

УДК 621.396

МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ШВИДКОСТІ В СИСТЕМАХ БАГАТОСТАНЦІЙНОГО ДОСТУПУ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ CDMA НА БАЗІ ВИСОТНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ

Реутська Ю.Ю., Калюжний О. Я.

Наведені особливості побудови систем мобільного радіозв'язку на базі висотних платформ, розглянуто можливості підвищення інформаційної швидкості зв'язку, показано перспективність таких систем для впровадження систем зв'язку 3G/4G.

**Вступ**

Одним з перспективних напрямків розвитку сучасних телекомунікаційних мереж є застосування в якості носіїв обладнання безпілотних апаратів з великою тривалістю автономного польоту. Аеростатна висотна телекомунікаційна платформа (ВП) або *High Altitude Platform (HAP)*, згідно ITU, - це об'єкт, який розташований на висоті 18 – 22 км у постійній точці над поверхнею землі. До складу платформи входить радіотехнічне обладнання для надання послуг зв'язку та передачі даних. У сучасних дослідженнях із застосування ВП було показано, що апарати з великою тривалістю автономного польоту можуть конкурувати із традиційними «наземними» рішеннями в області зв'язку, завдяки отриманню більш великої зони покриття у поєднанні з високошвидкісною передачею та високою якістю зв'язку. Розрахунок зони покриття систем з ВП впливає зі спрощеної геометрії розташування ВП відносно землі (див. рис.1). Кут піднесення  $\alpha$  не повинний бути меншим за  $5^\circ$  для некритичного зв'язку, якщо брати до уваги кривизну земної поверхні та природні перепони.

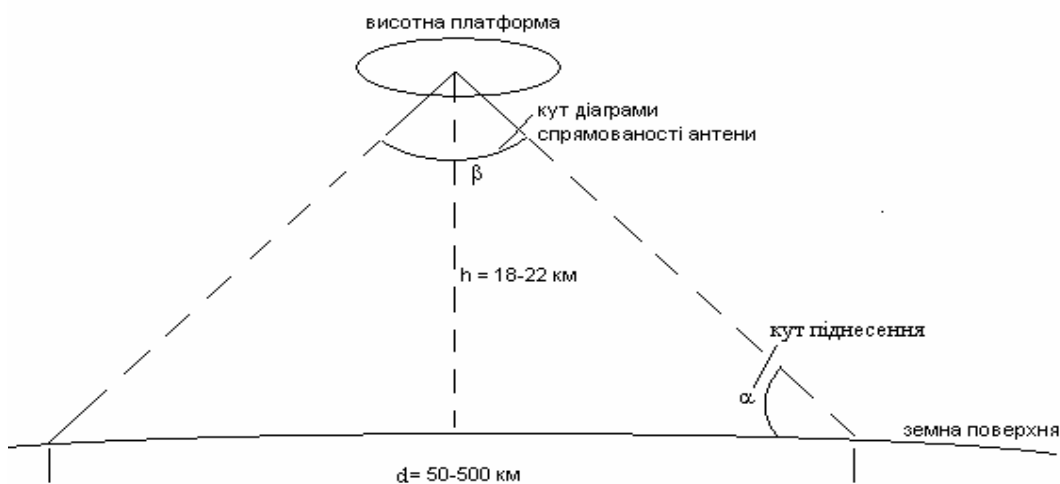


Рис.1. Зона географічного покриття висотною платформою

Зона географічного покриття таких систем  $d = 2 \cos \alpha \sqrt{\frac{h^2}{1 - \cos^2 \alpha}}$ . На-

приклад, для  $\alpha=5^\circ$ ,  $h=20$  км,  $d=457$  км.

Для порівняння в табл.1 наведені характеристики систем мобільного зв'язку - існуючих (наземної та супутникової) та на основі ВП [1].

