

УДК 004.94

С.В. Мельников, О.Є. Волков, М.В. Коршунов, Ю.Ю. Грищенко

Застосування безпілотних літальних систем як мобільних комплексів радіозв'язку

Рассмотрено применение современных беспилотных летательных аппаратов в качестве мобильных комплексов радиосвязи и передачи данных с целью расширения зоны покрытия информационно-коммуникационной сети с использованием как отдельных систем, так и объединенных в сеть.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, сотовая связь, радиосвязь, телекоммуникации, обеспечение связи.

Розглянуто застосування сучасних безпілотних літальних апаратів як мобільних комплексів радіозв'язку та передачі даних з метою розширення зони покриття інформаційно-комунікаційної мережі з використанням як окремих систем, так і об'єднаних у мережу.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, стільниковий зв'язок, радіозв'язок, телекомунікації, забезпечення зв'язку.

Вступ. З розвитком та поширенням використання безпілотних літальних систем, а також з необхідністю забезпечення зв'язку та підвищенням вимог до його якості на територіях, де використання телекомунікаційних веж та базових станцій зв'язку недоцільне (або пошкоджені базові станції), пропонуємо використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як засобу забезпечення такого зв'язку безпілотними атмосферними супутниками на місцевості площею до 2 тис. кв. км та маловисотними БПЛА з більшою тривалістю польоту або з дротовою подачею живлення на площах до 100 кв. км. кожна. Шляхом об'єднання маловисотних БПЛА з ретранслявальним обладнанням в локальну *ad-hoc*-мережу можливо створити ланцюг або стільники таких літальних систем, які збільшать площу покриття зв'язку.

Постановка проблеми та аналіз новітніх досліджень

Метою статті є створення методу збільшення площі покриття зв'язку на місцевості, де необхідно встановити його для приватних або державних цілей, де відсутній зв'язок національних мобільних операторів, шляхом використання сучасних безпілотних літальних апаратів.

В ХХІ ст. зростає потреба забезпечення високоякісного зв'язку та передачі даних. У ци-

вільних цілях у густонаселеній місцевості це питання найчастіше вирішується використанням стільникового зв'язку. Але на територіях, де прокладання та споруда веж стільникового зв'язку є економічно не вигідним і складним процесом, є потреба в налагодженні тимчасового зв'язку. Тому це питання доцільно вирішувати за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Сьогодні питання використання БПЛА в сфері телекомунікації широко розглядається та досліджується в країнах ЄС та США.

Забезпечення зв'язку шляхом використання безпілотних літальних апаратів складається з двох частин:

- власне забезпечення оптимального зв'язку – зв'язку на більших площах з мінімальними втратами пакетів даних та затримками при максимальній пропускну здатності;

- колективне керування БПЛА – керування, при якому дрони функціонують як в автоматичному режимі з мінімальним вводом даних від людини-оператора, так і в режимі ручного керування.

Для розв'язання цієї задачі необхідно встановити датчики, які зможуть оцінювати роботу стільникових веж: рівень сигналу, шуми, швидкість передачі даних та алгоритм, відповідно

до якого буде визначено потребу у застосуванні методу збільшення площі покриття зв'язку.

Застосування безпілотних літальних систем як мобільних комплексів радіозв'язку

На даний момент розв'язання задачі забезпечення стільникового зв'язку з використанням БПЛА можливе декількома способами, основними з яких є:

- ретрансляція сигналу від супутника до користувача на землі через ретранслятор на БПЛА;
- створення та використання *ad-hoc*-мережі з безпілотних літальних систем. В такому випадку виникає потреба в колективному управлінні цими системами.

Можна сформулювати наступні вимоги до *ad-hoc*-мережі, в якій носіями обладнання радіомовлення є безпілотні літальні апарати [1]:

- шифрування сигналів та мінімізація можливості перехоплення управління БПЛА;
- програмне забезпечення БПЛА, яке передбачає автономне управління, вибір розташування БПЛА, за якого кожний апарат перебуватиме в радіусі обміну даними з одним або більше іншими безпілотними системами з метою як забезпечення мобільного зв'язку з наземними користувачами, так і обміном даними між БПЛА;
- оскільки на даний момент реалізовано технологію збільшення дальності управління БПЛА через стільникові мережі, доцільно використовувати *ad-hoc*-мережу для передачі команд управління окремим БПЛА в ручному режимі за потреби діагностики БПЛА;
- взаємозамінюваність БПЛА в разі пошкодження або за необхідності дозарядки або заміни блоку живлення БПЛА;
- автономний вибір розташування для оптимального забезпечення зв'язку в заданому секторі.

