

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни

«Загальні знання дистанційно пілотованих повітряних суден : Планер та системи безпілотних літальних апаратів»
обов'язкових компонент освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт
Оператор безпілотних літальних апаратів**

за темою № 6 Системи керування повітряних суден

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник:

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, викладач-спеціаліст Самохліб Олександр Олександрович

Рецензенти:

- 1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.*
- 2. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.*

План лекції:

1. Загальні відомості про системи керування.
2. Мета і опис технічного процесу.
3. Опис математичної моделі.
4. Опис програмного забезпечення.
5. Подальші дослідження та розробки.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2010. – 383 с.
2. Кулик М.С., Тамаргазін О.А. Конструкція, міцність та надійність газотурбінних установок і компресорів. Київ: НАУ, 2012. 477 с.
3. Іноземцев А.А., Сандрацький В.Л. Газотурбінні двигуни. П.: ВАТ «Авіадвигун», 2011. 1024 с.

Допоміжна література:

4. Царенко А.О. Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 227 с.
5. Царенко А.О. «Вертоліт Мі-8Т. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 250 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/878899d8-b7a7-4481-af22-9835c0748ba0/content>

Текст лекції

Загальні відомості про системи керування

На сьогоднішній день технології по всьому світу стрімко розвиваються, у тому числі й автоматизація, технологічний прорив в індустріалізації та в секторах, що з нею пов'язані, дозволяють дивитися по-новому на існуючі проблеми та вирішувати їх новими сучасними та актуальними способами. Наприклад, застосування безпілотних технологій в аграрному та промисловому секторах – це одна з нових та дуже актуальних технологій, яка ще була недоступна 10 років тому і лише починала розвиватися на той час. Безпілотні технології настільки універсальні, що можуть вирішувати чимало проблем у різних галузях, таких як: сільське господарство, видобувна промисловість, геодезія, топографія, нафтогазова промисловість, телекомунікація, оперативне страхування, енергоефективність, транспортування тощо.

В Україні, як і в усьому світі загалом, найактивнішим використанням безпілотних технологій є аграрний сектор. Впровадження дронів у сільське господарство – вирішує низку проблем, наприклад, таких як: моніторинг сільгосп угідь на наявність підтоплень території, контроль рівномірності посіву, прогноз врожайності, боротьба зі шкідниками врожаю, розпилення добрив, полив тощо. Вирішення перелічених вище проблем придбало такий термін, як – точне землеробство. Точне землеробство дозволяє експлуатувати

аграрний сектор із максимальною ефективністю для його власника. При впровадженні одного дрону з'являється ряд можливостей як: складання планів та карт сільськогосподарської землі, моніторинг структури площ для посівів та контроль за використанням угідь, визначення ділянок заболоченості місцевості, ерозії ґрунту, надлишку вологи чи засихання території, вивчення змін ґрунтів та складання планів та карт змін ґрунту, прогнозування та оцінка врожайності та якості плодів, розрахунок точкового внесення мікродоз добрив та необхідних препаратів, планування комплексу агротехнологічних робіт для досягнення максимального врожаю. Таким чином, "use case" (прикладне застосування) дронів - дуже широко і різноманітно.

Можна дійти невтішного висновку, що безпілотні технології – невід'ємна частина технологічного прориву у промисловості й у області автоматизації. Використання дронів без систем автоматизації – давало б менший приріст ефективності використовуваних галузях, т.к. ручне управління відразу має на увазі під собою помилки, пов'язані з людським фактором, які вели б до зниження ефективності у поставлених завдань. Тому при застосуванні дронів можна провести взаємозв'язок між ефективністю дрону, тобто. його значимості та її системою автоматизації. Чим система автоматизації якісніша, стабільніша і точніша, тим стає більшою ефективність від використання дрону.

На сьогоднішній день, у світі існує багато різних розробок систем автоматичного керування дронами, причому як літакового типу, так і мультироторного. Системи автоматичного управління дронами – в основному націлені на автоматичний політ за конкретним маршрутом та на стабілізацію у просторі. Під стабілізацією у просторі мається на увазі управління положенням безпілотного літального апарату відносного просторових кутів тангажу, крену та нишпорення. У літературі можуть зустрічатися як кути Крилова чи кути Ейлера. Автоматичний політ маршрутом – у свою чергу передбачає позиціонування або подолання конкретної точки в просторі з координатами x , y , z , або точку з конкретним значенням широти, довготи і висоти. Системи автоматичного управління (САУ) безпілотними літальними апаратами (БПЛА) принципово діляться на 2 категорії – БПЛА мультироторного типу (квадрокоптери, октокоптери, трикоптери тощо) і БПЛА з фіксованим крилом, тобто. літакового типу. Як правило, САУ БПЛА в більшості випадків адаптивні, мають декілька внутрішніх перехресних зв'язків і в них покладено принцип регулювання кута, кутової швидкості, а також кутового прискорення.

