

Кувшинов О. В., доктор технічних наук, професор¹ (0000-0003-2183-7224)
Жук П. В., кандидат технічних наук, доцент² (0000-0002-9628-8074)
Калітнік М. С.³ (0000-0002-7897-9138)

¹ – Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України, Київ;

² – Інститут професійної військової освіти “Вишкіл лідерів” Національного університету оборони України, Київ;

³ – Науковий центр проблем виховання доброчесності та запобігання корупції у секторі безпеки та оборони Національного університету оборони України, Київ

Обґрунтування вибору безпілотних літальних апаратів у якості повітряних ретрансляторів для військових систем радіозв'язку

Резюме. У статті розглянуто питання вибору безпілотних літальних апаратів для використання в якості повітряних ретрансляторів у військових системах радіозв'язку. Проаналізовано основні тактико-технічні характеристики безпілотних літальних апаратів та засобів радіозв'язку, що можуть застосовуватися для ретрансляції сигналів, а також визначено ключові завдання щодо створення та вдосконалення повітряної радіомережі на основі безпілотних літальних апаратів. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності військового зв'язку та забезпечення стійкості комунікацій в умовах активної радіоелектронної боротьби.

Ключові слова: військова система радіозв'язку; безпілотні літальні апарати; повітряний ретранслятор; транспортна повітряна радіомережа.

Постановка проблеми. Головною умовою досягнення переваги над супротивником в ході бойових дій є високий рівень забезпечення військ (сил) всіма видами оперативної інформації. В умовах високої динаміки ведення бойових дій таку перевагу можливо досягти тільки у випадку, коли оперативна інформація про поточну обстановку доступна для всіх ланок управління (включаючи окремих військовослужбовців) [1–3]. При цьому на перший план виходить інформаційна перевага над противником, що знаходить своє відображення в реалізації новітніх технологій побудови систем спеціального призначення провідних воєнних альянсів.

Досвід збройного протистояння України збройній агресії Російської Федерації (РФ) свідчить, що однією з основних рис ведення бойових дій (операцій) є широке застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) різного призначення. Одним із важливих напрямків такого застосування є ретрансляція сигналів в радіомережах. Використання в складі військових систем радіозв'язку (ВСРЗ) БПЛА з розміщенням на їх платформі малогабаритних повітряних ретрансляторів (ПР) дозволяє значно покращити показники функціонування радіомереж, підвищити зв'язність засобів радіозв'язку (ЗРЗ) у мережі, підвищити енергетичну і частотну ефективність радіоканалів та будувати нові

архітектури систем радіозв'язку військового призначення [4–6].

Ураховуючи значну увагу, що приділяється удосконаленню військових систем управління, актуальним є питання вибору БПЛА, які можуть бути використані у якості повітряних ретрансляторів військових систем радіозв'язку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні існує значна кількість наукових статей, присвячених дослідженню специфіки застосування безпілотних систем військового призначення та подальших перспектив їх використання на підставі вже отриманого раніше досвіду в сучасних збройних конфліктах [7–11]. Аналізу використання БПЛА для ретрансляції сигналів в радіомережах присвячено роботи [4–6, 12, 13].

Аналіз публікацій дає змогу дійти висновку про актуальність аналізу питань побудови військових систем радіозв'язку з повітряними ретрансляторами в сучасних воєнних конфліктах різної інтенсивності.

Мета статті. Визначити основні вимоги до вибору БПЛА, що можуть бути використані у якості повітряних ретрансляторів для військових систем радіозв'язку.

Виклад основного матеріалу. Сучасні військові БПЛА виконують широкий спектр завдань, таких як ведення усіх видів повітряної розвідки, вогневого ураження техніки і живої сили противника та

забезпечення [2, 10, 14].

Одним із важливих завдань забезпечення військ (сил) є використання БПЛА у якості ретрансляторів зв'язку. Найбільш важливою перевагою ВСПЗ з ПР є здатність забезпечувати зв'язок в реальному часі без наявності будь-якої інфраструктури.

