

ПРОЕКТУВАННЯ БПЛА САМОЛІТНОГО ТИПУ НА БАЗІ FIRMWARE ARDUPILOT

У роботі розглянуто побудову бюджетного (не більше 150 \$) БПЛА літакового типу, який в змозі виконувати такі польотні режими: утримання висоти і позиції, автоматичне повернення в точку зльоту по команді з пульта управління або втрати зв'язку з ним, автоматичний політ по заданій траєкторії. В ході льотних випробувань були відзначені високі аеродинамічні якості моделі літаючого крила C-1 CHASER в порівнянні з моделями, які виготовлялися з пінопласту самостійно. Так, час польоту збільшилася на ~ 25%, а швидкість на ~ 30% при однаковому польотному вазі і енергоспоживанні від акумулятора. Експериментально було встановлено можливість польоту по точкам спроектованого літака з польотним контролером APM 2.6 і firmware Arduplane з обов'язковим використанням барометра і магнітометри, аналогічно, як і для БПЛА роторного типу для виконання подібних завдань. Встановлено можливість за допомогою наземної станції Mission Planner і сервісу Google Earth Pro побудови реальної траєкторії польоту літака по лог - файлам, які формуються польотним контролером. Експериментально визначено відповідності між реальною траєкторією польоту літака і введеної в польотний контролер траєкторії за допомогою наземної станції. В ході льотних випробувань показано коректне спрацьовування режиму failsafe при пропажі зв'язку з апаратурою управління. Встановлено максимальний радіус дії апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B, який склав 1,3км при відсутності перешкод в польових умовах. Встановлено, що при відключенні режиму failsafe можливий політ крила на відстань від точки зльоту, обмежене тільки зарядом батареї (близько 40хв. зі швидкістю 40-45км/год). При аналізі реальних траєкторій польоту було встановлено, що firmware Arduplane при польоті по траєкторії забезпечує більш точне проходження польотних точок, а ділянки проходження між точками є прямолінійними, на відміну від польоту з прошивкою INAV. Помічено також плавна поведінка крила при виконанні поворотів на відміну від INAV.

Ключові слова: Ardupilot, GPS приймач, БПЛА, FBWA, Loiter, RTL, FBWB, Auto, Notch Filters, польотний контролер, APM 2.6, failsafe, C-1 CHASER, Mission Planner, FlySky FS-i6

Вступ. В даний час становить інтерес побудова апаратів, що виконують польоти по заданій траєкторії в повністю автоматичному режимі [1,2]. Вони можуть використовуватися для дослідження місцевості, проведення рятувальних операцій, в роботі пожежних служб, військової розвідки. Особливий інтерес представляють апарати з нерухомим крилом (літаюче крило, літак) [2], які в порівнянні з квадрокоптера, гексакоптерами є більш економічними, летять на більшу відстань з більшою швидкістю при однакових ємності батареї і польотного ваги. У зв'язку з цим в роботі приділено увагу створенню і експериментальному вивченню БПЛА з нерухомим крилом (літак). Розглянутий в роботі апарат зібраний з досить поширених, бюджетних електронних компонентів (польотного контролера, датчиків), використовує безкоштовно поширювані відкриті до коректування програмні продукти і підтримує такі польотні режими [3] (в термінології прошивки Ardupilot):

1. FBWA - утримання крила по крену і тангажу з ручним газом;
2. FBWB - те саме, що і FBWA, але з утриманням висоти. Швидкість польоту може залежати від положення дросельної заслінки апаратури управління;
3. Режим RTL (повернення до точки запуску);
4. LOITER - кружання літака з заданим радіусом (50м по умовчання) з утриманням висоти і положення;
5. Режим Auto (політ по точках), заданих на карті;

6. Режим failsafe - повернення в точку зльоту при втраті зв'язку приймача з апаратурою управління.

Аналогічне завдання було розглянуто для прошивки INAV ver.2.5 [4]. Тут використовується прошивка Ardupilot і польотний контролер на базі мікроконтролера Atmega2560. Після аналізу тестових польотів представлені висновки за результатами використання цих двох прошивок.