Мета та опис технічного процесу

Мета процесу польоту за певним маршрутом полягає у чіткому позиціонуванні квадрокоптера у просторі та мінімальне відхилення від заданої траєкторії, тобто позиціонування по просторових координатах X , Y , Z . Ці координати керуються шляхом комбінованої зміни швидкостей окремих двигунів.

Для процесу управління польотом дрона по заданій траєкторії, до впливів, що управляють, доцільно віднести зміну швидкості обертання двигунів (вона ж є - зміною тяги двигунів) - u1 4.



До контрольованого обуренням доцільно віднести вагу коптера f_2 . Всі інші вхідні впливи, крім керуючого дії та контрольованого збурення f_1 , віднесемо до неконтрольованих збурень.

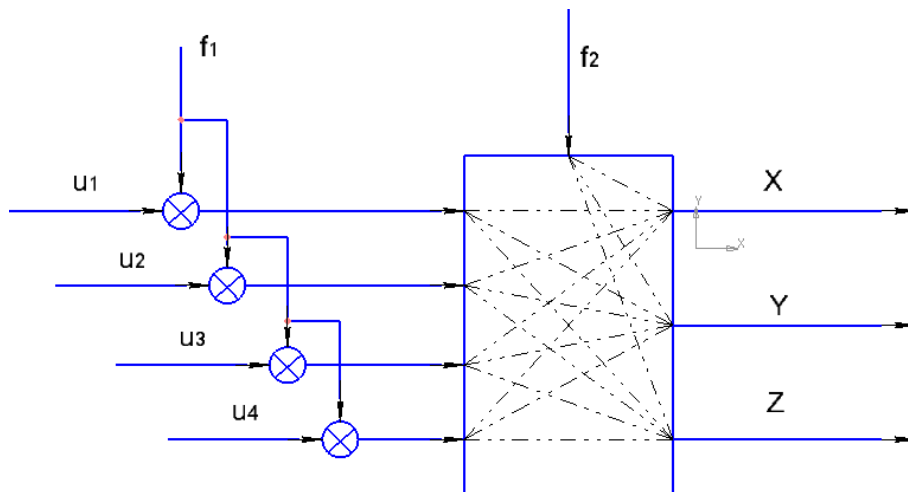


Рис.1 - Структурна схема квадрокоптера як об'єкта управління

Опис математичної моделі

Математична модель об'єкта управління – дроном, спирається закони фізики. На квадрокоптер діють такі фізичні аспекти як аеродинаміка, моменти інерції, крутний момент, сила тяжіння, гіроскопічний ефект. Нижче наведено таблицю з фізичними ефектами, що діють під час польоту дрону. Обертання твердого тіла у просторі можна параметрозувати, використовуючи кілька методів, таких як кути Ейлера, кути кватерніонами та Тейт-Брайана. Дрон рухається у просторі завдяки результуючого вектора напрямку, у свою чергу, залежить від

швидкості обертання кожного з чотирьох двигунів. Двигуни, у свою чергу, створюють силу тяги і моменту, що крутить, щодо центру мас конструкцію дрона. В аерокосмічній техніці осі спрямовані так само, як для корабля, що рухається в позитивному напрямку x , з правою стороною, що відповідає позитивному напрямку y вертикальною стороною, що відповідає позитивному напрямку z . Ці три кути індивідуально називаються крен, тангаж та нишпорення.