Топологія сучасних військових систем радіозв'язку має складну розподілену багатозв'язну структуру. Розглянемо ВСПЗ з ПР, яка складається з двох рівнів (рис. 1) [15]. Сукупність наземних засобів радіозв'язку

ВСПЗ формують наземні радіомережі (рівень 1). Сукупність БПЛА з ПР будуть створювати транспортну повітряну радіомережу (рівень 2), яка призначена для забезпечення зв'язності між елементами наземної радіомережі, організації резервного (додаткового) радіозв'язку з наземними вузлами, збільшення зони покриття, покращення показників якості інформаційного обміну за рахунок зміни її топології (та відповідно зменшення інтенсивності змін топології наземної мережі), маршрутизації.

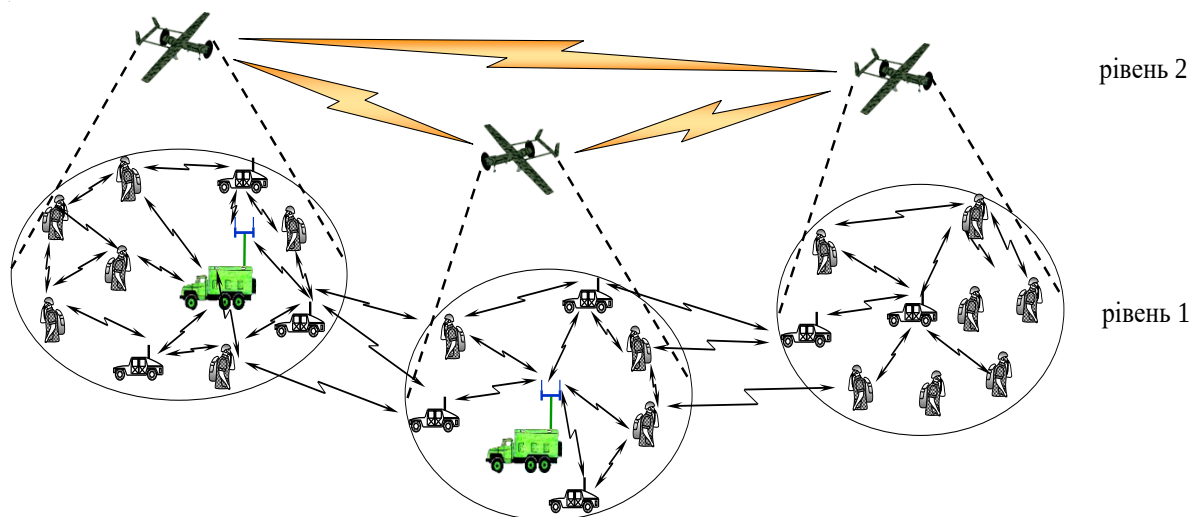


Рис. 1. Дворівнева архітектура військової системи радіозв'язку з повітряними ретрансляторами

Проведений аналіз сучасних ВСПЗ дозволив визначити такі переваги застосування в їх складі БПЛА з ПР [4, 6]:

забезпечується зв'язність між географічно розділеними військовими підрозділами;

підвищується надійність зв'язку між засобами радіозв'язку у межах однієї зони за рахунок появи альтернативних незалежних маршрутів передачі;

підвищується продуктивність мережі за рахунок нових можливостей маршрутизації через БПЛА з ПР;

забезпечується задана якість обслуговування абонентів за рахунок застосування детермінованих протоколів множинного доступу;

з'являється можливість дистанційного збору розвідувальної інформації або її знімання з датчиків сенсорних мереж.

Для ефективної організації зв'язку обладнання повітряних ретрансляторів повинно враховувати можливості наземних радіомереж щодо ведення радіозв'язку.

На сьогодні в тактичній та оперативній ланці управління ЗС України організовані та функціонують УКХ радіомережі, побудовані з використанням обладнання Motorola, Harris,

Aselsan з відповідними режимами функціонування [1, 3, 19].

