

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ АЕРОПЛАТФОРМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В ТАКТИЧНІЙ ЛАНЦІ УПРАВЛІННЯ

У статті проведено аналіз використання телекомунікаційних аероплатформ для зв'язку в тактичній ланці управління, перелік завдань, що ними виконуються, переваги та недоліки застосування телекомунікаційних аероплатформ.

Сергиенко А.В., Станович А.В., Бондаренко О.Е., Руденко В.И. Анализ применения телекоммуникационных аэроплатформ для обеспечения связи в тактическом звене управления. В статье проведен анализ использования телекоммуникационных аэроплатформ для связи в тактическом звене управления, перечень задач, которые выполняются, преимущества и недостатки применения телекоммуникационных аэроплатформ.

A. Sergienko, O. Stanovich, O. Bondarenko, V. Rydenko Analysis of the application of telecommunications airplanes to provide communication in the tactical control link. The article analyzes the use of telecommunication airplanes for communication in tactical control, the list of tasks that are being performed, the advantages and disadvantages of using telecommunications airplanes.

Ключові слова: телекомунікаційні аероплатформи, безпілотні літальні апарати, аеростати.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Досвід проведення антитерористичної операції на сході України показує про необхідність швидкого та якісного забезпечення зв'язком тактичної ланки управління Збройних сил України.

Це обумовлено швидкою зміною обстановки, складного рельєфу, необхідністю розгортання великої кількості блокпостів та утворення мобільних груп для виконання окремих завдань.

Гостро стоїть питання забезпечення зв'язком і для взаємодії з іншими військовими формуваннями. Специфіка дій підрозділів передбачає створення постійно діючої та в той же час мобільної системи зв'язку, яка дозволяла б швидке нарощування системи, а на окремих напрямках – збільшення її пропускнуної спроможності.

На сьогодні збройні сили передових країн світу приділяють велику увагу до розвитку мобільних радіомереж (МР) з використанням повітряних ретрансляторів розмішених на телекомунікаційних аероплатформах (ТА) та створення безпроводових самоорганізованих мереж Flying Ad-hoc networks (FANET) [1, 2]. Мережі класу FANET можуть бути розглянуті як послідовний етап мережі класу MANET та Vehicle Ad-hoc networks (VANET) [3].

Створення функціональних МР можливе з застосуванням ТА на базі аеростатів та безпілотних літальних апаратів (БпЛА).

В той же час основними технічними вимогами для наступного покоління тактичних МР зв'язку є:

- інтеграція всіх видів трафіка (мова, дані, відео, відеоконференція);
- повна мобільність всіх абонентів і елементів мережі;
- забезпечення заданої якості обслуговування користувачів (QoS) на значних географічних територіях в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї;
- гарантована засекреченість усіх видів інформації;
- мінімальна участь людини в питаннях планування й ведення зв'язку [4].

Головною особливістю аеростатів та БпЛА є те, що апарати можуть виконувати визначені задачі в автоматичному режимі, або за мінімальної участі людини в процесі управління, запобігання ризику для життя та покриттям великої площі.

Аналіз останніх публікацій. Аналізу використання аеростатів та БпЛА присвячена значна кількість робіт. На сьогодні аеростати та БпЛА виконують задачі у багатьох галузях

як цивільної так і військової сфер [5 – 9].

У сучасному світі лідерами у сфері виробництва ТА військового призначення є Ізраїль, США та Канада. Останнім часом спостерігається велика активність в цій галузі і з боку Російської Федерації.

Бойові дії на сході держави спонукали до необхідності розвитку підприємств та організацій в даному напрямку, але рано говорити про масове виробництво в Україні (йде мова про збірку десятків БПЛА протягом кількох місяців, а аеростати і взагалі не виробляються). Сам факт появи ТА за такі короткі терміни говорить про перспективу розвитку виробництва та побудови системи зв'язку, яка б забезпечувала необхідним сервісом телекомунікаційних послуг.

