

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ БЕЗПЛОТНИЙ АВІАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОТОЗАХОПЛЕННЯ

В роботі опрацювали, виготовили і випробували експериментальний безпілотний авіаційний комплекс з використанням безпілотного літального апарата – гексакоптера з рамою Tarrot 680 і автопілотом Pixhawk PX4 – для фотозахоплення і знешкодження об'єкта. Автопілот Pixhawk володіє відкритим програмним кодом, що дозволило додатково приєднати бортовий комп'ютер Raspberry Pi з власними програмами керування. Стандартні налаштування автопілота змінили для його оптимальної взаємодії з бортовим комп'ютером. Елементи гексакоптера (регулятори моторів, відеокамеру, компас, акселерометр, GPS-приймач і барометр) підібрали і змінили їх вихідні параметри для підвищення надійності роботи комплексу.

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс, гексакоптер, автопілот, регулятор моторів.

V. CHYHIN, P. MYHAILYSHYN

Land Forces National Academy

EXPERIMENTAL UNMANNED AERIAL COMPLEX FOR PHOTOCAPTURING

In a number of papers of one of authors, the possibility of creating a comprehensive system for the neutralization of another unmanned aircraft is considered. At the first stage of UAV detection, sound devices are used. Then its coordinates, direction and speed are measuring with the help of a stationary video system. Then the flight of own UAV takes place to the extrapolated coordinates of the stranger one. When capturing a UAV, it is chased by a special program installed on the on board computer. In the end, the another unmanned aircraft will be neutralized in a cheaper way, for example, using a grid thrower. Authors did not find in the available literature information about study of such method. Therefore, in this work we worked out and made the model of an unmanned aviation complex with the unmanned aerial vehicle hexacopter on a Tarrot 680 frame. It was used the autopilot Pixhawk PX4 for researching the processes of photo capture and neutralization of the object. Pixhawk has an open code, making it possible to connect an additional board computer Raspberry Pi 3 with own control programs. Standard autopilot settings have been changed for optimal interaction with the on board computer. The unmanned aviation complex, used in experimental studies, includes the base element of the hexacopter, on which the Pixhawk flight controller and the Raspberry Pi on-board computer are installed. Here are fixed the GPS module, six motors and three rechargeable batteries. Key features of Raspberry Pi: A 64-bit quad-core 1.4 GHz processor, dual-band wireless network. It was installed the video camera module Raspberry Pi v2. It has an 8-megapixel sensor Sony Imx219 and supports video modes of 1080p30, 720p60 and VGA90. To control the various flight modes the remote control, laptop and WiFi router were used. Before starting the layout of unmanned aviation complex we pre-tested the setting of all its elements. The connection between the remote control and the hexacopter receiver was set on 2.4 MHz. This allowed for reliable communication at distances of about 300 m. In this case autopilot correctly responded to all commands from the control panel.

Keywords: unmanned aircraft complex, hexacopter, autopilot, motor controller

Постановка проблеми

У ряді робіт одного з авторів [1–3] розглядалася можливість створення наземної установки для виявлення звуковим і фотометадами безпілотного літального апарата (БПЛА) і його знешкодження. При цьому не розглядалося питання виготовлення експериментального безпілотного авіаційного комплексу (БпАК) з використанням безпілотного літального апарата для фотопереслідування і знешкодження іншого БПЛА. Автори не виявили в наявній літературі інформації про виготовлення та дослідження БпАК для такої мети.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В українських публікаціях описуються, в основному, безпілотні літальні апарати літакового типу, які використовуються, зокрема, для проведення розвідки. Так, у праці [4] вказується на невідповідність сучасним вимогам і стандартам, що пред'являються до зразків озброєння та військової техніки, оперативно-тактичного безпілотного авіаційного комплексу ВР-3 “Рейс” і стратегічного безпілотного авіаційного комплексу ВР-2 “Стриж”, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України. Запропоновано кілька шляхів оснащення ЗСУ сучасними БпАК. Автори не розглядають питання використання безпілотних літальних апаратів типу мультикоптери. У праці [5] ґрунтовно проаналізовано можливості застосування безпілотних літальних апаратів різних типів для військових цілей, зокрема, для аерофотознімання і розвідки, вказано на необхідність виділення великих фінансів для забезпечення ними Збройних Сил України. Автор [6] навів характеристики безпілотних літальних апаратів вітчизняного та закордонного виробництва, оцінив нові засоби моніторингу і контролю надзвичайних ситуацій, при цьому звернув увагу на БПЛА українського виробництва типу трикоптер моделі “Viper SM 3”. Для моніторингу тепломерж та ЛЕП рекомендується [7] використання безпілотних авіаційних комплексів літакового та мультироторного типу. Для тепловізійної зйомки опор ЛЕП доцільне використання БПЛА типу мультикоптерів.

