

## **КОМП'ЮТЕРНО – ІНТЕГРОВАНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ ВІДТВОРЕННЯ РУХІВ НОСІЯ АВІОНІКИ**

**С. Осадчий**, доктор технічних наук, професор

**Л. Віхрова**, професор

**В. Каліч**, професор

**М. Мірошніченко**, доцент

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Проблема підвищення точності автономного визначення навігаційних параметрів набуває особливої важливості за умов активного застосування безпілотних літальних апаратів, особливо в середовищі протидії з боку засобів радіоелектронної боротьби. У таких обставинах головним автономним джерелом навігаційних даних [3] на борту літального апарата виступає безплатформна інерціальна навігаційна система (БІНС). Її ключовою особливістю [1,3] є поступове накопичення похибок при визначенні координат об'єкта та його просторової орієнтації.

Встановлено [2], що характеристики похибок сенсорів БІНС істотно визначаються режимами руху носія, на якому розміщені ці вимірювальні елементи. Отже, одна й та сама навігаційна система може демонструвати різну точність залежно від зміни характеру рухів носія [5]. Водночас метрологічна атестація та калібрування приладів цього типу проводяться у штучно створених умовах, де параметри руху їхнього корпусу суттєво відрізняються від реальних експлуатаційних режимів.

Отже, має місце невідповідність між реальними умовами функціонування БІНС і умовами, у яких проводиться її метрологічна атестація. Це зумовлює розбіжність між фактичними характеристиками похибок вимірювання навігаційних параметрів і тими, що визначаються під час атестації [8]. Одним із підходів до усунення цієї невідповідності є максимальне наближення умов випробувань БІНС до реальних умов її експлуатації на борту БПЛА. Реалізувати це можливо шляхом створення комп'ютерно-інтегрованих систем, здатних відтворювати реальні рухи носія БІНС у лабораторному середовищі.

Аналіз експериментальних досліджень руху БПЛА коптерного типу, наведений у роботі [9], засвідчив, що їх динаміка описується двома взаємопов'язаними випадковими складовими. Перша характеризує кутові переміщення апарата відносно центру мас, тоді як друга відображає його тривимірне поступальне переміщення в просторі. Відповідно, засіб, призначений для відтворення таких рухів у лабораторних умовах, має забезпечувати шість ступенів свободи: три обертальні та три поступальні. Єдиним технічним рішенням, що задовольняє ці вимоги та придатне для лабораторного використання, є платформа Стюарта, вперше описана у роботі [6].

**Метою дослідження** є розроблення методики створення в середовищі Matlab із використанням інструменту Simulink комп'ютерно-інтегрованої системи, призначеної для відтворення рухів носія авіоніки в лабораторних умовах за допомогою платформи Стюарта. Попри значну кількість публікацій, присвячених застосуванню середовища Matlab для розробки систем реального часу (зокрема [4, 7]), більшість із них орієнтована на моделювання, яке, хоча й виконується в реальному часі, відбувається переважно у віртуальному середовищі.

Особливістю матеріалів, поданих у цій статті, є формування сукупності правил побудови кіберфізичної системи, що інтегрує віртуальне середовище інструменту Simulink із платформою Стюарта з метою відтворення рухів носія авіоніки в лабораторних умовах.

**Основні матеріали досліджень.** Якщо представити функціональну структуру кіберфізичної системи (рис. 1) як послідовне поєднання персонального комп'ютера, контролера обміну даними (інтерфейсу) та платформи Стюарта, то задача синтезу комп'ютерно-інтегрованої системи імітації реальних рухів носія БІНС у лабораторних умовах може бути сформульована таким чином. На основі заданої моделі динаміки руху носія БІНС, обраного

типу контролера обміну даними (інтерфейсу зв'язку) та характеристик серводвигунів платформи Стюарта необхідно розробити Simulink-модель системи керування рухом платформи, що функціонує в режимі реального часу.

