (БПЛА)
URL:<https://proforientator.ru/publications/articles/professiya-operator-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-bpla.html>
28. Троцюк К.М. Перспективи використання автоматизованих дронів в завданнях неруйнівного контролю // XVI Всеукраїнська науковопрактична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні»: КПІ, 2020. Вип. 16. С. 247-249.
29. Українські дрони у небесах. URL:<https://voxukraine.org/ukrayinski-droni-u-nebesah-problemivikoristannya-bezpilotnikiv-v-ukrayini/>
30. Харченко В. П. Прусов Д. Е. Аналіз застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2012. № 4. С. 118-130.
31. Яровий О. В. Системи управління безпілотними літальними апаратами для здійснення моніторингу наземних об'єктів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 3. С. 33-38.
32. Ященко В.О. Інтелектуальні роботизовані системи в забезпеченні процесів життєдіяльності в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу. Київ Математичні машини і системи, 2020, № 1. С.17.
33. Вікіпедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/FPV-польоти_\(радіокеровані_авіамоделі\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/FPV-польоти_(радіокеровані_авіамоделі))
34. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=jLZUTzqkzKc>

- 35.URL: <https://focus.ua/uk/digital/560577-rosiyane-aktivno-ispolzuyut-fpvdrony-protiv-vsu-kakie-taktiki-oni-primenyayut>
- 36.URL: <https://www.liftoff-game.com>
- 37.URL: https://store.steampowered.com/app/854250/FPV_Freerider/
- 38.URL: <https://hotprops.software.informer.com/1.0/>
- 39.URL: <https://www.velocidrone.com>
- 40.Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Outliers detection in Unmanned Aerial System data. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). 2021. P. 591-594..
- 41.Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Performance Modeling of Aircraft Positioning System. Conference on Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering–Synergetic Engineering – ICTM 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. № 367. P. 297-310 DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5_26. 103
- 42.Ostroumov I.V., Marais K., Kuzmenko N.S. Aircraft positioning using multiple distance measurements and spline prediction. Aviation. 2022. № 26(1). P. 1-10 DOI: 10.3846/aviation.2022.16589. 32.Ostroumov I.V., Kharchenko V.P., Kuzmenko N.S. An airspace analysis according to area navigation requirements. Aviation. 2019. № 23(2). P. 36-42 DOI: 10.3846/aviation.2019.10302 .
- 43.Ostroumov I.V., Ivashchuk O. Risk of mid-air collision estimation using minimum spanning tree of air traffic graph. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 2st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems CITRisk-2021. 2022. № 3101. P. 322-334.
- 44.Ostroumov I.V., Kuzmenko N.S. Incident detection systems, airplanes. In Vickerman, Roger. International Encyclopedia of Transportation. vol. 2. 4569 p. UK: Elsevier Ltd., 2021. 351-357p. DOI: 10.1016/B978-0-08-

102671- 7.10150-2. ISBN: 9780081026717. 37.Flightaware. Офіційний веб сайт компанії. [Електронний ресурс].

URL : <https://flightaware.com/adsb/>

45.Software for Air Navigation analysis. Visualization of airplane trajectory based on ADS-B data messages. URL :https://www.ostroumov.sciary.com/codes_airplane-trajectory-visualization

46.Czapaj-Atlas R., Dudek B.: Drony, mini- i mikrodrony – przegląd obszarów zastosowań bezzałogowych statków powietrznych dla potrzeb monitoringu i inspekcji, w szczególności w obszarze energetyki. Energetyka, nr 8/2014 s. 485-492.

47.Ultrasonic Drone Inspections Take NDT Safety to New Heights URL:<https://www.olympus-ims.com/en/insight/ultrasonicdrone-inspections-take-ndt-safety-to-new-heights/>

48. Victory Drones. URL:https://drive.google.com/drive/folders/11FwCmnsLN2_XZC-wcsHbhbSFom8a6Vpl



ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ для роботи з FPV дроном і популярні моделі



1 Пульт, радіопередавач / Radio Transmitter, TX

- Пульт (TX) – це портативний пристрій, яким пілот керує дроном. Пульт передає радіосигнал на приймач (RX) дрона, під'єднаного до польотного контролера (FC), а польотний контролер конвертує сигнали у рухи дрона.
- Частота роботи пульта і радіоприймача дрона **мають співпадати**, а **протоколи бути сумісними**, щоб прилади могли з'єднатися (забіндитися).
- Зазвичай до пульта потрібно додатково придбати **акумулятори і чохол**. Якщо в комплекті немає **захисту для стіків**, його можна надрукувати на 3D-принтері.



