

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У ЯКОСТІ РЕТРАНСЛЯТОРІВ ТАКТИЧНИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОМЕРЕЖ

У статті проведено аналіз застосування безпілотних літальних апаратів у якості ретрансляторів тактичних мобільних радіомереж. Проведено класифікацію безпілотних літальних апаратів та встановлено перелік завдань, що виконуються безпілотних літальних апаратів у цивільній та військовій сферах. Розглянуто структуру мобільної компоненти та роль тактичних мобільних радіомереж з використанням безпілотних літальних апаратів у них.

Миночкин А.И., Сова О.Я., Марылив Е.А., Троцько А.А. Анализ беспилотных летательных аппаратов в качестве ретрансляторов тактических мобильных радиосетей. В статье проведен анализ применения беспилотных летательных аппаратов в качестве ретрансляторов тактических мобильных радиосетей. Проведена классификация беспилотных летательных аппаратов и установлен перечень задач, выполняемых беспилотными летательными аппаратами в гражданской и военной сферах. Рассмотрена структура мобильной компоненты и роль тактических мобильных радиосетей с использованием в них беспилотных летательных аппаратов.

A. Minochkin, O. Sova, O. Maryliv, O. Trotsko Analysis of unmanned aerial vehicles as relays tactical mobile radio networks. The article analyzes the use of unmanned aerial vehicles as repeaters mobile tactical radio networks. Classification of unmanned aerial vehicles, and established a list of tasks performed by unmanned aircraft in the civil and military spheres. The structure of the mobile components and the role of tactical mobile radio networks using these unmanned aerial vehicles.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, безпроводові самоорганізовані мережі, тактичні мобільні радіомережі, мобільні радіомережі, мобільна базова станція, мобільний абонент, *Flying Ad-hoc networks, Mobile Ad-hoc Networks, Vehicle Ad-hoc networks.*

Актуальність. Зміни в сучасному характері бойових дій, пов'язані, зокрема, з підвищенням значущості різних способів дистанційного впливу на супротивника; пріоритетом високотехнологічних видів зброї; розширенням простору ведення військових дій, а саме, збільшенням розосередженості формувань на полі бою, ростом глибини ешелонування угруповань військ внаслідок збільшення дальності засобів ураження сторін; зростанням активності оборонних дій; підвищенням значущості розвідувально-диверсійних дій в тилу противника; здійсненням „сфокусованого” постачання замість створення розосереджених запасів озброєнь і військової техніки та інших матеріальних засобів вимагають посилення інтелектуалізації і роботизації озброєння та військової техніки.

На сьогодні одним з найбільш перспективних напрямків розвитку у сфері тактичних мереж зв'язку є застосування мобільних радіомереж (МР), що відносяться до класу *Mobile Ad-hoc Networks* (MANET). В свою чергу розширення можливостей щодо передачі інформації (МР) може досягатися шляхом використання мобільних вузлів на базі безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Безпілотні літальні апарати можуть застосовуватись для створення безпроводових самоорганізованих мереж *Flying Ad-hoc networks* (FANET) [1-3]. Мережі класу FANET можуть бути розглянуті як особливий різновид мереж класу MANET та *Vehicle Ad-hoc networks* (VANET) [4,5].

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[1].

Основною перевагою застосування БПЛА є виконання завдань, що пов'язані з ризиком для людини. В цьому сенсі застосування групи БПЛА є ще більш доцільним: для ретрансляції зв'язку у тих місцях – де неможливо встановити антени покриття через складний рельєф, у сільському господарстві (групові обприскування полів), при аерофотозйомці (групова зйомка великих територій, моніторинг лісових пожеж, патрулювання територій тощо), переміщення вантажу. Вочевидь актуальним є застосування групи БПЛА у військових цілях для виконання розвідувальних операцій, контролю району ведення бойових дій та забезпечення зв'язку.

Об'єктом дослідження є організація зв'язку у тактичних МР.

Предмет дослідження – тактичні МР з використанням БПЛА у якості ретрансляторів.

Метою дослідження є проведення аналізу використання БПЛА у якості ретрансляторів мобільної компоненти тактичних радіомереж.