Тому **метою статті** є аналіз застосування ТА для зв'язку в тактичній ланці управління.

Постановка завдання. Таким чином, існує нагальна потреба в дослідженні підходів, якими користуються в світі, щодо впровадження систем зв'язку на основі ТА. Це дасть змогу змінити певні погляди щодо використання стандартних технічних рішень при забезпеченні необхідним сервісом телекомунікаційних послуг тактичну ланку управління, а впровадження систем зв'язку на основі ТА призведе до зниження залежності від наземних телекомунікаційних систем.

Особливо це стосується в забезпеченні зв'язності між географічно розділеними угрупованнями військ, підвищення надійності зв'язку, продуктивності мережі, якості обслуговування абонентів, тощо.

Основний матеріал

В останній час збільшилась зацікавленість фахівців провідних країн світу щодо побудови системи зв'язку на аеростатах. І перспективи використання є революційними.

В залежності від робочої висоти аеростати можна розділити на три види: [10].

- низько підняті (НПА) (до 7 км);
- середньо підняті (СПА) (8 – 12 км);
- високо підняті, або висотні, стратосферні (18 км і вище).

Також розрізняють керовані аеростати (дирижаблі, моторизовані аеростати з двигунами та повітряними гвинтами), нерегульовані (сферичні аеростати, або повітряні кулі, стратостати, радіозонди та ін.), прив'язні, або змійкові.

Висота польоту керованих і некерованих аеростатів змінюється, завдяки випусканню частини баласту (для піднімання) або випусканню частини газу (опускання). Прив'язні аеростати піднімають і опускають за допомогою лебідки.

В залежності від способу з'єднання бортового телекомунікаційного обладнання з наземним можна виділити два види аеростатів:

- прив'язні, якщо з'єднання реалізується через кабель та кріпиться до літального апарату;
- вільно підйомні, що не мають прив'язного канатного пристосування.

Термін безперервної роботи телекомунікаційного обладнання на ТА обмежується, в основному, системою енергоживлення.

Джерелом електроенергії для телекомунікаційного обладнання можуть бути бортові паливні енергоустановки або сонячні батареї. Останні ефективні лише для високопіднятих платформ, розміщених в зоні високого рівня сонячного випромінювання. Деякі стратосферні аероплатформи можуть забезпечити енергію від своїх сонячних батарей не тільки телекомунікаційної апаратури, але й двигуни, що забезпечують рух платформи. Проблема енергозабезпечення дуже легко вирішується для прив'язних аеростатів, що здійснюється по кабелю з пускової обстановки.

Це, в свою чергу, дозволяє створювати повністю автономну довготривалу аероплатформу.

На сьогодні найбільший інтерес в ролі ТА представляють висотні аеростати, розташовані на висотах від 18 км в зоні, вільної від шляхів цивільної авіації. Враховуючи відсутність Національного супутника зв'язку в Україні вказані ТА фактично являються

альтернативою системі супутниковому зв'язку (high altitude platform stations – HAPS). Системи зв'язку з використанням надвисоких аероплатформ (HAPS системи) забезпечують послуги безпроводового зв'язку як вузькосмугового, так і широкосмугового.

Формально такі системи відрізняються від супутникових лише суттєво меншою відстанню ретранслятора від поверхні Землі, що значно зменшує витрати на їх розгортання і експлуатацію та забезпечує можливість подальшого удосконалення.

Якщо порівняти супутниковий і HAPS-зв'язок (табл. 1), то стає зрозумілим, чому сьогодні в країнах Європи, Азії та Північної Америки понад 30 компаній займаються розробкою та виробництвом HAPS [11].