Методи дослідження. Для польоту БПЛА літакового типу, виконання зазначених польотних режимів використовуються польотний контролер APM 2.6 на базі мікроконтролера Atmega2560, об'єднаний в одній платі з гіроскопом і акселерометром; зовнішній приймач GPS і магнітометр; програмне забезпечення для мікроконтролера і комп'ютера - наземної станції. На комп'ютері встановлюється Mission Planner [5] (конфігуратор і наземна станція) для зміни параметрів прошивки польотного контролера і управління БПЛА. Прошивка контролера використовують математичні моделі: PID регулятори [6,7], фільтр Кальмана, комплементарний фільтр, динамічний Notch фільтр і т.д. [8]. Для забезпечення стійкого польоту БПЛА, виконання заданих польотних режимів виконується коригування прошивки підбором параметрів, що залежать від геометрії літака, встановленої рухової установки, датчиків, швидкісних параметрів, траєкторії польоту [6,7,10]. Метою роботи є створення бюджетного (не більше \$ 150) БПЛА літакового типу і експериментальне дослідження його можливостей на базі польотного контролера APM 2.6 і прошивки ArduPlane [9]. Метод рішення задачі - проектування БПЛА літакового типу, що забезпечує повністю автоматичний політ по заданому маршруту, настройка вільно поширюваного програмного забезпечення для БПЛА для виконання зазначених польотних режимів в результаті численних тестових випробувань.

Основний матеріал і результати роботи. В якості несучої частини обрана модель крила C-1 CHASER з розмахом крил 1200мм. На літаку встановлено наступне обладнання:

Мотор MT2204-2300 KV з ESC регулятором на 30А; Пропелер трилопатевий розміром 5x4.5 дюйма; GPS приймач - модуль Weitian BN-880 з магнітометром HMC5883L; Сервоприводи sg-90 - 9г - 2шт. ; Бюджетна апаратура управління - FlySky FS-i6, прошита з 6-и на 10 каналів з дальністю зв'язку до 1.5км [10]; Польотний контролер - APM 2.6 на базі мікроконтролера Atmega2560 з вбудованим гіроскопом, акселерометром MPU-6000 і барометром MS5611; Акумулятор 2600мАч 3S на базі 3-х послідовно підключених літій іонних акумуляторів 18650. Для виконання відеозйомки використовується наймана друкарська відеокамера - Firefly q6.

На рис. 1 показано фото літаючого крила C-1 CHASER з відкритим відсіком для встановки електронного устаткування і мотора. Попереду розташоване місце для встановки 3-х послідовно підключених акумуляторів типорозміру 18650 напругою близько 12В. Струм безперервної роботи, що видається акумуляторами, повинен бути не менше 10 А.



Рисунок 1 – Крило, яке літає C-1 CHASER з відкритим відсіком для установки електронного устаткування

На рис. 2 показана схема підключення до польотного контролеру (висновкам INPUT) приймача управління [11].

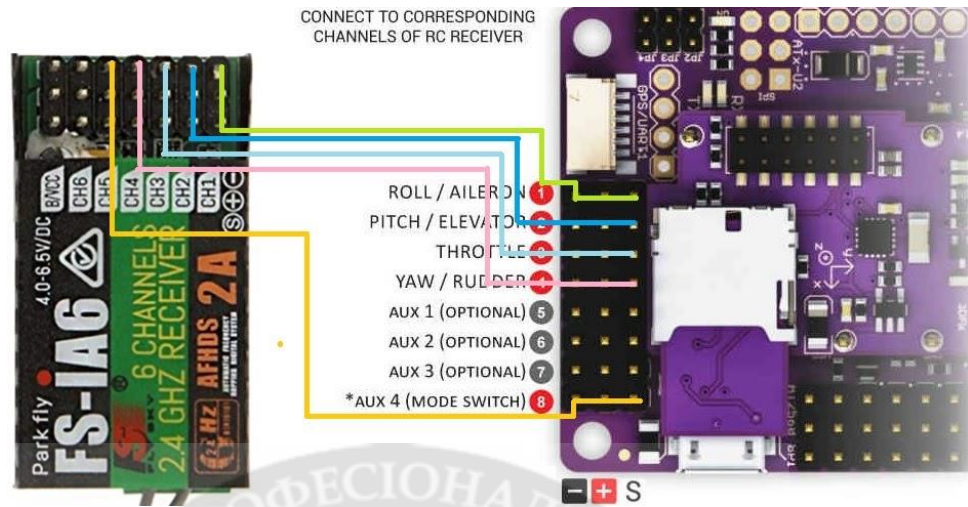


Рисунок 2 – Схема підключення приймача

Сервоприводи і мотор, якими повинен управляти польотний контролер APM 2.6, підключаються до вихідних роз'ємів, як показано на малюнку 3 [11]. Польотний контролер і сервоприводи повинні підключатися до окремих джерел +5.