Radiomaster TX12 MKII Radiomaster TX16S MKII Radiomaster Boxer

- Дані моделі пультів мають **відсік для зовнішніх модулів** і можуть мати різні вбудовані модулі зв'язку. Наприклад, є модифікація з **вбудованим модулем ExpressLRS** на частоті 2.4 ГГц, яку часто використовують для тренувальних польотів на невеликій відстані.

2 Зовнішній модуль радіопередавача / External Module

- Зовнішній модуль дозволяє передавачу працювати на **додаткових частотах та протоколах** зв'язку.
- Найбільш поширені моделі – модулі **ExpressLRS** на 868/915 МГц або 2.4 ГГц та модулі **TBS Crossfire** на 868/915 МГц. Для дальніх польотів зазвичай використовуються частоти 868/915 МГц.
- Найбільш поширені форм-фактори зовнішніх модулів – **JR (або Micro)** та **Lite (або Nano)**. Не всі пульти мають відсік під зовнішній модуль.



- Модулі виробництва TBS (TeamBlackSheep) мають закрите програмне забезпечення на базі розробленого ними **протоколу CRSF**, а ExpressLRS – **opensource** проєкт.



TBS Crossfire TX Lite потужністю 2 Ватт TBS Crossfire Micro TX v2 потужністю 1 Ватт Happymodel ES900TX ELRS потужністю 1 Ватт



ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ

для роботи з FPV дроном і популярні моделі



3 FPV окуляри / FPV Goggles

- FPV окуляри приймають відеосигнал з передавача дрона (VTX)

і дозволяють пілоту бачити картинку з FPV камери дрона.



- Окуляри бувають **аналогові та цифрові**. Для цифрових окулярів існують **аналогові адаптери**, які дозволяють приймати сигнал з аналогових VTX.
- Зазвичай окуляри продаються із вбудованим **відеоприймачем (VRX) на 5,8 ГГц**. Приймачі **Diversity** мають виходи на 2 антени, що дозволяє пристрою обрати і використати більш потужний сигнал.
- Аналоговий сигнал є **не зашифрованим** і відео з аналогового VTX може прийняти будь-який відеоприймач в зоні випромінювання антени.
- Цифровий сигнал **зашифрований** і якість цифрового відео набагато краще за аналогове. Проте, на відміну від цифрового, аналоговий сигнал може забезпечити **дальність польоту в десятки кілометрів**.
- Наразі на фронті переважно використовують **аналогові** FPV-системи.

- Більшість окулярів потребують **зовнішнього живлення** (батареї LiPo або Li-Ion 2-6s). Навіть якщо є вбудована батарея, її ємність невелика.
- Для запису відео на **вбудований DVR** окулярів потрібно також купити карту пам'яті MicroSD.

Аналогові окуляри:



Відеошолом Skystone
Cobra X V2



Skystone SKY04X V2



Skystone SKY04L V2

Цифрові окуляри:



DJI FPV Goggles
V2 для DJI O3 Air
Unit



HDZero Goggles
для HDZero



Fatshark Dominator HD
для Walksnail Avatar



ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ

для роботи з FPV дроном і популярні моделі



4 Антени для окулярів / Antennas for Goggles

- В комплекті з окулярами зазвичай йдуть базові всеспрямовані антени лінійної поляризації типу "монополь".
- Для досягнення кращої картинки і дальності польоту їх замінюють на антени **кругової поляризації**. Для Diversity відеоприймачів добре працює пара – всеспрямована антена типу "клевер" і спрямована патч-антена.



Lumenier AXII 2 та Lumenier AXII 2 Patch 5.8G RHCP



Maple Leaf та Maple Lollipop 5.8G RHCP



TrueRC X-AIR MK. II та TrueRC Singularity 5.8G RHCP

5 Відеоприймач на 1,2 ГГц / Videoreceiver VRX 1.2GHz

- Для приймання сигналу з відеопередавачів VTX на частоті 1,2 ГГц знадобиться окремий відеоприймач.
- Існують відеоприймачі, які можна вставляти в стандартний 9-пінний роз'єм окулярів і окремі приймачі, які можна під'єднати до окулярів або монітору з допомогою кабелю через AV-порт (мініджек 3.5) або роз'єм "тюльпан".



Skyzone 1.2GHz Diversity Receiver



RMRC 900MHz-1.3GHz High Performance Receiver



Matek VRX-1G3-V2 1.2/1.3GHz

6 Зарядний пристрій для батарей / Battery Charger

- Для зарядки батарей для FPV дронів використовуються **смарт-зарядки**, які можна програмувати, обов'язково із **функцією балансування комірок**.
- Деякі зарядні пристрої **не мають вбудованого блока живлення** для підключення до мережі 220V. Для їхнього живлення можна **переробити блок живлення від ноутбука** з підходящою напругою і потужністю, припаявши конектор XT60.
- Оскільки для роботи потрібно багато батарей з великою ємністю, бажано одразу обирати зарядний пристрій не менше ніж із **2 каналами**.
- Важливо обирати якісний пристрій, оскільки неправильний режим зарядки акумуляторів може **спричинити пожежу**.