Таблиця 1

Результати порівняльного аналізу супутникового і HAPS зв'язку

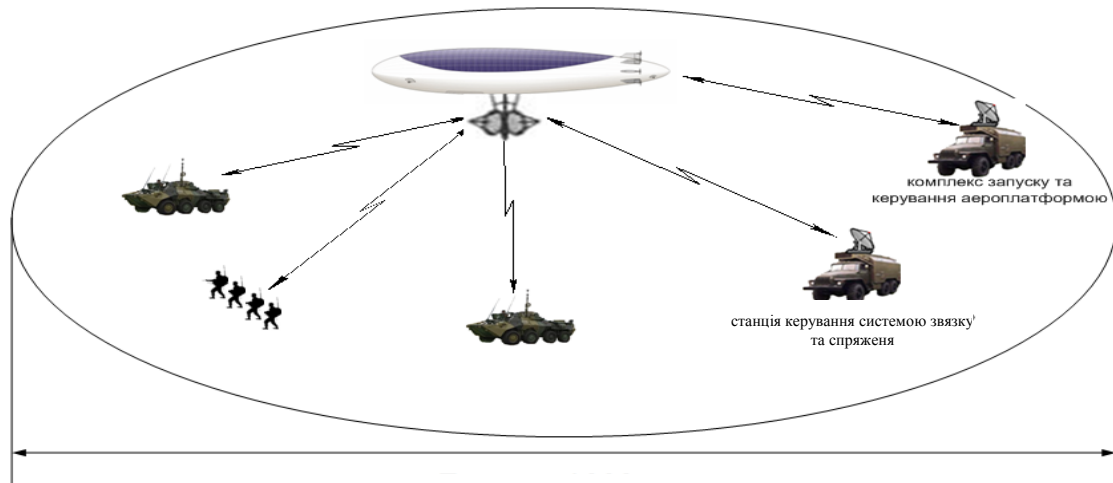
Характеристики	Супутниковий зв'язок	HAPS зв'язок
Мобільні термінали	Висока вартість, громіздкі, з невеликою тривалістю роботи від акумуляторів	Подібні до терміналів наземних систем
Затримка розповсюдження сигналу	Суттєва	Низька
Розвиток системи	За рахунок збільшення кількості супутників, удосконалення обладнання можливе лише при заміні супутника	За рахунок збільшення діаграми спрямованості та кількості аероплатформ, удосконалення обладнання відносно нескладне
Складність системи завдяки руху компонентів	Рух супутників по орбіті є вагомим фактором складності системи, особливо коли застосовуються міжсупутникові зв'язки	Помірна складність
Операційна складність	Висока завдяки необхідності постійних запусків на заміну старих супутників	Деякі проекти потребують частих посадок для дозаправки і відпочинку екіпажу
Якість радіоканалу	Поширення у вільному просторі із затуханням Райса 20 дБ/декаду, обмеження спектральної ефективності	Подібна до наземного радіоканалу
Зона покриття	Великі регіони для геостационарних супутників (біля 1/3 поверхні Землі) і глобальна для низько і середньорбітальних супутників	Декілька сотень кілометрів на аероплатформу (діаметр близько 1000 км)
Вплив тіньового ефекту	Тільки для невеликих кутів місця	Подібно до супутникових систем
Інфраструктура	Один шлюз управляє трафіком на великій території	Подібно до супутникових систем
Необхідність аеродромної інфраструктури	Необхідний космодром	Необхідна розчищена ділянка

Система зв'язку, розгорнута за допомогою HAPS, дозволить забезпечити надання усіх сучасних телекомунікаційних послуг (телефонія, передача даних, відеоконференцзв'язок та ін.) абонентам стаціонарних і рухомих пунктів управління різного рівня, при роботі на стоянці та під час руху та в умовах впливу організованих радіозавад.

Крім того, дозволить у найкоротший термін організувати зв'язок та взаємодію з іншими силовими структурами. Варіант HAPS-системи наведений на рис. 1.

Відповідно до корисного навантаження, дана ТА зможе забезпечувати приймання, обробку та ретрансляцію інформаційних сигналів. Затримка сигналів для HAPS, розташованих на висоті 25 км, становить лише 0,083 мс (для низькоорбітального супутника, що перебуває на висоті 1390 км, затримка в одному напрямку складає приблизно 5 мс).

