

УДК 623.4

Сорочкін О. М. ORCID: 0000-0001-8336-9978 (ХНУПС ім. Івана Кожедуба)  
Сосулін М. В. ORCID: 0009-0003-0178-621x (ХНУПС ім. Івана Кожедуба)  
Матвєєв Є. В. ORCID: 0000-0002-1582-7591 (ХНУПС ім. Івана Кожедуба)

## ПЕРСПЕКТИВИ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЇ ЧЕРЕЗ ІНТЕГРАЦІЮ БПЛА, ШІ ТА НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

Стаття присвячена аналізу перспектив розвитку військової авіації через інтеграцію безпілотних літальних апаратів (БПЛА), штучного інтелекту (ШІ) та новітніх технологій. Безпілотні літальні апарати стали невід'ємною частиною сучасних військових стратегій, виконуючи розвідку, спостереження, збирання розвідувальних даних (ICP) та бойові операції. Висока ефективність БПЛА дозволяє Збройним Силам України використовувати ці системи для розвідки, радіоелектронної боротьби та ударів. Інтеграція автономних систем штучного інтелекту та сучасних сенсорів значно покращила можливості БПЛА, дозволяючи їм адаптуватися до динамічних ситуацій та приймати рішення в реальному часі. Розвиток технологій роїв, де кілька БПЛА діють злагоджено, є перспективним напрямом. Незважаючи на свої переваги, БПЛА стикаються з викликами у сфері радіоелектронної боротьби та кіберзагроз. Забезпечення безпечних каналів зв'язку та захист від радіоелектронних перешок є критично важливими. Крім того, ефективне використання БПЛА вимагає спеціалізованої підготовки операторів. Штучний інтелект стає ключовим інструментом у військовій авіації, надаючи новітні можливості для автономного управління польотами, точного розпізнавання цілей та оперативного прийняття рішень. Інтеграція хмарних технологій дозволяє автономним літакам отримувати та обробляти дані в реальному часі, сприяючи злагодженій взаємодії та обміну інформацією між різними платформами. Кібербезпека стає ключовою для захисту автономних літаків від кібератак. Технології Інтернету речей (IoT) сприяють зв'язку між системами та сенсорами, покращуючи готовність та обслуговування автономних бойових літаків. Модернізація пілотів-солдатів також охоплює впровадження передових технологій для підвищення операційних можливостей.

**Ключові слова:** військова авіація, безпілотні літальні апарати, штучний інтелект, новітні технології, кібербезпека, інтеграція, автономні системи.

### ***O. Sorochkin, M. Sosulin, Y. Matvieiev Prospects of military aviation through the integration of UAVs, AI and the latest technologies***

The article is devoted to the analysis of prospects for the development of military aviation through the integration of unmanned aerial vehicles (UAVs), artificial intelligence (AI) and the latest technologies. Unmanned aerial vehicles have become an integral part of modern military strategies, performing reconnaissance, surveillance, intelligence gathering (IGI) and combat operations. The high efficiency of UAVs allows the Armed Forces of Ukraine to use these systems for reconnaissance, electronic warfare and strikes. The integration of autonomous artificial intelligence systems and modern sensors has greatly improved the capabilities of UAVs, allowing them to adapt to dynamic situations and make decisions in real time. The development of swarm technologies, where several UAVs operate in concert, is a promising direction. Despite their advantages, UAVs face challenges in the field of electronic warfare and cyber threats. Ensuring secure communication channels and protection against radio-electronic interference are critical. In addition, the effective use of UAVs requires specialized training of operators. Artificial intelligence is becoming a key tool in military aviation, providing the latest opportunities for autonomous flight control, accurate target recognition and quick decision-making. The integration of cloud technologies allows autonomous aircraft to receive and process data in real time, facilitating harmonious interaction and information sharing between different platforms. Cybersecurity is becoming key to protecting autonomous aircraft from cyberattacks. Internet of Things (IoT) technologies facilitate communication between systems and sensors, improving the readiness and maintenance of autonomous combat aircraft. The modernization of soldier pilots also includes the introduction of advanced technologies to enhance operational capabilities.