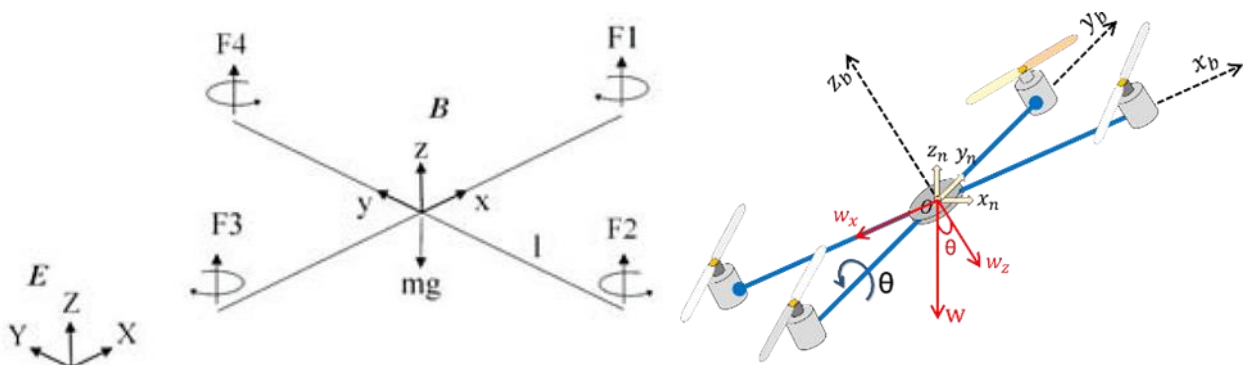


Рис.2 - Сили, що впливають на квадрокоптер

На основі законів фізики та матриць повороту були виведені математичні залежності та закони управління, які стали основою математичної моделі, зібраної в середовищі Matlab Simulink. Модель включає рівняння руху по просторових координатах і кутах.

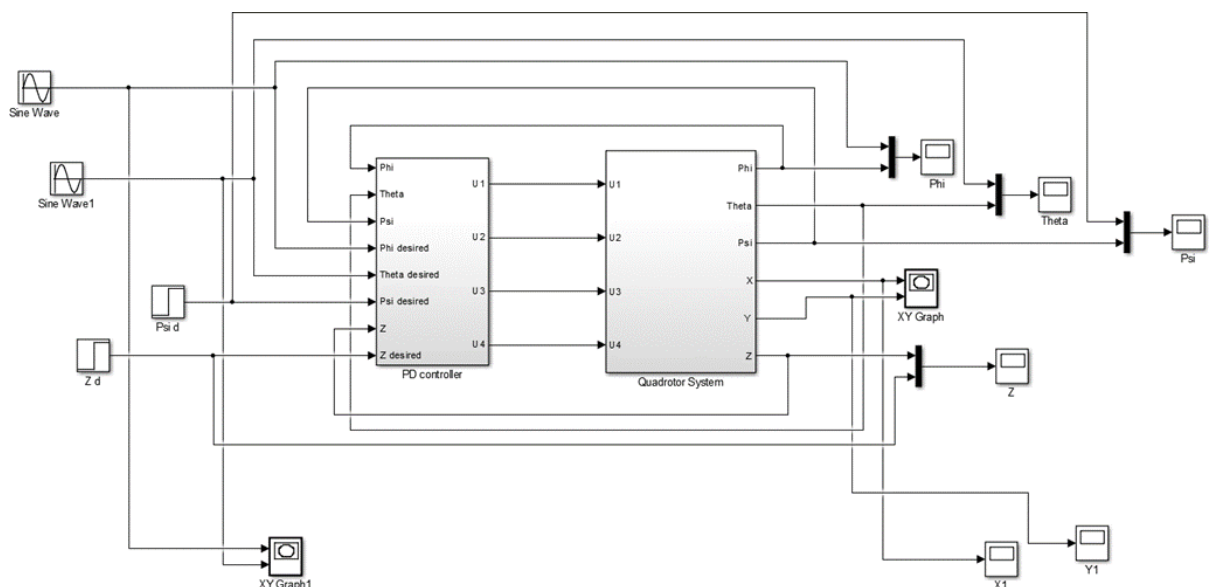


Рис.3 – Математична модель квадрокоптера, зібрана серед Simulink Matlab

В рамках ідентифікації математичної моделі були проведені ряди активних експериментів на зібраному робочому прототипі, а також активний

експеримент з отримання аеродинамічних характеристик повітряних гвинтів. Експеримент проводився на різних частотах обертання до 8000 rpm і зі зміною кута атаки гвинта до 40 град. Випробування проходили у Харківському аерокосмічному університеті, на кафедрі аерогідродинаміки.



Рис.4 – Експеримент для отримання аеродинамічних властивостей повітряних гвинтів
Опис технічної бази

Робочий прототип квадрокоптера, збирався на базі польотного контролера Pixhawk, безколекторних

електродвигуни постійного струму, GPS навігатора, комплект радіотелеметрії та контролерів швидкості обертів двигунів.

