

УДК 621.396.931

О.І. Романов, О.В. Чмиренко, В.Б. Маньківський

Інститут телекомунікаційних систем, НТУУ «КПІ», Київ

## ОЦІНКА ЄМНОСТІ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ WCDMA

При проектуванні мережі WCDMA, важливий параметр - це число обслуговуваних абонентів в соті. В сучасній науковій і технічній літературі опубліковані чисельні методи, які дозволяють вирішити цю задачу на певному рівні точності. Тому, деякі методи достатньо прості, але вони використовують обмежені набори початкових даних. Таким чином, вони не беруть до уваги повний набір робочих режимів даної мережі і мають низький рівень точності. Інші методи дуже деталізують параметри функціонуючої мережі, і вони є складними в практичному використанні. Мета роботи - це визначення методу обчислення ємності системи WCDMA, який міг би раціонально об'єднати рівень зміни знайденого визначеного варіанта та раціональний простір функціонування мережі.

**Ключові слова:** ємність мережі WCDMA, обчислення ємності uplink, число абонентів в соті WCDMA.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Ємність WCDMA – один із ключових атрибутів мережі UMTS. Є ряд методів визначення ємності мережі WCDMA. Більшість із них полягають в визначенні максимального числа користувачів в соті. Іноді розрахунок ємності WCDMA розглядається як визначення максимально припустимого трафіку в одній соті, при використанні однієї частотної групи (Ерл / сота /  $\Delta f$  МГц) [7].

Ми будемо розглядати ємність мережі WCDMA, як максимальне число одночасно працюючих користувачів, що одержують повний перелік послуг, із заданою якістю обслуговування.

Варто мати на увазі, що ємності uplink й downlink відрізняються одне від одного. Обмеження кількості користувачів у мережі WCDMA в основному пов'язане з uplink. А ємність downlink визначає вимоги до потужності випромінювання базової станції (вузла-В). Крім того, питання визначення ємності повинні бути відділені від оцінки продуктивності WCDMA і розрахунку

бюджету ліній. Ми будемо оцінювати ємності мережі WCDMA по ємності uplink.

У сучасній науково-технічній літературі розглядається ряд методів, запропонованих авторами для рішення задачі оцінки ємності WCDMA. Так, в [4] пропонується аналітична залежність для дуже грубої оцінки ємності. Основними вихідними даними для розрахунку є два показники – коефіцієнт розширення спектра і необхідне значення відношення сигнал/шум.

В [2] зроблений розвиток результатів роботи [4] і пропонується аналітичне вираження, що крім попередньо описаних двох характеристик доповнює залежність ємності від фактору активності послуг. В [6] ємність системи оцінюється виходячи із завантаженості каналів. І при цьому головною відмінністю запропонованої аналітичної залежності є врахування впливу шумів інтерференції поточного каналу від сусідніх сот. У роботі [5] оцінюється вплив неточностей керування потужністю сигналу на вході приймача на ємність системи.

Дана робота націлена на охоплення максимального числа параметрів функціонування мережі, що роблять істотний вплив на ємність WCDMA. При цьому, основна увага буде спрямована на одержання аналітичних виразів, що дозволяють одержати рішення з достатнім для практики ступенем точності.

### Основна частина

**Ємність WCDMA на uplink.** Розрахунок ємності WCDMA вимагає обліку особливостей функціонування, властивих для мереж даного типу. В WCDMA всі користувачі використовують загальний фізичний ресурс. При цьому абоненти працюють одночасно в одній і тій же смузі частот з кодовим розділенням каналів. Такий підхід забезпечує ряд переваг технології WCDMA, що забезпечують її конкурентноздатність на ринку телекомунікацій:

ефективне використання радіоспектру (ефективна модуляція, статистичне ущільнення каналів з урахуванням пауз мови, динамічний розподіл каналів);

відсутність необхідності в частотному плануванні, внаслідок використання всіма абонентами однієї і тієї ж смуги частот;

зниження вимог до потужності передавача мобільної станції в порівнянні з TDMA;

незалежність використовуваних ресурсів на uplink і downlink, що спрощує реалізацію асиметричної передачі інформації й підвищує ефективність використання ресурсів;

простота утворення декількох підканалів в одній смузі частот: низькошвидкісних для мови й факсів, високошвидкісних для відеозв'язку та Internet;

збільшення числа підканалів на одній несучій за рахунок статистичного мультиплексування;

зниження енергоспоживання мобільної станції за рахунок ефективного режиму sleep-mode.

Крім того, на ємність мережі мобільного зв'язку впливають стандартні параметри, такі як:

Структура радіомережі. Розмір соти і її побудова визначають величину шумів інтерференції.