**Keywords:** military aviation, unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, the latest technologies, cyber security, integration, autonomous systems.

### **Вступ**

У сучасних умовах розвитку військової авіації особливе місце займає інтеграція безпілотних літальних апаратів та новітніх технологій, що забезпечують їх ефективне функціонування. Військові конфлікти та війни останніх років підкреслюють необхідність використання автономних систем для виконання небезпечних та складних завдань, що знижує

ризиків для людських життів та підвищує ефективність бойових операцій. Важливість використання таких технологій в умовах сучасної російсько-української війни важко переоцінити, оскільки вони дозволяють забезпечити високу ефективність і точність виконання завдань.

Безпілотні літальні апарати стали ключовими елементами сучасних військових стратегій завдяки своїй здатності виконувати різноманітні завдання – від розвідки до проведення бойових операцій. БПЛА можуть бути дистанційно керованими або повністю автономними, що дозволяє використовувати їх у різних умовах. Інтеграція штучного інтелекту значно розширює можливості цих систем, дозволяючи їм адаптуватися до змінних умов бойових дій, приймати рішення в реальному часі та виконувати складні координовані операції.

Інновації в сфері сенсорних технологій і систем прихованості дозволяють БПЛА виконувати широкий спектр місій з високою ефективністю. Крім того, розвиток технологій роїв, де кілька БПЛА діють злагоджено, відкриває нові можливості для проведення складних розвідувальних місій та ударних операцій. Впровадження нових технологій також дозволяє підвищити безпеку використання БПЛА, забезпечуючи захист від радіоелектронних загроз та кіберзагроз, що є критично важливим для їх ефективного функціонування.

Успішна інтеграція БПЛА з пілотованими літаками в бойових операціях демонструє їхню універсальність та важливість. Комбінований підхід, коли БПЛА виконують розвідку та придушення систем протиповітряної оборони ворога, а пілотовані літаки виконують точкові удари, максимально використовує сильні сторони обох платформ. Цей підхід дозволяє забезпечити високу ефективність та мінімізувати ризики для пілотованих літаків.

Незважаючи на значні переваги, БПЛА стикаються з викликами у сфері радіоелектронної боротьби та кіберзагроз. Забезпечення безпечних каналів зв'язку та захист від радіоелектронних перешкод є критично важливими для збереження їхньої цілісності. Досвід з поточних конфліктів підкреслює необхідність постійного вдосконалення захисту від БПЛА, що включає покращення радіолокаційних систем та електронних контрзаходів. Ефективне використання БПЛА також вимагає спеціалізованої підготовки операторів, що включає комплексні програми підготовки з технічних навичок, тактичного застосування та стратегії протидії радіоелектронній боротьбі.

#### **Актуальність дослідження**

Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком технологій, що забезпечують можливість створення та використання автономних бойових систем. Російсько-українська війна демонструє високу ефективність безпілотних літальних апаратів, які виконують різноманітні завдання, зокрема розвідку, спостереження, збирання розвідувальних даних та проведення бойових операцій. Інтеграція штучного інтелекту дозволяє підвищити ефективність цих систем, роблячи їх більш адаптивними та автономними.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Розвиток сучасних інформаційних технологій та автоматизації, зокрема технологій штучного інтелекту, значно вплинув на ефективність та можливості використання безпілотних літальних апаратів у військових операціях.

В роботі [1] розглянуто застосування ШІ для групових дій БПЛА. Автори детально аналізують використання штучного інтелекту для координації та управління групами БПЛА під час виконання бойових завдань. Вони підкреслюють важливість розробки ефективних алгоритмів для автономної роботи БПЛА, що дозволяє знизити залежність від людського фактора та підвищити загальну ефективність бойових операцій.

Дослідження [2] присвячено ролі та викликам спільного застосування пілотованої та безпіотної авіації у військових операціях. Автори підкреслюють необхідність комбінованого використання пілотованих літаків і БПЛА для досягнення максимального ефекту в бойових умовах. Основну увагу приділено викликам, які пов'язані з інтеграцією цих систем, а також

розробці стратегій для забезпечення ефективної взаємодії між пілотованими та безпілотними платформами.