До роботи, яка за суттю є близькою до нашої, можна віднести [8] “Розробка систем стабілізації польоту квадрокоптера”. Однак, автор лише вводить загальні поняття про такі складові елементи квадрокоптера, як акселерометр, гіроскоп, барометр, контролер польоту, GPS-навігатор та компас. Але робота не торкається практичного налаштування системи стабілізації польоту. На сайті виробника контролера польоту Pixhawk та його програмного забезпечення [9] можна знайти окремі інструкції щодо

відлагодження БПЛА і систем його керування.

Виходячи з наведеного, прийшли до висновку, що для експериментальних досліджень системи керування безпілотним літальним апаратом під час фотозахоплення, фотопереслідування і знешкодження БПЛА противника слід виготовити гексакоптер з наявних у продажі складових, зокрема, з використанням відкритого для під'єднання до додаткового бортового комп'ютера контролера польоту типу Pixhawk. Потужність гексакоптера є суттєво вищою у порівнянні з потужностями типових квадрокоптерів, зокрема, марки DJI (Фантом-3 і т.п.), для перенесення сіткостріла, виконаного із сталевих деталей.

Мета роботи. Метою роботи є створити макет безпілотного авіаційного комплексу на базі гексакоптера (БПЛА) і наземної станції (пульта керування, ноутбука і бездротової системи зв'язку), при цьому гексакоптер виготовити на рамі Tarrot-680, використати автопілот (контролер польоту) PixHawk PX4, бортовий комп'ютер (БК) Raspberry Pi з відеокамерою Raspberry Pi V2.

Виклад основного матеріалу

Контролер польоту – автопілот. Контролер польоту призначений для задання положення тіла БПЛА у просторі та стабілізації польоту відносно горизонту. Сучасні контролери оснащені набором



Рис. 1. Фото автопілота Pixhawk PX4

1 – до бортового комп'ютера, 2 – до кнопки безпеки, 3 – до акумулятора, 4 – до зумера, 5 – до GPS модуля, 6 – до компаса

мініатюрних інтегральних сенсорів, які безперервно відстежують стан коптера у просторі, вимірюють вплив на нього кутових прискорень, вітру, атмосферного тиску і напрямку силових ліній магнітного поля. На гексакоптері встановили досить потужний контролер польоту Pixhawk PX4 (рис. 1, рис. 5). Він створений на базі оригінальної плати з 32-бітним процесором та сучасною оперативною системою, яка забезпечує швидке та надійне опрацювання даних [10]. Pixhawk має систему з відкритим програмним кодом, що дозволило додатково приєднати бортовий комп'ютер із спеціальними програмами (у нашому випадку – програми фотозахоплення, фотопереслідування і виконання дії знешкодження).

У ролі **бортового комп'ютера** використали плату Raspberry Pi [11] (рис. 2, рис. 5). Основні технічні характеристики Raspberry Pi: 64-розрядний чотирьохядерний процесор з тактовою частотою 1,4 ГГц, дводіапазонна бездротова мережа, підтримка Bluetooth 4.2/BLE, швидка мережа Ethernet і підтримка Power-over-Ethernet з окремим каналом PoE HAT.

Модуль відеокамери Raspberry Pi v2 встановили на БК (рис. 3). Він має 8-мегапіксельний сенсор Sony IMX219 [12]. Він підтримує відеорежими 1080p30, 720p60 і VGA90. Модуль приєднується через 15-сантиметровий стрічковий кабель до порта CSI на комп'ютері Raspberry Pi.

Модуль GPS-сенсора і компаса. На гексакоптері встановили GPS-модуль Ublox-neo-m8n, об'єднаний з компасом HMC5883L [13] (рис. 5). Цей GPS-модуль є одним з найшвидших і точних GPS модулів. Відмінно підходить для стабільних, точних і швидких польотів по карті. Підходить для контролера польотів Pixhawk. Його особливості: швидкий пошук супутників (10 секунд на пошук 6 супутників); похибка вимірювання координат - до 0,6 метра; вбудований компас HMC5883L з частотою оновлення 160 Гц; підтримує різні системи координат: GPS + BD + SBAS, або GPS + GLONASS+SBAS.

