

## Дослідження бортового обладнання сучасних безпілотних літальних апаратів

Віктор Маміч<sup>1</sup>, Олександр Семчак<sup>2</sup>, Анатолій Буз<sup>3</sup>, Артур Чкалов<sup>4</sup>, Дмитро Король<sup>5</sup>

Військова академія

вул. фонтанська дорога, 10, Одеса, Україна, 65009

<sup>1</sup> [hanter1204@ukr.net](mailto:hanter1204@ukr.net), 9999-0001-5574-0901

<sup>2</sup> [hanter1204@ukr.net](mailto:hanter1204@ukr.net), 0000-0002-4480-2393

<sup>3</sup> [hanter1204@ukr.net](mailto:hanter1204@ukr.net), 0000-0002-2271-1861

<sup>4</sup> [hanter1204@ukr.net](mailto:hanter1204@ukr.net), 0000-0002-2115-8363

<sup>5</sup> [hanter1204@ukr.net](mailto:hanter1204@ukr.net), 0009 -0002-1649-3770

Received 28.11.2023, accepted 18.12.2023

<https://doi.org/10.32347/uwt.2023.13.1802>

**Анотація.** В даній роботі проаналізована розробка та виробництво сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Відмічено, що вони мають наступні основні системи: планер; рухова установка; система електропостачання; система керування; навігаційна система; телеметрична система; система радіозв'язку. Усі системи БПЛА взаємопов'язані і працюють як один складний механізм. У залежності від переліку вирішуваних бойових завдань на борту БПЛА можуть додатково встановлюватися наступні пристрої: системи оптико-електронної, тепловізійної, радіолокаційної, радіотехнічної, радіаційної, хімічної, бактеріологічної та інших видів розвідки з малими накопичувачами розвідувальної інформації; засоби постановки активних радіоелектронних завад; засоби наведення та корегування керуємої зброї; різноманітні засоби ураження; засоби керування та зв'язку з наземним пунктом керування; відповідач системи держрозпізнавання; пристрої автономного польоту та автоматичної посадки. В роботі розкриті особливості конструкції двигуна БПЛА, відмічено, що на сучасних БПЛА гелікоптерного типу, так звані «мультикоптери», «квадрокоптери», «дрони» встановлюють 4, 6 або більшої кількості двигунів. В даній роботі відмічено, що навігаційне обладнання БПЛА може мати різноманітний рівень складності та використовувати для розрахунку місця знаходження його декілька сигналів, які

поступають від датчиків різного фізичного походження. Розкриваються особливості системи радіозв'язку БПЛА, яка представляє собою сукупність різноманітних ліній по яким передається розвідувальна інформація різного рівня важливості та захисту. Усі лінії зв'язку можуть використовувати різноманітні частотні діапазони та різні режими ретрансляції, використовувати різні сигнально-кодові конструкції, спеціально адаптовані відносно важливості розвідувальної інформації, що передається. Відмічено, що при відсутності команди керування БПЛА переходить у режим автономного польоту.

**Ключові слова:** безпілотний летальний апарат, розвідувальна інформація, навігаційне обладнання, засоби зв'язку, допоміжні системи, датчики різного фізичного походження.

### ВСТУП

На сучасному етапі розвитку новітніх технологій виготовлення сучасних БПЛА з'явилась можливість використання їх для вирішення широкого спектру задач. З появою середніх та малих БПЛА їх виготовлення значно ускладнюється. З середини 2000-х років у засобах масової інформації стало регулярно зв'язуватися повідомлення про їх небезпечне використання при проведенні терористичних актів та диверсій,

перевезення заборонених вантажів та широке використання ц військовій справі. В наукових публікаціях 2020-го року буди сформульовані основні терміни та напрямки подальших досліджень щодо розвідки та виробництва БПЛА. Багато провідних країн світу на теперішній час почали інтенсивну розробку та виробництво БПЛА. В зв'язку з вищезазначеними тенденціями виникла необхідність проаналізувати новітні розробки сучасних технологій по виготовленню комплектуючих систем та обладнання БПЛА, можливість їх удосконалення та їх вплив на покращення тактико-технічних характеристик. [1]

