

ФІНАЛЬНИЙ ПРОЄКТ · 10 ХВИЛИН

Flightory Stallion VTOL

Маршрутна місія на ArduPlane 4.7.1 (custom)

Конфігурація реального борта, верифікована SITL-місія та аналіз фізичного польотного інциденту

Matek H743-WING V3 · tilt-tricopter · 3 × F90 KV1300 · 6S

Платформа і конфігурація



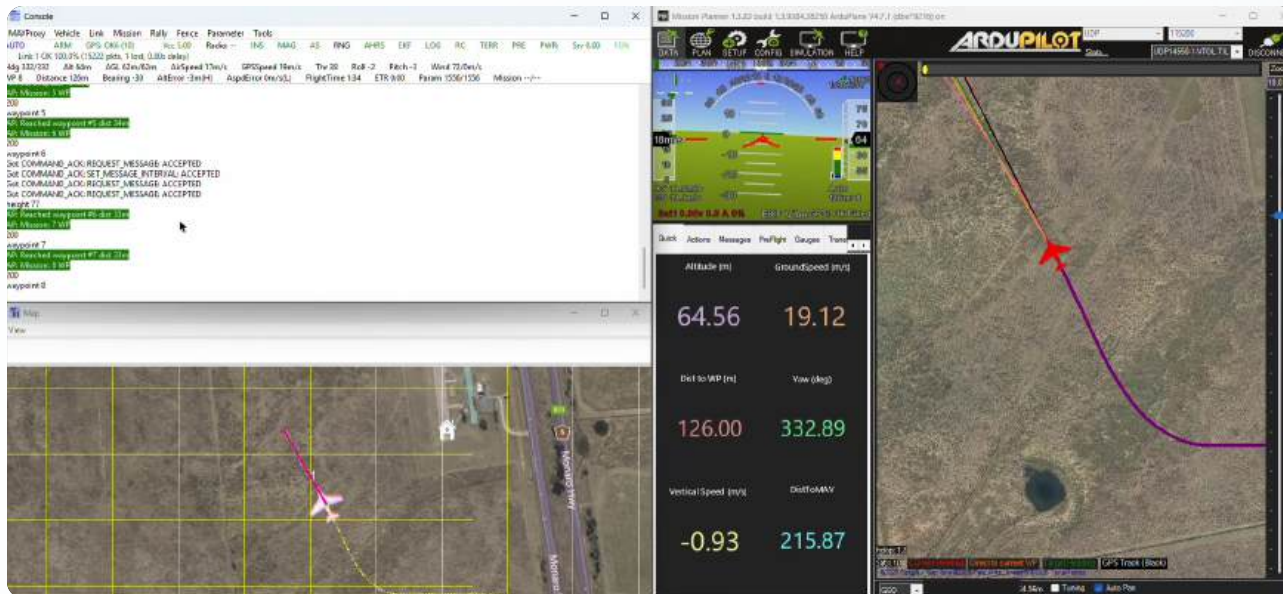
Вибір архітектури

- `Q_FRAME_CLASS=7`: tricopter
- `Q_TILT_TYPE=2`: vectored yaw
- `Q_TILT_MASK=3`: два передні мотори
- Три пропелери 7×5, два CCW і один CW
- У польоті: HRB Graphene LiPo 6S, 6000 mAh · 22,2 В · 100C за заявою продавця

ArduPlane забезпечує VTOL, fixed-wing cruise, AUTO mission, geofence, fail-safe та DataFlash logging в одному стеку.

Запуск SITL: команда й демонстрація

```
wsl.exe -d Ubuntu -- bash -lc "cd /mnt/c/Users/user/stallion && bash scripts/run-live-demo.sh"
```



Запис займає біля 5 хвилин і прискорено приблизно у 14 разів.