Аналіз сучасного стану дослідження. БПЛА на сьогодні виконують задачі у багатьох галузях як цивільної так і військової сфер (рис. 1) [6, 7]. Головною особливістю БПЛА є те, що апарати можуть виконувати свої задачі в автоматичному режимі, або за мінімальної участі людини в процесі управління.

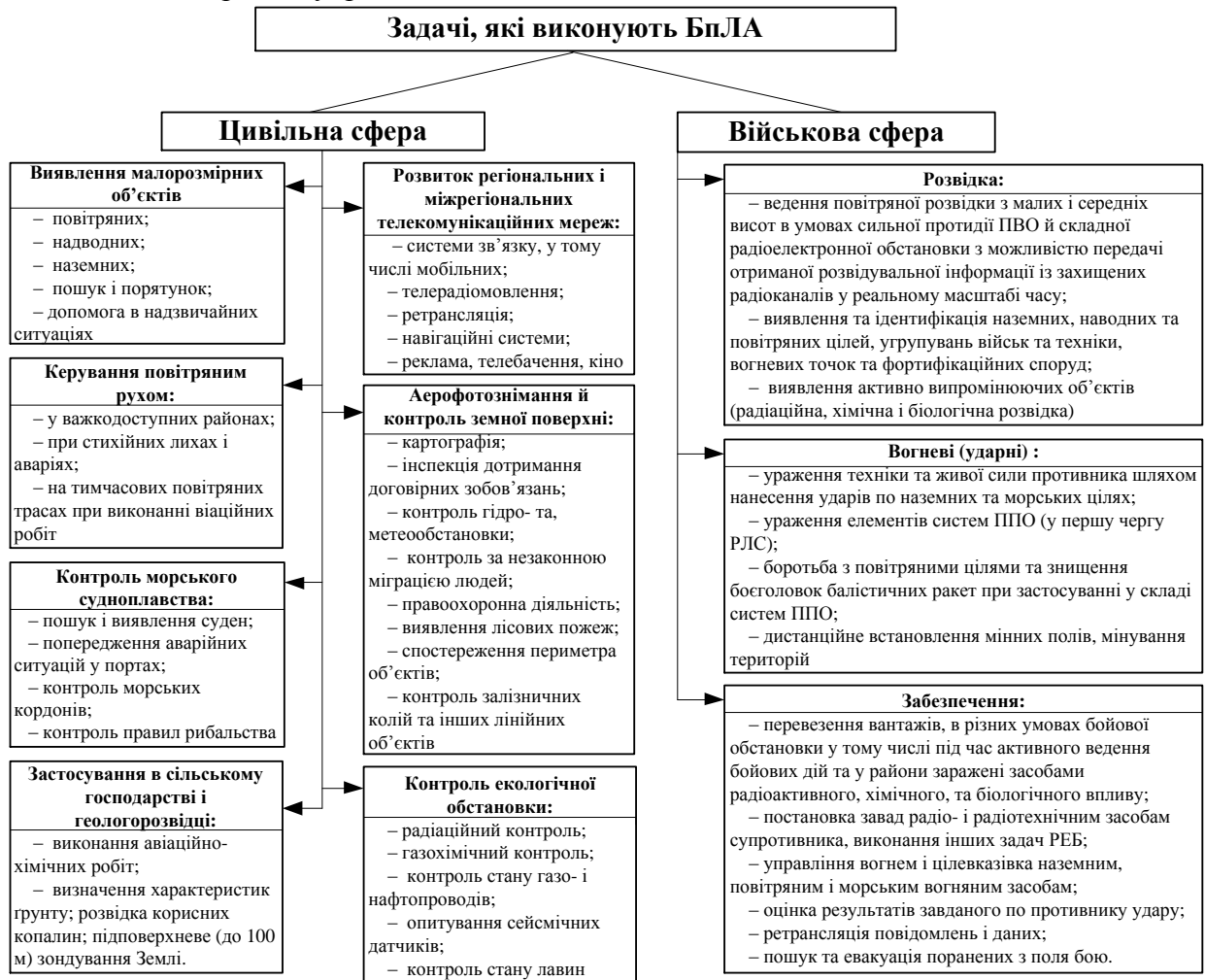


Рис.1. Задачі, які виконують БПЛА в цивільній та військовій сферах діяльності

Як видно з рис. 1 деякі задачі є притаманними для БПЛА, що використовуються суто у цивільній сфері. Однак використання БПЛА у якості ретрансляторів є актуальним як для цивільних так і військових БПЛА. Зокрема в тактичній ланці управління використання БПЛА забезпечить можливість організації зв'язку між територіально-рознесеними угрупованнями військ.