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз публікацій в області розкриття можливостей комплектації та обладнання БПЛА показує, що серйозних робіт по даному науковому напрямку доволі мало. Основні дослідження роблять оптимістичні висновки відносно успішності використання новітніх технологій у всіх видах БПЛА. [1-3] Існують наукові твердження авторів про високі можливості використання штучного інтелекту. Теорії керування групами БПЛА, підвищення можливостей розрахункових засобів привело до того, що з'явилися проекти націлені на створення програмного забезпечення і бібліотек з відкритим вихідним кодом в області машинного зору та штучного інтелекту, які напряду визначають напряду подальшого розвитку бортового обладнання та комплектації сучасних БПЛА. [4-6] На сучасному етапі отримали широке розповсюдження схематичні рішення, в яких бортова цифрова обчислювальна машина, а також основні контролери, пристрої виконані на єдиній монтажній платі та укладені у захисний корпус. При цьому комп'ютер представляє з себе мікропроцесори, що можуть бути запрограмовані з урахуванням особливостей функціонування конкретних зразків бортового обладнання. [7-11]

### МЕТА СТАТТІ

Метою роботи є аналіз основних характеристик бортового обладнання сучасних БПЛА, відпрацювання рекомендацій щодо їх вдосконалення, дослідження можливостей використання новітніх технологій та штучного інтелекту при удосконаленні бортового обладнання сучасних БПЛА.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ.

У сучасних БПЛА гелікоптерного типу використовуються два типа двигунів: колекторного типу та безколекторні. Безколекторні двигуни не використовують щіток і колекторів. При наявності добрих підшипників потребують мінімального технічного обслуговування. Ротори двигунів виготовлюються з постійного магніту та не мають обмоток. Статор цих двигунів має обмотки, змінне поле яких приводить до обертання ротору. [2] Керування двигунами здійснюється за допомогою завдання їм напряду і швидкості обертання гвинтів через підключення до них електронних регуляторів швидкості. На вхід регуляторів подається напруга з акумулятору та керуючі сигнали з мікроконтролера, який подає напругу до приводів гвинтів. Підвищенням кількості обертів гвинтів за одиницю часу задається підйом, зменшення – зниження БПЛА. Збільшенням обертів двох бокових гвинтів задається змінення кута крену БПЛА, а передніх або задніх гвинтів задається змінення кута тангажу з послідуочим поворотом в необхідний бік по запрограмованій траєкторії. При чому для стабілізації руху одна пара гвинтів обертається за ходом годинної стрілки, а друга проти, компенсуючи цим обертальний момент. [3]

Вибір засобів керування БПЛА залежить від складності і специфіки виконання їм поставлених бойових завдань. Система керування великих БПЛА літакового типу загалом відповідає пілотуємим літакам, а малі БПЛА мають ієрархічну трирівневу компоновку системи керування. Нижній рівень системи керування - керування

окремих пристроїв, механізмів, датчиків та облаштування. Середній рівень керування - керування процесами польоту за допомогою бортових контролерів, модулів вводу-виводу сигналів та комунікаційного обладнання. Верхній рівень – рівень диспетчеризації та адміністрування БПЛА, здійснюється взаємодія між оператором або програмою польоту через інтерфейс з контролерами середнього рівня. Нижній рівень керування утворюється руховою установкою, датчиками навігаційної системи, обладнанням корисного навантаження: оптико-електронні засоби, радіолокаційні станції, різноманітні радіоелектронні засоби. Середній рівень відповідає бортовим апаратно-програмним засобам керування. [4] Бортова система керування малими БПЛА формується на базі бортових цифрових обчислювальних машин, які, як правило, керуються відкритими операційними системами або спеціалізованими операційними системами реального часу. Зараз з'явилися різноманітні проекти по виготовленню оперативних систем та прикладного програмного забезпечення спеціально орієнтованого на БПЛА. На сучасному етапі отримали широке розповсюдження схематичні рішення, в яких бортова цифрова обчислювальна машина, а також основні контролери, пристрої виконані на єдиній монтажній платі та укладені у захисний корпус. При цьому комп'ютер представляє з себе мікропроцесори, що можуть бути запрограмовані з урахуванням особливостей функціонування конкретних зразків бортового обладнання. [5]

В якості апаратури керування в малих БПЛА можуть використовуватися цифрові сигнальні процесори або мікроконтролери, що програмуються на мовах високого рівня, які призначені для забезпечення роботи у реальному часі систем моніторингу або керування. Крім того, для керування малими БПЛА можуть використовуватися спеціальні польотні контролери, які формують команди для мікроконтролерів керуючих рухом й окремими підсистемами БПЛА, у відповідності з даними, отриманими по командній радіолінії