Політний контролер включає вбудований гіроскоп, акселерометр, компас та барометр. Як політний контролер на борту дрона використовуватися такий контролер як Pixhawk. Pixhawk це нова просунута система автопілота побудована на базі проекту з відкритими вихідними даними PX4 і вироблена компанією 3d Robotics. Серед основних переваг можна відзначити швидкий потужний 32-бітовий процесор та сенсори від відомої компанії ST Microelectronics® та операційна система реального часу NuttX що забезпечує неймовірну продуктивність, гнучкість та надійність при керуванні будь-яким автономним пристроєм. Перевагами плати Pixhawk є вбудована багатопоточність, Unix / Linux-подібне оточення, повністю нові функції автопілота, такі як Lua- скриптинг для місій і поведінки в польоті, рівень драйвера PX4 налаштовується забезпечує щільність часу у всіх процесах.

Основний модуль Pixhawk може бути розширений додатковими опціями, такими як цифровий датчик повітряної швидкості, підтримкою зовнішніх кольорових світлодіодних індикаторів, зовнішнього компасу та ін. Вся периферія автоматично визначається і конфігурується.

Як датчик, який даватиме інформацію як про геоположення дрона, так і додатково відстежуватиме його висоту польоту виступати - GPS модуль Ublox NEO - M8N з компасом. Цей модуль включає також компас, оскільки використовуватися на Дроні буде безпосередньо він. Перевага зовнішнього компаса від вбудованого в польотному контролері у цьому, що вібрації,

створювані роботою двигунів, менше впливати, підвищуючи цим точність підтримки напрямки (курсу). GPS модуль Ublox NEO - M8N має більш високу точність (до 0.6 метрів) у порівнянні з попередніми версіями модуля, а також нижче споживання енергії. Ідеально підходить для точних та стабільних польотів по карті на літальних засобах. NEO - M8N відрізняє швидкий пошук сигналу, висока точність позиціонування та функціональність. NEO-M8N GPS використовує оригінальні чіпи M8N. Вбудований компас. Оновлення позиціонування покращено до 10 ГГц. Модуль GPS підтримує різні супутникові системи позиціонування, наприклад, європейські, японські, китайські. Підтримка такої кількості різних супутникових систем забезпечує високу точність позиціонування дрона у просторі.

Двигуни – один із головних виконавчих механізмів на борту дрону. На дрони та всіх БПЛА використовуються безколекторні (безщіткові) трифазні двигуни постійного струму. При їх доборі слід звернути увагу на їх номінал, а саме на кількість оборотів у вольт (KV), діаметр статора і ротора в даному випадку 2213. Двигуни слід перш за все підбирати з охолодженням, щоб вони якнайменше зношувалися (перегрівалися) і могли стабільніше працювати у спекотну погоду, а також підбирати двигуни залежно від ваги конструкції дрону. При більшій вазі дрона необхідно підбирати двигуни з меншим KV і з більшим розміром гвинта, тим самим створюючи більший момент, що крутить, тобто створюючи велику тягу для підйому конструкції дрона. Також слід звернути увагу на двигуни саме для мультироторних апаратів, оскільки різницю між цими двигунами та двигунами, призначеними для літакових БПЛА.

Регулятор швидкості обертання двигуна. Є невеликою платою з мікроконтролером, яка при отриманні сигналу з польотного контролера (широотно імпульсної модуляції) збільшує або зменшує кількість обертів двигуна. Ширина імпульсу ШІМ змінюється у діапазоні 1-2 мікросекунд. При 1 мікросекунді двигун вимкнений, при 1.5 мікросекунді двигун працює на 50% і при ширині імпульсу 2 мікро секунди двигун працює з максимальною потужністю, видаючи максимальну кількість обертів. Регулятори, як і двигуни, необхідно підбирати передусім під тип дрона, є суттєва різниця між регуляторами літакового типу та мультироторного типу. На мультироторних регуляторах частота роботи становить щонайменше 600Гц, тоді як на літакових регуляторах вистачає і частоти 400 Гц. Ще один важливий критерій при підборі регулятора - це відсутність вбудованого ВЕС (ланка виключає батарею), тобто додаткове живлення. За наявності вбудованого живлення в регуляторі швидкості, на керуючі сигнали з цієї плати, що виробляються, йде наведення додаткових шумів, що призводять до спотворення сигналу управління. При вбудованому ВЕС в плату регулятора швидкості - рекомендується використовувати феритове кільце для погашення таких шумів. Також на мультироторних регуляторах швидкості спостерігається велика синхронізація в роботі та можливість їх калібрування. Крім перерахованих вище критеріїв, регулятори підбираються піковим струмом, який споживає двигун.