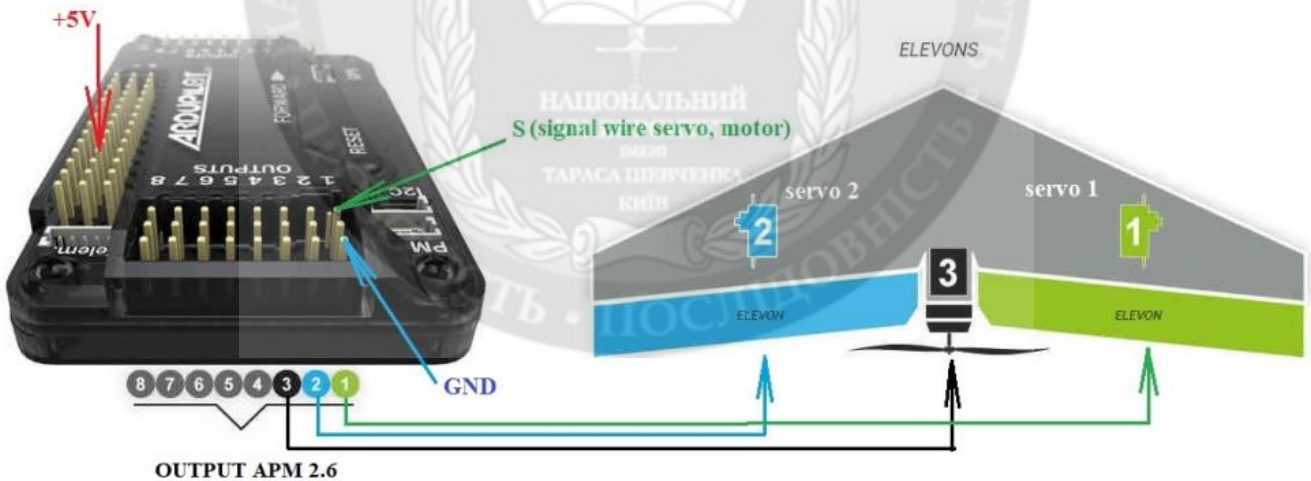


Рисунок 3 – Підключення сервоприводів і мотора до польотного контролера

На рис. 4 представлена типова схема підключення GPS приймача з компасом [11] і модуля телеметрії 3dr до польотного контролера APM 2.6, яка була реалізована при побудові крила.

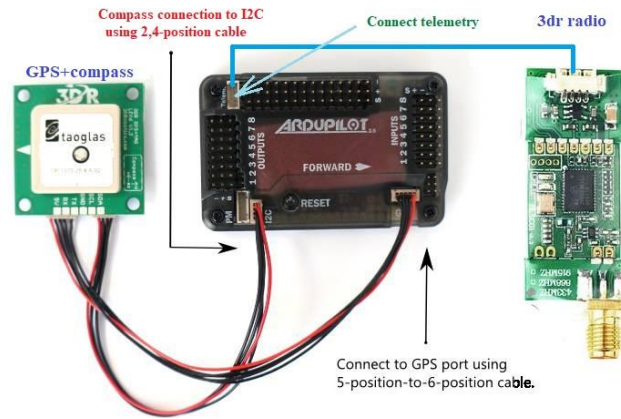


Рисунок 4 – Схема підключення GPS приймача з компасом та модуля телеметрії 3dr до польотного контролера

Установка програмного забезпечення та налаштування крила виконується за допомогою програми Mission Planner ver.1.3.30, ..., 1.3.70. Після запуску Mission Planner ver.1.3.30 виконується фізичне підключення APM 2.6 до порту USB комп'ютера. Однак програмне підключення програми Mission Planner не проводиться (рис. 5).