Вибір конкретного типу радіостанції (ретранслятора) для встановлення на повітряному об'єкті, в першу чергу, залежить від військової частини (підрозділу) та радіостанцій, що використовуються в них для створення УКХ радіомереж.

Однотипний підйом декількох різнотипних засобів є недоцільним, як через збільшення ваги, так і через погіршення електромагнітної сумісності (створення взаємних завад).

Радіостанції (ретранслятори) різних виробників, які можуть встановлюватися на БПЛА, наведені в Табл. 1.

Згідно із заявленими виробником даними виріб Agent-201 забезпечує радіус зони покриття до 70 км при підйомі на висоту 600 м, виріб Agent-202, який представляє собою ретранслятор SLR5500, виконаний у спеціальному корпусі для встановлення на повітряних об'єктах, забезпечує радіус зони покриття до 130-150 км при підйомі на висоту 600 м.

Як повітряний ретранслятор можуть бути використані радіостанції компанії Aselsan VRC-9681, PRC-9651 та PRC-9661.

Компанія Harris на сьогоднішній день пропонує готове технічне рішення для реалізації ретранслятора на малогабаритних безпілотних повітряних об'єктах – радіостанцію RF-7850A-UA.

Для створення розгалужених мереж передачі даних на БпЛА потрібно встановлювати дві радіостанції, що конфігуруються як мережевий шлюз.

Таблиця 1

Обладнання УКХ радіозв'язку для створення ретрансляторів на базі БПЛА

Виробник	Ретранслятор	Потужність, Вт	Габарити (В×Ш×Д), мм	Вага (без антен), кг
Motorola	Agent-202 (SLR-5500)	1-45	72×205×375	4,8
	Agent-202 з дуплексером	1-45	105×205×410	5,9
	Agent-201 (2xDP4400)	1; 5	55×58×160	0,48
Harris	RF-7850A-UA	10	8,13×13,46×4,44	0,635
Aselsan	VRC-9681	30 (ЧМ) 10-15 (ACNR)	150×240×130	7
	PRC-9651	0,1; 1; 4 (ACNR) 1; 2 (NBNR)	85×257×54	1,4
	PRC-9661	1; 5; 10 (ACNR, NBNR, WBNR)	240×247×96	4,75

Основними параметрами при виборі БпЛА, призначеного для ретрансляції радіосигналів, є тривалість польоту, максимальна висота та вантажопідйомність (корисне навантаження).

Для забезпечення стійкого радіозв'язку БПЛА повинен мати якомога більший час знаходження у повітрі (60 хвилин і більше).

Під час планування радіомереж з повітряним ретранслятором необхідно оцінити зону покриття, яку він буде забезпечувати. Спрощена попередня оцінка радіусу зони покриття може бути проведена за формулою прямої видимості, яка враховує кривизну земної поверхні:

$$R_{\text{ПВ}}(\text{км}) = 3,57(\sqrt{h_{\text{РС}}}(\text{м}) + \sqrt{h_{\text{ПР}}}(\text{м})),$$

де $R_{\text{ПВ}}$ – відстань прямої видимості, км;

$h_{\text{РС}}$ – висота підйому антени радіостанції, м;

$h_{\text{ПР}}$ – висота підйому повітряного ретранслятора, м.

Результати розрахунків відстані прямої видимості для висоти підйому антени радіостанції $h_{\text{РС}} = 1,5\text{ м}$ та висоти повітряного

ретранслятора – 50-4000 м наведені у Табл. 2.

Таблиця 2

Розраховані значення відстані прямої видимості БПЛА

$h_{\text{ПР}}$, м	50	100	500	1000	2000	3000	4000
$R_{\text{ПВ}}$, км	29,6	40,1	84,2	117,3	164	199,9	230,2

В УКХ діапазоні радіохвиль реальна зона покриття буде значно меншою через властивість радіохвиль слабо огинати перешкоди на поверхні Землі (рельєф місцевості, насадження, будівлі тощо). Крім того, необхідно враховувати характеристики направленості антен радіостанцій та повітряного ретранслятора.