У сучасному світі лідерами у сфері виробництва БпЛА військового призначення є Ізраїль, США та Канада.

Разом з тим, бойові дії на сході України сприяли розвитку підприємств, які займаються виробництвом БпЛА. З переліку зазначених підприємств в Україні (табл. 1), видно, що дев'ять з них працюють над виробництвом БпЛА військового призначення (дронів).

Таблиця 1

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”	А1-С „Фурія”	2014	Київ
ТОВ „Укрспецсистемс”	People’s Drone PD-1	2014	Київ
ТОВ „Юа технолоджі”	UA-БЕТА, UA-GAMMA	2010	Київ
ТОВ „Дефсі”	Observer-S	2007	Київ
НВП „Спайтек”	Sparrow (разом з ДП „Спецтехноекспорт” (Київ)), Columba	2015	Одеса
ДП „Чугуєвський авіаційний ремонтний завод”	Стрепет-L	1998	Чугуєв, Харківська обл.
ТОВ НВП „Айтек”	Patriot RV010, Skif (сільгосппризначення)	2014	Київ
ТОВ ВИК „Девіро”	„Лелека-100”	2015	Дніпро
ТОВ „Діджи флай”	PD1900 (сільгосппризначення)	2014	Київ
ТОВ „Карболайн”	„МАРА-3м” (сільгосппризначення)	2014	Харків

Зараз ще рано говорити про масове виробництво БпЛА (йде мова про збірку десятків виробів протягом кількох місяців), але сам факт появи екосистеми безпілотних технологій за такі короткі терміни говорить про перспективу розвитку даного напрямку виробництва.

В табл. 2 наведено порівняння тактико-технічних характеристик БпЛА комплексів, які в найбільшій кількості поступили в ЗС України та Нацгвардію.




Як зазначалося вище на сьогодні організацію зв'язку в тактичній ланці управління запропоновано здійснювати з використанням радіомереж, що відносяться до класу MANET[8]. Для вирішення низки проблемних питань, що виникають у сфері тактичних МР зв'язку, можуть бути застосовані і БпЛА.

Зокрема, в ході попередніх досліджень було запропоновано багаторівневу архітектуру мобільної компоненти мереж зв'язку військового призначення, яка покликана забезпечити інформаційний обмін в інтересах усіх військ, що діють в тактичній ланці незалежно від їхнього підпорядкування і задач, які вони виконують. Передбачається, що її архітектура буде неоднорідною та складатиметься 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 (FANET); 4-й – мережа, яка реалізується на супутниках [9].

Створення кожного рівня передбачає поліпшення показників якості функціонування всієї системи зв'язку. Кожен рівень мобільної компоненти використовує свій піддіапазон частот.

Таблиця 2

Порівняння тактико-технічних характеристик БПЛА

Назва БПЛА	RQ-11 Raven	A1C "Фурія"	МП-1 Spectator
Характеристика			
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 навантажки, кг	н/д	н/д	1,5
Максимальна злітна маса, кг	1,9	5	7
Тип силової установки	Електрична	Електрична	Електрична
Запуск	3 руки	3 пристрою запуску	3 руки чи з пристрою запуску
Приземлення	н/д	На парашуті	На парашуті чи літаковим способом
Радіус дії, км	10	30	30
Режими управління	Автоматичний, напів-автоматичний, ручний	н/д	Автоматичний, напів-автоматичний, ручний
Ціна БПЛА комплексу з 3 дронів, млн грн	14	2,5	2

