

## СЕКЦІЯ №3. ІННОВАЦІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ, ЕЛЕКТРОНІЦІ, ІТ ТА МЕХАТРОНІЦІ

УДК 629.078:007.529

**Боряк Богдан Радиславович**

кандидат технічних наук,

доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Пророк Максим Юрійович**

студент групи 401-АР,

Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка»

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАЗЕМНОЇ РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ НА РІЗНИХ АПАРАТНИХ ПЛАТФОРМАХ

Відповідно до статей [1, 2] кількість моделей наземних роботизованих комплексів (НРК), які успішно пройшли випробування і введені в експлуатацію, зростає. Різноманіття конфігурацій [3, 4], технічних та програмних рішень вказує на необхідність аналізу та структурування існуючих систем керування та апаратних платформ з подальшим визначенням їхніх переваг та недоліків.

У даному дослідженні було проаналізовано кілька типових моделей систем керування НРК. Розглянуто як аспект керування рухом НРК, так і перспективи використання різних апаратних платформ та окремих технічних засобів для керування зовнішніми модульними виконавчими пристроями.

Серед типових конфігурацій систем керування варто визначити наступні: «RX – ESC – Motors», «RX – ESC – Microcontroller – Motors», «RX – ESC – Flight Controller – Motors» (рис. 1.).

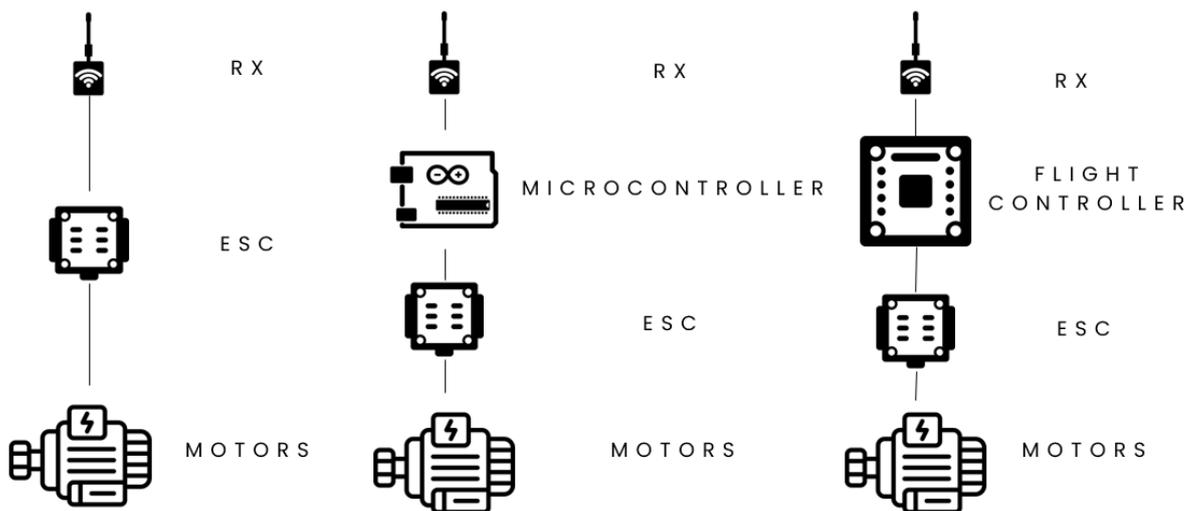


Рис. 1. Конфігурації систем керування НРК

У архітектурі «RX – ESC – Motors» сигнал керування надходить від оператора до приймача (RX) НПК. У цій конфігурації приймач забезпечує керування електродвигунами (Motors) за допомогою надсилання сигналів керування (UART, PWM) до драйверів двигунів (ESC). Головною перевагою даної архітектури є простота та економність. Менша кількість вузлів дозволяє мінімізувати затримки та ризики виникнення помилок, при передачі і обробки сигналів керування між вузлами. Недоліками даної системи є відсутність замкненої системи керування, за виключенням контуру «ESC – Motors», у разі наявності датчиків температури та швидкості та підтримки контролю цих параметрів драйверами двигунів. Іншим недоліком є складність реалізації керування зовнішніми модульними пристроями, так як їх керування забезпечується сигналами керування від приймача, а це вимагає сумісності протоколів передачі даних.