Зона покриття, при підйомі аероплатформи на вказану висоту – діаметром близько 1000 км. Сила вітру на висоті 20 – 25 км значно зменшується і становить близько 10 м/с, повітря має меншу щільність, що зменшує навантаження на конструкцію аероплатформи у 30 - 40 разів.



Близько 1000 км
Рис. 1 Загальна структурна схема HAPS-системи

З найбільш привабливих властивостей аероплатформ, на відміну від супутників, є можливість безпосереднього доступу до телекомунікаційного обладнання. Це робить системи на базі аероплатформ універсальними, дозволяє проводити обслуговування бортового обладнання та його модернізацію. Такі пристрої зможуть замінити нинішні космічні кораблі у багатьох сферах застосування, заповнюючи проміжок між висотами, освоєними аеропланами, і висотами, на яких знаходяться низькоорбітальні супутники. [10].

Важливим моментом також є те, що на висоті 20 – 25 км забезпечується пасивний захист від протиповітряних зенітно-ракетних комплексів („Игла”, „Stinger”) та артилерійських систем.

Зразки, що знаходяться на етапі виготовлення та випробування наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Основні характеристики перспективних висотних аеростатів

Країна виробник / назва	Фото	Висота базування (км.)	Вага активного навітаження (кг.)	Тривалість польоту
РФ Авгурь «Барс»		20-23	1200	6 місяців
Германія SkyStation		20	1000	3-4 місяця
США Stratsat		21	1500	6 місяців

Середньо та низько підняті аеростати, на відміну від висотних, працюють в зоні інтенсивного повітряного руху, що суттєво ускладнює використання таких аероплатформ. Також потрібно виділяти для них окремі повітряні коридори польотів так як перебувають на висотах руху спеціальних авіаційних апаратів (вертоліт, літаки і т. д.), та піддаються ризику вогневого ураження. Але це не зменшує потреби в їх застосуванні.

Хоча, як згадувалося вище, ТА в виконанні аеростатів піддаються ризику вогневого ураження, це зовсім не означає, що легко це зробити, так як оболонка виконується з „прозорого” для пеленга покриття. Навіть тоді, коли сталось ураження, аеростат повільно

втрачатиме висоту, що дозволяє приземлитись без пошкодження дорогого обладнання.

Основними напрямками використання СПА та ПНА є забезпечення безпеки держав, робота засобів ППО та ПРО, спостереження за морськими, сухопутними, повітряними кордонами, організація зв'язку з збільшенням в рази інтервалів.

Переваги перед традиційними літальними апаратами є: менша вартість їх створення та експлуатації (вартість використання 1 кг корисного навантаження за годину для супутників коштує \$3000 – \$12000, для безпілотних літальних апаратів – \$1000 – \$3000, а для HAPS – \$6 – \$15); швидка готовність після розгортання комплексу; можливість оперативної передислокації; значне корисне навантаження, можливість варіювання швидкістю руху аж до нульової; можливість вертикального злету і посадки поза аеродромною мережею.

При застосуванні СПА та ПНА в якості ТА, радіус обслуговування складає близько 300 км, тривалість перебування в піднятому стані – 10-20 діб. Корисне навантаження складає близько 800 кг.





На сьогодні відомо, що в кінці 2017 року у Збройних Силах РФ пройшли випробування аеростату в якості військового телекомунікаційного ретранслятору, в результаті яких були підтверджені основні тактико-технічні характеристики комплексу.

За оцінкою експертів, один подібний комплекс замінює десятки дорогих наземних ретрансляторів. З навантаженням в 300 кг комплекс здатний перебувати 15 діб в повітрі на висоті 3,5 км. У військовому відомстві повідомили, що аеростатні ретранслятори плануються використовувати для високошвидкісної передачі великих обсягів інформації і в найближчому майбутньому надійдуть у війська. Детальні характеристики не наводяться, так як являються конфіденційними.[12] Розвинені держави також ведуть активні роботи розробки та застосовують успішні результати.

