

**М.В. Богдановський, старший викладач кафедри АУТП та КТ,  
О.М. Безвесільна, д.т.н., проф., завідувач кафедри АУТП та КТ,  
О.М. Хомяк, студент, факультет ІКТ, 5 курс, гр. АТ-18м  
Житомирський державний технологічний університет**

## **КОНТРОЛЕР КЕРУВАННЯ КУРСОМ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

Контроль та управління навігацією малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) передбачає вирішення ряду задач, що забезпечують основні функціональні характеристики, такі як контроль курсу та стабілізація положення та орієнтації вздовж траєкторії польоту. Для здійснення автономного та дистанційного пілотування система керування ЛА потребує споживання великого обсягу електроенергії, що зумовлено наявністю у складі БПЛА багатьох конструктивних елементів, наприклад, таких як: задавач курсу, датчики положення та орієнтації, перетворювачі типів та рівнів сигналів, пристрої комутації тощо. Для того щоб реалізувати основні будь-які функції навігації та контролю польоту БПЛА потрібно мати дані про: місце знаходження об'єкту відносно початкової точки, орієнтацію відносно сторін світу, швидкість, напрям руху та швидкість обертання в тривимірному просторі. При визначенні курсу на ціль потрібно вирішити такі складові задачі, як обґрунтування вибору математичного опису збурюючих факторів, вибір оптимального місця розміщення датчиків на борту БПЛА, розробка алгоритму обробки даних з датчиків. Стабілізація ЛА в просторі повинна забезпечувати в повній мірі гасіння пружних коливань корпусу апарату під час польоту та виконання маневрів. В таких випадках недоліком може бути одноканальність стабілізації, що можна виправити конструктивно.

Сучасний рівень розвитку авіаційної техніки характеризується значним збільшенням вимог, які пред'являються до точності та надійності вирішення задач навігації та керування БПЛА. Система автоматичного керування польотом має отримувати інформацію про просторове місце БПЛА з достатньою точністю для стабілізації апарату під час польоту та переміщення в задану точку простору. Головними джерелами такої інформації є бортові навігаційні засоби, в тому числі і радіотехнічні. Точність навігації суттєво підвищується при впровадженні глобальних супутникових навігаційних систем (СНС) типу GPS. Поєднання СНС з радіотехнічними засобами посадки, дає змогу підвищити точність визначення місця знаходження БПЛА.

Інерційна навігаційна система має стабільні показники параметрів польоту, але зі збільшенням часу спостережень спостерігається накопичення помилки в визначенні координат. За комплексного використання характеристик цих систем, радіотехнічної та інерційної навігаційної системи, можна організувати отримання інформації про відхилення БПЛА від заданої глісади планування з покращеними характеристиками точності.

Поєднання радіотехнічної системи в режимі посадки безпілотного літального апарату, інерційної та супутникової навігаційних систем дозволяє вирішити проблеми підвищення точності керування на етапі посадки та дозволяє задовольнити вимоги, які висуваються до визначення навігаційних параметрів руху безпілотного літального апарату. Для реалізації означених задач пілотування пропонується структура системи управління, зображена на рисунку 1.

Призначення блоків, зображених на рисунку 1 наступні:

Блок 1: Задатчик GPS, формує GPS-координати, за якими має переміститися БПЛА. Координати транслюються в Декартову тривимірну систему БПЛА та слугують для прокладання курсу вздовж поверхні ландшафту на вивірці БПЛА по висоті польоту.

Блок 2: Нечіткий регулятор (fuzzy control), на основі заданих координат і поточного положення апарату формує управляючі сигнали  $U$  на 4 двигуна БПЛА. На вхід подається положення апарату у вигляді кутів Ейлера (Roll, Yaw, Pitch), поточна висота  $H$  від датчиків БПЛА, та вектор напрямку за курсом  $T$ .