Барометр використовується для отримання даних про тиск, за якими автопілот визначає свою висоту над рівнем моря або над рівнем рельєфу місцевості. У контролері Pixhawk встановлений барометр



Рис. 2. Фото бортового комп'ютера Raspberry Pi
1 – слот карти пам'яті, 2 – процесор, 3 – до живлення, 4 – до монітора, 5 – GPIO, 6 – USB



Рис. 3. Фото модуля відеокамери Raspberry Pi v2

MEAS MS5611.



Рис. 4. Фото пульта керування
1 – лівий джойстик, 2 – правий джойстик, 3 –
перемикачі режимів, 4 – дисплей

Регулятори швидкості обертання двигунів.

Використали регулятори Hobbywing XRotor 40A APAC Brushless ESC 2-6S швидкості обертання безколекторних двигунів SUNNYSKY V2814-11 800KV Outrunner Brushless Motor [14] (рис. 5). Вони призначені для перетворення сигналів від польотного контролера у силовий струм, який забезпечує потрібну швидкість обертання двигуна. Мають такі характеристики: робочий струм 40 А, максимальний струм 60 А, маса 26 грам.

Джерело живлення. Всі елементи комплексу використовують електричне живлення. Для підвищення часу польоту БПЛА вибрали сучасне джерело живлення з високою електроємністю і порівняно малою масою. У системі використали 3 літєво-полімерні акумуляторні батареї типу Multistar фірми Turnigy ємністю 5200 мА·год (рис. 5). Автопілот Pixhawk не має у своїй конструкції приладів для вимірювання рівня заряду акумуляторної батареї. Тому встановили спеціальний вольтметр Power

module, який висвітлював на моніторі рівень заряду.

Пульт керування коптером. Для ручного керування польотами гексакоптера використали багатофункціональний пульт Turnigy 9X pro [15] (рис. 4). У порівнянні з іншими аналогами цей пульт керування характеризується високою якістю виготовлення і надійністю при експлуатації.

Макет безпілотного авіаційного комплексу. На рисунку 5 зображена повна схема макета БПАК, використаного при експериментальних дослідженнях. Базовим елементом є гексакоптер 1, на якому встановлений контролер польоту Pixhawk 8, бортовий комп'ютер Raspberry Pi 7, закріплено GPS-модуль 1, шість моторів 9 і три акумуляторні батареї 5. Для керування в різних режимах польотів використовували