Робота [3] розглядає застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту. Автори досліджують можливості використання БПЛА для виконання завдань, які пов'язані з ліквідацією надзвичайних ситуацій, наданням допомоги в зонах катастроф та моніторингом екологічної ситуації. Вони наголошують на важливості розвитку технологій БПЛА для підвищення ефективності системи цивільного захисту.

У дослідженні [4] розглянуто таксономію поведінки та ієрархічну модель управління роями БПЛА для виконання бойових та спеціальних місій. Автор аналізує різні підходи до управління роями БПЛА, підкреслюючи важливість розробки ефективних моделей для координації дій великої кількості безпілотних апаратів. В роботі також розглянуто виклики, пов'язані з інтеграцією БПЛА у бойові дії, та пропонуються шляхи їх вирішення.

Дослідження [5] присвячено авіаційній техніці четвертого і п'ятого поколінь, їх історії та напрямках подальшого розвитку. Автори аналізують сучасні тенденції розвитку авіаційної техніки, включаючи інтеграцію новітніх технологій та систем управління. Вони підкреслюють важливість розвитку технологій ШІ та БПЛА для підвищення ефективності військових операцій.

У статті [7] розглянуто вплив електрифікації літаків на майбутнє військової авіації. Автор аналізує переваги та виклики, пов'язані з впровадженням електричних систем у військові літаки, підкреслюючи важливість інтеграції новітніх технологій для підвищення ефективності та зниження витрат на військові операції.

Ці дослідження підкреслюють важливість інтеграції БПЛА, ШІ та новітніх технологій для розвитку військової авіації, а також вказують на виклики та перспективи їх використання у сучасних військових умовах.

**Постановка задачі.** Задача цього дослідження полягає у визначенні основних напрямків розвитку військової авіації через інтеграцію безпілотних літальних апаратів, штучного інтелекту та новітніх технологій, а також у виявленні викликів та перспектив використання цих систем у сучасних військових конфліктах.

**Мета.** Метою дослідження є аналіз основних тенденцій розвитку військової авіації через інтеграцію БПЛА, ШІ та новітніх технологій, а також оцінка їх впливу на сучасні військові стратегії.

**Основна частина.** Безпілотні літальні апарати стали невід'ємною частиною сучасних військових стратегій, оскільки їх можна розділити на дистанційно керовані літальні апарати та повністю автономні системи. Нині, БПЛА використовуються для розвідки, спостереження, збирання розвідувальних даних та бойових операцій, часто виконуючи завдання, небезпечні для пілотованих літаків, що дозволяє Збройним Силам України ефективно використовувати БПЛА у війні з Росією, застосовуючи ці системи для розвідки, радіоелектронної боротьби та ударів. Здатність БПЛА діяти у зонах бойових дій без ризику для пілотів є надзвичайно цінною.

Розвиток автономних систем, штучного інтелекту та інтеграції сучасних сенсорів значно покращив можливості БПЛА, що оснащені ШІ, дозволяє їм адаптуватися до динамічних ситуацій та приймати рішення в реальному часі, підвищуючи їх ефективність і дозволяючи проводити координовані операції, збільшуючи їх вплив на полі бою. Крім того, вдосконалення технологій прихованості, систем радіоелектронної боротьби та універсальності бойового навантаження дозволяє БПЛА виконувати широкий спектр місій.

Успішна інтеграція БПЛА з пілотованими літаками в бойових операціях демонструє їхню універсальність та важливість, комбінований підхід, коли БПЛА виконують розвідку та придушення систем протиповітряної оборони ворога, а пілотовані літаки виконують точкові удари, максимально використовуює сильні сторони обох платформ. Розвиток технологій роїв,

де кілька БПЛА діють злагоджено, є перспективним напрямом, і такі рої можуть переважувати оборону ворога, проводити складні розвідувальні місії та виконувати координовані удари з високою ефективністю. Автономні рішення в роевих системах підвищують їх ефективність у динамічних бойових сценаріях [4].