Розміщення користувачів – стаціонарне або мобільне. Позиція користувачів визначає величину замирань, відбиття, перешкод.

Тип надаваних послуг: реального часу або дані з необмеженою затримкою (розмовної, діалогової, потокової й другорядної послуги). Для послуг реального часу потрібна певна гарантована швидкість передачі, що вимагає резервації системної ємності. Багатосервісне обслуговування впливає на коефіцієнт активності, а також на необхідне співвідношення сигнал/шум.

Характеристики приймально-передавального пристрою базової станції вузла-В (для uplink) і його антенної системи. Такі як вид обробки сигналів вузлом-В, конструктивні особливості антени і її параметри.

Контроль потужності (зі зворотнім або без зворотного зв'язку). Оскільки на ємність мережі WCDMA великий вплив має інтерференція, то одним з методів збільшення ємності є використання методів усунення даного явища. Це багато в чому досягається швидким і точним регулюванням потужності на вході приймача, що є одним з основних вимог для технології WCDMA.

Випромінювана потужність вузла-В і втрати на шляху передачі інформації (для downlink).

З метою спрощення рішення завдання введемо ряд обмежень:

1. В зоні покриття базової станції всі перебувають на однаковій відстані від антени.

2. Всі абоненти мають однаковий рівень потужності випромінюваного сигналу й, отже, створювані ними перешкоди мають однаковий рівень.

3. В процесі обміну інформацією всі абоненти використовують однакову швидкість проходження символів.

Проаналізуємо роботу в соті з  $K$  активними абонентами з одночасним доступом до загальної смуги частот. Нехай кожен користувач має свою власну PN послідовність. Введемо наступні позначення:

$P$  – прийнята потужність сигналу;

$E_b$  – енергія, що доводиться на 1 біт інформації,

$B_c$  – ширина смуги розширеної послідовності;

$f_{data}$  – швидкість передачі інформації;

$I$  – потужність шуму інтерференції;

$N_0$  – щільність потужності шуму.

Тоді енергія, що доводиться на один біт інформації, може бути визначена як відношення загальної потужності сигналу до швидкості передачі інформації

$$E_b = \frac{P}{f_{data}}. \quad (1)$$

Щільність потужності шуму визначається, як відношення рівня шуму інтерференції до смуги частот, у якій він спостерігається

$$N_0 = \frac{I}{B_c}. \quad (2)$$

Для одержання значення відношення сигнал/шум необхідно вирази (1) та (2) розділити один на одного

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P}{I} \frac{B_c}{f_{data}}. \quad (3)$$

Оскільки відповідно до [4] відношення  $\frac{B_c}{f_{data}} = PG$ , перетворимо вираз (3) до виду (4)

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P}{I} PG, \quad (4)$$

де  $PG$  – це вигравш за рахунок обробки сигналу.

Якщо потужність сигналів всіх активних користувачів на вході базової станції однакова, тоді сумарну потужність шумів інтерференції  $I$  можна визначити за допомогою виразу (5)

$$I = (K - 1)P \quad (5)$$

Для визначення відношення потужності шумів інтерференції до корисної потужності сигналу розділимо вираз (5) на  $P$ , одержимо (6)

$$\frac{I}{P} = \frac{(K - 1)P}{P} = K - 1. \quad (6)$$

Визначивши відношення  $\frac{I}{P}$  з (4) і підставивши його в (6), за умови, що всі користувачі використовують PN послідовності однакового порядку, одержимо (7)

$$K = 1 + \frac{PG}{E_b / N_0} \quad (7)$$

Вираз (7) визначає припустиму кількість одночасно активних користувачів. Подальший аналіз і модифікацію аналітичних залежностей по оцінці ємності WCDMA будемо робити на основі цього виразу.

Аналізуючи (4), можна відзначити, що ріст рівня  $PG$  для незмінного значення відношення  $E_b/N_0$  призводить до збільшення ємності системи. Якщо  $PG$  має фіксоване значення, зменшуючи  $E_b/N_0$  (якщо  $QoS$  дозволяє це робити) допустима абонентська ємність росте.

