

КОНСТРУКЦІЯ ТА ПОЛЬОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НА БАЗІ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**Є. Ю. Чемен, В. А. Водічев,***Державний університет «Одеська політехніка»*

Анотація: В статті розглядається конструкція безпілотних літальних апаратів та шляхи для удосконалення систем керування такими апаратами для розширення областей їхнього використання. Їх використання в цивільних, військових та спеціальних цілях. Описується конструкція БПЛА на базі чотирьох двигунного коптера – квадрокоптера. Розглянуті та описані існуючі розробки датчиків виміру висоти БПЛА та стабілізації положення. Пояснені принципи польоту дрону, роботи систем виміру висоти та стабілізації у повітрі. Описана конструкція та пристрої, які входять до складу БПЛА.

Ключові слова: Дрон, висотомір, регулятор, нейромережа, автоматична система керування, сенсори, безпілотний літальний апарат

Вступ

Дрони або Безпілотні Літальні Апарати (БПЛА або БЛПС – безпілотні літальні системи) – це літальні апарати, яким не потрібен пілот або пасажир на борту, вони керуються дистанційно з пульта керування або у складі системи автоматичного керування з центрального пункту [1]. Сучасні дрони в своєму складі містять чимало додаткового обладнання та, досить складну, систему керування. За рахунок активної розробки та удосконалення систем керування дронів, нових досягнень в галузях розробки датчиків, акумуляторів та систем керування з'являється все більше можливостей використання дронів в сферах повсякденного життя. Для України, як для аграрної країни використання дронів перш за все актуально для фермерських господарств. Але їх можна використовувати в таких сферах як – нафтопереробна промисловість, транспортні перевезення, рятувальні операції, геодезичні та картографічні роботи, будівельна сфера, метеорологія та ін. [2].

Першими розробками безпілотних літальних апаратів почали займатися на початку ХХ століття. Активно використовувалися розробки безпілотної авіації після закінчення Першої світової війни та у Великобританії в 1933р. було представлено першу БПЛА-мішень «Queen Bee». Після чого розробку систем БПЛА для використання у військових цілях розпочали такі країни як, СРСР, США, Китай, Ізраїль та ін. За останні 10 років поширилося використання

дронів у цивільних цілях, в більшій частині, для професійної та аматорської аерофотозйомки. З поступовим розвитком інновацій в області БПЛА, їх використання стало можливим у більшості сфер суспільного життя й промисловості.

На теперішньому етапі наукового прогресу в галузі розробки дронів, їх можна класифікувати на декілька типів, в залежності від областей використання. Найбільш поширені два типи дронів - з фіксованим крилом (Fixed Wing – принцип літака) та дрони з декількома двигунами (мультикоптери, квадрокоптери, гексакоптери та ін.). Серед численних переваг від використання БПЛА виділяють декілька основних – маленькі розміри, швидкість, маневреність, безшумність (відносно пілотованих ЛА), незалежність від користувача (автоматичне керування), швидкість моніторингу необхідної зони (немають попередньої підготовки до вильоту) та ін.

Найбільше поширення БПЛА у військовій промисловості, у всіх країнах світу на озброєнні армій є дрони для розвідки і для атак з повітря. Основними призначеннями дронів для військових та цивільних цілей є безпілотний моніторинг або розвідка подій, передача інформації до оперативного персоналу безпосередньо з місця події, контроль та планування подій, безпілотне патрулювання, збір інформації та ін. [2]. Оскільки використання дронів в різних галузях стрімко поширюється, то виділяють основні проблеми при їх експлуатації. Загальними для всіх типів дронів є неточності системи керування БПЛА, відносно малий час польоту, незахищеність зв'язку.

Постійна робота ведеться в галузі розробок

та удосконалення складових системи керування польотом дрону, його стабілізацією у повітрі та правильній роботі нових функцій ЛА. У даній статті описуються розробки датчиків висоти та стабілізації БПЛА, що дають змогу модернізувати ситсему автоматичного керування безпілотного літального апарату з ціллю максимально чітко стабілізувати положення дрону, та сенсори виміру висоти, правильні дані яких дозволяють утримувати дрон на одному рівні. Вирішення даних проблем буде актуальним для БПЛА, які передбачається використовувати у спеціальних галузях промисловості, таких як, сільське господарство, рятувальні операції, будівництво та ті галузі, в яких до системи керування БПЛА пред'являються суворі вимоги до точності.