Опис програмного забезпечення

Щодо програмного забезпечення, то дроном можна керувати з кількох програм. Програми з управління дроном називаються «наземними станціями», оскільки управління відбувається дистанційно, і на



«Наземну станцію» надходить інформація про стан дрону з його борту. Одним з таких програм є «Qground Control». У цій програмі можна проводити налагодження та конфігурування як самого дрону, так і його польотної місії. Дане програмне забезпечення є дуже гнучким, оскільки підтримується операційними системами Windows, MacOS, Android, Ios, тобто. є можливість встановлювати їх на такі мобільні пристрої, як смартфони та планшети.

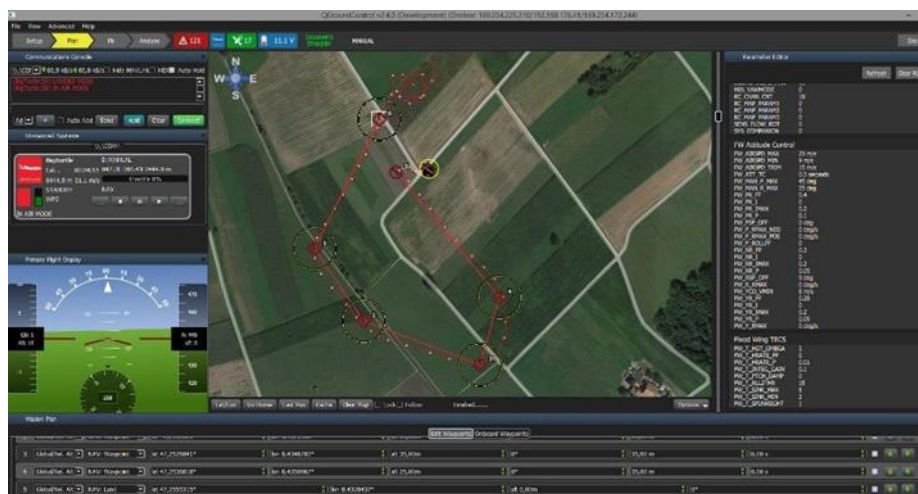


Рис.5 – Скріншот ПЗ «Qground Control»

Інтерфейс цього ПЗ є кілька вкладок, налагодження літального апарату, а саме вибору його типу (мультиротор або літаковий тип), завантаження прошивки, конфігурування налаштувань дрон, а також конфігурування

польотного завдання. У головному початковому вікні – виводиться SCADA система про стан основних бортових датчиків, які показують положення дрона щодо горизонту, висоту польоту, напрямок, рівень заряду батареї, а також якість радіосигналу.



Подальші дослідження та розробки

Подальшими планами досліджень є розробка системи автоматичного управління БПЛА типу мотопланнера по заданому маршруту, тобто. створення автопілота з урахуванням дрона літакового типу. Переваги літакових дронів над мультироторними в тому, що вони можуть перебувати в небі за хорошого розкладу до 6 годин. Такий досить великий час польоту, а також великі площі обльоту та швидкість польоту дозволяють застосовувати дрони в інших секторах промисловості. Наприклад, в аграрному секторі чи секторі оперативної картографії. Як варіант, розглядається застосування дрону спільно з технічним зором для виявлення побутового сміття в прибережних акваторіях Чорного моря Одеського регіону.

Щодо САУ, у дронів літакового типу принципова відмінність у виконавчих механізмах, які відповідають за його становище у повітрі. Положення дрону в повітрі залежить від комбінованих кутів атаки елеронів та елевонів, а також тяги двигунів.



Рис.6 – Зображення моделі мотопланера

Можна підсумувати, що безпілотні літальні апарати є невід'ємною

частиною робототехніки та автоматизації, а з експлуатації в галузях промисловості займають свою нішу. Як факт, на продуктивність та на якість роботи БПЛА впливає його система автоматизації, а саме алгоритми управління та точність контрольно-вимірювальних приладів. Також слід звернути увагу на тип БПЛА та сферу його застосування.