HOTA D6 Pro AC 200W DC 650W



ToolkitRC M6D



ISDT Air8



SkyRC D200neo Charger



ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ

для роботи з FPV дроном і популярні моделі



7 Батареї / Batteries

- Для тренувань на невеликих дронах підійдуть **літій-полімерні** батареї.
- Для польотів на **дальні відстані** на дронах від 7" з вагою найчастіше використовуються **літій-іонні збірки**. На відміну від LiPo, у Li-Ion менша **токовіддача**, що вимагає плавного стилю керування.
- Наприклад, **IMR Li-Ion 6s2p** можуть видавати **90 А** короткостроково та **30-40 А** постійно.
- Також часто використовуються Li-Ion елементи **Samsung 21700 40T 45A** та елементи у розмірі 18650: **Molicel P28A 35A**, **Sony VTC5A 35A**, **Sony VTC6 20A**.



Батареї LiPo

Батареї Li-Ion

8 Аксесуари для батарей

- Літій-полімерні батареї потрібно зберігати у **вогнезахисному місці** – сумках **LiPo Safe** або **металевих боксах** для боєприпасів.
- Зручний аксесуар для перевірки рівня заряду – **тестер батарей**.



Сумка LiPo Safe



Аmmo Box



Тестери батарей

9 Ноутбук із софтом

- Для налаштування дрона знадобиться **ноутбук з програмами** і кабель для підключення польотного контролера. Зазвичай польотні контролери мають інтерфейс **USB Type-C**, іноді **MicroUSB**.
- В польових умовах для зміни базових параметрів замість ноутбука може бути використаний **планшет** або **телефон**.





ОСНОВНЕ ОБЛАДНАННЯ

для роботи з FPV дроном і популярні моделі



70

Викрутки шестигранні
1,5, 2,0, 2,5, 3 мм



Ключ для пропелерів накидний М5 8мм
(краше з тріскачкою)



Пінцети (звичайні або реверсивні)



Бокорізи



Мультиметр



Портативний паяльник з різними жалами



Miniware TS101

Pine64 PINECIL V2

Якісний припій Sn60Pb40 або
Sn63Pb37 з флюсом 2-2,5%



Флюс no clean



Губка для очистки
жала паяльника



Ізострічка



Стжки малі та великі

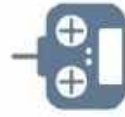


Термоусадки
в асортименті



Сумка або кейс для інструментів





КЕРУВАННЯ FPV ДРОНОМ

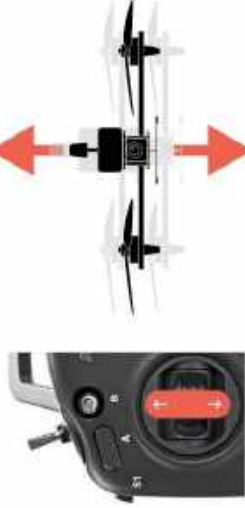
та базові вправи і мапи для Liftoff



Як тримати пульт при тренуваннях в симуляторі

1. Ступи собі злізово потрібно тримати 2 пальцями (всімми і вказівник). Це забезпечить більш точний контроль.
2. Пульт не має лежати на столі, а руки спираються на стіл. Зникайте тримати пульт в руках, як це буде на реальних польотах.
3. Тримайте середній палець лівої руки над світлочем Arty/Diavali, як це буде на реальних польотах, щоб звикнути до положення пальця, яке дозволяє миттєво вимкнути мотори дрона за потреби.

Газ / Throttle



Рискання / Yaw



Тангаж / Pitch



Крен / Roll



Рух FPV дрона вперед



Крок 1
Підняти дрон в повітря за допомогою стіка ГАЗ і утримувати в одній висоті (контролюючи стік ГАЗ)



Крок 2
Нахилити дрон вперед трохи натиснувши на стік ТАНГАЖ вперед. Руки лаштуються на обох стіках для контролю дрона.