Таблиця 1

Основні характеристики систем мобільного зв'язку

| Показники   | Наземні системи                          | Супутникові системи                      | Системи з ВП  |
|---|--|--|---|
| Затримка сигналу при поширенні                                | Низька                                   | Висока для GEO<br>Дещо нижча для МЕО     | Низька  |
| Розгортання та обслуговування (часові та матеріальні витрати) | Середні                                  | Високі                                   | На сьогодні - нижчі, ніж у супутникових; в перспективі нижчі ніж у наземних |
| Вартість рухомих терміналів                                   | Низька                                   | Висока                                   | Низька  |
| Шкідливе випромінювання від терміналів                        | Незначне                                 | Підвищене                                | Незначне  |
| Технологічний ризик   | Низький                                  | Високий                                  | Середній; в перспективі - низький   |
| Зона географічного покриття                                   | Кілька кілометрів від станції            | Тисячі кілометрів                        | Сотні кілометрів  |
| Затінення від рельєфу земної поверхні                         | Значна залежність від рельєфу місцевості | Проблема лише за умови малих кутів місця | Як у супутникових системах  |
| Гранична швидкість передачі даних                             | До 2 Мбіт/с                              | Вище 2 Мбіт/с                            | Вище 2 Мбіт/с   |

### Оцінка основних критеріїв

Як бачимо, основними перевагами систем з ВП перед супутниковими системами є швидше та дешевше розгортання, зручність обслуговування бортового обладнання, відсутність ефекту «старіння», незначна відстань від землі. В порівнянні з наземною системою маємо виграв у швидкості розгортання, в отриманні більш великої зони покриття, у спрощенні інфраструктури зв'язку та можливості реалізувати більш швидкісну якісну передачу даних, навіть для мультимедійних послуг у реальному часі. Ці переваги особливо важливі з огляду на розгортання телекомунікаційних систем третього та четвертого покоління (3G та 4G систем).

Розглянемо більш детально особливості застосування систем мобільного радіозв'язку (СМР) на базі ВП. У найбільш поширеному діапазоні частот (більше 1 ГГц) на роботу таких систем впливають різноманітні завади природного та штучного походження: шуми приймача, атмосферні шуми, що утворюються електричними розрядами під час гроз, космічні та сонячні шуми, електротранспорт і промислові електроустановки, радіоелектронні засоби різного призначення. Серйозні проблеми, що виникають при побудові наземних систем мобільного радіозв'язку, пов'язані зі специфічними умовами їх роботи [3]:

- зоною дії СМР є, переважно, міста та передмістя з різними щільністю й характером забудови, типом поверхні;
- мобільна станція, як правило, перебуває поза зоною прямого радіобачення базової станції;
- сигнал в точку прийому надходить у результаті багатопроменевого поширення, тобто багаторазового відбиття сигналу від чисельних завад (будинків, дерев, поверхні землі тощо);
- рух станції призводить до появи доплерівського зсуву частоти.

Внаслідок відзначених факторів точний аналітичний розрахунок енергетичного потенціалу каналу для реальних умов виконати неможливо, тому скористаємось моделлю [2], яка ґрунтується на численних експериментальних результатах. Отже, проведемо порівнювальний аналіз енергетичного бюджету СМР за умови наземного базування та використання ВП.

Для визначеності приймемо типові для реальних СМР вихідні дані: максимальна відстань до базової станції  $d = 20$  км, середа розповсюдження сигналу – місто, ефективна висота антени наземної базової станції  $h_{BS,eff} = 30$  м, частота несучої  $f = 1800$  МГц, висота антени мобільного терміналу  $h_{MS} = 2$  м. Для розрахунку наземного каналу скористаємось моделлю Окамури [2], відповідно до якої в частотному діапазоні від 150 до 2000 МГц з ефективною висотою антени  $h_{BS,eff}$  від 30 до 1000 м маємо:

$$L = L_S + A(f, d) + G(h_{BS,eff}) + G(h_{MS}) + G_{AREA},$$

де  $L_S$  - втрати в вільному просторі,  $A(f, d)$  - медіанне значення втрат в місті з квазігладкою земною поверхнею по відношенню до згасання в вільному просторі (визначається згідно [2]), коефіцієнти  $G(h_{BS,eff})$ ,  $G(h_{MS})$  задаються виразами:  $G(h_{BS,eff}) = 20 \log(h_{BS,eff} / 200)$  при  $10 < h_{BS,eff} < 1000$  м,  $G(h_{MS}) = 10 \log(h_{MS} / 3)$  при  $h_{MS} < 3$  м,  $G_{AREA}$  - поправний коефіцієнт, що залежить від типу місцевості та несучої.