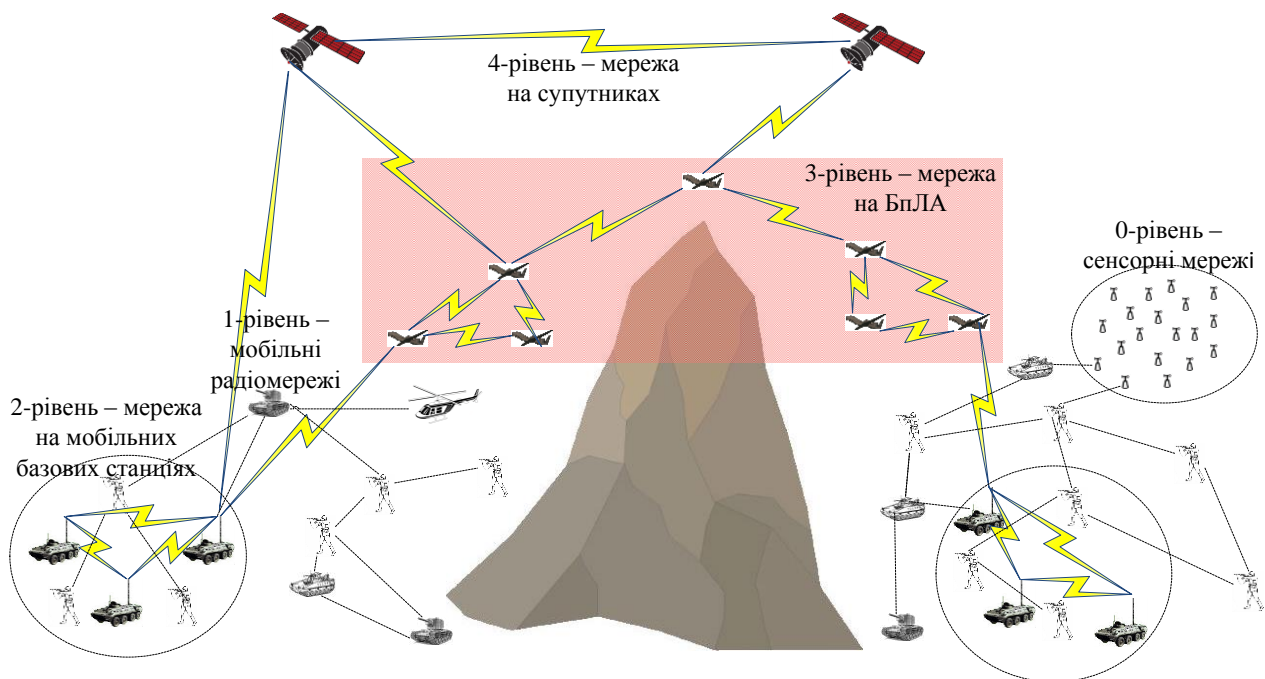


Рис.2 Приклад архітектури мобільної компоненти тактичної МР

У загальному МР на кожному з рівнів перспективної мобільної компоненти характеризуються наступними особливостями:

– динамічна топологія (вузли мережі мобільні, піддаються знищенню та відмовам; канали радіозв'язку нестабільні, мають обмежені дальність зв'язку й пропускну здатність через вплив радіоелектронної протидії супротивника, взаємних перешкод, умов поширення радіохвиль тощо);

– обмежені потужність і час передачі абонентів, оснащених радіотерміналами з акумуляторними батареями;

– значна розмірність мереж (сотні або тисячі елементів);

– неоднорідність елементів мережі: за мобільністю (танк, солдат, вертоліт, літак), за рівнем продуктивності (мобільна базова станція (МБС), мобільний абонент).

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, в 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.

Переваги застосування мережі БпЛА полягають у наступному [10]:

1. Забезпечується зв'язність між географічно розділеними угрупованнями військ (тактичними МР) [11].

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 пропускну здатністю в порівнянні з радіоканалом МБС-МБС, ефективність керування мобільним компонентом (зменшується обсяг переданої службової інформації й зменшується час її збору [12]), 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 [13].

5. Забезпечується дистанційний збір розвідувальної інформації або її знімання з датчиків сенсорних мереж.

Недоліки 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.

Враховуючи вищенаведені тактико-технічних характеристик БпЛА, можна виділити основні проблеми на шляху створення повітряної мережі на основі БпЛА для зв'язку між географічно рознесеними підрозділами (угруповуваннями) військ (сил):

- забезпечення радіовидимості між БпЛА і наземними мобільними компонентами мережі зв'язку;
- компенсація великого загасання сигналу на трасі;
- застосування оптимальної топології мобільної радіомережі;
- забезпечення QoS для різних типів трафіку, управління потоками даних та маршрутизацією на різних рівнях мобільної компоненти.