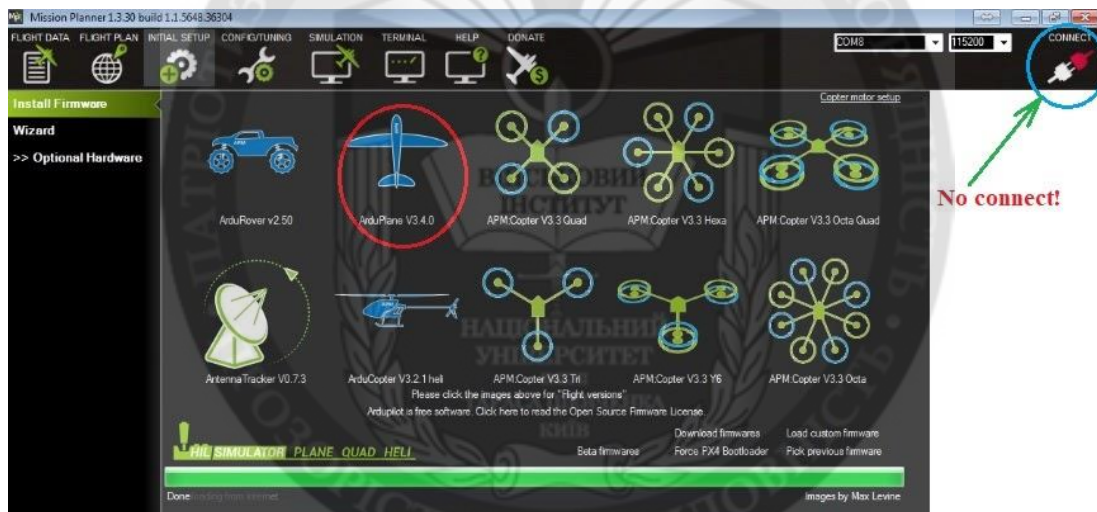


Рисунок 5 – Прошивка польотного контролера ArduPlane

Вибирається прошивка ArduPlane. Навіть якщо буде стояти остання версія ArduPlane (наприклад 4.0.6) то останньою версією прошивки є V3.4.0 для APM 2.6. Після завершення прошивки потрібно виконати підключення програми Mission Planner до прошивки контролера APM 2.6 натисканням на CONNECT в верхньому правому куті (рис. 5). При подальшій настройці прошивки (калібрування акселерометра, компаса, радіоапаратури і т.д.) підключення краще виконати через телеметрію 3dr (рис.4). У цьому випадку вибирається відповідний COM - порт і встановлюється швидкість 57400біт / с. В папці INSTALL SETUP проводиться калібрування акселерометра, компаса і апаратури управління. Калібрування виконуються відповідно до покроковою інструкцією, представленої на рис. 6.

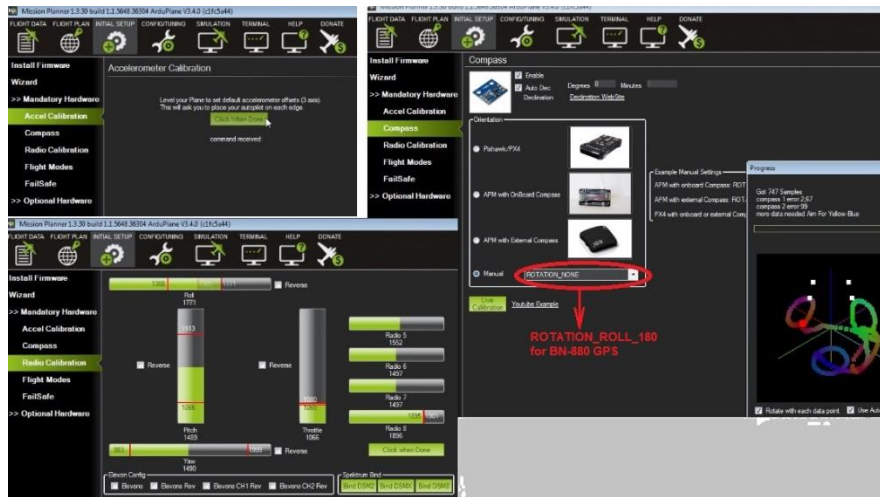


Рисунок 6 – Настройка прошивки в вкладці INSTALL SETUP

Перед калібруванням польотних режимів (Flight Modes) необхідно налаштувати апаратуру управління FlySky FS-i6. Для цього вона спочатку прошивається на 10-и каналний режим роботи [12]. Далі на пульті FlySky FS-i6 необхідно перейти у вкладки End points і Aux. channels, в яких встановлюються показання на малюнку 7 параметри для 5-го каналу. Це дозволить з використанням трипозиційного SwC і двохпозиційного SwD вимикачів працювати з 6-ма різними польотними режимами. Для правильного відхилення елевонів крила необхідно в вкладці Reverse апаратури FlySky FS-i6 зробити установки, як показано в правій частині на рис. 7.