Крок 3
Додати газу

Вправи для тренувань в Liftotff





ІНСТРУМЕНТИ І МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЗБІРКИ ДРОНА



<p>Викрутки шестигранні 1,5, 2,0, 2,5, 3 мм</p>	<p>Пінцети (звичайні та реверсійні)</p>	<p>Бокорізи</p>	<p>Фіксатор різьби для розбірних з'єднань (тільки синій, не червоний!)</p>
<p>Тонкогубці</p>	<p>Тонкогубці</p>	<p>Флюс</p>	
<p>Паяльник від 6,5 Вт з можливістю вибору температури, максимальна температура не менше 450 °C</p>	<p>Якісний припой Sn60Pb40 або Sn63Pb37 з флюсом 2-2,5%</p>		
<p>Паяльний килимок</p>	<p>Губка для очищення жала паяльника</p>	<p>Smoke Stopper</p>	<p>Мультиметр</p>
<p>Стяжки малі</p>	<p>Термоусадки в асортименті</p>	<p>Фен для термоусадки</p>	<p>Ізопропиловий спирт</p>
<p>Ключ для пропелерів накидний M5-8мм (краще з тріскачкою)</p>	<p>Лак для ізоляції плат (опціонально)</p>	<p>Знімач ізоляції (опціонально)</p>	<p>Ножичі</p>
<p>Штангенциркуль (опціонально)</p>	<p>Шурупверт (опціонально)</p>	<p>Знімач ізоляції (опціонально)</p>	<p>Штангенциркуль (опціонально)</p>



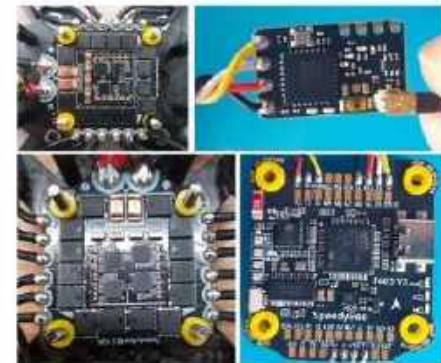
ЧЕКЛІСТ ЯКІСНОЇ ПАЙКИ FPV ДРОНА



Перевірте пайку на поширені помилки

1. Не повністю залужені контактні майданчики
2. Знято забагато ізоляції / оголений дріт за межами краплі припою
3. Погано залужені дроти
4. Холодна пайка
5. Недостатня площа контакту / оголений дріт не занурений у краплю припою
6. Замало флюсу / "Сталагміти"
7. Забагато припою
8. Замало припою
9. Краплі припою на платі / спаяні сусідні майданчики
10. Невідповідність пайки розпіновкам

Приклади гарної пайки



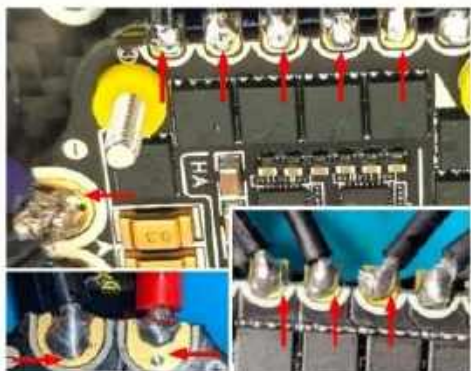


ЧЕКЛІСТ ЯКІСНОЇ ПАЙКИ FRU ДРОНА



1

Не повністю залужені контактні майданчики



Якщо контактні майданчики залужені не повністю і видна мідь, площа контакту буде меншою, ніж розраховано виробником, а з'єднання менш міцним.

Як виправити?

Додати флюсу, прогріти паяльником (для силових $t=420-450^{\circ}\text{C}$, для інших з'єднань $t=320-350^{\circ}\text{C}$) і відпаяти дріт. При необхідності додати ще флюсу. Взяти припій, піднести до контактного майданчика разом із жалом паяльника і повністю залудити поверхню контактного майданчика, щоб не було видно міді.

2

Знято забагато ізоляції / оголений дріт за межами краплі припою



Ізоляція дрота має підходити до краплі припою. Для цього варто знімати ізоляцію на довжину, яка приблизно дорівнює двом третинам довжини контактного майданчика. Якщо ж оголений дріт знаходиться за межами краплі, контакт треба перепаяти.

Як виправити?

Потрібно відпаяти дріт, укоротити, за необхідності залудити і припаяти знов.

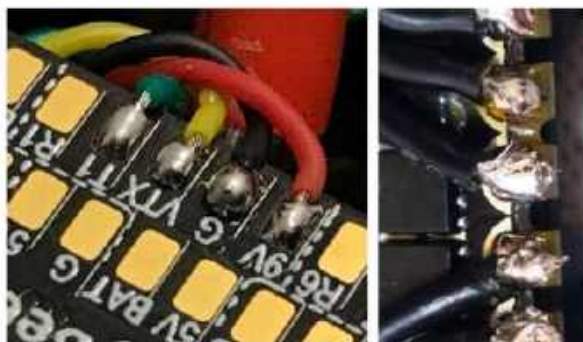
Не забувайте додавати флюс і чистити жало паяльника.