При заданих вихідних даних  $A(f, d) = 36$  дБ;  $G(h_{BS,eff}) = 16$  дБ;

$G(h_{MS}) = 1,7$  дБ;  $G_{AREA} = 18$  дБ,  $L_S = 124$  дБ і, відповідно,  $L = 195,7$  дБ

Розглянемо втрати для каналу з ВП. Оскільки основною перевагою ВП є те, що вона увесь час знаходиться в зоні прямої видимості, втрати на розповсюдження сигналу визначатимуться як:  $L_{HAP} = L_S + G(h_{MS})$  і становитимуть 125,7 дБ. Отже, різниця втрат енергетичного потенціалу систем з ВП у порівнянні з наземними системи складає (для розглянутого прикладу)  $\Delta = 195,7 - 125,7 = 70$  дБ. Цей виграш можна використати для покращення якості зв'язку та підвищення швидкості передачі, збільшивши спектральну ефективність. В той же час, відомо [7], що зростання спектральної ефективності пов'язане зі збільшенням позиційності цифрової модуляції. Зокрема, для найбільш поширеного методу модуляції PSK це означає підвищення

кількості можливих значень фази. При цьому, енергетичний програш складає [3]: 
$$\gamma(M) = \frac{2}{M(1 - \cos \frac{\pi}{2^{M-1}})}$$
, де  $M$  - позиційність модуляції ( $\gamma(4) = 8$  дБ,

$\gamma(8) = 30$  дБ,  $\gamma(16) = 74$  дБ). Тому, в наземних діючих системах третього покоління використовують модуляцію невисокої позиційності, зокрема  $4PSK$ . В системах з ВП за рахунок додаткового енергетичного потенціалу можливо отримати високу якість передачі при позиційності модуляції до 16, що забезпечує швидкість, достатню для мультимедійних послуг мереж  $3G$  в повному обсязі.

Ще однією проблемою діючих СМР є часові селективні завмирання, головною причиною яких вважається доплерівське розсіювання – рух МС та "розходження" доплерівського зсуву частоти окремих радіохвиль при багатопроменевому поширенні. При цьому має місце "розтягнення" сигналів в часі та міжсимвольна інтерференція. Для боротьби з цими явищами в наземних мережах  $3G$  використовують алгоритми так званого *RAKE*-прийому [2,3,8]. Необхідною умовою застосування цих алгоритмів є можливість розділення на виході лінійного фільтра приймача променевих складових радіосигналу, тобто відклик фільтра для кожної з названих компонентів повинен бути короткочасним у порівнянні з їх взаємним часовим зсувом. При цьому вважається, що лінійна частина приймального тракту виконується на основі фільтру, узгодженого з очікуваним сигналом. Отже, необхідно, щоб ширина автокореляційної функції (АКФ) сигналу була значно меншою за часову затримку між найбільш значущими його променевими складовими. У свою чергу, ширина АКФ сигналу, як відомо [8], зворотно пропорційна його смузі. Тому, найбільш придатними для застосування *RAKE*-приймача є системи широкосмугової передачі з кодовим розділенням (*CDMA*). В реальних системах *CDMA* взаємна кореляція послідовностей, що розширюють смугу, не дорівнює нулю, тому користувачі (апаратура користувачів) створюють інтерференційні завади один одному. Зважаючи на це, в діючих наземних системах використовують складні модифікації *RAKE*-алгоритмів та додаткові засоби детектування [2,10]. Найбільш складними є адаптивні *RAKE*-приймачі, де характеристики каналу оцінюються в процесі роботи. Інший корегуючий компонент - декодер Вітербі приводить до обчислювальних складностей, що експоненціально збільшуються на величину часового розсіювання в каналі [3]. Для кожного нового прийнятого символу в бінарному випадку необхідно розрахувати  $2^{M+1}$  метрик, що є перепоною для існуючих наземних каналів зв'язку.