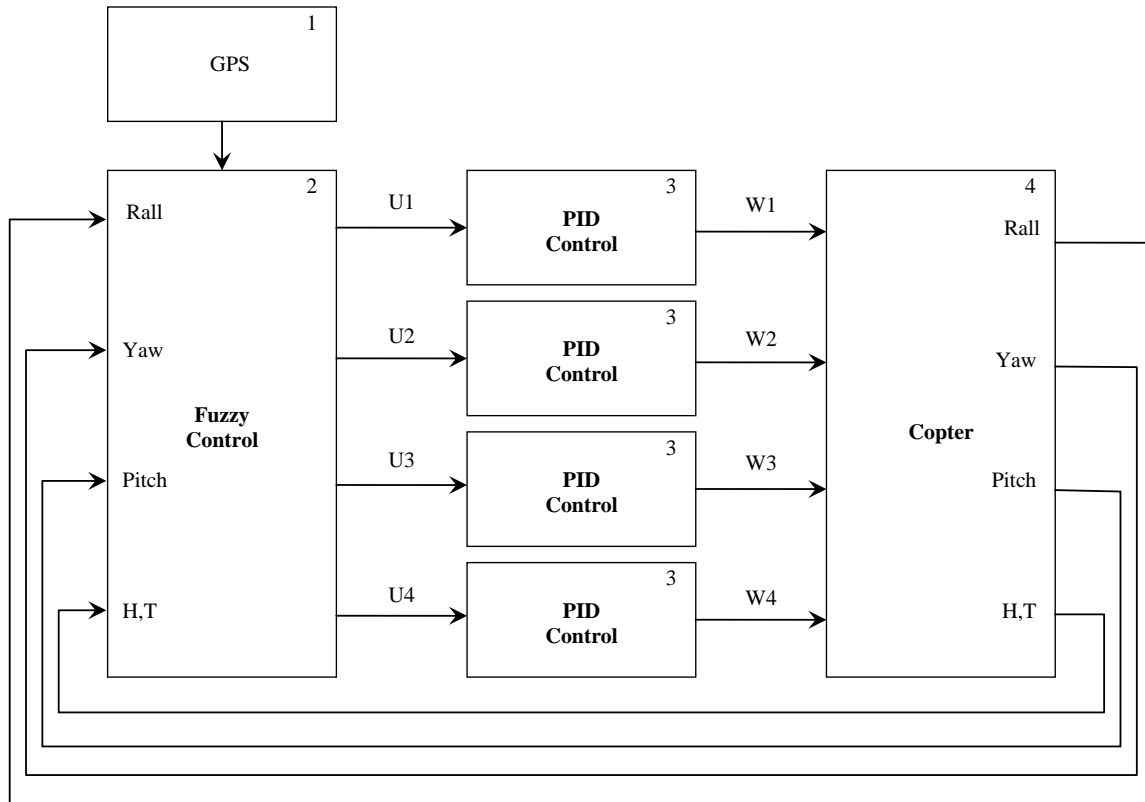


Рис 1. Структурна схема управління БПЛА

Блок 3: Двигуни БПЛА з локальними регуляторами. На вхід кожного двигуна подається управляючий сигнал у вигляді напруг  $U$  ( $U_1, U_2, U_3, U_4$  на схемі), пропорційні швидкості обертання  $W$  ( $W_1, W_2, W_3, W_4$  на схемі) кожного пропелера в окремість для забезпечення заданого режиму польоту. Стабілізація швидкості обертання пропелерів, що забезпечує напрямлену тягу БПЛА, реалізована за допомогою ПІД-регуляторів для кожного двигуна в окремість.

Блок 4: БПЛА як об'єкт управління формує основні польотні характеристик БПЛА, на основі поточної швидкості обертання кожного з пропелерів, реалізуючи при цьому імітаційну модель. Інформація про положення та орієнтацію відображаються у вигляді кутів Ейлера та зміні вектору напрямку і висоти БПЛА. Отримані з моделі значення передаються в нечіткий регулятор за рахунок якого відбувається стабілізація за курсом та реалізація заданих польотних характеристик.

Наведена структура система управління має ряд переваг. Схема управління реалізує незалежне керування кожним двигуном в окремість а нечіткий регулятор підвищує робастність керування курсом польоту та стабілізацією незалежно від початкового та поточного стану системи. Орієнтація в просторі визначається за допомогою імітаційної моделі БПЛА. Використання нечіткого регулятора дає можливість уникнути проблеми з накопиченням помилки, та компенсувати дію зовнішніх збурень, так-як перерахунок показників відбувається динамічно і на кожній ітерації нечіткий регулятор видає актуальні управляючі сигнали на двигуни БПЛА.

Налагодження та перепрограмування БПЛА для реалізації інших польотних характеристик виконується гнучко, шляхом розширення бази нечітких правил без апаратної перебудови системи. Означені вище переваги засвідчують перспективи подальшого дослідження пропонованого принципу керування БПЛА при формуванні нових польотних характеристик та способів стабілізації з довільною кількістю гвинтів.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

БОГДАНОВСЬКИЙ Мартін Віталійович, старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного

університету. Наукові інтереси: робототехніка/механотроніка, динаміка електромеханічних систем. Телефон: 0634823012. e-mail: martin.bogdanovskiy@gmail.com.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна, д.т.н., проф., Заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри приладобудування Приладобудівного факультету Національного технічного університету України «КПІ», наукові інтереси: приладобудування, гравіметрія, автоматизовані вимірювальні перетворювачі, e-mail: bezvesilna@mail.ru, тел. р. 236-09-26.

ХОМЯК Олександр Миколайович, магістрант групи АТ-18м кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету. Наукові інтереси: автоматизація технологічних процесів. Телефон: 0939079462. E-mail: kaffein\_hd@live.com