Проаналізуємо детальніше можливі шляхи вирішення зазначених проблемних питань.

Забезпечення радіовидимості між БпЛА і наземними мобільними компонентами мережі зв'язку можна досягнути за рахунок збільшення висоти польоту БпЛА і збільшенням висоти підйому наземної антени для стаціонарних вузлів. Без урахування рефракції в атмосфері і при відсутності перешкод на шляху поширення радіохвиль існує можливість організації прямого зв'язку між БпЛА і мобільною компонентою мережі зв'язку на відстанях до 200 – 300 км. Для підвищення дальності роботи системи зв'язку необхідно збільшувати висоту польоту БпЛА і використовувати щоглові споруди для антени наземної мобільної компоненти. Передача інформації з високою швидкістю на відстані більше 300 км можлива з використанням ретрансляційного обладнання, супутникових систем зв'язку та стаціонарних систем передачі інформації. В табл. 3 наведено співвідношення відстані радіовидимості між БпЛА і мобільною компонентою мережі зв'язку [14].

Таблиця 3

Співвідношення відстані радіовидимості між БпЛА і мобільною компонентою мережі зв'язку

Висота польоту БпЛА, м	Дальність видимості (відстань до радіогоризонту), км			
	При висоті підйому антени мобільної компоненти мережі зв'язку, м			
	1	10	20	30
100	39	47	52	55
250	60	68	72	76
500	83	91	96	99
750	101	109	114	117
1000	117	124	129	132
1500	142	150	154	158
2000	163	171	176	179
3000	199	207	212	215
4000	229	237	242	245
5000	256	264	268	272
6000	280	288	293	296
7000	302	310	315	318
8000	323	331	335	339
9000	342	350	355	358
10000	361	368	373	377

Передача інформації з високою швидкістю (десятки і сотні Мбіт/сек) можлива лише в діапазонах частот вище 1 ГГц. Для компенсації великого затухання на трасі в цих діапазонах частот можуть бути використані параболічні антени великого діаметра. Пересувні комплекси управління БпЛА повинні бути обладнані опорно-поворотними пристроями з параболічними антенами діаметром від 1 до 3 м, в стаціонарних станціях управління БпЛА можуть бути використані антени більшого діаметру.

Для *компенсації значного загасання сигналу на трасі* можуть бути зроблені наступні заходи:

- збільшення вихідної потужності передавача;
- збільшення коефіцієнтів посилення антенного обладнання.

Для підвищення коефіцієнта посилення бортового антенно-фідерного обладнання можливе використання опорно-поворотного пристрою на борті БПЛА. Оптимальним варіантом є створення опорно-поворотного пристрою, на платформі якого розміщуються: антенно-фідерне обладнання, приймачі, блоки підсилювачів потужності і малощумні підсилювачі. У цьому випадку вдається розмістити обладнання системи зв'язку максимально компактно при використанні надійних обертових переходів для ліній передачі цифрової інформації і для ліній передачі аналогової інформації з датчиків діапазонів різних довжин хвиль.

Важливим фактором для компенсації значного загасання сигналу на трасі функціонування МР FANET є тип використовуваної антени. В даних МР найчастіше застосовуються два типи антен: направленої та всенаправленої дії. Кожен тип має свої переваги та недоліки.

У мобільному середовищі, такому, як FANET, розташування вузлів часто змінюється і, як наслідок цього, всенаправлені антени мають природні переваги. При використанні всенаправлених антен не потрібно мати інформацію про місце розташування вузла. Однак направлені антени також мають низку переваг в порівнянні з всенаправленими антенами. По перше, дальність передачі системи з направленою антеною більша, ніж радіус дії сигналу всенаправленої антени. Це може бути важливою перевагою для FANET, де відстань між вузлами значно більша, ніж середня відстань між вузлами в MANET. Зі збільшенням ефективної дальності передачі зменшується кількість переходів, що дозволяє збільшити виробничість і зменшити затримку. Підвищення рівня безпеки є ще одним питанням, яке може бути частково вирішене за рахунок застосування направлених антен. Системи, засновані на використанні всенаправлених антен, більш уразливі перед загрозою від дії навмисних перешкод [15].

Завдання управління напрямком максимального посилення бортової антени може бути вирішено декількома способами:

1. Використання багатоелементної антенної решітки з керованою діаграмою спрямованості.
2. Використання декількох антен, які перемикаються.
3. Установка антени на опорно-поворотному пристрої.