Використання ВП забезпечує менше ніж в наземних системах максимальне часове розсіювання в каналі. Отже, при великих швидкостях передачі даних систем  $3G$  не потрібні додаткові схеми заглушування інтерференції і реалізація алгоритмів рознесеного прийому спрощується.

## Висновки

Для забезпечення належної якості при швидкості передавання інформації в 100 Мбіт/с в межах України кількість сучасних наземних СМР (радіус дії яких за цих умов дорівнює приблизно 100 метрів), сягатиме мільйонів одиниць, що реалізувати практично неможливо і потребує принципових змін архітектури та організації доступу. Можливим рішенням проблеми є використання СМР, обладнання яких розміщене на висотних платформах, що дозволяє: найпростіше технічно та економічно доцільніше виконати вимоги, що пред'являються до систем стандарту 3G; дійсно, як показано, система CDMA з використанням технології ВП задовольняє всім вимогам стандарту 3G при відносній простоті технічної реалізації тракту передачі; на сьогоденній елементній базі безпосередньо перейти до реалізації систем стандарту 4G з швидкістю передачі даних до 100 Мбіт/с, що передбачає підвищення частоти несучої (Ka-діапазон), забезпечення відносно великої зони географічного покриття та низької затримки сигналу при поширенні.

## Література

1. Stylianos Karapantazis and Fotini-Niovi Pavlidou. Broadband Communications via High-Altitude Platforms: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, Vol. 7, №1, First Quarter, 2005.
2. Веселовский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи.- М.: Горячая линия-Телеком, 2006.- 356 с.
3. Системы мобильной связи./ В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов и др.; под ред. В.П. Ипатова.- М.: Горячая линия-Телеком, 2003.- 272 с.
4. Системы телекоммуникаций: Підруч. Для ВНЗ/ М.І. Мазурков, В.І. Правда, П.Ю. Баранов, ін.; за ред. М.І. Мазуркова і В.І. Правди.- Одеса: ТЕС, 2005.- 288 с.
5. [www.3GPP.org](http://www.3GPP.org)
6. [www.3GPP2.org](http://www.3GPP2.org)
7. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000
8. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2000
9. Aliftiras G. Receiver Implementations for a CDMA Cellular System. Blacksburg, Virginia, July, 1996.
10. Giridhar D.M., Fry G. "1xTREMЕ: A Step Beyond 3G"
11. S. Agrawal I. Acharya S.G. Inside 3G Wireless Systems: The 1xEV-DV Technology. Proc. of Technology Review, №2003-01, March, 2003.

|  |  |
|--|--|
| <p>Реутская Ю.Ю., Калюжный А. Я.,<br/> <b>Возможности повышения скорости в системах многостанционного доступа с кодовым разделением каналов CDMA на базе высотных телекоммуникационных платформ.</b><br/>         Приведены особенности построения систем мобильной радиосвязи на базе высотных платформ, рассмотрены возможности повышения информационной скорости связи и перспективность таких систем для внедрения систем связи 3G/4G.</p> | <p>Reutskaya J., Kalugniy O.<br/> <b>Increases of speed in systems of multistation access are with the code division of channels of CDMA on the base of height telecommunication platforms.</b><br/>         The features of construction of systems of mobile radio communication on the basis of high-altitude platforms are given, the opportunities of increase of information speed are considered consecrate, it is shown perspective of such systems for introduction of systems of communication 3G/4G</p> |
|--|--|