Для забезпечення зв'язку на місцевості площею до 2 тис. кв. км, що є більше за радіус покриття однієї вежі стільникового зв'язку (табл. 1), використовуються БПЛА (табл. 2): атмосферні супутники з конструкцією як аеростату (рис. 1) [2], так і літака (рис. 2) [3].

Таблиця 1. Порівняльні характеристики різних стандартів системи стільникового зв'язку

Стандарт стільникового зв'язку радіо-телефонів	Максимальна кількість каналів зв'язку	Діапазон робочих частот стільникового зв'язку, МГц	Максимальна дальність прийому та передачі інформації, км
NMT-450 (з кроком частотної сітки 12,5 кГц)	180	453 – 467,5	100
D-AMPS	832	824 – 894	6
CDMA	64	824 – 894	70–90
GSM-900 (з технологією розширення дальності)	124 (4)	890 – 965	35 (120)
GSM-1800	374	1710 – 1880	6
UMTS (3G)	1128	1885 – 2025	1,5
LTE (4G LTE)	інформація відсутня	700–2600	30–100

Таблиця 2. Порівняльні характеристики телекомунікаційних властивостей БПЛА

Назва БПЛА	Корисне навантаження (маса обладнання зв'язку), кг	Робоча висота польоту, км	Максимальна дальність прийому та передачі інформації, км
Aquila	23	18 – 27	96,5
Project Loon	10	20	40



Рис. 1. Атмосферний супутник Project Loon, Google [5]

Перевагами атмосферних супутників є велика пропускна здатність, обумовлена роботою супутників в широкому діапазоні гігагерцових частот – супутник може підтримувати кілька тисяч мовних каналів зв'язку, енергоефективність (сонячні батареї), порівняно з супутниковими ретрансляторами менший вплив різних атмосферних явищ на сигнали між супутником та Землею, менші часові затримки

(до 150 мс) [4] при передачі даних та собівартість.

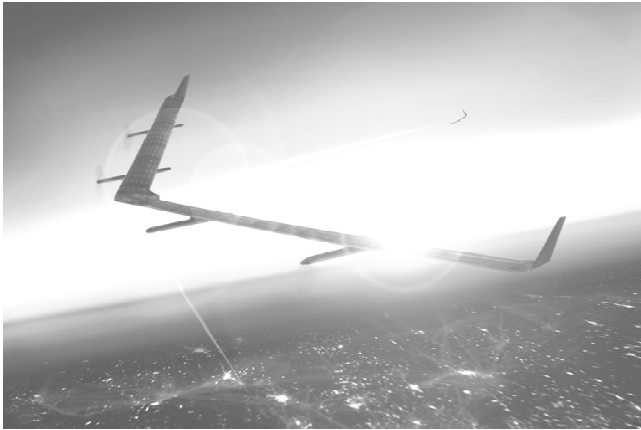


Рис. 2. Атмосферний супутник *Project Aquila, Facebook* [6]

На відміну від геостационарних супутників, безпілотні атмосферні супутники можуть безпечно повернутися на землю для обслуговування і модернізації.

Недоліками є вірогідність взаємного викривлення радіосигналів від наземних станцій, що працюють на сусідніх частотах, необхідність витрат часу і коштів на забезпечення конфіденційності передачі даних та запобігання можливості перехоплення даних сторонніми станціями.

Для забезпечення зв'язку локально (на території площею до 100 кв. км) за кордоном використовуються мобільні базові станції стільникового зв'язку – стільники, встановлені на автошасі і обладнані пристроями для забезпечення автономності роботи, які також називаються макростільниками. Для розширення зони прямої радіовидимості шляхом збільшення висоти ретранслятора доцільне використання БПЛА – мультикоптерів [7] або БПЛА з фіксованим крилом, які виконують політ за заданим маршрутом і радіус роботи радіообладнання яких охоплює задану територію.

На даний час одними з лідерів у розробці технології забезпечення стільникового зв'язку за участю БПЛА є американські телекомунікаційні компанії *AT&T* та *Verizon*.

Перевагою БПЛА в складі мобільної базової станції перед атмосферними супутниками є мобільність, менші часові затримки та швидкість передачі даних.