ЧЕКЛИСТ ЯКІСНОЇ ПАЙКИ FRV ДРОНА



3 Погано залужені дроти



Ця помилка як правило стає очевидною разом з попередньою. Якщо видно жили оголеної частини дрота, або ж стирчить в сторону окремі жилки – це означає, що дроти не були якісно залужені.

Не захищений ізоляцією дрiт більш крихкий, що з часом може призвести до його обриву або утворенню стирчаючих окремих жилок, при контактi яких iз сусiднiми майданчиками виникне коротке замикання.

Як виправити?

Потрiбно вiдпаяти дрiт, за необхідностi укоротити i залудити повнiстю, потiм припаяти знов.

4 Холодна пайка



Холодна пайка виникає через недостатньо високу температуру паяльника, використання не підходящого жала, неякісного чи не підходящого припою. Припій не плавиться і утворює краплю, а лягає шарами, які ледь приклеєні один до одного і можуть відриватися при навантаженнях.

Як виправити?

Перевірити, чи припій відповідає рекомендаціям, паяльник тримає потрібну температуру, а жало достатньо велике. Додати флюса і прогріти місце паяльником при трохи вищій температурі, поки припій не розплавиться.



ЧЕКЛІСТ ЯКІСНОЇ ПАЙКИ FRU ДРОНА



5 Недостатня площа контакту / дріт не занурений у краплю припою



Якщо дріт не має достатньої площі контакту із майданчиком, то матиме гіршу провідність, і зрештою при навантаженнях може відірватися.

Як виправити?

Додати флюсу, нагріти контакт, посунути дріт ближче до контактного майданчика і додати припою, щоб утворилася міцна крапля.

Проте часто виправити таку помилку складніше, ніж переробити наново. Тому більш оптимальним рішенням може бути відпаяти дріт, додати флюсу, за необхідності залудити ще раз майданчик і дріт та припаяти знов.

6 Замало флюсу / "Сталагміти"



Якщо при пайці флюс випарувався, припій починає прилипати до жала і тягнутися за ним, утворюючи гострі нарости. Об такі "сталагміти" на пайці можуть пошкодитися дроти периферійних пристроїв, тому треба їх прибирати, щоб крапля була округлою.

Як виправити?

Додати флюс і погріти місце пайки жалом паяльника, щоб припій розтікся і утворив акуратну краплю.



ЧЕКЛИСТ ЯКІСНОЇ ПАЙКИ FPV ДРОНА



7

Забагато припою



Надмірна кількість припою може призвести до недостатньої електропровідності та заважати з'єднанню працювати належним чином. Завелика ж крапля припою на силових контактах може також торкатися рами знизу або роз'єму на FC зверху, що призведе до КЗ або перешкоджатиме роботі польотного контролера.

Як виправити?

Додати флюсу, прогріти контакти, відпаяти дрiт, очистити зайвий припiй з майданчика та дрота, залудити наново i припаяти.

8

Замало припою



Якщо дрiт ледь "приклеєний" до поверхні контактної майданчика, замість того, щоб бути зануреним у міцну округлу краплю, при пайці було додано недостатньо припою.

Як виправити?

Додати флюсу на місце пайки, очистити жало паяльника, набрати припою на жало і прикласти до місця пайки, притримуючи дрiт. Часто виправити помилку складніше, ніж переробити наново. Більш оптимальним рішенням може бути відпаяти дрiт, додати флюсу, залудити ще раз майданчик і дрiт та припаяти знов.

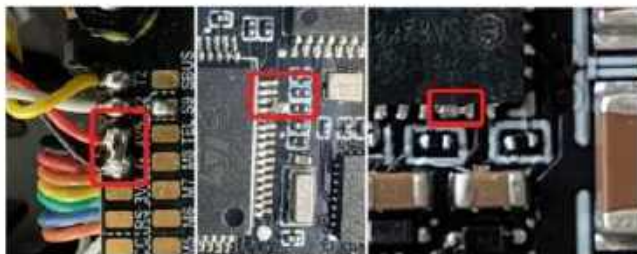


ЧЕКЛІСТ ЯКІСНОЇ ПАЙКИ FRV ДРОНА



9

Краплі припою на платі /
спаяні сусідні майданчики



При пайці мікро-крапельки припою можуть падати з жала паяльника на плату і або застрягати у ніжках SMD компонентів. Також при пайці іноді виникають перемички між сусідніми майданчиками. Все це призводить до короткого замикання.

Як виправити?

Якщо на платі лежать краплі припою, які не припаяні до компонентів на платі, їх можна очистити зубною щіткою з ізопропіловим спиртом. Якщо елементи на платі спаяні цими краплями, або ж є перемичка між сусідніми майданчиками, потрібно очистити жало паяльника і швидким рухом зняти зайвий припій. В деяких випадках може стати в нагоді спеціальна стрічка для зняття припою.