1. Цілі та задачі статті

Ціллю даної роботи є розбір конструкції БПЛА, розгляд основних частин, аналіз та порівняння технологій датчиків виміру висоти та стабілізації польоту дронів, опис процесів керування БПЛА на основі змінених датчиків стабілізації положення у повітрі та регуляторів висоти пристрою.

2. Теорія польоту БПЛА.

Розглянемо принципи польоту квадрокоптера – безпілотного ЛА з чотирьома привідними двигунами, розташованими по діагоналі. Загальна схема улаштування такого типу коптеру показана на рис.1. [3]:

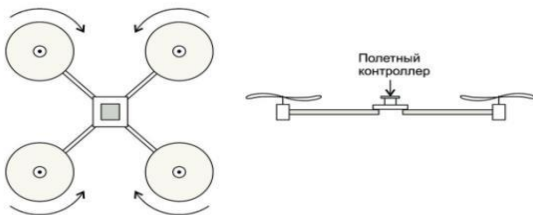


Рис.1. Схема улаштування квадрокоптера.

Як видно з рис.1, квадрокоптер представляє собою 4 двигуни, які розташовані на рамі і керуються контролером польоту, при чому два двигуни обертаються за часовою стрілкою, а два проти неї. Привідні двигуни квадрокоптера створюють його основну тягу й керують основними рухами. Для підйому коптеру у повітря необхідно, щоб всі двигуни оберталися з однаковою підвищеною швидкістю. Для повороту або нахилу по сторонам, швидкості обертання одного/двох привідних двигунів змінюються і рама ЛА нахилиється й рухається в сторону. Але при нахилі рами квадрокоптера (рис.2) вектор тяги V_x збільшується, а V_y знижується, що на практиці рівносильно

зниженню висоти, тому при регулюванні швидкостей ЛА завжди є компенсуюча складова швидкості привідних двигунів.

Як було сказано вище, два гвинти коптеру обертаються в протилежну сторону від двох інших. Це зроблено для компенсації реактивних моментів, які виникають при обертанні моторів і намагаються розвертати дрон у повітрі. Крім того, дана особливість дає змогу повертати дрон при керуванні дистанційно за допомогою пульта керування.

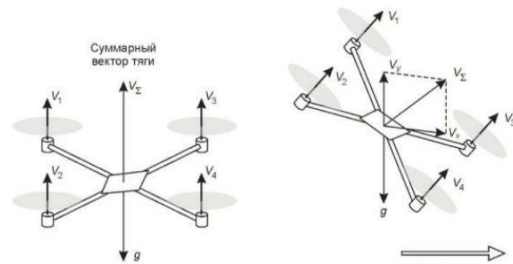


Рис.2. Вектори тяги квадрокоптера.

Для кожного літального апарату в аеродинаміці виділяються три основних осі руху, які задають орієнтацію та напрямлення вектору руху. Три осі прийнято називати – крен, тангаж та рискання, які описані Л. Ейлером як третя система кутів повороту, що дозволяє привести будь-яке положення системи до вхідного:

- Крен (Roll) – поворот квадрокоптера відносно його поздовжньої осі, що для квадрокоптера означає нахил влі-во/вправо;
- Тангаж (Pitch) – поворот квадрокоптера відносно його поперечної осі, що для квадрокоптера означає нахил вперед/назад;
- Рискання (Yaw) – поворот квадрокоптера відносно вертикальної осі без зміни його положення у повітрі.

Реалізації основних кутів повороту об'єкту в повітрі відбувається за рахунок зміни швидкості привідних гвинтів. Для реалізації підйому квадрокоптера необхідно, щоб всі привідні двигуни працювали з однаковою максимальною кутовою швидкістю.

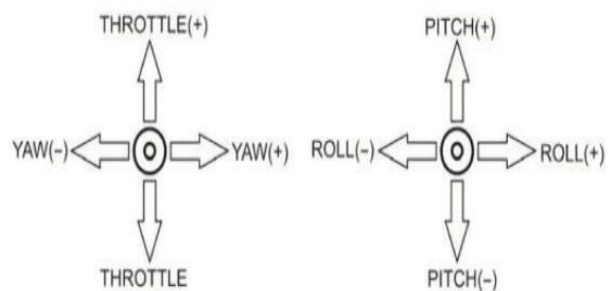


Рис.3. Реалізація тангажу, крену та рискання для квадрокоптера.