Рис. 3. «*Cell on Wings*» – квадрокоптер телекомунікаційної компанії *AT&T* [7]

Недоліком таких БПЛА у порівнянні з атмосферними супутниками є обмеження каналів зв'язку, невеликий час автономної роботи, що зумовлює зменшення їх ефективності для забезпечення зв'язку з автономним живленням, тобто для тривалої роботи необхідний дротовий зв'язок з мобільною наземною станцією або джерелом живлення.

З метою забезпечення зв'язку шляхом ретрансляції сигналу з використанням БПЛА можливо застосовувати і вітчизняні БПЛА, наприклад, якщо обладнати БПЛА «Стрепет-С» модемом та ретранслятором і модифікувати програмне забезпечення для роботи з відповідним радіообладнанням [8].

Для перевірки на придатність до виконання завдання забезпечення зв'язку шляхом ретрансляції сигналу БПЛА «Стрепет-С» порівнюється з БПЛА *RS-20 UAS*, який використано у випробуваннях забезпечення сигналу *4G LTE* з БПЛА [9].

З порівняльної таблиці випливає, що вітчизняний безпілотний літак «Стрепет-С» придатний до використання у виконанні завдання налагодження та забезпечення стільникового зв'язку в разі пошкодження стільникової мережі або за потреби її розширення.

Отже, після аналізу методу збільшення площі покриття зв'язку на місцевості можливо виділити переваги та недоліки даного методу.

До головних переваг безпілотних літальних комплексів слід віднести мобільність, автономність та рівень сигналу.

Таблиця 3. Льотно-технічні характеристики БПЛА «Стрепет-С»

Довжина літака	3,2 м
Висота	1,3 м
Маса:	
порожнього	н/д
максимальна злітна	200 кг
Вантажопідйомність	50 кг
Тип двигуна	н/д
Потужність	н/д к.с.
Витрата палива в крейсерському режимі	2,8 кг/год.
Максимальна швидкість	305 км/год.
Крейсерська швидкість	180 км/год.
Мінімальна швидкість	85 км/год.
Максимальна дальність польоту	3000 км
Радіус	1000 км
Тривалість польоту	до 16 год.
Практична стеля	6000 м

Таблиця 4. Порівняльні характеристики БПЛА «Стрепет-С» та RS-20 UAS

БПЛА	Стрепет-С	RS-20 UAS
Маса	200	74,8 кг (165 lbs)
Вантажопідйомність/корисне навантаження	50 кг	29,5 кг (65 lbs)
Максимальна висота польоту	6 км	6,7 км (22000 футів)
Максимальна швидкість	305 км/год.	167 км/год.
Тривалість польоту в залежності від корисного навантаження	до 16 год.	12–16 год.

БПЛА може забезпечувати стільниковий зв'язок у заданій місцевості та може змінити зону покриття відповідно до потреб у зв'язку. БПЛА може перебувати у повітрі до 16 год. при використанні БПЛА з нерухомим крилом або довше при застосуванні мультикоптерів з подачею живлення від наземних джерел.

Порівняно з наземною стільниковою вежею рівень сигналу значно сильніший для БПЛА у повітрі, оскільки умови його розповсюдження у вільному просторі, а тому менше перешкод, дозволяють компенсувати зниження коефіцієнту посилення антени [10].

Методи застосування БПЛА для налагодження системи зв'язку мають певні суттєві недоліки, до яких слід віднести часові затримки, швидкість передачі інформації, втрати пакетів даних, пов'язаних з накладанням інших сигналів та впливом зовнішнього середовища.

Затримки для динамічних об'єктів, таких як БПЛА, можна розрахувати так: якщо мобіль-

ний комплекс (МК) переміщується від базової станції прийому–передачі (БСПП) під час ви-клику, сигнал від БСПП до МК буде надходити з затримкою, як і сигнал від МК до БСПП. Якщо затримка завелика, то сигнал в одному часовому інтервалі від МК не може бути декодований правильно і цей тимчасовий інтервал може навіть перекриватися з часовим інтервалом наступного сигналу від іншого МК, що може зумовити втрати пакетів даних при обміні інформацією.