Запуск → VTOL → маршрут → посадка → PASS

Виконання чекліста

✓ 5.1 · Маршрут

7 waypoint з різними висотами

✓ 5.2 · Команда й фініш

Зміна швидкості до 18 м/с;
VTOL LAND

✓ D6 · AUTO-місія

Маршрут, посадка та disarm

✓ D8 · Відеореєстр

Запис місії для офлайн-показу

Налаштування: докази з live-demo

ТОЙ САМИЙ ПРОГІН, ЩО У ВІДЕО · 20260909T120046Z

4.1 · Прошивка та frame type

ArduPlane 4.7.1 · tilt-tricopter

`Q_FRAME_CLASS=7` · `Q_FRAME_TYPE=1`
`Q_TILT_TYPE=2` · `Q_TILT_MASK=3`

Два передні tilt-мотори, vectored yaw

4.2 · Калібрування та датчики

Підготовка датчиків у SITL

Барометри 1/2 та airspeed: calibration complete

Accel / compass: модельні коефіцієнти

Калібрування фізичного борта — окремий показ у Mission Planner

4.3 · PID-регулятори VTOL

Вісь	P	I	D
Roll	0,126	0,126	0,003
Pitch	0,120	0,120	0,0025

Фактичні Q_A_RAT_RLL / PIT з BIN

4.3 · Режими та RC fail-safe

AUTO → CIRCLE → RTL → QRTL

`FS_SHORT_ACTN=1` · `FS_LONG_ACTN=1`

Long timeout: **5 с** · RC threshold: **950 мкс**

`Q_RTL_MODE=1` · ✓ перевірено у прогоні 125247Z, слайд 5

✓ 4.4 · EKF / GPS / IMU

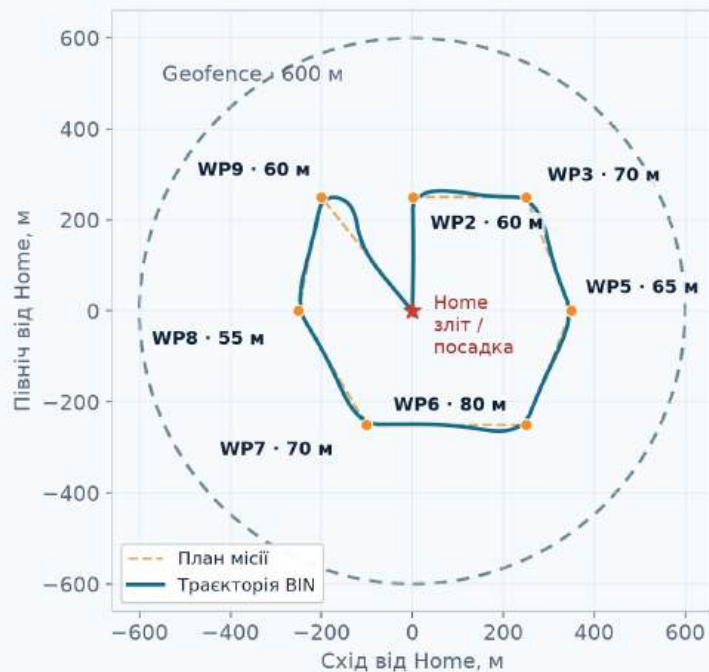
$0,00609 < 0,5$ · $HDop\ 1,21 < 1,5$ · Clip = 0