Основні тактико-технічні характеристики СПА та ПНА наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Основні характеристики СПА та ПНА

Країна виробник / назва	Фото	Висота базування (км.)	Вага активного навантаження (кг.)	Тривалість польоту
Росія „Пересвет”		3 – 3,5	1000	15 діб
Росія „Сервал”		до 4	200 – 3000	15 – 30 діб
США „PTDS”		до 4	200 – 3000	15 – 30 діб
США „74M”		до 3	200 – 3200	30 діб

Відносно нове і необхідне в Україні, і нажалі лише єдине в якості ТА, є виробництво та застосування БпЛА. І бойові дії на сході України посприяли цьому розвитку. З переліку зазначених підприємств в Україні наведених в табл. 4, видно, що дев'ять з них працюють над виробництвом БпЛА військового призначення (дронів).

Таблиця 4


Підприємства з виробництва БПЛА зареєстровані на території України

Підприємство	Модель та призначення БПЛА	Рік реєстрації	Місто реєстрації
ВАТ „Меридіан”	МП-1 Spectator	1992	Київ
ТОВ „НПП „АтлонАвіа”	A1-C „Фурія”	2014	Київ
ТОВ „Укрспецсистемс”	People’sDrone PD-1	2014	Київ
ТОВ „Юатехнолоджі”	UA-БЕТА, UA-GAMMA	2010	Київ
ТОВ „Дефсі”	Observer-S	2007	Київ
НВП „Спайтек”Spagow (разом з ДП „Спецтехноекспорт” (Київ))	Columba	2015	Одеса
ДП „Чугуївський авіаційний ремонтний завод”	Стрепет-L	1998	Чугуїв, Харківська обл.
ТОВ НВП „Айтек”	Patriot RV010, Skif (сільгосппризначення)	2014	Київ
ТОВ ВИК „Девіро”	„Лелека-100”	2015	Дніпро
ТОВ „Діджифлай”	PD1900 (сільгосппризначення)	2014	Київ
ТОВ „Карболайн”	„МАРА-3м” (сільгосппризначення)	2014	Харків

В таблиці 5 наведено порівняння тактико-технічних характеристик БПЛА комплексів, які в найбільшій кількості поступили в підрозділи військових формувань України.

Таблиця 5

Порівняння тактико-технічних характеристик БПЛА

Назва БПЛА Характеристика	RQ-11 Raven	A1C Фурія	МП-1 Spectator
			
Швидкість польоту (км/год)	45-100	65-130	40-120
Максимальна висота польоту (м)	5000	2500	2000
Тривалість польоту (хв.)	60-90	120	120
Маса корисної навантаження (кг)	н/д	н/д	1,5
Максимальна злітна маса, (кг)	1,9	5	7
Тип силової установки	Електрична	Електрична	Електрична
Запуск	З руки	З пристрою запуску	З руки чи з пристрою запуску
Приземлення	н/д	На парашуті	На парашуті чи літаковим способом
Радіус дії, км	10	30	30
Режими управління	Автоматичний, напівавтоматичний, ручний	н/д	Автоматичний, напівавтоматичний, ручний
Ціна БПЛА комплексу з 3 дронів, млн грн	14	2,5	2

БПЛА, зазвичай, умовно поділяють на три великі категорії: дистанційні пілотовані апарати, автоматичні і гібридні. У свою чергу, в цих категоріях поділяють на мікро, міні, середні і важкі. Ставлення БПЛА до того чи іншого класу визначають по масі, дальності та

висоті польоту, часу, що апарат спроможний провести в повітрі:

- важкі – висота підйому до 20 км, можуть провести в повітрі без дозаправок більше 24 години;
- середні – висота підйому 9 – 10 км, здатні провести в повітрі 10 – 12 годин, маса до 1000 кг;
- міні – висота підйому 3 – 5 км, здатні провести в повітрі кілька годин, маса близько 50 кг;
- мікро – висота підйому до 1 км, здатні провести в повітрі близько години, вага до 10 кг. [13]

При відсутності навмисних перешкод можливо організувати прямий зв'язок між БпЛА і мобільною компонентою мережі зв'язку спеціального призначення на відстанях до 400 км. Піднята антена мобільного компонента мережі також покращує якість зв'язку та дальність.