На відміну від попередньої архітектури система «RX – ESC – Microcontroller – Motors» передбачає наявності мікроконтролера, наприклад з сімейств контролерів ESP32. Наявність мікроконтролера дає більшу гнучкість реалізації алгоритмів керування за рахунок можливості розробки власного програмного забезпечення, з урахуванням особливостей конструкції НПК та наявності вимірювальних пристроїв і зовнішніх виконавчих модулів. Одним з недоліків даної системи є вимоги мікроконтролерів до забезпечення постійного живлення, що потребує інтеграції додаткових елементів для пониження та стабілізації напруги. Варто зазначити, що існують ризики при виборі конкретної моделі мікроконтролера, не всі з них можуть підтримувати стабільне декодування сигналів керування від приймача за рахунок технічних обмежень.

Архітектура «RX – ESC – Flight Controller – Motors» передбачає використання «польотних контролерів» з використанням сімейства контролерів STM32. По технічних характеристиках дана платформа переважає мікроконтролери сімейства ESP32 і призначена для керування автономними системами, зокрема, і НПК, а також має вбудовані інерційні вимірювальні модулі (IMU). Для налагодження системи керування існують готові програмні модулі, наприклад, arduover, що спрощує реалізацію систем керування для типових конструкцій. При наявності нетипових конструкцій НПК керування окремими елементами або рухом комплексу логіка керування може бути реалізована за допомогою кількох підходів, зокрема, визначенням окремих каналів передачі даних або їхнє комбінування для керування окремими пристроями або реалізації алгоритмів керування за допомогою LUA скриптів. Окремою перевагою даної архітектури є наявність інфраструктури програмного забезпечення, зокрема Ground Control Station (GCS), таких як Mission Planner, що спрощує автоматизацію процесів керування та можливість планування автономного переміщення НПК. Головними недоліками даного підходу є складність інтеграції при освоєнні даної платформи, ціна як польотних контролерів, так

і окремих навігаційних модулів та складність реалізації нетипових систем, навіть з наявністю ряду інструментів зазначених вище.

Проведений аналіз трьох архітектур систем керування НРК показав, що проста конфігурація «RX – ESC – Motors» є найдешевшою та найменш складною, але обмеженою за функціональністю; система з мікроконтролером (ESP32) забезпечує більшу гнучкість та можливість реалізації власних алгоритмів, проте потребує додаткового апаратного забезпечення; використання польотних контролерів (STM32) надає найширші можливості автономності та підтримку готової інфраструктури керування, однак є найбільш складним і дорогим підходом. Оптимальний вибір залежить від необхідного балансу між складністю, вартістю й вимогами до функціоналу конкретного НРК.

#### Список використаних джерел

1. NV English. (2025, October 15). Ukraine fields robot crews for logistics, medevac and combat - NV exclusive. <https://english.nv.ua/nation/how-many-ground-robots-serve-in-ukraine-what-they-do-and-why-foreigners-want-them-50552773.html>
2. Ukrinform. (2025, January 03). Ukraine's Army accepts for service almost 60 models of ground robots in past year. <https://www.ukrinform.net/rubric-defense/3944669-ukraines-army-accepts-for-service-almost-60-models-of-ground-robots-in-past-year.html>
3. Струтинський, В. Б., & Гуржій, А. М. (2023). Наземні роботизовані комплекси. Житомир: ПП «Рута». URL: <https://ela.kpi.ua/items/7c4da3db-0c7a-4614-b5ff-f8f278d211be>
- Boriak, V. R., Yanko, A. S., & Laktionov, O. I. (2025). Features of the development and implementation of a ground robotic complex motion control system. Електротехнічні та інформаційні системи, (107), 45–52. <https://doi.org/10.32782/EIS/2025-107-7>