✓ 4.5 · Pre-arm у SITL

`ARMING_SKIPCHK=0` · `ARM.Forced=0`

SITL-місія: виконання чекліста

МІСІЯ 120046Z: PASS · RC FAIL-SAFE 125247Z: ПІДТВЕРДЖЕНО



Фактична траєкторія · 351,7 м від Номе · висота max 75,39 м

✓ 5.1 · 7/7 waypoint

Різні точки та висоти 55–80 м

✓ 5.2 · Команда + Land

18 м/с → VTOL LAND → disarm

✓ 5.3 · Geofence увімкнено

Радіус 600 м · висота 120 м · 0 порушень

✓ 5.4 / D7 · Повна втрата RC

CIRCLE → RTL → QRTL → disarm

+1,20 с → +5,00 с → +19,53 с

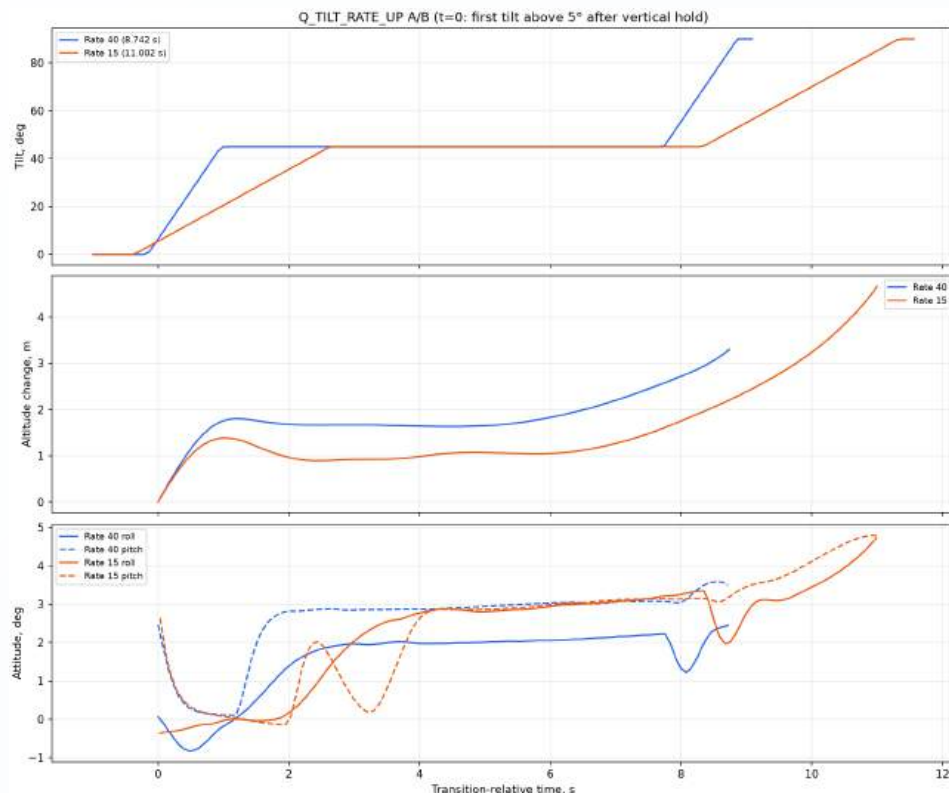
Посадка й disarm: +67,72 с від втрати RC

5.5 · Збережені докази

00000001.BIN · timeline · карта маршруту

Швидкість нахилу моторів

A/B ПАРАМЕТРА Q_TILT_RATE_UP



Джерела: matched runs R04A-control-verified і R04B-tilt15-verified

Метрика	40°/с	15°/с
Forward transition	8,742 с	11,002 с
Roll-error RMS	0,361°	0,501°
Max roll angle	2,441°	4,727°
Back transition	5,193 с	7,235 с

SITL-рішення

15°/с погіршило всі основні transition metrics. Baseline залишено 40°/с.

✓ 7.3 · Верифікація змін виконана в SITL

Порівняно логи до / після: 40 → 15°/с.

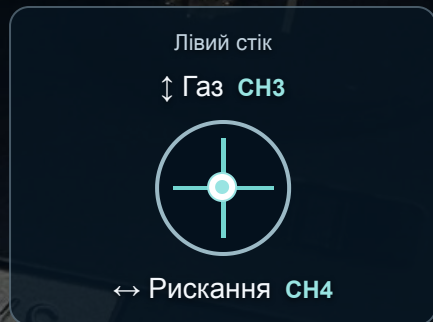
7.1–7.2: обґрунтування зміни й перевірка гіпотези.