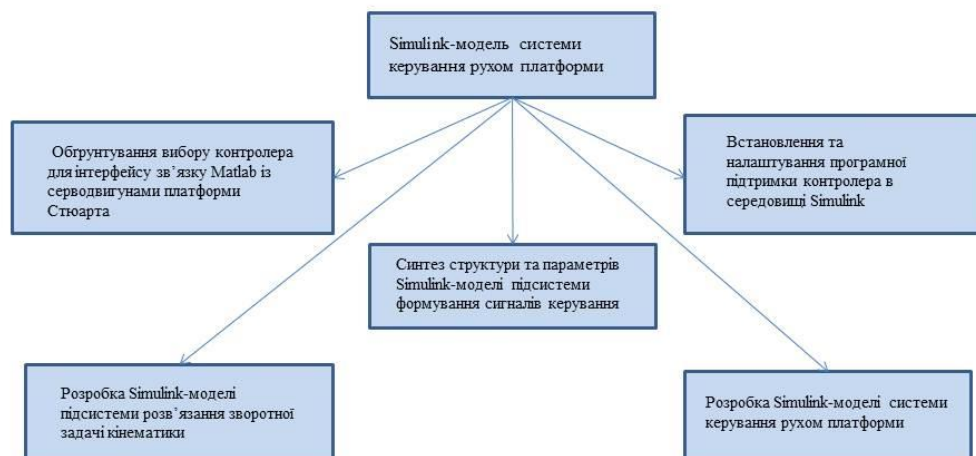


Рисунок 1 - Структурна схема методики

Для вирішення поставленої задачі запропоновано методику, що передбачає послідовне виконання п'яти етапів: обґрунтування вибору контролера для організації інтерфейсу зв'язку між середовищем Matlab і серводвигунами платформи Стюарта; інсталяцію та конфігурування програмної підтримки обраного контролера в інструменті Simulink; синтез структури й параметрів Simulink-моделі підсистеми формування керувальних сигналів платформи Стюарта; розроблення Simulink-моделі підсистеми розв'язання оберненої задачі кінематики; а також створення Simulink-моделі системи керування рухом платформи (рис.1).

**Висновок.** Застосування запропонованої методики до експериментальних даних про політ квадрокоптера дало змогу обґрунтувати вибір типу контролера (Arduino-DUE), розробити S-функцію для керування рухом платформи в режимі реального часу та провести випробування макета системи імітації рухів об'єкта з шістьма ступенями свободи.

### Список літератури

1. Ahmed Radi\*, Sameh Nassar, and Naser El-Sheimy. Stochastic Error Modeling of Smartphone Inertial Sensors for Navigation in Varying Dynamic Conditions. *Gyroscopy and Navigation*, 2018, Vol. 9, No. 1, pp. 76–95.
2. Li, Y., Georgy, J., Niu, X., Li, Q., and El-Sheimy, N. Autonomous calibration of MEMS gyros in consumer portable devices. *IEEE Sensors Journal*, 2015, vol. 15, no. 7, pp. 4062–4072.
3. Moir I., Seabridge A., Jukes M. *Civil aviation systems*. 2nd edition. John Wiley & Sons, Ltd. (2013).
4. Mosterman, Pieter; Prabhu, Sameer; Dowd, Andrew; Glass, John; Erkkinen, Tom; Kluza, John; Shenoy, Rohit. *Embedded real-time control via MATLAB, Simulink, and xPC Target*. (2005).
5. Osadchy S.I., Zozulya V.A., Rudiuk G.I. The Dynamics of 3-dimensional micro-mechanic sensor of angle motions of a robot-hexapod. *Proceedings of the 8th IEEE IDAACS'2015*, Vol. 2, pp. 908–912. Warsaw, Poland, 2015.
6. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom. *Proc. Instn. Mech. Engrs.* 1965–66, Vol. 180, Part 1, No. 15, pp. 371–386.
7. Using Matlab-Simulink RTW to Build Real Time Control Applications in User Space with RTAI-LXRT. [https://www.rtai.org/userfiles/documentation/documents/quaranta\\_mantegazza.pdf](https://www.rtai.org/userfiles/documentation/documents/quaranta_mantegazza.pdf)
8. Мелешко В.В., Нестеренко О.И. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. – Кировоград: ПОЛИМЕД-Сервис, 2011.
9. Осадчий С.І., Дяченко М.М. Збір та первинна обробка даних з системи ARDUPILOT для ідентифікації моделі динаміки квадрокоптера. *Науковий журнал «Прикладні питання математичного моделювання»*, т. 3, № 2.1, 2020.
10. Осадчий С. І., Віхрова Л. Г., Каліч В. М., Мірошніченко М. С. Ідентифікація динаміки оператора безпілотної літальної апаратури в стохастичних умовах. *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 5 листопада 2025 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. – Харків, 2025. – С. 124-126. – Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiya/>*
11. С.І. Осадчий, Б.О. Гаврилюк, Г.С. Тимошенко, В.А. Зозуля. Комп'ютерно-інтегрована система імітації рухів носія авіоники в лабораторних умовах. *Прикладні питання математичного моделювання* Т. 7, № 2. – Херсон: ХНТУ, 2024. – С. 125-140. <https://doi.org/10.32782/mathematical-modelling/2024-7-2-12>