

Петренко А. В., Іващенко А. Є., Зєнович О. Є.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ І РЕМОНТУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА

Анотація: в даній тезі розглянуто актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту системи автоматичного керування БпЛА.

Abstract: This thesis considers current problems of combat use and operation and repair of the automatic control system of UAVs.

Ключові слова: Безпілотний літальний апарат(БпЛА), системи автоматичного керування, радіоелектронна боротьба(РЕБ), експлуатація і ремонт.

Keywords: Unmanned aerial vehicles (UAVs), automatic control systems, electronic warfare (EW), operation and repair.

У сучасних умовах ведення бойових дій безпілотні літальні апарати (БпЛА) стали ключовим елементом тактичної та стратегічної переваги. Особливу роль у забезпеченні ефективності їх використання відіграють системи автоматичного керування (САК), які дозволяють здійснювати автономну навігацію, виявлення цілей, ухилення від загроз та координацію в роях. Проте, попри стрімкий розвиток технологій, існує низка критичних проблем, що обмежують бойову ефективність БпЛА. Також це призводить до зниження ефективності експлуатації і ремонт в польових умовах.

Проблеми бойового застосування:

1. Уразливість до засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ)
 - Заглушення GPS-сигналів та спуфінг призводять до втрати навігації.
 - Перехоплення або блокування каналів зв'язку унеможливорює дистанційне керування.
 - Відсутність захищених протоколів передачі даних підвищує ризик втрати апарата.
2. Обмежена автономність та адаптивність
 - Більшість САК не здатні самостійно приймати рішення в умовах змінної бойової обстановки.
 - Відсутність глибокої інтеграції з AI-модулями обмежує здатність до розпізнавання цілей, ухвалення рішень у реальному часі.
3. Проблеми координації в роях
 - Відсутність уніфікованих протоколів взаємодії між БпЛА різних типів.
 - Затримки в обміні даними ускладнюють синхронізацію дій у групових місіях.
4. Високі вимоги до операторів
 - Навіть автоматизовані системи потребують висококваліфікованого персоналу для налаштування, моніторингу та втручання у критичних ситуаціях.

Найбільш критичними є уразливість до засобів радіоелектронної боротьби(РЕБ). Більшість САК покладаються на супутникову навігацію. У зоні активного РЕБ противник може глушити GPS-сигнали або підмінювати координати, змушуючи БпЛА втрачати орієнтацію або рухатися в неправильному напрямку. Автоматичне керування часто передбачає обмін даними з наземною станцією або іншими БпЛА. Заглушення радіоканалів призводить до втрати телеметрії, неможливості коригування маршруту або передачі відео. Відсутність шифрування або слабкі протоколи зв'язку дозволяють противнику перехоплювати управління, змінювати маршрут або навіть захоплювати апарат. У бойових умовах навіть короткочасна втрата зв'язку може призвести до втрати цілі, зіткнення з перешкодою або знищення апарата.

Не менш важливим є вимоги до операторів які керують БпЛА. Оператор має розуміти принципи роботи САК, вміти втручатися у процес керування, діагностувати несправності та адаптувати сценарії. У бойових умовах оператори працюють під тиском, що може призвести до помилок у налаштуванні або втрати контролю. Також навчання операторів САК потребує часу, ресурсів і доступу до тренажерів, що не завжди можливо в умовах війни.

Проблема	Приклад	Наслідки
GPS-заглушення	БПЛА втрачали навігацію на Донеччині	Зниження точності ударів
Відсутність запчастин	Китайські дрони без доступних батарей	Виведення з експлуатації
Складність ремонту	Неможливість перепрошивки після пошкодження	Втрата апарата
Нестача кадрів	Недосвідчені оператори AI-модулів	Неефективне використання

Таблиця 1.1 – Основні приклади та їх наслідки в експлуатації Проблеми експлуатації та ремонту САК БПЛА:

1. Складність технічного обслуговування
 - Висока складність електронних компонентів (сенсори, процесори, плати).
 - Відсутність модульності ускладнює заміну окремих елементів.
2. Дефіцит запчастин
 - Обмежений доступ до імпортованих компонентів в умовах війни.
 - Висока вартість та довгий термін постачання критичних елементів.
3. Низька ремонтпридатність у польових умовах
 - Відсутність мобільних ремонтних станцій.
 - Недостатня кількість фахівців з діагностики та перепрошивки САК.
4. Відсутність документації
 - Багато БПЛА, особливо імпортовані, не мають відкритого доступу до технічної документації та прошивок.