Для керування функціями крену та тангажу один двигун (в залежності від напрямлення повороту) мав вищу кутову швидкість. Реалізація крену, тангажу та рискання відображена на рис.3. Для керування кутовими швидкостями проривних роторів, в конструкції дрону є спеціальний контролер польоту (КП). КП дрону є комплексним пристроєм, який складається з програмованого контролеру та декількох датчиків (зазвичай це барометр, компас, гіроскоп, акселерометр). Постійно отримуючи сигнали від датчиків, БПЛА та пульта керування, КП регулює швидкості двигунів, а відповідно й позиціонування та стабілізацію дрону у повітрі.

За точність стабілізації коптеру у повітрі відповідає регулятор, який вбудовується в плату контролеру польоту або програмується. Представляє собою PID-регулятор, який отримує дані про поточні швидкості двигунів та дані про поточне положення дрону від датчика блоку IMU і видає регулюючі сигнали до привідних двигунів. Також контролер польоту може містити в своєму складі окремі датчики висоти, GPS-модуль, барометр, компас, блок інерційних вимірювань IMU тощо [3, 4].

3. Конструкція квадрокоптера.

Квадрокоптери – безпілотні літальні апарати мультикоптерного або багатодвигунного типу з чотирьома привідними двигунами. Дрон такого типу складається з рами, привідних двигунів, блоку керування, датчиків швидкості, датчику висоти, акселерометру, гіроскопу, батареї та іншого додаткового обладнання, яке вибирається в залежності від призначення дрону [3,4]. Розглянемо більш детально кожний елемент.

Рама – основа, на якій кріпиться все обладнання, виділяють дві основні варіації рами – «X» та «+» (рис.4) [3].

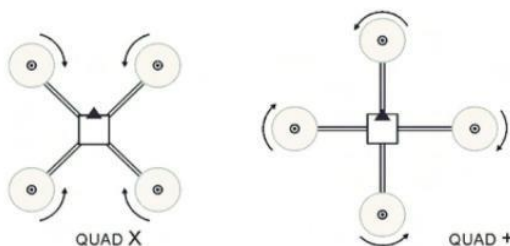


Рис.4. Різновидності конструкції рами квадрокоптера.

Вимогами до рами є легкість та міцність, оскільки від маси рами зростає навантаження на двигуни. Для квадрокоптерів раму виготовляються із алюмінію, пластику та інших аналогічних матеріалів.

Контролер польоту – складний пристрій, який об'єднує в собі декілька датчиків, працює за складним програмним алгоритмом. Проста схема КП зображена на рис.5.

Його основною задачею є циклічне опитування та збір інформації від існуючих датчиків та видача керуючих сигналів на привідні двигуни. Вхідними сигналами для КП є дані з пульта керування, дані про швидкість, дані про положення у повітрі. До складу контролеру польоту можуть входити такі датчики як акселерометр, гіроскоп або інерційний вимірювальний комплекс (IMU), який комбінує декілька датчиків виміру поточного положення дрону, датчик магнітного поля та ін.

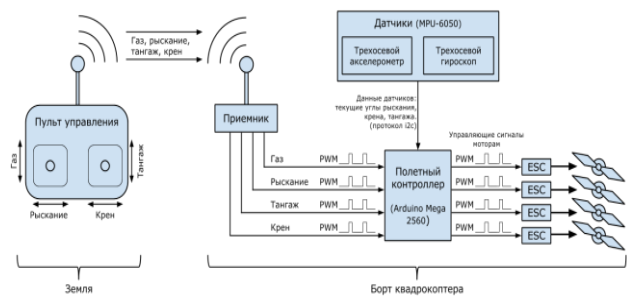


Рис.5. Структурна схема роботи контролера польоту.

Регулятор – є важливим елементом будь-якого коптеру, в залежності від діючої швидкості, впливу відхиляючих сил, регулятор видає сигнали ШИМ-модульованої напруги на зміну швидкостей привідних двигунів. У більшості квадрокоптерів застосовуються PID-регулятори та їх аналоги або нові розробки регуляторів на базі нейромереж, нечіткої логіки та ін. [5, 6].

Датчики швидкості – окремі мікропроцесорні плати, які скісно оцінюють кутову швидкість кожного з привідних двигунів та передають показники на КП.