При обміні даними між БПЛА та мережею потужність передачі сигналу БПЛА є значно нижчою на висоті, ніж у порівнянні з наземними мобільними пристроями. Але БПЛА на висоті створюють більше перешкод у лінії зв'язку, оскільки розповсюдження сигналу у вільному просторі збільшує енергію інтерференції, яка впливає на сусідні стільники.

Висновки. Актуальність забезпечення зв'язку та зростання вимог до його якості потребує розробки нових методів та засобів налагодження техніки передачі даних, особливо в місцевості, де використання телекомунікаційних веж та базових станцій зв'язку є не вигідним або складним процесом, або за потреби забезпечення тимчасового зв'язку, наприклад, при пошкодженні базових станцій. Для розширення зони забезпечення зв'язку доцільно використовувати безпілотні літальні системи, – як одну, оперовану людиною, так і кілька БПЛА, об'єднаних в *ad-hoc*-мережу, для чого необхідно модифікувати існуючі системи колективного управління літальними апаратами, оскільки на даний момент реалізовано збільшення дальності дії управління БПЛА за допомогою стільникової мережі. Для забезпечення зв'язку на місцевості площею до 2 тис. кв. км, що більше за радіус покриття однієї вежі стільникового зв'язку, можливе використання атмосферних супутників. На площах до 100 кв. км разом з мобільними базовими станціями запропоновано використання мультикоптерів для ретрансляції сигналу, оскільки збільшення висоти ретранслятора веде до розширення зони прямої радіовидимості до двох разів, що дозволяє збільшити площу покриття зв'язку.

1. http://www.colorado.edu/itp/sites/default/files/attached-files/58251-130943_-_jeffrey_ward-bailey_-_apr_24_2016_434_pm_-_group_12_final_research_paper_ward-bailey_ganguly_matcha_murugesan_resubmission.pdf
2. *Project Loon* – URL: <https://x.company/loon/>
3. *Facebook Aquila Drone Completes Test Flight* – URL: <http://time.com/4417369/facebook-aquila-flight-2016/>
4. *Latency & Throughput* – Latency Matters – O3b Networks. – URL: <https://www.o3bnetworks.com/technology/latency-throughput/>
5. <https://www.wired.com/2014/05/why-google-needs-to-master-the-physical-world-even-more-than-the-internet/>
6. <https://www.wired.com/2015/07/facebook-poses-test-737-sized-solar-powered-drone/>
7. http://about.att.com/innovationblog/cows_fly
8. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D1%82-%D0%A1>
9. <http://www.verizon.com/about/news/verizon-uses-different-types-drones-network-performance>
10. <https://www.suasnews.com/2017/05/qualcomm-technologies-releases-lte-drone-trial-results/>

Поступила 12.06.2017

Тел. для справок: +38 (044) 406-7244 (Киев)

E-mail: dep185@irtc.org.ua; alexvolk@uk.net;

noktimua@gmail.com; psv@nau.edu.ua

© С.В. Мельников, А.Е. Волков, Н.В. Коршунов,

Ю.Ю. Грищенко, 2017

С.В. Мельников, А.Е. Волков, Н.В. Коршунов, Ю.Ю. Грищенко

Применение беспилотных летательных систем в качестве мобильных комплексов радиосвязи

Введение. В связи с развитием и распространением использования беспилотных летательных систем, а также с необходимостью обеспечения связи и повышением требований к ее качествам на территориях, где использование телекоммуникационных вышек и базовых станций связи нецелесообразно (при повреждении базовых станций), предлагается использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в качестве средства обеспечения такой связи посредством беспилотных атмосферных спутников на территории площадью до 2 тыс. кв. км и маловысотных БПЛА с большой продолжительностью полета или с проводной подачей питания на площадях до 100 кв. км. каждая. Путем объединения маловысотных БПЛА с ретранслирующим оборудованием в локальную *ad-hoc*-сеть возможно создать цепи или соты беспилотных летательных систем, которые увеличат площадь покрытия связи.

Постановка задачи и анализ новейших исследований

Цель статьи – создание метода увеличения площади покрытия связи на территории, где необходимо установить ее для частных или государственных целей и отсутствует связь национальных мобильных операторов, путем использования современных беспилотных летательных аппаратов.

В XXI в. возрастает потребность обеспечения высококачественной связи и передачи данных. В большинстве случаев в гражданских целях в густонаселенной местности этот вопрос решается путем использования сотовой связи, но существуют территории, где прокладка и сооружение вышек сотовой связи экономически невыгодно или сложно, или необходима временная связь. Решать этот вопрос предлагается посредством беспилотных летательных аппаратов.