Системи автоматичного керування (САК) є ключовим елементом сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), забезпечуючи автономність, стабільність польоту, навігацію, ухвалення рішень та координацію в роях. У бойових умовах ефективна експлуатація та ремонт САК мають вирішальне значення для підтримання боєздатності підрозділів. Проте на практиці виникає низка проблем — технічних, логістичних, кадрових і організаційних — які суттєво ускладнюють обслуговування та відновлення цих систем.

Сучасні САК включають десятки взаємопов'язаних компонентів: GPS-модулі, гіроскопи, акселерометри, барометри, камери, LIDAR, тепловізори, AI-процесори. Високий рівень інтеграції означає, що вихід з ладу одного елемента може спричинити збій усієї системи. Багато БПЛА мають монолітну конструкцію, де компоненти інтегровані в єдину плату або корпус, що унеможливорює швидку заміну окремих елементів. Наприклад, заміна GPS-модуля може вимагати повного демонтажу апарата.

Для діагностики несправностей потрібні спеціалізовані інструменти: осцилографи, логічні аналізатори, програматори, стенди для калібрування. У польових умовах такі засоби часто недоступні, що ускладнює точну діагностику. Відсутність резервних систем або дублюючих сенсорів означає, що навіть незначна несправність може призвести до повної втрати апарата. Крім того, багато САК не мають функцій самодіагностики або журналів помилок, що ускладнює пошук причин збою.

Більшість високоточних компонентів САК постачаються з-за кордону — з США, Китаю, ЄС. У воєнний час або в умовах санкцій доступ до них обмежений або повністю заблокований. Це створює критичну залежність від імпорту. Вартість окремих модулів (наприклад, тепловізорів) може перевищувати вартість самого БПЛА, що робить ремонт економічно недоцільним. Часто дешевше виготовити новий апарат, ніж відновити пошкоджений.

Відсутність стандартизації між моделями БПЛА ускладнює логістику — кожен тип апарата потребує унікального набору запчастин. Це призводить до необхідності зберігання великої кількості

різних компонентів, що збільшує витрати та час на ремонт. В Україні лише кілька підприємств здатні виготовляти окремі компоненти САК, і більшість з них працюють на малих обсягах або не мають сертифікації для військового застосування.

У більшості бойових підрозділів відсутні мобільні ремонтні станції, а ремонт здійснюється в тилу, що затримує повернення апаратів у стрій. У польових умовах немає спеціалізованих майстерень з необхідним обладнанням. Комерційні або імпортовані БпЛА часто не мають відкритого доступу до технічної документації, схем, прошивок, що унеможлиблює глибокий ремонт або адаптацію системи під нові завдання.

У разі програмних збоїв потрібна перепрошивка, але в польових умовах немає доступу до оригінального програмного забезпечення або програматорів. Відсутність резервного ПЗ або можливості відновлення системи з резервної копії призводить до втрати апарата. Через обмежені умови ремонту БпЛА часто повертаються в стрій з частково усуненими несправностями, що призводить до повторних поломок.

Ремонт САК вимагає високої кваліфікації — знань з електроніки, програмування, авіаційної техніки, системного аналізу. Таких фахівців недостатньо, особливо в бойових підрозділах. Навчальні програми часто обмежуються теоретичними курсами без практики на реальних апаратах. Один технік може обслуговувати десятки БпЛА, що призводить до перевантаження, помилок і зниження якості обслуговування.