Електродвигуни – необхідні для перетворення електричної енергії від ШИМ-модуляції контролера польоту в механічну – обертання гвинтів та створення тяги квадрокоптера. Для більшості сучасних квадрокоптерів використовуються електродвигуни постійного струму безколекторного виконання. Характеризуються ці двигуни постійною – KV. Значення KV для безколекторного двигуна це відношення обертів двигуна без навантаження до максимальної величини напруги. Такі двигуни можуть розвивати необхідний крутячий момент для підйому ЛА.

Датчик висоти – пристрій для виміру поточного значення висоти. На більшості квадрокоптерів використовується два або три різних датчики для виміру цього параметру. Використовується барометричний, ультразвуковий датчик та

GPS-датчик [7]. Значення висоти потрібне для побудови маршрутів автоматичного слідування. Блок живлення, що представляє собою акумуляторну батарею, зазвичай, типу Li-Po, яка має невелику масу при непоганих технічних параметрах, напруга живлення зазвичай складає 3,7В. Додаткове обладнання для дронів підбирається виходячи із тих задач, які до нього пред'являють. Частіше для любительських цілей це підвіс камери для відеозйомки з висоти. Якщо застосування у виробничих цілях, то це можуть бути спеціальні камери, датчики або інше високотехнологічне обладнання.

Дистанційне керування дроном забезпечується пультом керування. Канал зв'язку між дроном та пультом організовується через WIFI-канал або радіо-канал на частоті 2,4 ГГц та 5,8 ГГц.

4. Системи виміру та контролю висоти.

Виходячи з описаних принципів польоту БПЛА та їх конструкції для отримання найкращих якісних показників, необхідно постійно вимірювати значення висоти ЛА. Для виміру висоти в більшості БПЛА використовується спеціальний датчик висоти - висотомір. Зазвичай, у дронах використовується декілька систем для виміру дійсної висоти. Вимір показників висоти необхідний для користувача, оскільки надає інформацію про миттєву висоту, на якій знаходиться дрон у даний момент часу, крім того показники висоти забезпечують працездатність режиму утримання висоти (Hold Altitude Mode). Для воєнних та спеціальних цілей актуальним буде автоматизація процесу польоту на одній висоті й на великі відстані, що, при правильному налаштуванні, забезпечується висотоміром.

На більшості сучасних БПЛА типу квадрокоптери, які використовуються у громадянських цілях або у спецслужбах, встановлені барометричні датчики висоти [8]. Їх принцип простий – при зміні висоти, пропорційно змінюється й тиск барометру, на що реагує система керування й видає відповідні команди привідним двигунам. Неточність такого датчику проявляється при висотах до 15м, оскільки на такому рівні показання барометра майже незмінні.

Для забезпечення коректних вимірювань висот до 15м. на деяких апаратах використовуються ультразвукові дальноміри. Їх принцип полягає у вимірі часу між імпульсами прийому/відображення ультразвукового сигналу. Недоліком такого датчику є залежність від середовища, де використовується квадрокоптер.

Ще одним типом датчику висоти на існуючих моделях квадрокоптерів є GPS-датчик, який

для отримання інформації про своє місцезнаходження відправляє сигнали 2-3 супутникам. Недоліком датчику є неможливість використання у закритих приміщеннях. Точність такого датчика може досягати 10 метрів (залежить від прийому сигналів супутника) [8]. Останньою розробкою, яку представили в напрямку датчиків висоти є детектор візуального позиціонування. Принцип дії простий – спеціальна камера, закріплена знизу, моніторить об'єкти над якими знаходиться дрон. Такий детектор є досить вибагливим тому що, в залежності від того, яка освітленість, час доби та інших погодних явищ показники висоти постійно змінюються або оцінюються неправильно. На сьогодні відомо, що в якості системи виміру висоти на літаках та військовій авіації встановлені системи радіовисотомірів або системи RADAR [9]. Такі сенсори відносяться до систем типу TOF – час польоту, а принцип будується на вимірі відрізка часу між прийнятим та відправленим сигналом електромагнітних хвиль з достатньо великою довжиною хвилі, схема роботи показана на рис.6.:

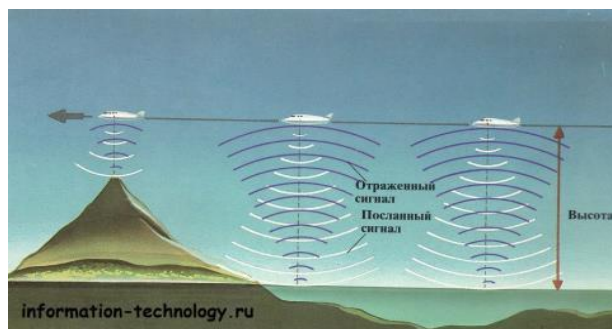


Рис.6. Схема вимірювання висоти з використанням радіовисотоміру.