Як показано в [12], для забезпечення радіозв'язку для відстані від 3 до 25 км до найбільш віддалених радіостанцій повітряний ретранслятор треба підняти на висоту від 200-

4000 м.

Виходячи з масогабаритних показників засобів радіозв'язку, наведених в Табл. 1, БпЛА, які створюють транспортну повітряну радіомережу повинні мати вантажопідйомність - 0,5-14 кг.

У Табл. 3 наведено тактико-технічні характеристики (ТТХ) БПЛА комплексів українського та іноземного виробництва, які можуть бути використані у якості повітряних ретрансляторів ВСРЗ [4, 14, 17].

Таблиця 3

Тактико-технічні характеристики БПЛА

Назва БПЛА	Тривалість польоту, хв	Максимальна висота, м	Максимальна швидкість, км/год	Злітна вага, кг	Корисне навантаження, кг
Гермес 2-П	100	1500	90	11,5	1,2
Блек Аут	120	2000	80	13	3,5
Venator Scout	150	3000	150	13	2

Назва БПЛА	Тривалість польоту, хв	Максимальна висота, м	Максимальна швидкість, км/год	Злітна вага, кг	Корисне навантаження, кг
Гор	150	3500	108	7,4	1,5
T20 Довбуш	90	4000	115	25	10
Surpriser	60	1500	72	41	20
Dambo	300	1000	60	30	15
Бджола	60	400	180	5,3	1,5
A1C "Фурія"	180	2500	130	5,5	1,5
МІІ-1 Spectator	120	2000	120	7	1,5
Leleka LR	240	2000	120	8,7	0,6
PD-2	600	4700	140	55	19
Raybird-3	1080	3500	140	23	5
Shark	120	2000	150	10	2
Skif	120	4000	120	12	4
UJ-22 Airborne	420	6000	160	85	20
Puma-LE	360	3000	120	12,2	2,5
ScanEagle	1080	6000	148	26,5	5
FlyEye	180	4000	120	11	4
Ельф	120	3500	72	7	3

Враховуючи вищенаведені ТТХ БПЛА та засобів радіозв'язку, які можуть бути використані для ретрансляції сигналів, можна виділити основні задачі на шляху створення та удосконалення повітряної радіомережі на основі БПЛА для зв'язку між географічно рознесеними підрозділами.

1. Зважаючи на різноманітність засобів радіозв'язку, що використовуються ЗС України, виникає потреба в розробці універсального ретранслятора на БПЛА, який буде здатний забезпечувати роботу радіомереж, що працюють з використанням обладнання різних виробників.

2. Топологія ВСРЗ носить динамічний характер і постійно піддається впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, тому застосування транспортної повітряної радіомережі має бути направлено на підвищення структурної живучості та надійності системи, пропускної спроможності радіомереж, якості маршрутів передачі даних між абонентами та їх мобільності [18, 19]. Однією з основних задач управління ВСРЗ з ПР є управління їх топологією.

3. Сучасні системи і засоби військового радіозв'язку функціонують у складній радіоелектронній обстановці, що зумовлюється навмисними і ненавмисними завадами, які діють в каналі, та завмираннями сигналів, що виникають внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль. Як свідчить набутий досвід сучасних збройних конфліктів, засоби радіоелектронного подавлення здатні з високою ефективністю та у короткий час подавити систему зв'язку, побудовану на традиційних принципах.

Одним з напрямків підвищення ефективності функціонування ВСРЗ в умовах активної радіоелектронної протидії є

застосування в них ретрансляторів з адаптивними методами формування і обробки сигналів. Алгоритм їх функціонування передбачає заповнення відсутньої апіорної інформації щодо умов ведення зв'язку, які змінюються, та використання її для управління параметрами і режимами роботи радіоліній з метою забезпечення необхідних показників якості радіозв'язку [15]. Це потребує реалізації в ВСРЗ автоматизованого процесу пристосування до сигнальної і завадової обстановки.