10

Невідповідність пайки
розпіновкам



Однієї з поширених помилок при пайці є невідповідність розпіновки, через яку невірно припаяні пристрої не працюватимуть.

Найчастіші помилки:

- переплутана полярність конденсатора (це призведе до КЗ)
- переплутані RX та TX від приймача
- переплутані кабелі video та дата-кабель відеопередавача

Як виправити?

Потрібно відпаяти помилково припаяний дріт і припаяти на правильне місце.



ТЕХНІКА ПАЙКИ FPV ДРОНА



Лудіння контактних майданчиків



1
Виставте на паяльнику необхідну температуру – 400-450 градусів для силових контактів ESC, 310-330 градусів для всіх інших контактів (в залежності від вашого паяльника).



2
Нанесіть флюс на контактний майданчик.



3
Очистіть жало паяльника.



4
Прикладіть жало паяльника до контактної майданчика і подайте припій. Рухом жала рознесіть припій по всій поверхні майданчика. Не перетримуйте довше, ніж необхідно, щоб флюс не випарувався, і припій не почав приставати до жала.



Результат

Результат:
контактний майданчик повністю покритий припоем, який образує акуратну краплю. Силові майданчики треба залудити з обох боків плати.



ТЕХНІКА ПАЙКИ FPV ДРОНА



Підготовка дротів до пайки



1

Зніміть трохи ізоляції з дрота, скрутіть жилки, щоб вони не розпушувалися. Якщо дріт приходить вже залужений від виробника, все одно потрібно його залудити.



2

Довжина неізольованої частини дрота має складати приблизно 2/3 від довжини контактного майданчика, на який треба паятися.



3

Нанесіть на оголену частину дрота флюс.



4

Виставте на паяльнику температуру 310-330 градусів.



5

Очистіть жало паяльника



6

Наберіть на жало припій і нанесіть його на оголену частину дрота. Можна повернути дріт, щоб він добре залудився з усіх боків.



Результат

Повністю залужена оголена частина дрота, не видно жилок, жилки не стирчать.



ТЕХНІКА ПАЙКИ FPV ДРОНА



Пайка залуженого дрота до залуженого контактного майданчика



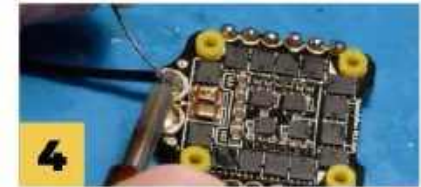
1 Нанесіть флюс на залужений контактний майданчик.



2 Виставте на паяльнику температуру 400-450 градусів для силових майданчиків, 310-330 градусів для всіх інших (в залежності від вашого паяльника).



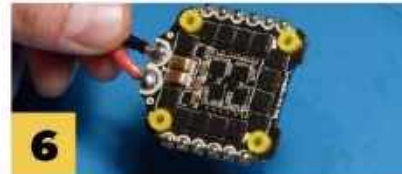
3 Очистіть жало паяльника



4 Наберіть на жало трохи припою



5 Піднесіть жало до контактної майданчика, почекайте, коли припій розплавиться, і подайте в краплю дрот. Не притискайте дрот сильно жалом, щоб жилки не розпушилися.



6 Заберіть жало паяльника і передивіться роботу. За потреби – додайте флюсу, припою та прогрійте ще раз, щоб отримати гарну міцну краплю.



7 Після пайки обов'язково змийте флюс за допомогою ізопропілового спирта.