В настоящее время использование БПЛА в сфере телекоммуникаций широко рассматривается и исследуется в странах ЕС и США.

Обеспечение связи путем использования беспилотных летательных аппаратов состоит из двух частей:

- собственно обеспечение оптимальной связи, т.е. связи на больших площадях с минимальными потерями пакетов данных и задержками при максимальной пропускной способности;

- коллективное управление БПЛА, т.е. управление, при котором дроны функционируют как в автоматическом режиме с минимальным вводом данных от человека-оператора, так и в режиме ручного управления.

Для решения этой задачи требуется установить датчики, которые смогут оценивать работу сотовых вышек: уровень сигнала, шум, скорость передачи данных и алгоритм, согласно которому будет определяться потребность в применении метода увеличения площади покрытия связи.

Применение беспилотных летательных систем в качестве мобильных комплексов радиосвязи

На данный момент решение задачи обеспечения сотовой связи с использованием БПЛА возможно несколькими способами, основные из которых следующие:

- ретрансляция сигнала со спутника к пользователю на земле через ретранслятор на БПЛА;

- создание и использование *ad-hoc*-сети с беспилотных летательных систем. В этом случае возникает необходимость в коллективном управлении беспилотными летательными системами.

Можно сформулировать следующие требования к *ad-hoc*-сети, в которой носителями оборудования радиовещания служат беспилотные летательные аппараты [1]:

- шифрование сигналов и минимизация возможности перехвата управления БПЛА;

- программное обеспечение БПЛА, предусматривающее возможность автономного управления, выбора местоположения БПЛА, когда каждый аппарат будет находиться в радиусе обмена данными с одним или более беспилотными системами с целью обеспечения мобиль-

ной связи с наземными пользователями и обменом данными между БПЛА;

- поскольку на данный момент реализована технология увеличения дальности управления БПЛА через сетевые сети, целесообразно использовать *ad-hoc*-сеть для передачи команд управления отдельным БПЛА в ручном режиме при необходимости диагностики БПЛА;

- взаимозаменяемость БПЛА в случае повреждения или при необходимости дозарядки или замены блока питания БПЛА;

- автономный выбор местоположения для оптимального обеспечения связи в заданном секторе.

Для обеспечения связи на территории площадью до 2 тыс. кв. км, что больше радиуса покрытия одной вышки сотовой связи (табл. 1), используются БПЛА (табл. 2): атмосферные спутники с конструкцией аэростата (рис. 1) [2] и самолета (рис. 2) [3].

Таблица 1. Сравнительные характеристики различных стандартов системы сотовой связи

Стандарт сотовой связи радиотелефонов	Максимальное количество каналов связи	Диапазон рабочих частот сотовой связи, МГц	Максимальная дальность приема и передачи информации, км
<i>NMT-450</i> (с шагом частотной сетки 12,5 кГц)	180	453 – 467,5	100
<i>D-AMPS</i>	832	824 – 894	6
<i>CDMA</i>	64	824 – 894	70–90
<i>GSM-900</i> (с технологией расширения дальности)	124 (4)	890 – 965	35 (120)
<i>GSM-1800</i>	374	1710 – 1880	6
<i>UMTS (3G)</i>	1128	1885 – 2025	1,5
<i>LTE (4G LTE)</i>	информация отсутствует	700–2600	30–100

Преимущества атмосферных спутников – это большая пропускная способность, обусловленная работой спутников в широком диапазоне гигагерцовых частот – спутник может поддерживать несколько тысяч вещательных каналов связи, энергоэффективность (использование солнечных батарей), в сравнении со спутниковыми ретрансляторами меньшее влияние различных атмосферных явлений на сигналы между спутником и Землей, меньше времени задержки (до 150 мс) [4] при передаче данных и себестоимость.

Таблица 2. Сравнительные характеристики телекоммуникационных свойств БПЛА

Название БПЛА	Полезная нагрузка (масса оборудования связи), кг	Рабочая высота полета, км	Максимальная дальность приема и передачи информации, км
<i>Aquila</i>	23	18 – 27	96,5
<i>Project Loon</i>	10	20	40



Рис. 1. Атмосферный спутник *Project Loon*, Google [5]

В отличие от геостационарных спутников, беспилотные атмосферные спутники могут безопасно возвращаться на землю для обслуживания и модернизации.