Необхідно відзначити, що при *організації оптимальної топології мобільних радіомереж* великої розмірності існує низка труднощів, пов'язаних з великою розмірністю мобільної компоненти, багатоекстремальністю розв'язуваної задачі та недосконалістю існуючих методів оптимізації. Перераховані труднощі викликають необхідність використання декомпозиційного підходу: загальна задача управління топологією розбивається на ряд підзадач за певними пріоритетами критеріїв ефективності. Головною задачею управління топологією МР є забезпечення зв'язної топології мобільної компоненти мінімальною кількістю БПЛА. Тобто необхідно знайти мінімальну кількість БПЛА й розташування їхніх проєкцій на місцевості (центрів зон з радіусом), за умови, що хоча б одна МБС кожного кластера належить зоні покриття БПЛА [11].

Забезпечення QoS для різних типів трафіка має вирішуватися сучасними комплексами БПЛА. А саме наявністю високошвидкісних ліній передачі інформації між БПЛА і наземними мобільними компонентами. Наприклад, завдання оперативного моніторингу або розвідки за допомогою технологій БПЛА передбачають отримання на борту і доставку на наземні мобільні компоненти мереж зв'язку растрових зображень різної роздільної здатності, одержуваних з датчиків різних діапазонів довжин хвиль. Найбільш поширена на сьогоднішній день технологія передачі інформації полягає в безперервній

трансляції повідомлення під час його отримання в цифровому або аналоговому форматі, структура якого не змінюється протягом усього польоту.

Як правило, на борту БпЛА розміщуються не менше двох систем зв'язку: дуплексна/напівдуплексна апаратура передачі командно-телеметричної інформації та симплексна система передачі інформації корисного навантаження. Апаратура передачі командно-телеметричної інформації призначена для низькошвидкісної передачі інформації з мобільної компоненти мережі зв'язку на борт БпЛА і малої передачі телеметричної інформації з борту БпЛА на мобільну компоненту мереж зв'язку. Апаратура передачі інформації корисного навантаження призначена для односторонньої високошвидкісної передачі інформації корисного навантаження з борта БпЛА на мобільну компоненту мереж зв'язку [16].

При реалізації *управління маршрутизацією, а також потоками даних* прямий зв'язок між БпЛА і нижніми рівнями мобільної компоненти мереж зв'язку в діапазонах надвисоких частот можливо тільки в межах прямої видимості. Для підвищення надійності комплексу БпЛА, а також забезпечення зв'язку як і з БпЛА, так і з наземними об'єктами на борту встановлюються кілька приймачів різних діапазонів довжин хвиль. Передача телеметричної інформації при польотах на великі відстані може здійснюватися за допомогою супутникових систем зв'язку (*Iridium, Globalstar* та ін.). У перспективі високошвидкісна передача інформації корисного навантаження може також здійснюватися через малорозмірні супутникові термінали, що вимагає установки на борт БпЛА високонаправленої антени з можливістю сканування. У найпростішому випадку це параболічна антена на опорно-поворотному пристрої.

У зв'язку із обмеженою дальністю зв'язку особливо в діапазоні надвисоких частот потрібно застосовувати додаткові БпЛА у вигляді ретрансляторів, в свою чергу це породжує проблеми пов'язані з маршрутизацією потоків даних та QoS різних типів трафіку, а також різного роду протоколів передачі даних. На сьогодні існує безліч проблем в області створення самоорганізованих мереж зі змінною топологією. Однією з головних проблем є проблема маршрутизації. Кожен тип протоколів маршрутизації потенційно має свої переваги і недоліки при різних умовах (щільності вузлів і швидкості переміщення) використання в рамках МР. Наприклад, проактивні протоколи (наприклад OLSR (Optimized Link-State Routing)) мають явною перевагою перед реактивними (наприклад, AODV (англ. Ad-hoc On-Demand Distance Vector)) за часом побудови маршруту. У проактивних протоколів цей процес, відбувається заздалегідь, і потрібно лише вважати маршрут з таблиці, тоді як реактивним протоколам необхідно розіслати ширококомовний запит та дочекатись підтвердження від адресата. Однак проактивним протоколам необхідно постійно здійснювати ширококомовні розсилання, на що може витратитися значна частка пропускну здатності мережі, особливо в мережах з великою кількістю і високою мобільністю вузлів. Також, реалізувати управління маршрутизацією потоків даних в МР можливо при використанні удосконалених протоколів транспортного рівня моделі *Open system interconnection (OSI): Transmission Control Protocol (TCP)* та *User Datagram Protocol UDP* та при використанні динамічного протоколу маршрутизації прикладного рівня моделі *OSI – Border Gateway Protocol (BGP)*, а також при застосуванні різних технологій обробки знань.

