

## ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ССКА КІДИМ КЕРОВАНОВОГО ПРОСТОРОВОГО ПОЛЬОТУ ГІБРИДНОГО БПЛА

**Ковальов Д.Д.<sup>1</sup>, Андреев Ю.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> магістрант кафедри КМПС, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

[daniil.kovalov@infiz.khpi.edu.ua](mailto:daniil.kovalov@infiz.khpi.edu.ua)

<sup>2</sup> професор кафедри КМПС, д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

[Yurii.Andrieviev@khpi.edu.ua](mailto:Yurii.Andrieviev@khpi.edu.ua)

Моделювання просторових польотів БПЛА є відомою проблемою. Треба включити в модель сили і моменти сил інерції, причому перші задаються в інерціальній системі, а другі – в пов'язаній з корпусом, що потребує урахування сил Кориоліса та гіроскопічних. Треба враховувати сили тяги і моменти опору повітря для пропелерів, керуючі дії системи управління, що змінюють кутові прискорення пропелерів для цілей стабілізації і потрібної зміни параметрів польоту. Особливістю БПЛА, що тут розглядається, є наявність центрального пропелера, що приводиться до руху ДВЗ, і ще п'яти пропелерів, які обертаються ЕД, що питаються від генератора.

В роботі [1] розглядаються питання реалізації пропонованого там алгоритму керування таким мультикоптером на основі складання рівнянь руху вручну. Маючи на увазі спроможність ССКА КіДиМ [2] автоматично складати динамічні рівняння руху широкого класу механічних систем з плоским і просторовим рухом з урахуванням будь-яких в'язей, в роботі поставлена задача отримати механічні і математичні моделі руху мультикоптера і провести їх дослідження.

Згідно прийнятій методики в ССКА КіДиМ кінематика просторового руху тіла разом з його інерційністю задається параметрами перетворення абсолютної системи координат до пов'язаної з тілом головної центральної (декартовими координатами центру мас і кутами елементарних поворотів, або кватерніоном) і інерційними параметрами – масою і центральними головними моментами інерції. Діючі сили і моменти задаються силовими елементами, що включають їх проекції на осі інерціальній, або пов'язаній з тілом системи координат. Всі вказані параметри механічної моделі задаються формульними значеннями, що можуть включати і параметри керування.

Такий підхід суттєво скорочує шлях від постановки задачі динаміки (прямої і оберненої, вільних і вимушених коливань, перехідних процесів) до отримання результатів розрахунків.

Єдиною проблемою, що необхідно було розв'язати тут для реалізації алгоритмів управління [1] була проблема ув'язати ідею дискретного керування (точніше отримання параметрів руху в дискретні моменти часу) з використанням в ССКА КіДиМ методу чисельного інтегрування – Рунге-Кутти зі змінним кроком для підвищення точності.

В докладі демонструються різні динамічні моделі за складом для більш повного урахування діючих сил і поведінка моделей при здійсненні програм польоту БПЛА.

### Список літератури:

1. Успенський В. Б. Розробка та комп'ютерна реалізація моделі руху та алгоритмів управління гібридного мультикоптера / В. Б. Успенський, С. Є. Гардер // Вісник НТН «ХПІ». Серія: Динаміка та міцність машин. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 1 (2022). – С. 94 – 106.
2. Андреев Ю. М. Новая система компьютерной алгебры для исследования колебаний структурно-сложных голономных и неголономных систем твердых тел // Надежность и долговечность машин и сооружений. – К.: ИПП им. Писаренко Г. С., Ассоциация «Надежность машин и сооружений», 2006. – Вып. 26. – С. 11–18.