Відсутність єдиної системи сертифікації технічного персоналу призводить до різного рівня підготовки і якості ремонту. Крім того, техніки часто не мають доступу до актуальних оновлень ПЗ, схем або інструкцій, що ускладнює адаптацію до нових моделей БпЛА.

Приклади з практики:

- **Відсутність запчастин:** Китайські БпЛА, що активно використовуються в бойових діях, часто не мають доступних батарей, камер або GPS-модулів. Це призводить до повного виведення апаратів з експлуатації.
- **Складність ремонту:** Неможливість заміни окремих компонентів без повного демонтажу корпусу затримує ремонт на кілька днів.
- **Нестача кадрів:** Один технік у підрозділі може обслуговувати понад 30 апаратів, що негативно впливає на якість обслуговування.
- **Відсутність документації:** Комерційні дрони, закуплені для військових потреб, часто не мають схем або доступу до прошивок, що унеможлиблює перепрошивку після збоїв.
- **Висока вартість компонентів:** Тепловізор або AI-модуль може коштувати більше, ніж сам корпус БпЛА, що змушує командирів списувати апарати замість ремонту.

Шляхами вирішення зазначених проблем є:

- Розробити модульні САК з можливістю швидкої заміни компонентів.
- Створити мобільні ремонтні станції з базовим набором інструментів для діагностики та перепрошивки.
- Розвивати локальне виробництво компонентів — сенсорів, контролерів, камер, плат.
- Впровадити відкриті протоколи та документацію для уніфікації ремонту та обслуговування.
- Підготувати технічний персонал через практичні курси, тренажери, сертифікацію.
- Формувати резерв запчастин на рівні підрозділів, з урахуванням типів БпЛА, що використовуються.
- Створити централізовану базу знань з інструкціями, схемами, оновленнями ПЗ для техніків.

Комплексне вирішення проблем експлуатації та ремонту САК дозволить підвищити бойову готовність БпЛА, зменшити втрати техніки та забезпечити стабільну роботу апаратів у найскладніших умовах сучасної війни.

Список використаних джерел:

1. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції ВНТУ «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 312 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/859>
2. Бондаренко О. Оцінювання ефективності ударних БпЛА в умовах бойових дій / О. Бондаренко // Військова наука. – 2023. – № 2. – С. 45–52. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://themilitaryscience.com/index.php/journal/article/download/99/129>

3. Ковальчук В. Проблеми керування безпілотними апаратами в умовах активного РЕБ / В. Ковальчук // Збірник наукових праць ВНТУ. – 2023. – № 1. – С. 88–94. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/35823>
4. Забродський І. Система керування групи БпЛА з оптичним позиціонуванням : магістерська дис. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 78 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/39504/1/Zabrodsky_magistr.pdf
5. Сидоренко М. Огляд методів автоматичного керування БпЛА / М. Сидоренко // Сучасні напрями розвитку науки. – 2023. – № 4. – С. 112–119. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/download/2822/2230>
6. Defense Express. Технічні виклики у використанні дронів на фронті / Defense Express. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://defence-ua.com>

Петренко Антон Вадимович – Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, слухач 262С навчальної групи, Харків, Україна; email; antonpetrenko10@gmail.com;

Іващенко Артем Євгенійович – Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, слухач, Харків, Україна; email; 59871515gm@gmail.com

Зенович Олександр Євгенійович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І., доцент кафедри № 203, Харків, Україна; email: aezenovich@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-6274>.

Petrenko Anton Vadymovych – Kharkivs'kyi natsional'nyy universytet Povitryanykh Syl im. I. Kozheduba, slukhach 262S navchal'noyi hrupy, Kharkiv, Ukrayina; email; antonpetrenko10@gmail.com;

Ivashchenko Artem Yevheniyovych – Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, student, Kharkiv, Ukraine; email; 59871515gm@gmail.com

Oleksandr Evgeniyovych Zenovich – Candidate of Technical Sciences, Kharkiv National Air Force University named after I., Associate Professor of Department No. 203, Kharkiv, Ukraine; email: aezenovich@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-6274>.