SECURITY AND DEFENCE

DOI: https://doi.org/10.64076/ap261026.04

Oleksandr Tarasenko
National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID iD: 0000-0001-8881-5869

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES EMPLOYMENT BASED ON THE EVALUATION OF THE INFORMATION RECEPTION, TRANSMISSION AND RETRANSLATION SYSTEM

Abstract. The paper presents the results of evaluating the efficiency of the existing information reception, transmission and retranslation system of unmanned aerial vehicles (UAVs) during operations. The main factors reducing the effectiveness of UAV employment are identified: the impact of electronic warfare, limited bandwidth of communication channels, instability of data transmission routes, insufficient development of the retranslation node network, and the lack of automated real-time channel monitoring. Based on the evaluation results, four directions for efficiency improvement are substantiated: increasing channel interference immunity, developing the retranslation network and route redundancy, prioritizing information flows, and automated channel quality monitoring. A coherent set of efficiency indicators is proposed to control the implementation results, together with a stepwise approach to their realization.
Keywords: unmanned aerial vehicle, information reception and transmission system, retranslation, employment efficiency, electronic warfare, automated monitoring.

Олександр Тарасенко
Національний університет оборони України, Київ, Україна
ORCID iD: 0000-0001-8881-5869

НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ ОЦІНЮВАННЯ СИСТЕМИ ПРИЙОМУ, ПЕРЕДАЧІ ТА РЕТРАНСЛЯЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. У доповіді розглянуто результати оцінювання ефективності функціонування наявної системи прийому, передачі та ретрансляції інформації з безпілотних літальних апаратів (БпЛА) під час ведення операцій. Визначено основні чинники, що знижують результативність застосування БпЛА: вплив засобів радіоелектронної боротьби, обмежену пропускну здатність каналів зв'язку, нестійкість маршрутів передачі даних, недостатню розвиненість мережі ретрансляційних пунктів та відсутність автоматизованого контролю стану каналу в реальному часі. На основі результатів оцінювання обґрунтовано чотири напрями підвищення ефективності: підвищення завадостійкості каналу, розвиток мережі ретрансляції та резервування маршрутів, пріоритизацію інформаційних потоків і автоматизований моніторинг якості каналу. Запропоновано узгоджений набір показників ефективності для контролю результативності впровадження зазначених напрямів та поетапний підхід до їх реалізації.
Ключові слова: безпілотний літальний апарат, система прийому та передачі інформації, ретрансляція, ефективність застосування, радіоелектронна боротьба, автоматизований моніторинг.

Досвід ведення бойових дій свідчить, що результативність застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) визначається не лише льотно-технічними характеристиками самого апарата, а й якістю системи прийому, передачі та ретрансляції інформації (СППРІ), яка забезпечує доставку відеопотоку, телеметрії та команд керування між бортом і наземним пунктом управління, зокрема на дальностях, що перевищують можливості прямого радіозв'язку. Проведене оцінювання ефективності функціонування наявної СППРІ під час ведення операцій виявило, що основними чинниками зниження її результативності є вплив засобів радіоелектронної боротьби, обмежена пропускна здатність каналів зв'язку, нестійкість маршрутів передачі даних, недостатня розвиненість мережі ретрансляційних пунктів та відсутність автоматизованого контролю стану каналу в реальному часі [1, 2]. Отримані результати потребують переходу від констатації наявних недоліків до обґрунтування конкретних напрямів підвищення ефективності застосування БпЛА, що й визначає мету цієї доповіді.

За результатами проведеного оцінювання систему прийому, передачі та ретрансляції інформації доцільно розглядати як складову загальної ефективності застосування БпЛА, оскільки саме якість даних, що надходять на пункт управління, визначає своєчасність і обґрунтованість рішень оператора та командира [3]. Узагальнені напрями підвищення ефективності, що випливають із виявлених недоліків наявної системи, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Напрями підвищення ефективності застосування БпЛА на основі оцінювання СППРІ

Напрям підвищення ефективності	**Технічна суть заходу**	**Очікуваний ефект для оцінюваної системи**
Підвищення завадостійкості каналу	Адаптивний вибір частоти, потужності та виду модуляції залежно від обстановки	Зниження втрат пакетів і стабільніша якість відеопотоку й телеметрії
Розвиток мережі ретрансляції та резервування маршрутів	Розгортання наземних і повітряних ретрансляторів, використання резервних каналів зв'язку (супутникового, тропосферного)	Розширення дальності стійкого зв'язку та збереження керованості БпЛА за втрати основного каналу
Пріоритизація інформаційних потоків	Розподіл пропускної здатності між командами керування, телеметрією та відео за пріоритетом	Гарантована доставка критичної для безпеки польоту інформації
Автоматизований моніторинг якості каналу	Безперервний контроль показників ефективності та прогнозування їх погіршення	Завчасне виявлення деградації зв'язку та своєчасне реагування оператора

Джерело: розроблено автором.