Крім того, повітряні ретранслятори будуть цілком для засобів протиповітряної оборони супротивника. Це потребує додаткових заходів щодо захисту ПР (наприклад вибір місця розміщення ПР відносно лінії бойового зіткнення).

4. Для ефективного адаптивного управління ресурсами і параметрами ВСРЗ в умовах активної радіоелектронної протидії важливим завданням є оцінка радіоелектронної обстановки, яка полягає в оперативному (у режимі, близькому до реального часу) оцінюванні стану каналів зв'язку, визначення напрямків на сусідні вузли мережі, ідентифікація завад та визначення їх просторових, частотних і енергетичних параметрів [20].

Висновок. Застосування в складі військових систем радіозв'язку БПЛА з розміщенням на їх платформі малогабаритних повітряних ретрансляторів дозволить забезпечити стійке управління своїми військами, бойовими та спеціальними засобами в умовах складної радіоелектронної обстановки при активному застосуванні противником засобів радіоелектронної боротьби. Визначено основні задачі на шляху створення та удосконалення повітряної

радіомережі на основі БпЛА.

Напрямом **подальших досліджень** є розроблення та удосконалення методів управління топологією військових систем радіозв'язку з ПР при впливі різних видів навмисних завад.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Думитраш В. А., Бондаренко О. Є., Думитраш О. В., Гетьман А. В. Аналіз напрямків розвитку систем радіозв'язку НАТО // Збірник наукових праць ВІТІ. 2020. № 1. С. 22–34.
- Кучеренко Ю. Ф., Науменко М. В., Кузнецова М. Ю. Аналіз досвіду застосування безпілотних літальних апаратів та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні мережецентричних операцій // Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 1 (53). С. 25–30. DOI: 10.30748/soivt.2018.53.03.
- Сергієнко А. В., Думитраш В. О., Нечушкін М. П., Самелюк О. С. Аналіз характеристик сучасних військових УКХ радіостанцій щодо використання в телекомунікаційних аероплатформах // Збірник наукових праць ВІТІ. 2019 № 4. С. 134–143.
- Міночкін А. І., Сова О. Я., Марилів О. О., Троцько О. О. Аналіз використання безпілотних літальних апаратів у якості ретрансляторів тактичних мобільних радіомереж // Збірник наукових праць ВІТІ. 2017. № 1. С. 61–69.
- Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях : монографія / І. С. Романченко, С. Л. Данилюк, С. М. Чумаченко [та ін.]. Київ : НАУ, 2016. 332 с.
- Романюк В. А., Степаненко Є. О., Панченко І. В., Восколович О. І. Літаючі самоорганізуючі радіомережі // Збірник наукових праць ВІТІ. 2017. № 1. С. 104–114.
- Медведев В. К., Коренівська І. С., Хажанець Ю. А., Салов А. О. Безпілотні літальні апарати та їхній вплив на перебіг російсько-української війни // Наука і оборона. 2023. № 2. С. 52–59.
- Олексенко О. О., Місюк Г. В., Ікаєв Д. Р., Коршок В. М., Палка В. М. Основні тенденції застосування безпілотних літальних апаратів у російсько-українській війні // Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ. 2024. Вип. 3(21). С. 99–105.
- Кучеренко Ю. Ф., Власік С. М., Беспалько О. В., Сальник О. В. Аналіз застосування безпілотних літальних апаратів при веденні сучасних війн та основні заходи щодо боротьби з ними // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2023. № 2 (51). С. 38–45. DOI: 10.30748/nitps.2023.51.05.
- Безпілотна авіація у військовій справі: монографія / С. П. Мосов [та ін.]. Київ : Інтерсервіс, 2019. 324 с.
- Волотівський П. Б., Гончаров О. В., Давиденко В. М., Мамонова Н. Л. Способи та засоби протидії БПЛА, їхні переваги та недоліки. Погляди щодо напрямів їх розвитку // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2024. Вип. 20 (27). С. 104–114.
- Гурський Т. Г., Сова О. Я., Палівода В. С. Аналітична модель позиціонування повітряних ретрансляторів військових радіомереж в умовах навмисних завад // Збірник наукових праць ВІТІ. 2020. № 1. С. 14–21.
- Гурський Т. Г. Аналітична модель оцінки впливу засобів РЕБ на радіолінії з ППРЧ у радіомережах з повітряним та наземним ретрансляторами // Збірник наукових праць ВІТІ. 2019. № 3. С. 23–32.
- Бондаренко Ю. Ю., Павлюк В. Ю., Геращенко М. М. Стан виробництва, застосування та окремі питання нормативно-методичного забезпечення випробувань безпілотних літальних апаратів // Випробування та сертифікація. 2023. № 1(1). С. 7–16.
- Кувшинов О. В. Адаптивне управління засобами завадозахисту військових систем радіозв'язку // Збірник наукових праць ВІКНУ. 2009. Вип. 17. С. 125–130.
- Кувшинов О. В., Гурський Т. Г., Гриценко К. М., Шишацький А. В. Аналіз режимів роботи та перспектив бойового застосування сучасних військових УКХ радіостанцій іноземного виробництва // Збірник наукових праць ВІТІ. 2018. № 1. С. 43–52.
- Бездельний В. В., Шульга О. С., Кулешов О. В., Донник О. О. Удосконалення національної класифікації безпілотних літальних апаратів // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2023. № 1(50). С. 29–37.
- Романюк В. А., Степаненко Є. О. Задачі управління топологіями мереж зв'язку тактичної ланки управління // Збірник наукових праць ВІТІ. 2017. № 2. С. 101–109.
- Jamei S. M., Faez K., Dehghan M. Multiobjective Optimization for Topology and Coverage Control in Wireless Sensor Networks // International Journal of Distributed Sensor Networks. 2015. Vol. 2015. Article ID 363815.
- Sova O., Shyshatskyi A., Salnikova O., Zhuk O., Trotsko O., Hrokholskyi Y. Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment // EUREKA. Physics and Engineering. 2021. № 4. P. 30–40.