керування. В останній час три провідних виробника мікропроцесорів розробили власні схематичні рішення для систем керування БПЛА. [6] Крім цього, аналогічні рішення випустив один з провідних китайських виробників. Кожен набір мікропроцесорів є типовим рішенням, що включає в себе нижче перелічені системи: центральний процесор керування; бортову операційну електронну систему; графічний процесор обробки відеоданих, що поступають з бортової операційної електронної системи; систему зв'язку на основі Wi-Fi. Верхній рівень керування відповідає архітектурі «БПЛА-ПК» та створено телеметричною системою збору інформації про стан бортових систем БПЛА, системи зв'язку БПЛА з пунктом управління, а також обладнанням пункту управління. [7, с.3-5] Обладнання пункту управління обробляє телеметричні дані про стан БПЛА та його місце знаходження, формує програму польоту та у відповідності з нею видає команди на борт БПЛА. Окремо треба відмітити, що для більшості БПЛА основні функції про прийняття рішення реалізується не на борту, а на пункті управління людиною-оператором. Це рішення про профіль польоту, альтернативних варіантів досягнення бойового завдання, обробки даних, що поступає від бортового обладнання, приймає людина-оператор. Разом з цим, розвиток теорії штучного інтелекту, теорії керування групами БПЛА, підвищення можливостей розрахункових засобів привело до того, що з'явилися проекти націлені на створення програмного забезпечення і бібліотек з відкритим вихідним кодом в області машинного зору та штучного інтелекту, які напряду визначають напрямок подальшого розвитку БПЛА. [8]

Навігаційна система БПЛА може мати різний рівень складності та враховувати для розрахунків місця свого знаходження декілька сигналів, які поступають від різноманітних датчиків. На БПЛА, в залежності від його розмірів та складності вирішуваних завдань, можуть бути розміщені наступні варіанти навігаційної системи: - навігаційна система, заснована тільки на обладнанні виробників найбільш

використовуваних супутникових радіонавігаційних систем, якою облаштовуються прості та малі БПЛА – квадрокоптери; - проста інтегрована навігаційна система, розроблена на основі комплексування даних мікромеханічних інерційних навігаційних систем, що входить до складу бортового обладнання багатьох малих БПЛА, які використовуються для виконання професійних завдань; - інтегрована навігаційна система, яка на основі комплексування сигналів декількох приладів, а саме, механічних, барометричних, радіотехнічних та лазерних, встановлюється на БПЛА середнього класу; - інтегрована навігаційна система, що працює на основі комплексування сигналів декількох навігаційних пристроїв та практично повністю повторює навігаційну систему пілотованого літального апарату і використовується у БПЛА важкого класу. [9] Найбільш складні БПЛА для професійного використання мають навігаційну систему другого або третього типу, до складу якої додатково входять елементи автономної навігаційної системи, які мають мікромеханічні акселерометри та гіроскопи, але така автономна навігаційна система без її корекції не спроможна виконувати автономні розрахунки траєкторії польоту, їй заважають високі швидкості дрейфу гіроскопічних датчиків. Накопичує похибка мікромеханічних інерційних систем, в умовах відсутності коригуючих сигналів, за одну хвилину складає три метри у горизонтальній площині та два метри у вертикальній площині. Таким чином, ці навігаційні системи не спроможні підтримувати необхідну точність траєкторії польоту без додаткових коригуючих сигналів, при цьому мається на увазі прямолінійна траєкторія польоту без прискорення та маневру. Додатковими засобами підвищення автономності та точності навігаційних систем БПЛА є додаткове встановлення барометра та лазерного висотоміра. Це обладнання дозволить підвищити точність розрахунку координат за рахунок використання додаткових каналів комплексування навігаційних даних, а також формувати

траєкторію польоту БПЛА з необхідною точністю по електронним картам місцевості, які мають барометричні дані та висотні профілі. [10]

У середніх та важких БПЛА використовуються авіаційні навігаційні системи четвертого типу на основі лазерних або волоконно-оптичних гіроскопів. Такі системи забезпечують похибку розрахунку траєкторії польоту приблизно півтора кілометра за одну годину польоту, при цьому інформація, яка поступає по іншим каналам, є вторинною і після верифікації і комплексування вона використовується тільки для корекції. Необхідно відмітити, що швидкий розвиток БПЛА приводить до удосконалення їх навігаційного забезпечення на основі використання новітніх технологій, технічного зору, технології автоматичного одночасного складання електронної карти місцевості. [11]

Система радіозв'язку БПЛА представляє собою сукупність різноманітних ліній, по яким передається інформація принципово різного типу, різного рівня важливості, обсягу, різного рівня захищеності. Для керування та обміну інформацією з БПЛА організуються наступні напрямки зв'язку: напрямок «вгору» організується від пункту керування до БПЛА та включає в себе: напрямок «вгору» для передачі команд керування БПЛА, а також для передачі команд керування спеціальним обладнанням та технічними засобами корисного навантаження, яке розміщене на БПЛА; напрямок «вниз» організується від БПЛА до пункту керування, та включає в себе напрямок для передачі телеметричної інформації про стан підсистем БПЛА, спеціального обладнання і технічних засобів корисної завантаження, а також інформації про виконання команд керування, швидкісна лінія передачі інформації від спеціального обладнання та технічних засобів корисної завантаження, розміщених на БПЛА. Ці лінії зв'язку можуть працювати у різних частотних діапазонах, використовувати різні режими з ретрансляцією і без неї, використовувати різні сигнально-кодові конструкції, спеціально адаптовані під важливість інформації, що повідомляється.