Такі пристрої використовуються на повітряних суднах разом з іншими пристроями вимірювання висоти. Перевагами використання таких пристроїв є незалежність від погодних умов і середовища. Можливості вимірювань даних пристроїв досить значні – висота до 30км з точністю до 1м. Одним з недоліків є великі неточності при зміні куту тангажу та крену більше 40° , крім того шуми та поміхи при використанні таких пристроїв вимагають застосування фільтрів.

Поряд з системами типу RADAR можливе застосування систем LIDAR і LADAR [10, 11]. Принцип роботи будується на використанні променів світла для виміру відстані між датчиком та об'єктом. Такий сенсор відноситься до TOF-сенсорів, які вимірюють час між відправленим та відображеним променями світла. Основна різниця між системами LIDAR та LADAR в куті розбіжності використовуваного променя світла,

Для забезпечення якісного рівня стабілізації дронів з PID-регулятором необхідно підбирати коефіцієнти складових регулятора. Для точності часто використовують підстройку на місці з врахуванням повного навантаження на дрон разом з встановленим додатковим обладнанням. Для оцінки якісних характеристик на рис. 9

приводиться графік залежності кутової швидкості вхідної координати – ристання.

На графіку присутні ділянки, які суттєво відрізняються від заданого параметру, але, взагалі, даний регулятор видає досить якісні характеристики, точності яких вистачає для більшості вимог, які до нього пред'являються.



Рис.9. Графік залежності бажаної та фактичної координати дрону PID-регулятора [13].

Крім регуляторів, які напряду впливають на керуючі сигнали привідних двигунів, на стабілізацію впливає тип та якість акумуляторів живлення дрону, оскільки різкі зміни навантаження на батарею викликає просадки напруги, що негативно впливає на PID-регулювання і відповідно на стабілізацію польоту БПЛА. Основними перевагами використання регуляторів типу PID для БПЛА систем є простота порівняно з іншими подібними

системами, відносна дешевизна, точність, якої достатньо для стабільного польоту не відповідальних використовуваних БПЛА. Серед останні розробок в області стабілізації польоту БПЛА виділяється системи стабілізації з інтегруванням сенсору на базі нейронних мереж [6]. Використання регуляторів на основі нейронних мереж передбачає побудову більш складного програмного алгоритму, розробку умов працездатності системи тощо.

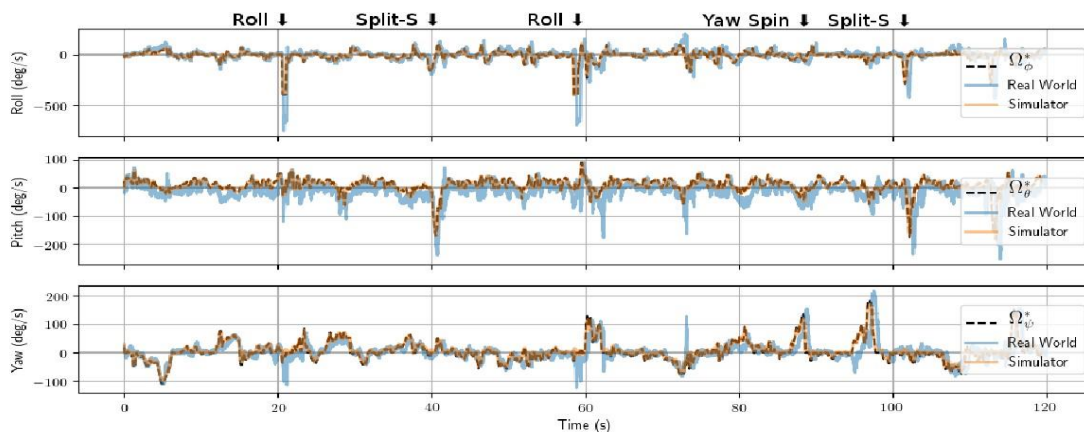


Рис.10. Графік залежності бажаних та фактичних координат дрону при використанні нейрорегулятора [6].