Незважаючи на свої переваги, БПЛА стикаються з викликами у сфері радіоелектронної боротьби та кіберзагроз, оскільки забезпечення безпечних каналів зв'язку та захист БПЛА від радіоелектронних перешкод є критично важливими для збереження їхньої цілісності, і досягнення у сфері антизаглушення та надійного шифрування мають вирішальне значення. Іншим викликом є розробка заходів протидії ворожим БПЛА, що включає покращення радіолокаційних систем та електронних контрзаходів, досвід з поточних конфліктів підкреслює необхідність постійного вдосконалення захисту від БПЛА.

Ефективне використання БПЛА вимагає спеціалізованої підготовки операторів, тому комплексні програми підготовки, що охоплюють технічні навички, тактичне застосування та стратегії протидії радіоелектронній боротьбі, є важливими, а тренування на симуляторах та реальні навчання допомагають операторам розвивати необхідні навички для максимізації ефективності БПЛА в бойових умовах [5].

Штучний інтелект стає ключовим інструментом у військовій авіації, надаючи новітні можливості для автономного управління польотами, точного розпізнавання цілей та оперативного прийняття рішень (Decision-Making Model) (1):

$$R=f(D, S, T, A), \quad (1)$$

де  $R$  – прийняття рішення;

$D$  – дані (інформація про ситуацію);

$S$  – стратегія (план дій);

$T$  – технології (включаючи ШІ);

$A$  – аналіз (оцінка ризиків та можливостей).

Ці системи здатні аналізувати великі масиви даних в реальному часі, що значно підвищує ефективність та ситуаційну обізнаність під час виконання місій автономними бойовими літаками. Сполучені Штати та Китай активно розширюють свої можливості використання ШІ для різноманітних військових цілей, при цьому ключові компанії оборонної індустрії, такі як BAE Systems, Boeing, Elbit Systems, Leidos, Lockheed Martin та Raytheon, розробляють свої ШІ-технології самостійно або через аквізиції [2].

Застосування ШІ охоплює широкий спектр оборонних систем, включаючи автономні транспортні засоби та озброєння, що забезпечує підвищену точність, ефективність та зниження витрат військових операцій. Інтеграція хмарних технологій дозволяє автономним літакам отримувати та обробляти дані в реальному часі, що сприяє злагодженій взаємодії та обміну інформацією між різними платформами, підвищуючи загальну продуктивність місій. Серед інновацій, що знаходяться на стадії розвитку, варто відзначити антени з формуванням променя, мережі датчиків для моніторингу та V2V підтримку в автономних транспортних засобах, тоді як технології запуску безпілотників, інтелектуальні електромережі для заряджання електромобілів та мережеві сервіси, що базуються на геолокації, переживають період інтенсивного зростання.

З урахуванням високої залежності військової авіації від цифрових технологій, кібербезпека стає ключовою для захисту автономних літаків від кібератак, що є вирішальним для збереження недоторканності та конфіденційності військових дій. Зростання загрози кібератак пов'язане зі збільшенням взаємодії між фізичними та цифровими системами, а слабкі захисні механізми, агресивні тактики зловмисників, дефіцит кваліфікованих фахівців з кібербезпеки та недостатньо ефективного управління захистом підвищують ризики для оборонних підприємств. Тому кібербезпека є критично важливою для всіх секторів, зокрема для оборонної промисловості через секретність її даних [2].

Технології Інтернету сприяють зв'язку між системами та сенсорами, забезпечуючи ефективне моніторингу та управління, що покращує готовність та обслуговування автономних бойових літаків. На початковому етапі розвитку перебувають технології для керування трансмісіями літаків, дрони з дистанційним управлінням та системи уникнення зіткнень літаків, в той час як інтенсивно розвиваються технології для керування групами БПЛА, лідари для запобігання зіткненню на транспорті та методи виправлення супутникових зображень.