[12] Зв'язок організується в межах прямого бачення. Для зв'язку на далекі відстані можуть використовуватися БПЛА–ретранслятори та засоби супутникового зв'язку. Якщо команди керування не приходять то БПЛА, він переходить у режим автономного польоту, у якому можуть виконуватися не складні програми, такі як «повернення», «прямий політ», «баражування», так і складні програми автономного польоту, які засновані на заздалегідь закладених електронних картах місцевості та інформації навігаційної системи. Система радіозв'язку БПЛА дуже важлива тому, що від її надійної роботи безпосередньо залежить виконання бойових завдань підрозділами Збройних сил України.

### ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином, в результаті аналізу повномасштабної війни Росії в Україні і збройних конфліктів сучасності встановлено, що існує систематичне збільшення інтенсивності масованого застосування БПЛА для вирішення бойових завдань тактичного, оперативного та стратегічного рівнів. Головними тенденціями бойового застосування БПЛА є використання їх для виконання бойових завдань з ведення розвідки, спостереження за полем бою, знищення наземних цілей, створення хибних повітряних цілей. Всі ці бойові завдання виконуються завдяки надійній роботі бортового обладнання сучасних БПЛА. У зв'язку з цим, особу увагу необхідно приділити постійному удосконаленню систем бортового обладнання з використанням при цьому новітніх технологій та сучасних досягнень науково-технічного прогресу. У роботі відмічено, що у ході виконання бойових завдань для більшості БПЛА основні питання вирішуються не на борту, а на пункті керування оператором бойового завдання. Це питання про профіль та траєкторію польоту, про можливі варіанти виконання бойового завдання, обробку інформації, яка представлена бортовим обладнанням. Разом з тим, сучасний

розвиток теорії штучного інтелекту, теорії керування групами БПЛА, підвищення можливостей обчислювальних засобів поступово приводить до того, що з'являються можливості кардинального підвищення автономності та інтелектуальності керування БПЛА. Науковці провідних країн світу, у тому числі і військові, працюють над розробкою програмного забезпечення та бібліотек з відкритим початковим кодом в частині машинного зору та штучного інтелекту, вони безпосередньо з'ясовують напрямок подальшого розвитку та удосконалення БПЛА.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Все про російські та українські безпілотники в інфографіці: характеристики, використання. [Надя Кельм, Денис Губашов](https://texty.org.ua/), 2022-08-04 , <https://texty.org.ua/>
2. Розвідка, перехоплення цілей і керування вогнем: які безпілотники задіяно у війні в Україні. [Вікторія Яснопольська](https://fakty.com.ua), журналістка розділу Здоров'я, 27 Лютого 2023 р., 20:04, <https://fakty.com.ua>
3. Дрони, які використовує ЗСУ, 08/02/2023, People's Project, «Цензор», <https://tro.mil.gov.ua>
4. Бойові малорозмірні безпілотні літальні апарати з реактивною тягою: монографія / під ред. Академіка НАН України, д.т.н., проф. А.А. Халатова. – Дніпро: Ліра, 2023. – 144 с.
5. Застосування безпілотних літальних апаратів збройними силами Російської Федерації у війні проти України [Електронний ресурс] / О. О. Олексенко, О. В. Авраменко, А. В. Федоров та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2022. – № 4(49). – С. 37–42. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.05>.
6. Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності [Електронний ресурс] / С. І. Корсунов, А. Ф. Волков, М. І. Оборонов та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2021. – № 3(44). – С. 66–81. – Режим доступу : <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.4.08>.
7. Дудуш А.С., Тютюнник В.О., Резніченко О.А., Гогоняц С.Ю. «Сучасний стан та проблеми протидії маловисотним,

низькошвидкісним та малорозмірним БПЛА» –  
<http://sit.nuou.org.ua/article/download/159095/158399>;