У якості протоколу транспортного рівня BGP використовує TCP. Два маршрутизатори BGP, в нашому випадку два БпЛА-ретранслятори (рис. 3), створюють з'єднання TCP один з одним. Ці БпЛА є рівноправними. Рівноправні маршрутизатори обмінюються повідомленнями для ініціювання та підтвердження параметрів з'єднання. Маршрутизатори BGP обмінюються інформацією про доступність мереж. Ця інформація головним чином складається з вказівок на повні шляхи, по яких повинен пройти маршрут для досягнення мережі призначення. Шляхи являють собою номер автономних систем BGP. Ця інформація допомагає в побудові графа автономних систем, який не містить петель. Граф також показує, де потрібно застосувати політики маршрутизації, щоб накласти на поведінку маршрутизаторів деякі обмеження. Будь-які два маршрутизатора, що організують TCP-

з'єднання для обміну інформацією при маршрутизації BGP, є „рівноправними” або „сусідами”. Спочатку рівноправні вузли BGP обмінюються повними таблицями маршрутизації BGP. Після цього обміну при зміні таблиць маршрутизації рівноправні вузли розсилають поновлення зі змінами. BGP зберігає номер версії таблиці BGP. Номер версії збігається у всіх тимчасових вузлів BGP. Номер версії змінюється щоразу, коли BGP оновлює таблицю при зміні інформації маршрутизації. Передача пакетів підтримки повідомлення дозволяє переконатися в тому, що з'єднання між рівноправними вузлами BGP діє. При виникненні особливих умов розсилаються пакети повідомлень.

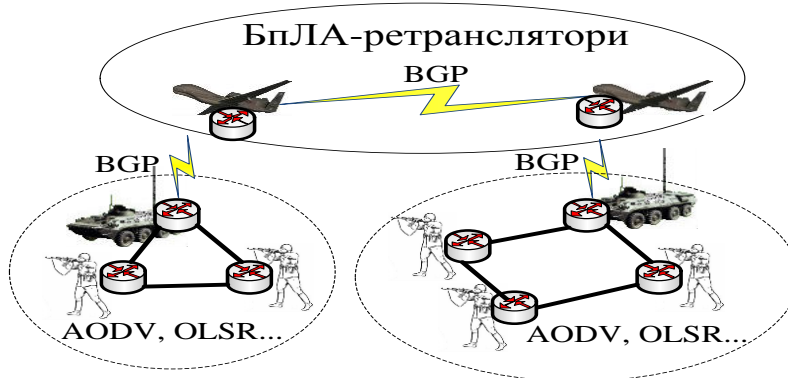


Рис. 3 Використання протоколу BGP

Висновки

Отже, проведений аналіз показав, що питання використання безпілотних літальних апаратів у сучасному світі є дуже актуальним у різних сферах життєдіяльності. Велика кількість різноманітних БпЛА дозволяє виконувати завдання як у цивільному житті так і у військовій сфері. БпЛА у арміях різних країн світу виконують завдання розвідки, вогневого ураження та забезпечення. Одним із завдань забезпечення є використання БпЛА у якості ретрансляторів зв'язку.

Безпроводові мережі побудовані на БпЛА (FANETs) є гнучкими, більш дешевими у порівнянні з супутниковими ретрансляторами і можуть швидко розгортатися. Застосування мереж FANET забезпечить зв'язність між географічно розділеними угрупованнями військ підвищить надійність зв'язку, продуктивність мережі, якість обслуговування абонентів. Незважаючи на велику кількість можливих варіантів реалізації систем передачі телеметричної інформації та інформації корисного навантаження, оптимальним і найбільш часто використовуваним залишається вид зв'язку, при якому дані передаються безпосередньо між БпЛА і наземною мобільною компонентою мереж зв'язку. У цьому випадку є можливість реалізувати передачу інформації з великою швидкістю, недоступною для супутникових систем зв'язку, і при цьому не залежати від стаціонарних цивільних систем зв'язку.