Налаштування пульта

RADIOMASTER TX16S · EDGETX · МОДЕЛЬ STALLION VTOL

Карта стіків · Mode 2 / AETR

ES900TX → ES900DualRX · ExpressLRS / CRSF · 16 каналів

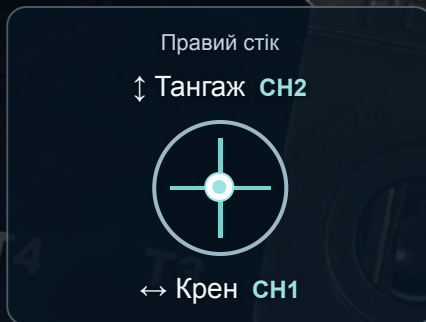


SF · CH5

ARM / DISARM

SE · CH6

FBWA override



SA · CH7

GPS Disable

Мікшування V-tail, моторів і нахилу виконує ArduPlane.

Кастомний чекліст · 8 пунктів

- ☐ Газ — мінімум
- ☐ Усі перемикачі — від пілота
- ☐ 6POS-1 — QSTABILIZE
- ☐ Батарея та пропелери закріплені
- ☐ Рулі й нахил моторів перевірені
- ☐ ELRS / телеметрія та GPS / EKF готові
- ☐ Місія, Geofence і RTL перевірені
- ☐ Антена VTX та охолодження — OK

На екрані пульта: відмітити всі пункти, щоб закрити чекліст.

6POS → CH8 · шість режимів

1 QSTABILIZE

2 QHOVER

3 MANUAL

4 FBWA

5 AUTO

6 QRTL

Чому кастомізовано прошивку

ARDUPLANE 4.7.1 (CUSTOM) · ДВІ ЗМІНИ У ВИХІДНОМУ КОДІ

01 · Відтворено у власному SITL

ЕKF3 не стартував без GPS

Проблема

Plane очікував 3D fix для ініціалізації EKF3, хоча потрібен був QSTABILIZE без позиційної навігації.

Зміна в патчі

Опція `AllowNoGPSBootstrap`, bit 3.

`EKF3_OPTIONS=9`: запуск EKF3 без GPS; AHRS зберігає придатну оцінку орієнтації та вертикального стану.

✓ A/B підтвердив зміну поведінки

Опція OFF: EKF3 не ініціалізовано.

Опція ON: зліт і посадка в QSTABILIZE;

97/97 АТТ-записів з EKF3 під час ARM.

02 · Проблема із симуляції ArduPilot · [#34041](#)

Хибний знак roll у векторуванні

Проблема

При нахилених моторах корекція через tilt могла посилювати крен під час переходу в літаковий режим.

Зміна в патчі · [PR #34086](#)

Знак складової roll змінено $+$ $\rightarrow$ $-$.

Масштабування за тягою застосовано до обох складових: roll і yaw.

Ефект виправлення не підтверджено

R05 A/B: обидва PASS; зрив не відтворено.

Реальний лог: **TILT.Tilt = 0°** (1021/1021).

sin(0°) = 0 $\rightarrow$ roll-складова не задіяна.

Межа no-GPS зміни: потрібна придатна оцінка yaw. AUTO, QLOITER, RTL і QRTL потребують надійної позиції.

Реальний політ

✓ 6.1 · Аналіз PID-стабілізації

Рух проти команди

ATT · 39,615 с

Roll $-6,69^\circ$ · ціль $\approx 0^\circ$

Pitch $-10,29^\circ$ · ціль $\approx 0^\circ$

RATE · 39,619 с

Roll $-126,7^\circ/\text{с}$ · команда $+32,6^\circ/\text{с}$

CTUN / QTUN · $\approx 39,62$ с

ThO: 0 / 0,594 · VTOL активний

CTUN — літаковий канал газу.
Корекція не відновила орієнтацію.