8. **Замятин П. А.** Классификационные признаки беспилотных летательных аппаратов аэродромного базирования // Chronos. 2020. Вып. 4 (43). С. 76–84
9. **Евтодьева М. Г., Целицкий С.В.** «Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства» - [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/put\\_y\\_miru/2019/02/09](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/put_y_miru/2019/02/09);
10. **Алехеев Alex.** «Настоящее и будущее беспилотной авиации» <https://topwar.ru/89642-Часть-1-Военноеобозрение.-2016>.
11. **Растопчин В.В.** «Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния»; «Стандарт NATOAJP-3.3.1(8). ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIRAND SPACE OPERATIONS. 2016»;
12. **Корольов Р.В., Растопчин В.В.** «Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів», [Електронний ресурс] <https://www.ukrmilitary.com/2017/>

#### REFERENCES

1. Everything about Russian and Ukrainian drones in infographics: characteristics, use. Nadia Kelm, Denys Gubashov, 2022-08-04, <https://texty.org.ua/>
2. Reconnaissance, target interception and fire control: what drones are used in the war in Ukraine. Victoria Yasnopolska, journalist of the Health section, February 27, 2023, 20:04, <https://fakty.com.ua>
3. Drones used by the Armed Forces, 02/08/2023, People's Project, "Censor", <https://tro.mil.gov.ua>
4. Combat small-sized unmanned aerial vehicles with jet propulsion: monograph / ed. Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ph.D., prof. A.A. Khalatova - Dnipro: Lira, 2023. - 144 p.
5. The use of unmanned aerial vehicles by the armed forces of the Russian Federation in the war against Ukraine [Electronic resource] / O. O. Oleksenko, O. V. Avramenko, A. V. Fedorov and others. // Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. – 2022. – No. 4(49). – P. 37–42. – Access mode: <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.05>.
6. Transformation of tasks of unmanned aviation:

from creation to application in modern military conflicts [Electronic resource] / S. I. Korsunov, A. F. Volkov, M. I. Oboronov and others. // Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. – 2021. – No. 3(44). - pp. 66–81. – Access mode: <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.08>.

7. **Dudush A.S., Tyutyunnyk V.O., Reznichenko O.A., Hогonyants S.Yu.** "Current state and problems of countering low-altitude, low-speed and small-sized UAVs" - <http://sit.nuou.org.ua/article/download/159095/158399>;
8. **Zamyatin P. A.** Classification signs of unmanned aerial vehicles based on airfields // Chronos. 2020. Issue 4 (43). P. 76–84
9. **Evtodyeva M. G., Tselitsky S.V.** "Unmanned military aircraft: trends in development and production" - [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/put\\_y\\_miru/2019/02/09](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/put_y_miru/2019/02/09);
10. **Alexeev Alex.** "Present and future unmanned aviation" <https://topwar.ru/89642-Part-1-Military-review.-2016>.
11. **Rastopchyn V.V.** "Attack unmanned lethal vehicles and anti-aircraft defense - problems and prospects of confrontation"; "Standard NATOAJP-3.3.1(8). ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIRAND SPACE OPERATIONS. 2016";
12. **Korolev R.V., Rastopchyn V.V.** "Analysis of modern means of destroying unmanned aerial vehicles", [Electronic resource] <https://www.ukrmilitary.com/2017/>

#### Study of on-board equipment of modern uavs

*Viktor Mamich, Oleksandr Semchak, Anatoly Buz, Artur Chkalov, Dmytro Korol*

**Abstract.** This paper analyzes the development and production of modern unmanned aerial vehicles (UAVs). It is noted that they have the following main systems: glider; propulsion system; power supply system; management system; navigation system; telemetry system; radio communication system. All UAV systems are interconnected and work as one complex mechanism. Depending on the list of combat tasks to be solved, the following devices can be additionally installed on board the UAV: optical-electronic, thermal imaging, radar, radiotechnical, radiation, chemical, bacteriological and other types of reconnaissance systems with small intelligence storage systems; means of setting

active radio-electronic jammers; means of aiming and adjusting guided weapons; various means of defeat; means of control and communication with the ground control point; responsible for the state identification system; autonomous flight and automatic landing devices. The work reveals the features of the UAV engine design, it is noted that 4, 6 or more engines are installed on modern helicopter-type UAVs, so-called "multicopters", "quadcopters", "drones". In this work, it is noted that the UAV navigation equipment can have various level of complexity and use several signals coming from sensors of different physical origins to calculate its location. The features of the UAV radio communication system are revealed, which is a set of various lines through which intelligence information of various levels of importance and protection is transmitted. All communication links can use different frequency bands and different relay modes, use different signal-code designs, specially adapted to the importance of the intelligence information being transmitted. It was noted that in the absence of a control command, the UAV goes into autonomous flight mode.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, intelligence information, navigation equipment, means of communication, auxiliary systems, sensors of various physical origin.