

УДК 629.735.33:681.5

*Любченко І.В., здобувач,
Кравчук А.Р., доцент**Державний університет «Житомирська політехніка»*

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КВАДРОКОПТЕРА З ВИКОРИСТАННЯМ PID-РЕГУЛЯТОРА

Сучасні квадрокоптери широко застосовуються в аерофотозйомці, моніторингу територій, сільському господарстві, рятувальних операціях і наукових дослідженнях. Однією з ключових умов їх ефективного функціонування є забезпечення стійкого польоту та точного відпрацювання керуючих команд. Оскільки квадрокоптер є динамічно нестійкою системою, для підтримання його орієнтації у просторі необхідно використовувати алгоритми автоматичного керування, здатні компенсувати зовнішні збурення та внутрішні динамічні відхилення.

У роботі розглянуто математичне моделювання системи стабілізації квадрокоптера на основі PID-регулятора. Метою дослідження є побудова моделі керування, що забезпечує стабілізацію орієнтації апарата за каналами крену, тангажу та ристання, а також аналіз впливу параметрів регулятора на динаміку перехідних процесів. Керування положенням квадрокоптера здійснюється шляхом зміни швидкостей обертання чотирьох електродвигунів, унаслідок чого формуються керуючі моменти відносно осей roll, pitch та yaw. Для оцінювання поточного стану використовуються дані інерціального вимірювального модуля, до складу якого входять акселерометри та гіроскопи.

У спрощеному вигляді динаміка обертального руху описується рівнянням:

$$J\ddot{\varphi}(t) = M(t)$$

де J – момент інерції, $\varphi(t)$ – кутове відхилення, $M(t)$ – керуючий момент.

PID-регулятор формує керуючий сигнал за законом:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

де $e(t)$ – похибка регулювання, а K_p , K_i , K_d – коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної складових.

Пропорційна складова забезпечує швидку реакцію на поточну похибку, інтегральна – зменшує статичну помилку, а диференціальна – покращує демпфування та знижує перерегулювання. У моделі регулятора налаштовувалися окремо для кожного каналу стабілізації, що дозволяє незалежно керувати орієнтацією апарата.

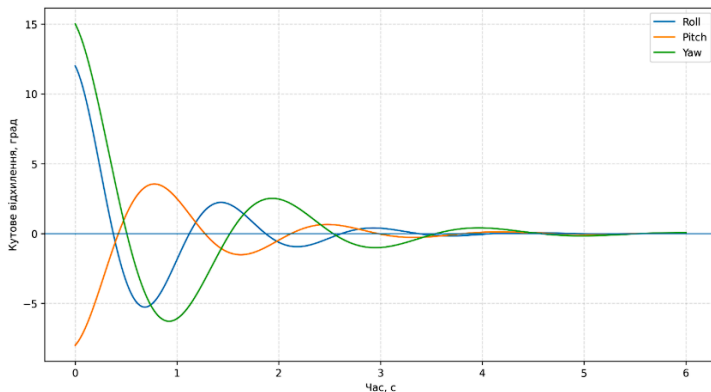


Рис. 1. Перехідні процеси стабілізації квадрокоптера за каналами roll, pitch та yaw при PID-регулюванні

Результати моделювання показали, що використання PID-регулятора забезпечує ефективне повернення квадрокоптера до заданого положення після початкового відхилення. Перехідні процеси мають затухаючий характер, а амплітуда коливань зменшується з часом, що свідчить про стійкість системи. Найкращі показники досягаються за узгодженого вибору коефіцієнтів K_p , K_i та K_d , коли забезпечуються достатня швидкодія та мінімальне перерегулювання.

Отримана модель може бути використана як основа для подальшої розробки систем автоматичного керування БПЛА. Перспективним напрямом є застосування адаптивних та інтелектуальних методів керування для підвищення точності стабілізації в умовах змінного зовнішнього середовища.

Список використаних джерел:

1. Lopez-Sanchez, I.; Moreno-Valenzuela, J. PID control of quadrotor UAVs: A survey. *Annual Reviews in Control*. 2023. Vol. 56. Article 100900. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2023.100900.
2. Gün, A. Attitude control of a quadrotor using PID controller based on differential evolution algorithm. *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 229, Part B. Article 120518. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.120518.