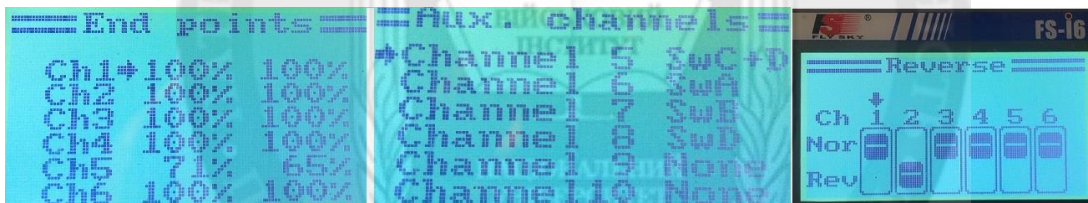


Рисунок 7 – установки

Після настройки апаратури управління (вкладка Radio Calibration) налаштовуються польотні режими, як представлено на рис. 8.



Рисунок 8 – Настройка польотних режимів

Дуже важливо правильно налаштувати Failsafe, інакше при втраті зв'язку приймача управління з пультом управління крило буде продовжувати політ за останніми збережених даних, які отримав приймач з пульта. Налаштування Failsafe виконується за мінімальним газу (рис. 9). Тобто при включеній апаратурі управління значення Throttle одно 999 імпульсів. При

обриві зв'язку з пультом це значення дорівнюватиме 900 імпульсів. Так має бути налаштований приймач [13]. На рис. 9 встановлена величина 950, менше якої буде спрацьований Failsafe. Це призведе до включення режиму RTL - повернення в точку запуску. Точка запуску визначається в точці перемикання польотного контролера в режим arming.

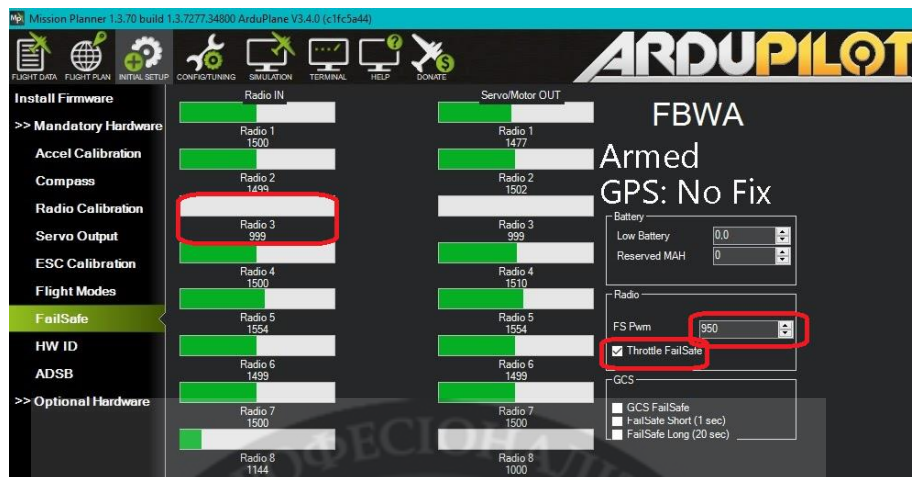


Рисунок 9 – Налаштування режиму FailSafe

Установка швидкості польоту, кутів крена та тангажа, параметрів PID регулятора виконується в вкладці CONFIG/TUNING – Basic Tuning (рис. 10)

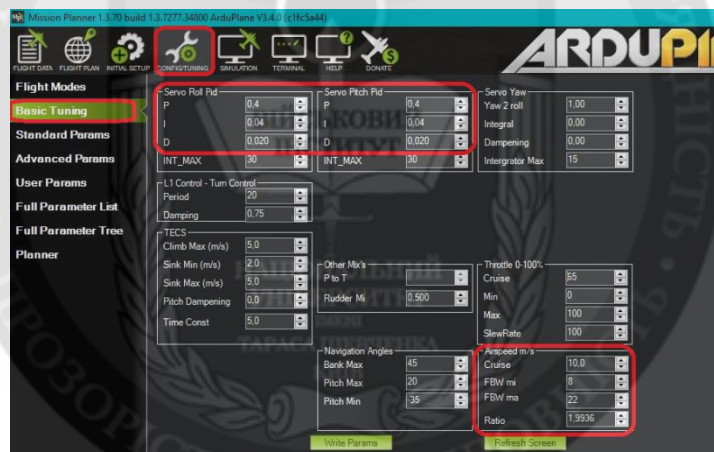


Рисунок 10

Для установки параметрів польотного контролера, використовується вкладка, представлена на рис. 11. У роботі були встановлені наступні параметри:

ALT_HOLD_RTL - висота повернення в точку запуску (в сантиметрах) = 4000;

ARMING_REQUIRE = 1. Перед зльотом потрібно arming.