Рис. 2. Атмосферный спутник *Project Aquila*, Facebook [6]

Недостатки таковы: вероятность взаимного искажения радиосигналов от наземных станций, работающих на соседних частотах, необходимость затрат времени и средств на обеспечение конфиденциальности передачи данных и предотвращения перехвата данных посторонними станциями.

Для обеспечения связи локально (на территории площадью до 100 кв. км) за рубежом используются мобильные базовые станции сотовой связи – соты, установленные на автошасси и оснащенные устройствами для обеспечения автономности работы – макросоты. Для расширения зоны прямой радиовидимости путем увеличения высоты ретранслятора целесообразно использование БПЛА – мультикоптеров [7] или БПЛА с фиксированным крылом, которые выполняют полет по заданному маршруту и радиус работы радиооборудования которых охватывает заданную территорию.

Сегодня одними из лидеров в разработке технологии обеспечения сотовой связи посредством БПЛА являются американские телекоммуникационные компании *AT&T* и *Verizon*.



Рис. 3. *Cell on Wings* – квадрокоптер телекоммуникационной компании AT&T [7]

Преимуществом БПЛА в составе мобильной базовой станции перед атмосферными спутниками является мобильность, небольшие временные задержки и скорость передачи данных.

Недостатком таких БПЛА в сравнении с атмосферными спутниками являются ограничение каналов связи, небольшое время автономной работы, что приводит к уменьшению эффективности их применения для обеспечения связи автономным питанием, т.е. для длительной работы необходима проводная связь с мобильной наземной станцией или источником питания.

С целью обеспечения связи путем ретрансляции сигнала с использованием БПЛА можно применять и отечественные БПЛА, например, если оборудовать БПЛА «Стрепет-С» модемом и ретранслятором и модифицировать программное обеспечение для работы с соответствующим радиооборудованием [8].

Для проверки на пригодность к выполнению задачи обеспечения связи путем ретрансляции сигнала БПЛА «Стрепет-С» сравнивается с БПЛА *RS-20 UAS*, использованным в испытаниях обеспечения сигнала 4G LTE с БПЛА [9].

Таблица 3. Летно-технические характеристики БПЛА «Стрепет-С»

Длина самолета	3,2 м
Высота	1,3 м
Масса: пустого	н/д
максимальная взлетная	200 кг
Грузоподъемность	50 кг
Тип двигателя	н/д
Мощность	н/д л.с.
Расход топлива в крейсерском режиме	2,8 кг/ч.
Максимальная скорость	305 км/ч.
Крейсерская скорость	180 км/ч.
Минимальная скорость	85 км/ч.
Максимальная дальность полета	3000 км
Радиус	1000 км
Продолжительность полета	до 16 ч.
Практический потолок	6000 м

Таблица 4. Сравнительные характеристики БПЛА «Стрепет-С» и *RS-20 UAS*

БПЛА	Стрепет-С	<i>RS-20 UAS</i>
Масса	200	74,8 кг (165 lbs)
Грузоподъемность/полезная нагрузка	50 кг	29,5 кг (65 lbs)
Максимальная высота полета	6 км	6,7 км (22000 футов)
Максимальная скорость	305 км/ч.	167 км/ч.
Продолжительность полета в зависимости от полезной нагрузки	до 16 ч.	12–16 ч.

Из сравнительной таблицы следует, что отечественный беспилотный самолет «Стрепет-С» пригоден и может быть использован для выполнения задачи прокладывания и обеспечения сотовой связи в случае повреждения сотовой сети или при необходимости ее расширения.

Таким образом, после анализа метода увеличения площади покрытия связи на территории, можно выделить преимущества и недостатки данного метода.

К главным преимуществам беспилотных летательных комплексов следует отнести мобильность, автономность и уровень сигнала.

БПЛА может обеспечивать сотовую связь в заданной местности и может изменить зону покрытия в соответствии с потребностями в связи. БПЛА может находиться в воздухе до 16 ч в случае использования БПЛА с неподвижным крылом или дольше при применении мультикоптеров с подачей питания от наземных источников.

В сравнении с наземной сотовой вышкой уровень сигнала значительно сильнее для БПЛА в воздухе, так как условия его распространения в свободном пространстве, а потому и меньшее число препятствий позволяют компенсировать снижение коэффициента усиления антенны [10].