✓ 6.2 · VIBE / EKF / GPS

Деградація GPS/EKF

VIBE · обидва IMU: Clip = 0

До зриву: $\leq 2,88 \text{ м/с}^2$ за 34–39,55 с

Пік $36,68 \text{ м/с}^2$ — під час падіння

GPS · 37,456 с: no-fix

0 супутників · HDop 99,99

EKF · SV: 0,71 $\rightarrow$ 1,78 $>$ 1

38,859 с: lane 0 $\rightarrow$ 1

IPN: $-153,83 \text{ м}$ на $41,735 \text{ с}$

SV — нормована перевірка інновацій.
IPN — нев'язка положення, м.

✓ 6.3 · Проблема задокументовано

Втрата керованості

$\approx 39,55$ с · початок зриву

Motor2 / S5: 1949 мкс на 39,536 с

Витяг RATE · 39,619 с, округлено

R = $-126,7$; RDes = $+32,6$

P = $-81,3$; PDes = $+47,6^\circ/\text{с}$

Принада за фізичним оглядом

Розрив пластикового кріплення

$\rightarrow$ відрив лівого мотора

Фото: IMG_4960_proof.JPG · слайд 7.
Скручений дріт підтримує цей механізм.



...ему задокументовано

заток зриву

949 мкс на 39,536 с

· 39,619 с, округлено

$$7; \text{RDes} = +32,6$$

PDes = +47,6 °/c

фізичним оглядом

тикового кріплення

ого мотора

60_proof.JPG · слайд 7

т підтримує цей механізм.

6.3 · Літак після падіння · APM/IMG_4950.JPG

Причина втрати керованості

Розрив пластикового кріплення → відрив мотора

Лівий за напрямком руху · за результатом огляду

Лог: рух проти команди на 39,619 с

Вісь	Фактично	Команда
Roll	-126,7°/с	+32,6°/с
Pitch	-81,3°/с	+47,6°/с
Yaw	+99,4°/с	-66,1°/с

Виходи перед зливом · 39,536 с

Канал	Розташування	PWM
Motor4 / S3	задній	1670
Motor1 / S4	передній правий	1761
Motor2 / S5	передній лівий	1949



Скручений дрід живлення підтримує висновок про обертання відірваного мотора. На іншому моторі такого немає — за оглядом оператора.

Виконання екзаменаційного чеклісту

ПІДСУМКОВА САМООЦІНКА · ОСНОВНІ КРИТЕРІЇ ТА БОНУСИ

88,89%

24 із 27 основних критеріїв

Поріг виконання — 80%

+2 бонусні критерії

Виконано додатково до основних вимог

✓ 8.2 · GPS-denied у SITL

✓ 8.4 · Власний preflight-чекліст

≥15 пунктів із конкретними значеннями

Разом: 26 виконаних критеріїв

Розділ	Виконано
Прошивка	4/4
Платформа	2/2
Комплектуючі	4/5
Конфігурація та preflight	3/5
SITL-місія	5/5
Аналіз логів	3/3
Аргументація параметрів	3/3

Частково виконано: 3 критерії

3.4 — точну модель GNSS не підтверджено

4.2 — калібрування компаса не підтверджено

4.3 — battery fail-safe не налаштовано

Часткові критерії не включено до 24 виконаних.

Висновки та наступні кроки

ТРЕТІЙ ЗАПУСК · ДОСВІД ДЛЯ НАСТУПНОЇ ВЕРСІЇ

3-й

запуск цього літака

Літак злетів. Вважаю це значним прогресом.

Отримано досвід реального польоту й дані для конкретних покращень конструкції.



Що покращу в наступній версії

Міцність кріплень

Переробити моторні кріплення та перевірити їх під навантаженням.

Поетапні випробування

Спочатку підтвердити літаковий політ, потім додавати VTOL.

Перевірка кожної зміни

Чекліст перед запуском, логи й порівняння результатів після нього.

Наступна платформа

T2 Cruza

1.2M wingspan · PNP



1 Повторний запуск на новому планері
Виконати успішний політ у літаковій конфігурації.

2 Конверсія у VTOL
Після успішного запуску — інтеграція VTOL і поетапні випробування.