ARMING_RUDDER = 2. Для переведення в режим arming відхиляється стік дросельної заслінки вправо, а в режим disarming - вліво. Стік дросельної заслінки повинен знаходитися в нульовому значенні газу.

ARMING_CHECK = 0. Перед зняттям з охорони (переклад в arming) контролер не виконує перевірку датчиків (барометра, магнітометри, gps і т.д.).

ELEVON_OUTPUT = 2. Налаштування елевонів для літаючого крила. В цьому випадку за допомогою елевонів можливе управління напрямком польоту крила;

THR_SUPP_MAN = 1. В момент придушення газу автопілотом в режимі автоматичного польоту по траєкторії, стіком газу можна управляти;

THR_MAX = 100. Максимальний відсоток газу в навігаційних режимах, тобто в автоматичному режимі польоту по траєкторії може бути встановлена максимальна швидкість.

Після установки параметрів їх необхідно зберегти, натиснувши на кнопку Write Params (рис. 11).

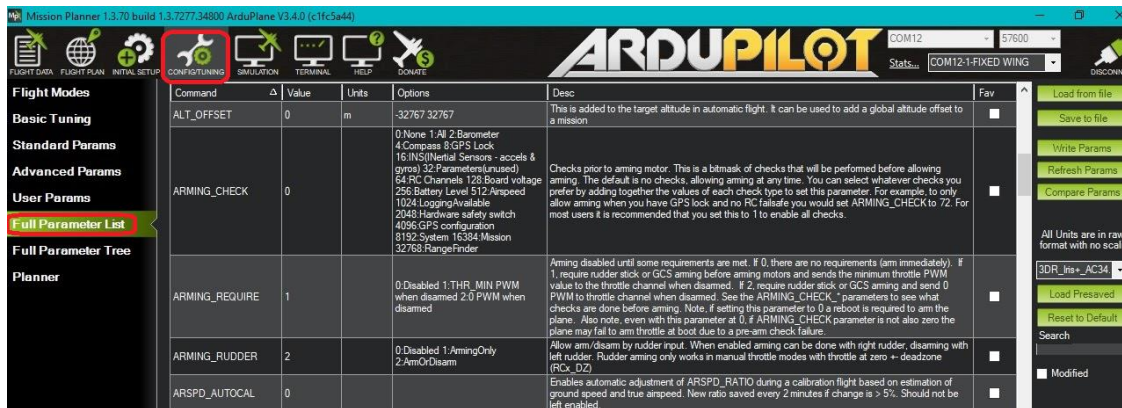


Рисунок 11 – Установка параметров полетного контролера

Полетний контролер APM 2.6 з прошивкою ArduPlane дозволяють в вкладці FLIGHT PLAN формувати траєкторію польоту літаючого крила в автоматичному режимі. Для цього спочатку на карті встановлюється точка зльоту, далі за допомогою маніпулятора «миша» формуються шляхові точки із заданою висотою польоту (тут була встановлена висота 40м від точки зльоту). На рис.12 (зліва) представлена задана траєкторія польоту протяжністю 3,15км. Справа на рис. 12 показана траєкторія польоту, яка була отримана після польотів при аналізі лог - файлів, які формуються полетним контролером. Для цих цілей використаний пакет програм Google Earth [15]. Видно, що реальний політ складається з 3-х частин: Waypoint, Failsafe, RTL. Цей випадок польоту тут розглянуто для того, щоб продемонструвати роботу контролера не тільки на етапі виконання маршруту по подорожнім точкам, а й у разі спрацювання Failsafe, коли порушується зв'язок приймача з апаратурою управління. Цей експеримент являє, що максимальна дальність дії використовуваної тут апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B не більше 1,3км далеко від населених пунктів.