Переваги застосування мережі БпЛА є: [14]

1. Забезпечується зв'язність між географічно розділеними угрупованнями військ (тактичними МР).
2. Підвищується надійність зв'язку між МБС у межах однієї зони за рахунок появи альтернативних незалежних маршрутів передачі.
3. Підвищується продуктивність мережі за рахунок: використання радіоканалів між БпЛА з більшою пропускною здатністю в порівнянні з радіоканалом МБС-МБС, ефективність керування мобільним компонентом (зменшується обсяг переданої службової інформації й зменшується час її збору, скорочення в кілька разів довжин маршрутів передачі інформації й т. д.
4. Забезпечується задана якість обслуговування абонентів (QoS) за рахунок застосування детермінованих протоколів множинного доступу.
5. Забезпечується дистанційний збір розвідувальної інформації або її знімання з датчиків сенсорних мереж.

Особливості застосування мережі БпЛА полягають у наступному:

1. Вплив ефекту Доплера на якість каналів зв'язку в само організованих мережах БпЛА. Це пов'язано з тим, що вузли такої мережі можуть мати високу швидкість руху як відносно землі, так і відносно один одного.
2. Діючі вузли можуть відключатися, а нові вузли – приєднуються до мережі під час виконання місії.
3. Топологія мережі схильна до швидких і частих змін, і, як наслідок, таким же змінам схильні маршрути доставки відеоданих і зображень від джерела (камери на борту БпЛА) до одержувача (наземної станції). Це призводить до того, що застосування відомих протоколів маршрутизації (AODV, OLSR) в більшості випадків не тільки не забезпечує прийнятну якість передачі даних в самоорганізованих мережах БпЛА, а й може призвести до неможливості виконання місії. Крім того, висока швидкість руху і зміна орієнтації вузлів в просторі вузлів мережі є додатковим негативним фактором, який впливає на якість обслуговування.

На сьогодні, як зазначалось вище, організацію зв'язку запропоновано здійснювати з використанням МР, що відносяться до класу MANET [15]. Розглядаючи дослідження було запропоновано багаторівневу архітектуру мобільної компоненти мереж зв'язку, що спроможна забезпечити інформаційний обмін в інтересах підрозділів, незалежно від їхнього підпорядкування, розміщення і задач, які вони виконують. Виходячи з вищевказаного, можливо зазначити, що її архітектура буде неоднорідною та буде складатися з п'яти рівнів (рис. 2): 0-й – сенсорні мережі (мережі телеметрії); 1-й – МР низової ланки управління; 2-й – мережі мобільних базових станцій (МБС), що утворять опорну мережу; 3-й – повітряна мережа, яка може бути реалізована на безпілотних літальних апаратах (СПА, НПА) (FANET); 4-й – мережа, яка може бути реалізована на аеростатах (FANET); 5-й – реалізується на супутниках. Побудова кожного рівня передбачає поліпшення показників якості функціонування всієї системи зв'язку. Кожен рівень мобільної компоненти використовує свій піддіапазон частот.