Методы применения БПЛА для обеспечения системы связи имеют ряд существенных недостатков, к которым следует отнести временные задержки, скорость передачи информации, потери пакетов данных, связанных с наложением других сигналов и влиянием внешней среды.

Задержки для динамических объектов, таких как БПЛА, можно рассчитать следующим образом: если мобильный комплекс (МК) перемещается от базовой станции приема-передачи (БСПП) во время вызова, сигнал от БСПП к МК будет поступать с задержкой, как и сигнал от МК к БСПП. Если задержка слишком велика, то сигнал в одном временном интервале от МК не может быть декодирован правильно, и этот временной интервал может даже перекрываться с временным интервалом следующего сигнала от другого МК, что может создать потери пакетов данных при обмене информацией.

При обмене данными между БПЛА и сетью мощность передачи сигнала БПЛА значительно ниже на вы-

соте, чем в сравнении с наземными мобильными устройствами. Но БПЛА на высоте создают больше помех в линии связи, поскольку распространение сигнала в свободном пространстве увеличивает энергию интерференции, влияющую на соседние соты.

Заключение. Актуальность обеспечения связи и рост требований к его качеству нуждается в разработке новых методов и средств отладки техники передачи данных, особенно в местности, где использование телекоммуникационных вышек и базовых станций связи невыгодно или сложно, или при потребности в обеспечении временной связи, например при повреждении базовых станций. Для расширения зоны обеспечения связи целесообразно использование беспилотных летательных систем, причем возможно использовать как одну опериро-

ванную человеком систему, так и несколько БПЛА, объединенных в *ad-hoc*-сеть, для чего следует модифицировать существующие системы коллективного управления беспилотными летательными аппаратами, поскольку на данный момент увеличена дальность управления БПЛА сотовой сетью. Для обеспечения связи на территории площадью до 2000 кв. км, что больше радиуса покрытия одной вышки сотовой связи, возможно использование атмосферных спутников. На площадях до 100 кв. км вместе с мобильными базовыми станциями предлагается использовать мультикоптеры для ретрансляции сигнала, поскольку увеличение высоты ретранслятора приводит к расширению зоны прямой радиовидимости до двух раз, что позволяет увеличить площадь покрытия связи.

UDC 004.94

S.V. Melnykov¹, A.Ye. Volkov², N.V. Korshunov³, Yu.Yu. Hryshchenko⁴

¹ PhD, Senior research fellow, Acting head of the Department of Intelligent Control, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of NAS of Ukraine and MES of Ukraine, 40, Glushkova ave., Kyiv, 03187, dep185@irtc.orh.ua

² PhD, associate professor, Place of work: senior research fellow, Department of Intelligent Control, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of NAS of Ukraine and MES of Ukraine, Address: 1, Kosmonavta Komarova ave., Kyiv, 03187, Ukraine, Phone: +38 (044) 406-72-44, E-mail: psv@nau.edu.ua

³ Post-graduate student, Department of Intelligent Control, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of NAS of Ukraine and MES of Ukraine, 40, Glushkova ave., Kyiv, 03187, dep185@irtc.orh.ua

⁴ Lead engineer, Department of Intelligent Control, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of NAS of Ukraine and MES of Ukraine, 40, Glushkova ave., Kyiv, 03187, noktiuma@gmail.com

Using Unmanned Aerial Systems as the Mobile Radio Communication Complexes

Keywords: unmanned aerial vehicle, cellular network, radio communication, telecommunications, communication providing.

Purpose: The purpose of this research is to review the application of the modern unmanned aerial vehicles as the mobile radio communication and data transmission systems in order to expand the information and communication network coverage area by using either single unmanned aerial systems or such unmanned aerial systems, which are networked to each other.

Methods: The proposed system is based on retransmitting the signals among unmanned aerial systems and satellites to consumers.

Results: The development of the system of increasing cellular coverage using the unmanned aerial systems and the implementation of the algorithms to expand the information and communication network coverage area.

Discussion: The system can be implemented as a single unmanned aerial aircraft with retransmission equipment, as well as a set of such unmanned aerial systems, using ground-to-aircraft, aircraft-to-aircraft and satellite data communication. Such systems ensure the communications and are able to reposition itself in real time in manual and automatic modes.

Keyword: unmanned aerial vehicle, cellular network, radio communication, telecommunications, communication providing.