Стаття надійшла до редакційної колегії 07.04.2025

Justification of the choice of unmanned aerial vehicles as airborne repeaters for military radio communication systems

Annotation

The experience of Ukraine's armed confrontation against the military aggression of the Russian Federation (RF) demonstrates that one of the key features of conducting combat operations is the widespread use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for various purposes.

One important area of such use is the relay of signals within radio networks.

The integration of UAVs equipped with compact airborne relay devices (ARDs) into military radio communication systems (MRCS) allows for significant improvements in network performance, enhances connectivity among radio communication devices (RCDs), increases the energy and frequency efficiency of radio channels, and enables the development of new architectures for military radio communication systems.

The aim of this article is to define the main requirements for selecting UAVs that can be used as airborne relays for military radio communication systems.

The analysis of the technical specifications (TS) of UAVs and communication devices suitable for signal relaying has made it possible to identify the key tasks in the development and improvement of an airborne radio network based on UAVs for communication between geographically dispersed units:

Development of universal UAV-mounted relay capable of supporting radio networks that operate with equipment from different manufacturers;

Enhancement of structural survivability, reliability, network throughput, data transmission route quality between subscribers, and mobility;

Improvement of the operational efficiency of military radio communication systems under conditions of active electronic warfare by using relays with adaptive signal formation and processing methods;

Real-time (or near-real-time) assessment of communication channel status, determination of directions to neighboring network nodes, identification of interference, and determination of its spatial, frequency, and energy parameters.

Keywords: military radio communication system; unmanned aerial vehicles; aerial repeater; transport aerial radio network.