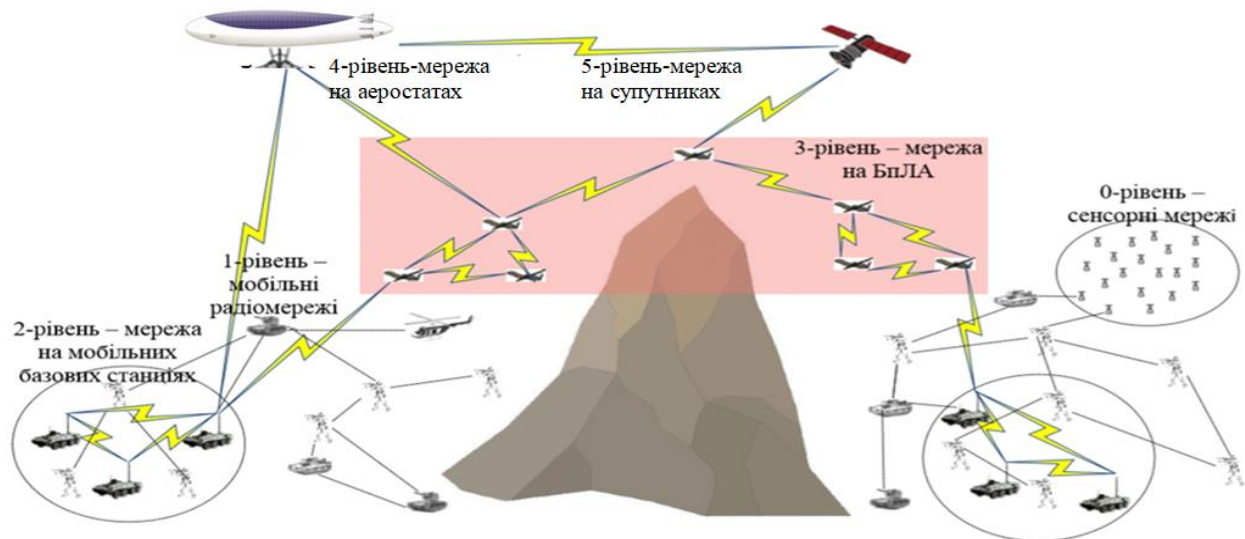


Рис. 2 Варіант побудови мобільної компоненти тактичної МР

Однак існує низка особливостей МР на кожному рівні, які необхідні при проектуванні РМ даного класу. Зокрема для мереж FANET характерними особливостями є: рівень мобільності вузлів в мережах FANET значно вищий, ніж в MANET чи VANET; у результаті високої мобільності вузлів має місце стрімка зміна топології мережі; існуючі мережі направлені на встановлення з'єднання типу peer-to-peer. Мережі FANET також потребують з'єднання peer-to-peer для координації безпілотних літальних апаратів і взаємодії між ними. Крім того, більшу частину часу в FANET відбувається збір даних (відео, зображення та ін.) з оточуючого середовища та передача їх в центр управління, подібно сенсорним мережам. Тому мережа FANET повинна одночасно підтримувати однорангове з'єднання між вузлами і зводити медіатрафік в одну точку мережі; – відстані між вузлами в мережах FANET, як правило, більші ніж в MANET чи VANET. Тому, щоб встановити канал зв'язку між БпЛА, необхідно забезпечити більшу дальність зв'язку. Це, у свою чергу, відобразиться на характері радіоканалу та на виборі обладнання; мережа, яка складається з декількох БпЛА, може мати різні види сенсорів, для кожного з яких можуть знадобитись різні алгоритми передачі даних.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз показав, що використання аеростатів та безпілотних літальних апаратів в ролі ТА є безсумнівною перспективою побудови системи зв'язку. Застосування мереж FANET забезпечить взаємозв'язок між віддаленими між собою угрупованнями військ, підвищить продуктивність мережі, надійність зв'язку, якість обслуговування користувачів та мають можливість забезпечити оперативну передислокацію; піддаються відновленню; після досягнення робочої точки забезпечується швидке розгортання системи зв'язку у межах зони покриття.