Перевагами таких регуляторів є гнучкість налаштування, можливість тренування системи та самостійна оптимізація – тривалий процес навчання нейронної мережі дає змогу отримати найкращі результати вихідних даних. Нейрорегулятори позиціонуються як

альтернатива PID. Для системи польоту квадрокоптеру вхідними даними є інформація з датчиків поточного положення квадрокоптеру – кути крену, тангажу та ристання, тобто, вхідними нейронами нейрорегулятора будуть – поточні значення про положення об'єкту у

просторі. Проміжними нейронами виступають алгоритми зміни кутів швидкостей відповідно до зміни кутів руху коптеру. Вихідними нейронами виступають керуючі сигнали для привідних двигунів, які поступають до контролеру польоту для визначення параметрів поточної потужності кожного.

На рис. 10 приводиться графік залежності трьох основних кутів керування квадрокоптером - крен, тангаж та ристання. На графіках виділені відхилення між реальними даними польоту коптеру з нейрорегулятором та заданий маршрут польоту. Виходячи з даних цього графіка реальний маршрут польоту дрону при невеликих змінах кутів керування, повністю копіює заданий, при різких змінах тангажу, крену та ристання, в місцях піків графіку видні значні перерегулювання, в деяких випадках система відпрацьовувала некоректно.

Виходячи за графіку можна сказати, що більш раціонально використовувати регулятори на основі нейронних мереж, порівняно з PID-регуляторами, оскільки за рахунок можливості навчання нейромережі, вона сама може покращити свої характеристики та видати більш кращий результат - забезпечити стабільний політ.

6. Висновки та майбутні дослідження.

В даній статті представлена інформація щодо конструкції та використання безпілотних літальних апаратів з описом конструктивних рішень окремих елементів. Представлені та описані розробки в напрямленнях виміру висоти та стабілізації БПЛА. Описана загальна конструкція БПЛА на базі квадрокоптера.

Розглянуті існуючі варіанти датчиків виміру висоти, які необхідні для дронів спеціального виконання. Представлені 3 існуючі системи – барометрична, ультразвукова та візуальне позиціонування. Серед систем, які не зустрічаються на дронах цивільного призначення, представлені системи RADAR, LIDAR і LADAR. Можливості їх використання в якості сенсорів на БПЛА, переваги та недоліки. Системи типу RADAR відносяться до систем ToF, передача сигналу електромагнітними хвилями. LIDAR і LADAR відносяться до оптичних висотомірів.

Розглянуті два варіанти стабілізації польоту дрону, використання регуляторів на базі нейронних мереж та традиційні системи з використанням PID-регуляторів. Описана робота таких регуляторів, приведені графіки, які показують різницю між заданим та реальним кутами відхилення крену тангажу та ристання,

що дає змогу оцінити переваги використання кожного з регуляторів.

У якості майбутнього дослідження передбачається розробка прототипу квадрокоптера для дослідження розглянутих систем виміру висоти та стабілізації польоту. Побудова математичної моделі з використанням датчиків та регуляторів, описаних тут, для дослідження реальної їх реальної поведінки у польових умовах. Інтеграція систем LADAR, LIDAR і RADAR як основних для БПЛА, та розробка максимально компактних та легких прототипів даних пристроїв. Також удосконалення існуючих регуляторів стабілізації положення або розробка нового.