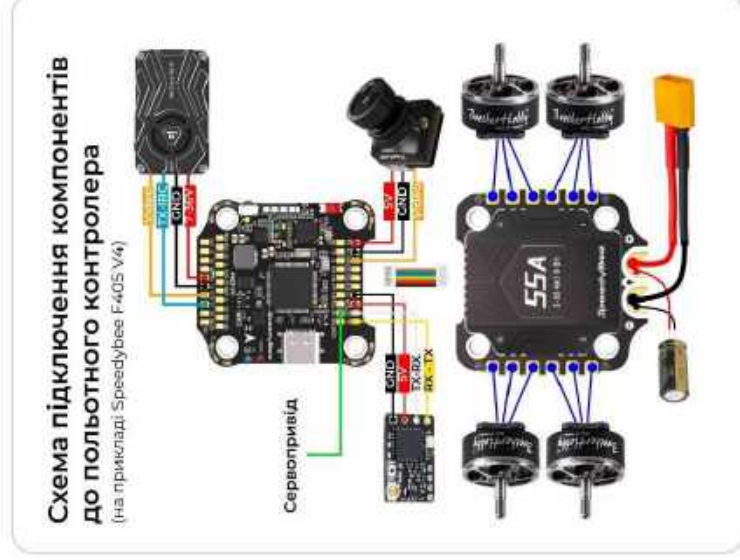
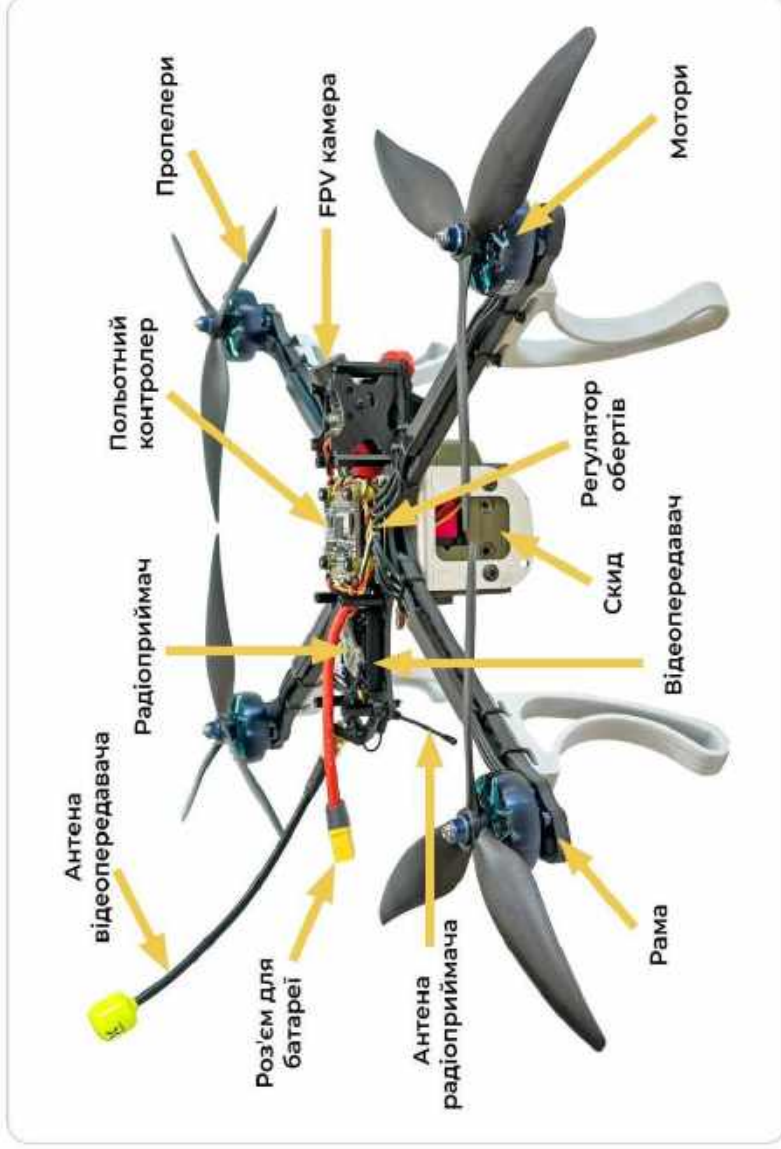


Результат

Неізолювана частина дрота повністю занурена в блискучу акуратну краплю припою на контактному майданчику



БУДОВА FPV ДРОНА



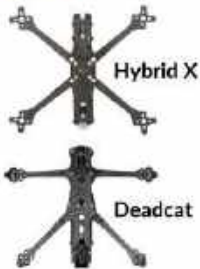


СКЛАДОВІ FPV ДРОНА



та основні параметри

1 Рама / Frame



- Розмір рами визначається в дюймах відповідно до розміру пропелерів, для яких вона спроектована: 5", 7", 10" тощо
- Типи рам за формою: **Hybrid X**, **TrueX**, **Deadcat**, **H**, **Square (Box)**
- Найбільш популярний матеріал – міцний і легкий карбон. Варто пам'ятати, що карбон є електропровідним матеріалом
- Товщина променів 7" дрона має бути не менше 5 мм

2 Гвинти, пропелери / Propellers



Пропелери маркуються за двома форматами:

ДДКК x Л або **Д x К x Л**, де

- **Д** – довжина у дюймах
- **К** – крок – це відстань у дюймах, яку проходить пропелер за один оберт
- **Л** – кількість лопатей

Наприклад, 8040x3, або 8x4x3 – це 8-дюймовий пропелер з кроком 4 дюйми і 3 лопатями

- Напрямок обертання маркується так: **CW** – за годинниковою стрілкою, **CCW** – проти годинникової стрілки