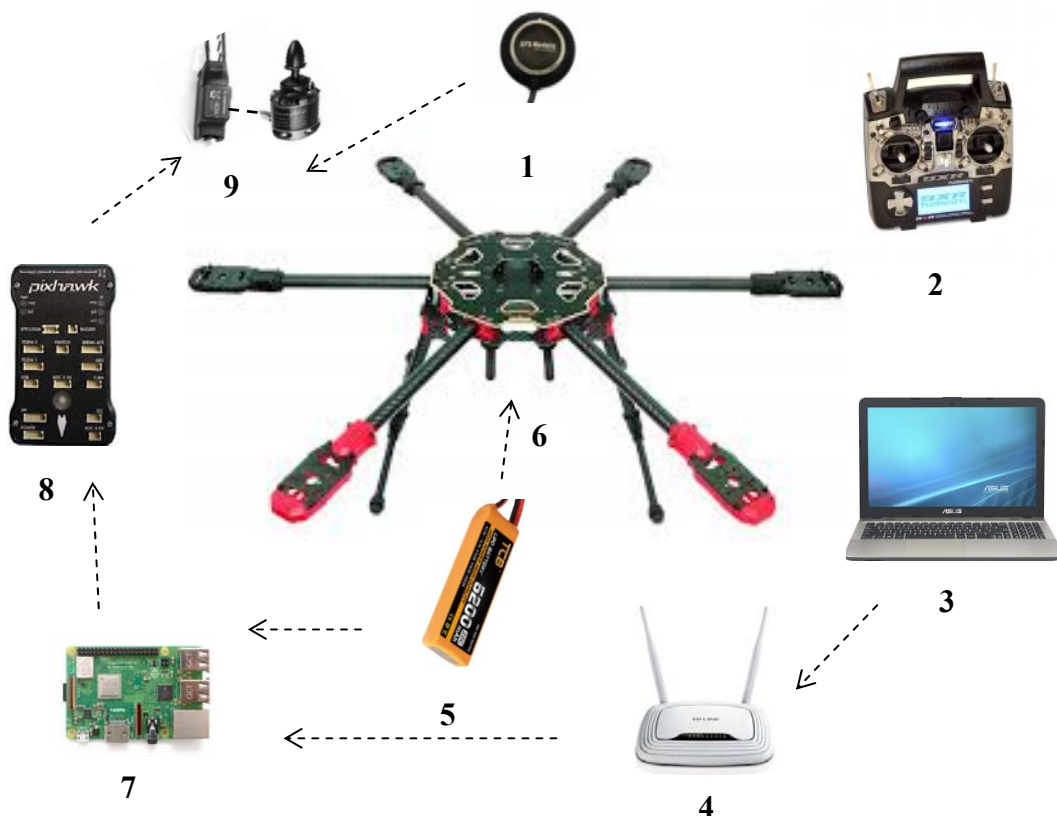


Рис. 5. Схема макета безпілотного авіаційного комплексу:
1 – GPS модуль, 2 – пульт керування, 3 – ноутбук, 4 – WiFi роутер, 5 – акумуляторна батарея,
6 – рама гексакоптера, 7 – бортовий комп'ютер, 8 – автопілот, 9 – мотор і регулятор обертів

пульт керування 2, ноутбук 3 і WiFi роутер 4.

Первинна перевірка роботи комплексу. Перед пуском макета безпілотного авіаційного комплексу (рис. 5) попередньо перевіряли налаштування усіх його елементів. Зв'язок між пультом керування і приймачем на гексакоптері радіосигналів від пульта налаштували на частоту 2,4 МГц, що дало можливість надійного зв'язку на відстанях порядку 300 м. При цьому автопілот коректно реагував на всі команди від

пульта керування.

Перевіряли наявність сигналів від не менше шести супутників для надійного позиціонування на карті. При пуску гексакоптера відбувався рівномірний рух вгору, а також стійке зависання у повітрі. Це свідчило про синхронність роботи моторів, а отже, про правильність автоматичного налаштування регуляторів швидкості обертання моторів. Перевірили працездатність та налаштування сенсорів коптера у відповідних режимах польотів – Stability, AltHold, Sport та інших. Виявили, що сенсори здатні забезпечити надійні польоти у всіх протестованих режимах. Для перевірки узгодженості роботи комплексу встановили зв'язок між автопілотом Pixhawk та бортовим комп'ютером Raspberry Pi. За допомогою власної програми, встановленої на БК, переконалися, що два пристрої (автопілот і комп'ютер) працюють узгоджено. Це свідчить про можливість експериментальних досліджень процесів фотозахоплення, фотопереслідування і знешкодження з використанням власних програм.

Висновки

Створений макет безпілотного літального комплексу на базі гексакоптера з рамою Tarot 680 з використанням автопілота Pixhawk PX4 та бортового комп'ютера Raspberry Pi для експериментальних досліджень процесів фотозахоплення, фотопереслідування і знешкодження з використанням власних програм.

Елементи гексакоптера (регулятори моторів, відеокамеру, компас, акселерометр, GPS-приймач і барометр) підібрали і змінили вихідні параметри для підвищення надійності роботи комплексу.