Список використаної літератури

1. Kardasz P. Drones and Possibilities of Their Using. [Text] / Kardasz P, Doskocz J, Hejduk M, Wiejkut P, Zarzycki H. // *J Civil Environ Eng* 6: 233. (2016), doi: 10.4172/2165-784X.1000233.
2. Гришина Ю. С. Дрони на службі миру. [Текст] / Гришина В. А. // Журнал «Робототехніка і системний аналіз» 2015, випуск 1, – С. 1–15.
3. Яценков В. С. Твой первый квадрокоптер: теория и практика. [Текст] / Яценков В.С. // СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 256с.: ил. – (Электроника) – С. 1–30.
4. Vergouw, Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments. [Text] / Bas & Nagel, Huub & Bondt, Geert & Custers, Bart. // 2016 10.1007/978-94-6265-132-6_2.
5. Perez. Quadrotors in factory applications: design and implementation of the quadrotor's P-PID cascade control system Modeling and implementation. [Text] / Perez, Alejandro & Wagner, Johannes & Burggräf, Peter & Roth, H. // *SN Applied Sciences.*, 2019, 1. 10.1007/s42452-019-0698-7.
6. Koch, Neuroflight: Next Generation Flight Control Firmware [Text] / Koch, Wil & Mancuso, Renato & Bestavros, Azer. // 2019.
7. Gowda. Integrating GLONASS with GPS for Drone Orientation Tracking. [Text] / Gowda, Mahanth & Manweiler, Justin & Dhekne, Ashutosh & Choudhury, Romit & Weisz, Justin. // 2017. 77-92. 10.1007/978-3-319-67235-9_7.
8. Zaliva Vadim, Barometric and GPS altitude sensor fusion. [Text] / Zaliva Vadim & Franchetti, Franz. // *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing – Proceedings 2014.* 7525-7529. 10.1109/ICASSP.2014.6855063.
9. Akmaykin D., Radar Systems of Air

Transport. [Text] / Akmaykin D., Bolelov E. & Kozlov A., Lezhankin B, Svistunovr A, Shtrakov, Y. // 2021. 10.1007/978-981-33- 6514-8_11.

10. Hakima., LADAR and Optronics-Based System for Space Object Identification [Text] / Houman. A // (2020).

11. Mano K., THE MEASUREMENT ACCURACY AND MEASUREMENT CHARACTERISTICS OF GREEN LiDAR DRONE. [Text] / Mano, K., Sakai K., Tachibana, K., Sakita, K., Nishiyama, S. // ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 2020. XLIII-B1-2020. 479-483. 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020- 479-2020.

12. Kurniawan A., IMU Sensor: Accelerator and Gyroscope. [Text] / Kurniawan A. // 2021. 10.1007/978-1-4842- 6446-1_3.

13. Thusoo R, PID Control of a Quadrotor. [Text] / Thusoo R., Jain S., Bangia S. // 2020, 10.1007/978-981-15-5341-7_48

14. Tun H., Implementation of PID Controller Design for UAV [Text] / Tun H., Myint C. // 2020.

References

1. Kardasz, P., Doskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., Zarzycki, H. (2016) Drones and Possibilities of Their Using. *J Civil Environ Eng* 6: 233. doi: 10.4172/2165-784X.1000233

2. Grishina, Y. S. Drones in the service of peace. (2015) [drony na slyzbe miry], Journal "Robotics and Systems Analysis", issue 1.

3. Yatsenkov V. S. Your first quadcopter: theory and practice. (2016) [tvoi perviy kvadrocopter: teoriya I practica] - SPb.: BHV-Petersburg, - 256p.: (Electronics)

4. Vergouw, Bas & Nagel, Huub & Bondt, Geert & Custers, Bart. (2016). Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments. 10.1007/978-94-6265-132-6_2.

5. Perez, Alejandro & Wagner, Johannes & Burggräf, Peter & Roth, H.. (2019). Quadrotors in

factory applications: design and implementation of the quadrotor's P-PID cascade control system Modeling and implementation. *SN Applied Sciences*. 1. 10.1007/s42452-019-0698-7.

6. Koch, W., Mancuso, R., Bestavros, A., (2019). Neuroflight: Next Generation Flight Control Firmware.

7. Gowda, M., Manweiler, J., Dhekne, A., Choudhury, R., Weisz, J. (2017). Integrating GLONASS with GPS for Drone Orientation Tracking. 77-92. 10.1007/978-3- 319-67235-9_7.

8. Zaliva, V., Franchetti, F. (2014). Barometric and GPS altitude sensor fusion. *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*. 7525-7529. 10.1109/ ICASSP. 2014. 6855063.

9. Akmaykin, D., Bolelov, E., Kozlov, A. Lezhankin, B., Svistunov, A, Shtrakov, Y. (2021). Radar Systems of Air Transport. 10.1007/978-981-33- 6514-8_11.

10. Hakima, H., (2020). A LADAR and Optronics-Based System for Space Object Identification.

11. Mano, K., Sakai, K., Tachibana, K., Sakita, K., Nishiyama, S., (2020). THE MEASUREMENT ACCURACY AND MEASUREMENT CHARACTERISTICS OF GREEN LiDAR DRONE. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLIII-B1-2020. 479-483. 10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2020- 479-2020.