Проте, існують проблеми на шляху створення повітряної мережі на основі БпЛА. До них відносяться: забезпечення радіовидимості між БпЛА і наземними мобільними компонентами мережі зв'язку; компенсація великого загасання сигналу на трасі; застосування оптимальної топології мобільної радіомережі; забезпечення QoS для різних типів трафіку, управління потоками даних та маршрутизацією на різних рівнях мобільної компоненти. Але незважаючи на труднощі організації зв'язку, пов'язані з мобільністю абонентів у самоорганізованих мережах з використанням БпЛА, їх застосування у якості третього рівня мобільної компоненти тактичних МР може надати інформаційну перевагу нашим військам у веденні бойових дій. Особливо у тактичних МР буде доцільним використання мереж ретрансляторів на базі БпЛА об'єднаних у безпроводову самоорганізовану мережу (FANET).

У ході подальшого дослідження будуть розроблені методи та методики управління потоками даних в МР на основі удосконалення протоколів, що відносяться до різних рівнів моделі взаємодії OSI: TCP, UDP, BGP.

ЛІТЕРАТУРА

1. 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”. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2007. – С. 5 – 18.
2. Кучерявый А.Е. Летающие сенсорные сети/ А.Е. Кучерявый, А.Г. Владыко, Р.В. Киричек, А.И. Парамонов, А.В. Прокопьев, И.А. Богданов, А.А. Дорт-Гольц // Электросвязь. – 2014. – №9. – С.2 – 5.
3. 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.
4. Ankur O. Bang. 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. – P. 249 – 251.
5. Datey S.G Mobile Ad hoc Networks Its Advantages and Challenges / Datey S.G., Ansari T. // International Journal of Electrical and Electronics Research. – 2015. – Vol. 3, Iss. 2. – P. 491 – 496.
6. Матійчик М.П. Тенденції застосування безпілотних повітряних суден в цивільній авіації / М.П. Матійчик, І.А Качало // Матеріали XI міжнародної наук.-техн. конфер. „АВІА 2013”. – 2013. – С. 97.
7. Рубан И.В. Классификация беспилотных летательных аппаратов / И.В. Рубан, О.И. Тимочко, Д.Ю. Голубничий, В.Ф. Третьяк // Системы озброєння і військова техніка. – 2007. – Вып. 1 (9). – С. 61 – 66.
8. Conti M. Mobile ad hoc networking: milestones, challenges, and new research directions / Conti M., Giordano S. // Communications Magazine, IEEE. – Vol. 52. Issue 1. – P. 85 – 96.
9. Міночкін А.І. Перспективи побудови тактичних систем зв'язку/ А.І. Міночкін, В.А. Романюк // III Науково-технічна конференція ВІТІ. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – С. 5 – 15.
10. Миночкин А.И. Управление топологией мобильной радиосети / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28 – 33.
11. Міночкін А.І. Задачі управління топологією мережі безпілотних літальних апаратів мобільного компоненту мереж зв'язку військового призначення / А.І. Міночкін, В.А. Романюк // Збірник наукових праць. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2005. – № 2. – С. 83 – 90.
12. Харченко В.П. Аналіз застосування безпілотних авіаційних систем у цивільній сфері / В.П. Харченко, Д.Е.Прусков // Вісник Національного Авіаційного Університету. – 2012. – № 4. – С. 118 – 130.
13. Миночкин А.И. Методы множественного доступа в мобильных радиосетях / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2004. – № 2. – С. 23 – 26.
14. Ильченко М.Е. Телекоммуникационные системы на основе высотных аэроплатформ / М.Е. Ильченко, С.А. Кравчук. – К.: Наукова думка, 2008. – 580 с.
15. Леонов А.В. Сети FANET / А.В. Леонов, В.А. Чаплышкин // Омский научный вестник. – 2015. – № 3 (143). – С. 297 – 301.
16. Боев Н. М. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния / Н. М. Боев, П. В. Шаршавин, И. В. Нигруца // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 3. С. 147 – 158.