Рисунок 12 – Демонстрація польоту крила в автоматичному режимі

Справа на рис.12 показана траєкторія польоту, яка була отримана після польотів при аналізі лог - файлів, які формуються польотним контролером. Для цих цілей використаний пакет програм Google Earth [15]. Видно, що реальний політ складається з 3-х частин: Waypoint, Failsafe, RTL. Цей випадок польоту тут розглянуто для того, щоб продемонструвати роботу контролера не тільки на етапі виконання маршруту по подорожнім точкам, а й у разі спрацювання Failsafe, коли порушується зв'язок приймача з апаратурою управління. Цей експеримент являє, що максимальна дальність дії використовуваної тут апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B не більше 1,3км далеко від населених пунктів.

Для виконання розвідувальних польотів на великі відстані з використанням друкерської камери (Firefly q6), зазвичай відключається режим failsafe з встановленим автоматичним режимом по введеної траєкторії. Важливо, щоб в цьому режимі було передбачено повернення в точку старту, інакше крило буде втрачено.

Висновки

1. Побудовано бюджетний (не більше 150 \$) БПЛА літакового типу, який в змозі виконувати такі польотні режими: утримання висоти і позиції, автоматичне повернення в точку зльоту по команді з пульта управління або втрати зв'язку з ним, автоматичний політ по заданій траєкторії.

2. В ході експериментів були відзначені високі аеродинамічні якості моделі літаючого крила С-1 CHASER в порівнянні з моделями, які виготовлялися з пінопласту самостійно. Так, час польоту збільшилася на ~ 25%, а швидкість на ~ 30% при однаковому польотному вазі і енергоспоживанні від акумулятора.

3. Експериментально встановлено можливість польоту по точкам спроектованого літака з польотним контролером APM 2.6 і firmware Arduplane з обов'язковим використанням барометра і магнітометри, аналогічно, як і для БПЛА роторного типу для виконання подібних завдань. Для прошивки INAV при виконанні польоту по траєкторії не обов'язково використання барометра і магнітометри.

4. Встановлено можливість за допомогою наземної станції Mission Planner і сервісу Google Earth Pro побудови реальної траєкторії польоту літака по лог-файлам, які формуються польотним контролером.

5. Експериментально визначено відповідності між реальною траєкторією польоту літака і введеної в польотний контролер траєкторії за допомогою наземної станції. Показано коректне спрацювання режиму failsafe при пропажі зв'язку з апаратурою управління.

6. Встановлено максимальний радіус дії апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B, який дорівнює 1,3км при відсутності перешкод в польових умовах. Встановлено, що при відключенні режиму failsafe можливий політ крила на відстань від точки зльоту, обмежене тільки зарядом батареї (близько 40хв. Зі швидкістю 40-45км / год).

7. При аналізі реальних траєкторій польоту було встановлено, що firmware Arduplane при польоті по траєкторії забезпечує більш точне проходження польотних точок, а ділянки проходження між точками є прямолінійними, на відміну від польоту з прошивкою INAV. Помічено також плавне поведінка крила при виконанні поворотів на відміну від INAV.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бойко А. Области применения беспилотников. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>

2. Модернізований безпілотник Spectator від BAT "Меридіан" ім. С.П Корольова". [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb_logo

3. Flight Modes. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>

4. The Basics of Getting iNav Working on an Airplane. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki/Fixed-wing-guide>

5. Mission Planner Advanced Installation. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-advanced-installation.html>

6. Мясіщев О.А. Особливості реалізації прошивки inav на польотному контролері omnibusf4v3 для бпла роторного типу. Технічні науки. Хмельницький: ХНУ, 2020. №2. с. 126-134.
7. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Yurii Husak, Ivan Starynski. Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. ISSN 2278-3091. Volume 9, No.3, pp. 3506-3513, May - June 2020.
<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/156932020>
8. Extended Kalman Filter (EKF). [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>
9. APM 2.5 and 2.6 Overview.). [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms25-and-26-overview.html>
10. Мясіщев А.А., Ленков С.В., Зінчик А.Г., Пампуха І.В., Ряба Л.О. Проектування багатофункціонального БПЛА роторного типу на базі прошивки Ardupilot. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - К.: ВІКНУ, 2021.-Вип №70. с. 49-59.
11. APM2.x Wiring QuickStart. [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/plane/docs/archived-arms2x-wiring-quickstart.html?highlight=elevation>
12. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - 2017.- Mode of access: [https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod-](https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod-10ch)
13. Быстрая настройка Failsafe для APM с Flysky-i6 Setup arducopter failsafe. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=aZ1A5rAK0uo&t=127s>
14. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Larysa Komarova, Nataliia Lytvynenko, Oleg Mirosnichenko. Construction of an Aircraft-Type UAV for Flight Along a Given Trajectory in the Automatic Mode. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. ISSN 2347 - 3983. Volume 8. No.9, September 2020, pp. 6145-6150.
15. Google Earth. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth

REFERENCES:

1. Bojko A. Oblasti primeneniya bespilotnikov. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>
2. Modernizovaniy bezpilotnik Spectator vid VAT "Meridian" im. S.P Korolova". [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb_logo
3. Flight Modes. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>
4. The Basics of Getting iNav Working on an Airplane. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki/Fixed-wing-guide>
5. Mission Planner Advanced Installation. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-advanced-installation.html>
6. Myasishev O.A. Osoblivosti realizaciyi proshivki inav na polotnomu kontroleri omnibusf4v3 dlya bpla rotornogo tipu. Tehnichni nauki. -Hmelnickij: HNU, 2020. - №2.-s. 126-134.
7. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Yurii Husak, Ivan Starynski. Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. ISSN 2278-3091. Volume 9, No.3, pp. 3506-3513, May - June 2020.
<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/156932020>
8. Extended Kalman Filter (EKF). [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>
9. APM 2.5 and 2.6 Overview.). [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms25-and-26-overview.html>
10. Myasishev A.A., Lyenkov S.V., Zinchik A.G., Pampuha I.V., Ryaba L.O. Proektuvannya bagatofunkcionalnogo BPLA rotornogo tipu na bazi proshivki Ardupilot. Zvirnik naukovih prac Vijskovogo institutu Kiyivskogo nacionalnogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. - K.: VIKNU, 2021.-Vip №70. s. 49-59
11. APM2.x Wiring QuickStart. [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/plane/docs/archived-arms2x-wiring-quickstart.html?highlight=elevation>
12. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - 2017.- Mode of access: [https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod-](https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod-10ch)

13. Bystraya nastrojka Failsafe dlya APM c Flysky-i6 Setup arducopter failsafe. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=aZ1A5rAK0uo&t=127s>
14. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Larysa Komarova, Nataliia Lytvynenko, Oleg Miroschnichenko. Construction of an Aircraft-Type UAV for Flight Along a Given Trajectory in the Automatic Mode. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. ISSN 2347 - 3983. Volume 8. No.9, September 2020, pp. 6145-6150.
15. Google Earth. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth

D.Sci. Tech., prof. Myasishchev A.A.,

D.Sci. Tech. Econ., prof. Ovcharuk V.V., PhD Lenkov E.S.

DESIGN OF AIRCRAFT UAV BASED ON FIRMWARE ARDUPILOT

The paper considers the construction of a budget (no more than \$ 150) aircraft-type UAV, which is able to perform the following flight modes: holding altitude and position, automatic return to the take-off point on command from the control panel or loss of communication with it, automatic flight along a given trajectory. During flight tests, the high aerodynamic qualities of the C-1 CHASER flying wing model were noted compared to models that were made from foam on their own. So, the flight time increased by ~ 25%, the speed by ~ 30% with the same flight weight and power consumption from the battery. It was experimentally established that it is possible to fly along the points of a designed aircraft with an APM 2.6 flight controller and Arduplane firmware with the obligatory use of a barometer and a magnetometer, in the same way as for a rotor-type UAV for performing similar tasks. The possibility was established using the Mission Planner ground station and the Google Earth Pro service to construct a real flight path of an aircraft using log files generated by the flight controller. The correspondence between the real flight trajectory of the aircraft and the trajectory entered into the flight controller using a ground station was experimentally determined. During flight tests, the correct operation of the failsafe mode was shown in the event of a loss of communication with the control equipment. The maximum operating range of the FlySky FS-i6 control equipment with the FS-IA6B receiver was set, which was 1.3 km in the absence of interference in the field. It was found that when the failsafe mode is disabled, the wing can fly to a distance from the take-off point, limited only by the battery charge (about 40 minutes at a speed of 40-45 km / h). When analyzing real flight trajectories, it was found that the firmware of the Arduplane, when flying along the trajectory, provides a more accurate passage of flight points, and the sections of passage between the points are straightforward, in contrast to the flight with the INAV firmware. We also noticed a smoother behavior of the wing when making turns, in contrast to the INAV.

Keywords: Ardupilot, GPS receiver, UAV, FBWA, Loiter, RTL, FBWB, Auto, Notch Filters, flight controller, APM 2.6, failsafe, C-1 CHASER, Mission Planner, FlySky FS-i6