

# ПРОГРАМНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ СУЧАСНИХ БОЙОВИХ ДІЙ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Проаналізовано архітектуру програмного забезпечення військових безпілотних літальних апаратів. Розглянуто підходи до забезпечення їхньої автономності за допомогою модулів машинного зору та інерціальної навігації в умовах впливу засобів радіоелектронної боротьби.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, програмне забезпечення, радіоелектронна боротьба, автономна навігація, машинний зір.

## **Abstract**

*The software architecture of military unmanned aerial vehicles is analyzed. Approaches to ensuring their autonomy using machine vision modules and inertial navigation under the influence of electronic warfare are considered.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, software, electronic warfare, autonomous navigation, machine vision.

## **Вступ**

У сучасних збройних конфліктах безпілотні літальні апарати (БПЛА) відіграють вирішальну роль у веденні розвідки та ураженні цілей. Проте ефективність застосування дронів на полі бою безпосередньо залежить від надійності їхнього бортового програмного забезпечення (ПЗ). В умовах активної протидії ворожих засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), які здійснюють підміну координат (спуфінг) або повне придушення каналів зв'язку, класичні методи управління стають неефективними [1]. У зв'язку з цим розробка стійких, модульних та автономних програмних систем управління БПЛА є одним із головних пріоритетів. Розгляду архітектурних рішень для таких систем присвячений даний матеріал.

### **Архітектура програмного забезпечення автономних БПЛА**

Специфіка розробки програмних систем для військових дронів базується на використанні операційних систем реального часу (RTOS), які гарантують виконання критично важливих завдань із жорстко заданими таймінгами [2]. Програмний комплекс сучасного БПЛА можна розділити на кілька ключових взаємодіючих модулів.

**Модуль зв'язку та криптографічного захисту.** Цей модуль відповідає за обмін даними між оператором та апаратом. Для протидії засобам РЕБ програмно реалізуються алгоритми псевдовипадкового перенаштування робочої частоти (ППРЧ). Крім того, модуль забезпечує шифрування відеопотоку та телеметрії (наприклад, за стандартом AES-256), що унеможливорює перехоплення управління ворогом у разі втрати основного захищеного каналу.

**Модуль автономної навігації.** Найбільшим викликом є робота дрона за відсутності сигналу GPS. У таких випадках система перемикається на модуль інерціальної навігації (ІЧН), який зчитує дані з гіроскопів та акселерометрів. Для усунення накопиченої похибки програмний засіб додатково використовує алгоритми візуальної одометрії (Optical Flow) [3]. Камера БПЛА сканує підстилаючу поверхню, а програма порівнює зсув пікселів між кадрами, обчислюючи реальну швидкість та напрямок руху без зовнішніх сигналів.

**Модуль машинного зору та розпізнавання цілей.** Для забезпечення повної автономності на фінальному етапі польоту в систему інтегруються алгоритми штучного інтелекту. Завданням цього модуля є обробка відеопотоку в реальному часі за допомогою згорткових нейронних мереж (наприклад, адаптованих версій YOLO для мікроконтролерів). Програма здатна самостійно виявляти заздалегідь визначені типи об'єктів (наприклад, бронетехніку), захоплювати ціль та розраховувати траєкторію польоту до неї навіть тоді, коли зв'язок з оператором остаточно втрачено [4].

Інтеграція таких складних алгоритмів вимагає високої оптимізації коду для роботи на бортових мікрокомп'ютерах з обмеженими обчислювальними ресурсами та запасом енергії.

### **Висновки**

Створена архітектура програмного забезпечення БПЛА дозволяє суттєво підвищити ефективність виконання бойових завдань. Перехід від систем прямого управління до модулів автономної навігації та розпізнавання на базі машинного зору є критичною необхідністю для подолання сучасних засобів РЕБ.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Смірнов, О. А. Основи побудови систем управління безпілотними літальними апаратами: навч. посіб. / О. А. Смірнов. – Київ: Військове видавництво, 2023. – 215 с.
2. Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer, 2015. 3022 p.
3. Петренко В. І. Програмна протидія засобам РЕБ у сучасних військових комплексах. / В. І. Петренко // Військово-технічний збірник, №4(12), 2024. С. 112-118.
4. Zhao Z., Zheng P., Xu S., Wu S. Object detection with deep learning: A review. Computer Vision and Pattern Recognition. 2019. №1. P. 1–21.

**Джаман Михайло В'ячеславович** – студент групи 5ПІ-23б факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mishadzhamanyt@gmail.com](mailto:mishadzhamanyt@gmail.com)

**Домненко Микола Григорович** – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mikoladomnenko568@gmail.com](mailto:mikoladomnenko568@gmail.com)

**Dzhaman Mykhailo V.** – student of group 5PI-23b, Department of Information Technology and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mishadzhamanyt@gmail.com](mailto:mishadzhamanyt@gmail.com)

**Domnenko Mykola Grigorovich** – Lecturer, Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mikoladomnenko568@gmail.com](mailto:mikoladomnenko568@gmail.com)