Проаналізувавши елемент побудови системи зв'язку на основі аеростатів бачимо наступні переваги, а саме: більша тривалість безперервної роботи повітряного ретранслятора в порівнянні з БпЛА. В порівнянні із системами супутникового зв'язку значно менша вартість створення та експлуатація системи; відсутня необхідність в спеціальній інфраструктурі для запуску ТА та координації частотно-орбітального ресурсу; не потребує ракети-носія, можливе технічне удосконалення системи під час її експлуатації; значно менша затримка передаваних сигналів, що покращує якість інформаційного обміну, може рухатися самостійно, змінювати швидкість або залишатися на місці, здійснювати посадку на Землю. Велика кількість різнотипних БпЛА дозволяє виконувати завдання відповідно до специфіки дій та взаємодії підрозділів. Напрямами подальших досліджень є зосередження зусилля на створенні системи зв'язку з застосуванням ТА для підрозділів тактичної ланки управління ЗС України з врахуванням досвіду розвинених країн світу та досвіду проведення антитерористичної операції на сході України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучерявый А.Е. Летающие сенсорные сети – новое приложение Интернета Вещей / А.Е. Кучерявый, А.Г. Владыко, Р.В. Киричек // Международная научно-техническая и научно-методическая конференция „Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании”. – СПб.: СПбГУТ, – 2015. – С. 17 – 22.
2. Романюк В.А. Мобільні радіомережі (MANET) – основа побудови тактичних мереж зв’язку / В.А. Романюк // IV Науково-практичний семінар ВІТІ „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 5 – 18.
3. Міночкін А.І. Аналіз використання безпілотних літальних апаратів у якості ретрансляторів тактичних мобільних радіомереж / А.І. Міночкін, О.Я. Сова, О.О. Марилів, О.О. Троцько // Збірник наукових праць ВІТІ № 1 – 2017. – С. 61 – 70.
4. Ankur O. MANET: History, Challenges and Applications / Ankur O. Bang, Prabhakar L. Ramteke // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 2013. Vol. 2. Iss. 9. pp. 249 – 251.
5. Рубан И.В. Класифікація безпілотних літальних апаратів / И.В. Рубан, О.І. Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третяк // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. – Вип. 1 (9). – С. 61 – 66.
6. Ильченко М. Е. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ / М. Е. Ильченко, С. А. Кравчук – К.: НПП „Издательство „Наукова думка” НАН Украины”, 2008. С – 580 .
7. Панченко І.В. Перспектива оснащення збройних сил України безпілотними авіаційними комплексами / VII Науково-технічна конференція ВІТІ ДУТ. – 2006. – С. 34 – 36.
8. Бичковський В.О. Перспективи розвитку аеростатних радіоелектронних комплексів / В.О. Бичковський // Наука і оборона – 2007. – № 1. – С. 58 – 60.
9. Міночкін А.І. Перспективи побудови тактичних систем зв’язку/ А.І. Міночкін, В.А. Романюк // III Науково-технічна конференція ВІТІ. –: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – С. 5 – 15.
10. Ильченко М.Ю. Сучасні телекомунікаційні системи. – М.Ю. Ильченко, С.О. Кравчук: НВП „Видавництво „Наукова думка” НАН України”. – 2006. – С. 56 – 70.
11. All the World’s Aircraft 2010-2011.– London: Jane’sInf. GroupLtd, 2010.– P. 759 – 780.
12. В России созданы аэростаты для военного Wi-Fi на сотни километров. [Электронный ресурс]: URL: // <https://rg.ru/2016/09/09/v-rossii-sozdany-aerostaty-dlia-voennogo-wi-fi-na-sotni-kilometrov.html>.
13. Панченко І.В. Перспектива оснащення збройних сил України безпілотними авіаційними комплексами / VII Науково-технічна конференція ВІТІ ДУТ. – 2006. – С. 34 – 36.
14. Миночкин А.И. Управление топологией мобильной радиосети / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв’язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.
15. Романюк В.А. Літаючі самоорганізуючі радіомережі. / В.А. Романюк, Є.О., Степаненко, І.В. Панченко, О.І. Восколович // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2017. № 1. – С. 104 – 114.