12. Kurniawan, A., (2021). IMU Sensor: Accelerator and Gyroscope. 10.1007/978-1-4842-6446-1_3.

13. Thusoo R., Jain S., Bangia S., (2020). PID Control of a Quadrotor. 10.1007/978-981-15-5341-7_48.

14. Tun, H. & Myint, C., (2020). Implementation of PID Controller Design for UAV Implementation of PID Controller Design for UAV.

CONSTRUCTION AND FLIGHT CHARACTERISTICS UNNAMED AERIAL VEHICLE'S

E. Y. Chemen, V. A. Vodichev
Odessa Polytechnic State University

Abstract: *This article presents information on the design and use of unmanned aerial vehicles with a description of the design solutions of individual elements. The purpose of this work is to analyze the design of the UAV, review the main parts, analysis and comparison of technologies for measuring altitude and stabilization of drone flight, description of UAV control processes based on modified stabilization in air space sensors and altitude regulators. Developments in the areas of height measurement and UAV stabilization are presented and described at the current time. The general design of a UAV based on a*

quadcopter is described. The existing variants of altitude sensors, which are necessary for drones of special design, are considered. 3 existing systems are described - barometric, ultrasonic and visual positioning. RADAR, LIDAR and LADAR systems are among the systems that are not found on civil drones, because they very have a complex design and are quite expensive for simple drones. Possibilities of their use as UAV altitude sensors, advantages and disadvantages. RADAR systems is ToF systems, which measure time of flight transmission by electromagnetic waves. LIDAR and LADAR are optical height meters, which work similarly systems RADAR. Two variants of drone flight stabilization, use of regulators on the basis of neural networks and traditional systems with the use of PID-regulators are considered. The work of such regulators is described, graphs are given, which show the difference between the set and real angles of deviation of the pitch and yaw, which allows to evaluate the advantages of using each of regulators.

As a future study, the development of a prototype quadcopter for the study of the considered systems of altitude measurement and flight stabilization is envisaged. Building a mathematical model using sensors and regulators described here to study their real behavior in the field. Integration of LADAR, LIDAR and RADAR systems as the additional measurement systems for special and civil UAVs.

Key words: Drone, altimeter, regulator, neuroflight, automatic control system, sensor's, Unmanned aerial vehicle.

КОНСТРУКЦИЯ И ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Е. Ю. Чемен, В. А. Водичев

Государственный университет «Одесская политехника»

Аннотация: В статье рассматривается конструкция беспилотных летательных аппаратов и пути для совершенствования систем управления такими аппаратами для расширения областей их использования. Их использование в гражданских, военных и специальных целях. Описывается конструкция БПЛА на базе четыре моторного коптера - квадрокоптера. Рассмотрены и описаны существующие разработки датчиков измерения высоты БПЛА и стабилизации положения. Объяснены принципы полета дрона, работы систем измерения высоты и стабилизации в воздухе. Описана конструкция и устройства, входящие в состав БПЛА.

Ключевые слова: Дрон, высотомер, регулятор, нейросеть, автоматическая система управления, сенсоры, беспилотный летательный аппарат

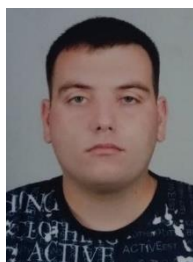
Отримано 16.04.2021



Водичев Володимир Анатолійович, Державний університет «Одеська політехніка», доктор технічних наук, професор, професор кафедри електромеханічної інженерії. Пр-т. Шевченко, 1, Одеса, Україна, E-mail: vva@eei.opu.ua, тел. +38(050)2347722

Vladimir Vodichev, Odessa Polytechnic State University, Dr. of Science, Professor, Associate Professor of the Department of electromechanical engineering, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: vva@eei.opu.ua, tel. +38(050)2347722

ORCID ID: 0000-0002-7204-1149.



Чемен Євгеній Юрійович, Державний університет «Одеська політехніка», аспірант кафедри електромеханічної інженерії. Пр-т. Шевченко, 1, Одеса, Україна. E-mail: echemen85@gmail.com, тел. +38-067-144-5295

Chemem Evhenii, Odessa Polytechnic State University, postgraduate student of Department of electromechanical engineering, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: echemen85@gmail.com, tel. +38-067-144-5295

ORCID ID: 0000-0003-1436-21