Робототехнічні системи відіграють важливу роль у розвитку автономних літаків, дозволяючи виконувати складні маневри та оптимізацію траєкторії польоту без людського втручання, включно з БПЛА та координованими місіями дронів (2):

$$\min \int_{t_0}^{t_f} L(x(t), u(t)) dt, \quad (2)$$

де  $L$  – функція втрат (наприклад, витрати пального);

$x(t)$  – стан системи в момент часу  $t$ ;

$u(t)$  – управлінські рішення (включаючи рішення, підтримані ШІ);

$t_0, t_f$  – початковий і кінцевий час.

Новітнім напрямкам розвитку належать алгоритми машинного навчання для прогнозування (3), системи уникнення зіткнень та автономні системи керування, тоді як технології радарів для уникнення зіткнень і LiDAR для зображень активно розвиваються, а також з'являються акустичні сигнали для автономних транспортних засобів (3):

$$y = f(x; \theta) + \epsilon, \quad (3)$$

де  $y$  – вихід (наприклад, ймовірність успішного завершення місії);

$x$  – вхідні дані (характеристики місії);

$\theta$  – параметри моделі;

$\epsilon$  – похибка.

Впровадження передових технологій для підвищення операційних можливостей, застосування генетичних алгоритмів для оптимізації бойових стратегій (4), включаючи системи доповненої реальності для збільшення ситуаційної обізнаності та мобільні пристрої для моніторингу здоров'я та продуктивності (4):

$$P(t + 1) = f(P(t), R, C), \quad (4)$$

де  $P(t)$  – популяція рішень в момент часу  $t$ ;

$R$  – операції вибору;

$C$  – кросовер та мутація.

Прорив у цих напрямках значно вплине на майбутнє оборонної промисловості, де модернізація солдатів стане одним із ключових факторів.

**Висновки.** Висновки цього дослідження підкреслюють важливість інтеграції безпілотних літальних апаратів, штучного інтелекту та новітніх технологій для розвитку військової авіації. Ці системи дозволяють підвищити ефективність бойових операцій, знизити ризики для людських життів та забезпечити більш ефективне виконання складних завдань. Незважаючи на значні переваги, виклики, пов'язані з кібербезпекою та протидією радіоелектронним загрозам, залишаються актуальними і потребують подальшого дослідження та вдосконалення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білозьоров О. С., Кадук С. О., Кривенков М. В., Беспалько О. В. Застосування штучного інтелекту для групових дій БПЛА // Тези доповідей науково-практичної конференції інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

"Безпілотна авіація у сучасній збройній боротьбі", 7 грудня 2023 року, Харків: Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2023. С. 45–50.

2. Герасименко В. В., Блискун О. Є., Печененко О. М., Гончаренко Є. В. Роль та виклики спільного застосування пілотованої та безпілотної авіації у військових операціях // Тези доповідей науково-практичної конференції інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Безпілотна авіація у сучасній збройній боротьбі", 7 грудня 2023 року, Харків: Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2023. С. 60–65.

3. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія / Д. В. Бондар, А. В. Гурник, А. О. Литовченко, В. В. Хижняк, В. Л. Шевченко, Д. М. Ядченко. Київ, 2022, 312 с.

4. Компанієць О. М. Таксономія поведінки та ієрархічна модель управління роями БПЛА для виконання бойових та спеціальних місій // Тези доповідей науково-практичної конференції інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Безпілотна авіація у сучасній збройній боротьбі", 7 грудня 2023 року, Харків: Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2023. С. 25–30.

5. Резнік В. І., Постольник М. М., Мосолов В. М., Сторожук С. М. Авіаційна техніка четвертого і п'ятого поколінь: історія та напрями подальшого розвитку. DOI: 10.54858/dndia.2021-17-22.

6. Leading innovators in galvano-scanners for the aerospace and defense industry. <https://www.army-technology.com/data-insights/innovators-galvanoscanners-aerospace-defence/>.

7. Matt McLaughlin. How aircraft electrification is shaping the future of military aviation: Defense News Whitepaper. 2023. 6 p.