3 Мотори / Motors



- Для FPV дронів використовуються **безколекторні** двигуни
- **Діаметр та висота статора** відображені в маркуванні (наприклад, мотор 2807 має діаметр статора 28 мм і висоту 7 мм)
- **KV** – кількість обертів двигуна на 1 вольт напруги. Для дронів з навантаженням зазвичай використовуються мотори 900-1500 KV.
- 4s-6s – цей параметр означає кількість послідовно з'єднаних елементів батареї, яка може живити даний мотор

4 Польотний контролер / Flight controller, FC



- **FC** – це плата керування дроном, яка обробляє сигнали власних сенсорів (гіроскоп, акселерометр та інші), підключених до нього пристроїв, команд пілота та обчислює швидкість, яку треба задати моторам
- Існують окремі FC стандартного розміру 30x30 або 20x20 мм та об'єднані із регулятором обертів (AIO). FC має інтерфейси (UART, I2C, PWM) для підключення ESC, VTX, RX, камери, GPS, сервомоторів тощо
- Сучасні FC працюють на процесорах **F4, F7, H7**. FC може підтримувати програми **BetaFlight, INAV, Ardupilot**



СКЛАДОВІ FPV ДРОНА



та основні параметри

5 Регулятор обертів / ESC



- Регулятор обертів контролює швидкість моторів дрона згідно з командами польотного контролера
- ESC бувають формату 4in1 — для 4 моторів та окремі: один ESC — на один мотор. Постійний і піковий струм ESC мають враховуватися при підборі моторів
- ESC з новою прошивкою **BLHeli_32** підтримують протокол **Bidirectional DShot**, який дозволяє ESC зчитувати швидкість обертання моторів й повідомляти RPM-телеметрію польотному контролеру, що покращує керованість дрона. Щоб увімкнути телеметрію моторів для ESC на BLHeli_S, треба перепрошити його софтом **Bluejay**

6 Відеопередавач / VTX



- VTX транслює відеосигнал з камери на окуляри пілота
- Існують VTX для передачі **аналогового та цифрового** сигналу. Аналоговий сигнал є більш **стійким**, забезпечує **більшу дальність**, але трансляцію може бачити будь-хто
- Наразі **найпоширеніші частоти** аналогового відео — **1.2 ГГц та 5.8 ГГц**, цифрового — **5.8 ГГц**
- На частоті 5.8 ГГц (аналог) можуть **одночасно літати 8 дронів**. Рекомендовано використовувати потужні VTX від 1.6 Ватт (краще 2.5+)
- FC може управляти VTX, якщо той підтримує протоколи **IRC Tramp** або **SmartAudio**

7 Курсова камера / Camera



- Камери для цифрових та аналогових FPV-систем **несумісні**
- Камери випускають в розмірах **Mini (21x21 мм)**, **Micro (19x19 мм)**, **Nano (17x17 мм)**
- Розподільна здатність аналогової камери вимірюється в **TVL** (телевізійні лінії). Цей показник має бути в діапазоні **1000-1500 TVL**, чим більше — тим краще

8 Радіоприймач / Receiver, RX



- **Приймач** отримує сигнали з пульта керування дроном і передає їх FC
- Найбільш поширені приймачі — **TBS Crossfire** або **ExpressELRS**, які працюють на протоколі **CRSF**
- Основні робочі частоти — **868/915 МГц та 2.4 ГГц** (для тренувань на невеликій відстані)
- **Diversity** приймачі з 2 антенами забезпечують більш стійкий зв'язок



СКЛАДОВІ FPV ДРОНА

та основні параметри



9 Антени / Antennas



Антени RX



Антени VTX

В FPV дроні є як мінімум 2 антени:

- антена радіоприймача (RX) для приймання сигналів з пульта керування (зазвичай 868/915 МГц або 2.4 ГГц)
- антена VTX для передачі відео з дрона на окуляри пілота (зазвичай, 5.8 або 1.2 ГГц)
- Антени бувають **всепрямовані** та **спрямовані**, **лінійної** або **кругової поляризації**. Для передачі аналогового відео зазвичай використовуються антени кругової правої поляризації (RHCP), для передачі цифрового – лівої (LHCP)

10 Батареї та стрепи



- В FPV використовуються літій-полімерні (LiPo) та літій-іонні (Li-Ion) батареї. LiPo мають **кращу струмовіддачу**, Li-Ion – **більшу ємність** при тій же вазі і **дешевші**
- Кількість послідовно з'єднаних елементів в батареї визначає напругу збірки і зазначається маркуванням: 3s, 4s, 6s. Батарея 6s2p – це 2 паралельно з'єднані 6s збірки
- Батареї кріплять до дрона за допомогою пари стрепів

11 Додаткове обладнання



Скиди



GPS, магнітометр



Buzzer (пищалка)



3D друківані аксесуари

Скануй плакати для уроку