Підвищення завадостійкості каналу передбачає застосування адаптивних алгоритмів вибору робочої частоти та виду модуляції, що дозволяє зменшити

вплив навмисних і ненавмисних завад на якість зв'язку [2]. Розвиток мережі ретрансляції є окремим напрямом, оскільки більшість сучасних БпЛА діють на дальностях і висотах, за яких пряма радіовидимість із наземним пунктом управління порушується рельєфом місцевості чи кривизною земної поверхні; розгортання наземних, баштових або повітряних ретрансляторів разом із резервними супутниковими й тропосферними каналами дозволяє розширити зону стійкого зв'язку та зберегти керованість апарата у разі пригнічення основного каналу. Пріоритизація інформаційних потоків дає змогу за обмеженої пропускної здатності гарантовано доставляти найбільш критичну для безпеки польоту інформацію, тоді як менш пріоритетні дані, наприклад відео високої якості, можуть тимчасово стискатися або ретранслюватися з меншим пріоритетом. Автоматизований моніторинг якості каналу є наскрізним напрямом, що об'єднує перелічені заходи, зокрема оцінює доцільність перемикання на той чи інший ретрансляційний вузол, оскільки без безперервного контролю поточного стану зв'язку своєчасне застосування інших напрямів підвищення ефективності є неможливим [4].

Для обґрунтованого вибору та оцінки результативності запропонованих напрямів необхідно використовувати узгоджений набір показників ефективності СППРІ, що відображають як технічний стан каналу, так і його вплив на застосування БпЛА. Перелік основних показників, застосованих під час оцінювання наявної системи та придатних для контролю ефекту від упровадження запропонованих напрямів, наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Показники ефективності системи прийому, передачі та ретрансляції інформації з БпЛА

Показник ефективності	Що характеризує	Вплив на застосування БпЛА
Ймовірність своєчасної доставки інформації	Відповідність часу надходження даних вимогам до актуальності	Визначає придатність даних для прийняття рішень у реальному часі
Коефіцієнт втрати пакетів даних	Частку втраченої або спотвореної інформації в каналі	Впливає на якість відеоспостереження та точність цілевказання
Час відновлення зв'язку після переривання	Швидкість переходу на резервний канал чи маршрут	Визначає тривалість втрати керованості апарата
Пропускна здатність каналу передачі	Обсяг інформації, що може бути переданий за одиницю часу	Обмежує якість відео та кількість одночасно керованих апаратів

Джерело: систематизовано автором за [3, 5].

Запропоновані напрями доцільно впроваджувати комплексно, оскільки окреме застосування лише одного з них, наприклад підвищення завадостійкості без розвитку мережі ретрансляції, не усуває ризику повної втрати керованості апарата у разі виходу з ладу основного каналу. Водночас реалізація всіх напрямів одночасно потребує відповідного технічного переоснащення наземних пунктів

управління та бортового обладнання, що на практиці можливо здійснювати поетапно, починаючи із заходів автоматизованого моніторингу як найменш ресурсомісткого напряму. Такий поетапний підхід дозволяє вже на початкових етапах підвищити якість управлінських рішень за рахунок об'єктивнішої оцінки поточного стану зв'язку, не чекаючи завершення повного циклу модернізації системи [4, 5].

Висновки. Проведене оцінювання ефективності функціонування наявної системи прийому, передачі та ретрансляції інформації з безпілотних літальних апаратів дало змогу визначити чотири взаємопов'язані напрями підвищення ефективності їх застосування: підвищення завадостійкості каналу, розвиток мережі ретрансляції та резервування маршрутів, пріоритизацію інформаційних потоків та автоматизований моніторинг якості каналу. Реалізація зазначених напрямів на основі узгодженого набору показників ефективності дозволяє перейти від окремих технічних удосконалень до системного підвищення результативності застосування БпЛА в ході ведення операцій. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методики кількісного оцінювання очікуваного приросту ефективності застосування БпЛА від упровадження кожного із запропонованих напрямів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Бойко О. В., Петренко С. М. Оцінювання ефективності систем передачі інформації безпілотних авіаційних комплексів в умовах радіоелектронної боротьби. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2023. № 2(76). С. 45–52.

2. Boutaba R., Salahuddin M. A., Limam N., Ayoubi S., Shahriar N., Estrada-Solano F., Caicedo O. M. A comprehensive survey on machine learning for networking: evolution, applications and research opportunities. Journal of Internet Services and Applications. 2018. Vol. 9, Art. 16.

3. Wang M., Cui Y., Wang X., Xiao S., Jiang J. Machine learning for networking: workflow, advances and opportunities. IEEE Network. 2018. Vol. 32, No. 2. P. 92–99.

4. Коваленко Д. І. Застосування ретрансляційних комплексів для розширення дальності керування безпілотними літальними апаратами. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2022. № 1(43). С. 112–119.

5. Kaul S., Yates R., Gruteser M. Real-time status: how often should one update? Proceedings of the IEEE INFOCOM 2012. Orlando, FL, 2012. P. 2731–2735.