Література

1. Федішин Н. Система виявлення і супроводження літальних об'єктів з використанням звукової і фотоапаратури / Н. Федішин, В. Чигінь // Матеріали всеукр. наук.-техн. конф. "Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки". – Вінниця, 2017. – С. 309–311.
2. Федішин Н. Дослідження звукової системи виявлення літальних об'єктів з використанням гармонік в акустичному сигналі / Назар Федішин, Василь Чигінь // Матеріали міжнар. конф. молодих вчених та аспірантів "ІЕФ-2017". – Ужгород, 2017. – С. 13–15.
3. Чигінь В. І. Вимірювання координат безпілотних літальних об'єктів з використанням звукової і відеоапаратури / В. І. Чигінь, П. Я. Михайлишин // Матеріали V Всеукраїн. наук.-техн. конф. у царині метрології "Technical Using of Measurement – 2019". – Славське, 2019. – С. 10–12.
4. Сальник Ю. П. Сучасний стан оснащення Збройних сил України безпілотними авіаційними комплексами / Ю. П. Сальник, І. В. Матала, В. А. Онищенко // Збірн. наук. праць Харківського універс. Повітряних Сил. – 2011. – Вип. 2(28). – С. 46–51.
5. Глотов В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для військових цілей / В. Глотов, А. Гуніна, Ю. Телешук // Фотограмметрія, геоінформаційні системи та картографія. – 2017. – Вип. 1 (33). – С. 139–146.
6. Лаврівський М. Розвиток безпілотних літальних апаратів в Україні та світі для виконання завдань цивільного захисту / М. З. Лаврівський // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Т. 27, № 1. – С. 151–153.
7. Бабак В. Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів / В. П. Бабак // Пром. Теплотехніка. – 2017. – Т. 39, № 2. – С. 25–30.
8. Крошка О. С. Розробка системи стабілізації польоту квадрокоптера: магістерська робота, Запорізький націон. техн. універс. / О. С. Крошка. – Запоріжжя, 2017. – 84 с.
9. ArduPilot [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/ardupilot/>
10. Pixhawk [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://pixhawk.org/>
11. Raspberrypi Pi [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.raspberrypi.org>
12. Camera Module V2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>
13. Arduino.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://arduino.ua/prod1152-gps-modul-ublox-neo-m8n-s-kompassom>
14. Регулятор безколекторний hobbypower 30a [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://hobbymania.com.ua/tovar.php?id_tovar=2814
15. Turnigy Power Systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.turnigy.com/radios/>

References

1. Fedyshyn N. System of detection and escorting of flying objects with the use of sound and photographic equipment / Fedyshyn N., Chyhin V. // Actual problems of designing, manufacturing and exploitation of armaments and military equipment: materials of all countries. Sci.-Tech. Conf. Vinnytsya, - 2017. - p. 309 - 311.
2. Fedyshyn Nazar. Investigation of sound system for detecting flying objects using harmonics in an acoustic signal / Fedyshyn Nazar, Chyhin Vasyil // Internat. conf. Young Scientists and Postgraduates "IEF-2017". Uzhhorod, - 2017. - p. 13 - 15.
3. Chyhin V.I. Measurement of coordinates of unmanned aerial vehicles using sound and video equipment / Chyhin V.I., Mykhailyshyn P.Ya. // 5th Ukrainian science-techn. conf. in the field of metrology "Technical Use of Measurement - 2019". Slavske, - 2019, p. 10 - 12.

4. Salnik Yu.P. Current state of equipping the Armed Forces of Ukraine with unmanned aviation complexes / Yu.P. Salnik, I. V Matala, V. A. Onishchenko // Science works of Air Forces Kharkiv University. - 2011. - issue 2 (28). - p. 46 - 51.
5. Glotov V. Analysis of possibilities of using unmanned aerial vehicles for military purposes / V. Glotov, A. Gunina, Yu. Teleshchuk // Photogrammetry, geoinformation systems and cartography. – 2017. - issue 1 (33). - p. 139 - 146.
6. Lavrovsky M. Development of unmanned aerial vehicles in Ukraine and the world for civil defence tasks / M.Z. Lavrovsky // Scientific Herald of NLTU of Ukraine. – 2017. – vol. 27, No.1. - p. 151 - 153.
7. Babak V. Monitoring of thermal power engineering objects using unmanned aerial vehicles / V.P. Babak // Heat Industry Engineering. – 2017. - vol. 39, No. 2. - p. 25 – 30.
8. Kroshka O. Development of quadcopter flight stabilization system: master thesis, Zaporizhzhia Nation. Techn. University / O. S. Kroshka. – Zaporizhzhia, 2017. - 84 p.
9. ArduPilot. URL: <http://ardupilot.org/ardupilot/>
10. Pixhawk. URL: <https://pixhawk.org/>
11. Raspberrypi Pi. URL: <https://www.raspberrypi.org>
12. Camera Module V2. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/camera-module-v2/>
13. Arduino.UA. URL: <https://arduino.ua/prod1152-gps-modyl-ublox-neo-m8n-s-kompasom>
14. Free charge regulator hobby power 30a. URL: https://hobbymania.com.ua/tovar.php?id_tovar=2814
15. Turnigy Power Systems. URL: <http://www.turnigy.com/radios/>

Рецензія/Peer review : 17.3.2019 р.

Надрукована/Printed :10.4.2019 р.

Рецензент: д. фіз.-мат. н., проф. Малинич С. З.