Взаємозв'язок між ємністю й тривалістю користування різними послугами визначається *фактором активності послуги*  $v$ . Фізичний зміст даного явища може бути показаний у такий спосіб. У процесі обміну, наприклад, мовними повідомленнями виникають паузи. Причому ці паузи можуть бути двох видів – паузи мовчання й паузи безперервної мови. Ці паузи можуть бути використані для передачі потоку даних, що не мають суворих вимог до затримки окремих елементів. Таким чином, фактор активності послуги матиме обернено пропорційний вплив на ємність системи. Тобто, чим вище фактор активності послуг (довжина пауз мовчання менша), тим менша ємність системи. Цю обернено пропорційну залежність фактора активності послуг  $v$  можна відобразити в такий спосіб

$$K = 1 + \frac{PG}{E_b / N_0} \frac{1}{v}. \quad (8)$$

Контроль випромінювання й автоматичне підстроювання потужності передавачів рухомих станцій звичайно не дозволяє досягти ідеального результату. На величину неузгодженості впливає й багатопроменевість при поширенні сигналів. Для обліку похибок даного типу використовують логарифмічний зсув із кроком 1,5...2,5 дБ [1]. При цьому вводять

коригуючий фактор, що позначається  $\alpha_p$ . Тоді, вираз (8), відповідно до [5], може бути перетворений до вигляду

$$K = 1 + \frac{PG}{E_b / N_0} \frac{\alpha_p}{(1 + \beta)v}, \quad (9)$$

де  $\alpha_p$  – коригуючий коефіцієнт, що враховує не достатню точність контролю потужності сигналів, що приходять на базову станцію;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує вплив інтерференції від інших сот;

$v$  – коефіцієнт активності послуги.

Типові значення цих параметрів для систем WCDMA, опубліковані в [5], представлені в табл. 1.

На практиці, значення  $\beta$  у багатосотовій системі при стандартних умовах експлуатації приймають:

– для трьох секторних сайтів –  $\beta = 0,85$ ;

– для всенаправлених антен –  $\beta = 0,6$ .

Таблиця 1

Типові значення параметрів для систем WCDMA

Параметр	Середнє значення
Коригуючий коефіцієнт за рахунок неточності контролю потужності, $\alpha_p$	0,5 – 1,0
Коефіцієнт активності для голосового зв'язку $v_{vo}$	0,4 – 0,6
Коефіцієнт, що враховує вплив інтерференції від інших сот, $\beta$	0,5 – 0,9

На ємність WCDMA значно впливає вид послуг надаваних оператором. Кожен тип послуг вимагає певної швидкості передачі, має свій власний коефіцієнт розширення спектру, коефіцієнт активності послуги, необхідне значення відношення сигнал/шум, припустимий рівень шумів каналної інтерференції. Врахуємо вплив цих факторів, ввівши відповідні коефіцієнти в вираз (10)

$$K^* = \sum_{g=1}^G K_g = 1 + \alpha_p \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b / N_0)_g} \frac{1}{(1 + \beta_g)v_g}, \quad (10)$$

де  $\varepsilon_g$  – частка користувачів, які використовують послугу  $g = \overline{1, G}$ ;

$S_f$  – коефіцієнт розширення спектру, відповідно до [4]  $S_f = PG$ .

Відзначимо, що вираз (10) дозволяє врахувати більше число параметрів функціонування системи WCDMA у порівнянні з формулою, наведеною в [5]. Тому при проектуванні мережі мобільного зв'язку є можливість більш точно сформулювати вимоги до допустимої ємності соти.

Надання послуг не реального часу (такі як передача даних) допускають зниження вимог до якості обслуговування  $QoS$  у порівнянні з послугами ре-

льного часу. Це дозволяє знизити вимоги до відношення  $E_b/N_0$ , що веде до збільшення допустимої ємності WCDMA.

**Шляхи підвищення ємності WCDMA.** Важливим напрямком збільшення ємності системи WCDMA є використання методів боротьби з інтерференцією. До таких методів відносяться: використання спрямованих антен, застосування адаптивних систем обробки прийнятих сигналів, застосування приймачів Rake, використання інтерференційних компенсаторів різного типу та ін.

Зниження впливу шумів інтерференція від інших користувачів, може бути досягнуто, наприклад, заміною всенаправленої антени на секторну. Практика показує, що використання 3-х секторної антени може збільшити ємність в 2 – 3 рази. Подальше збільшення ємності соти можна одержати за рахунок використання адаптивної антенної системи. У загальному випадку, зміну ємності соти залежно від характеристик використовуваної антенно – фідерної системи можна врахувати варіацією параметра  $A_b$ , який відображає функціональну залежність відношення коефіцієнта підсилення сигналу користувача відносно коефіцієнта підсилення антеною джерела перешкод. Відповідно до рекомендацій [5], цей параметр можна ввести безпосередньо у вираз (9). Тоді аналітична залежність ємності WCDMA від параметрів соти при доступності абонентам тільки одного виду послуг можна записати у вигляді наступного співвідношення

$$K = 1 + \frac{S_f \cdot A_b}{E_b / N_0} \frac{\alpha_p}{(1 + \beta) \nu} \quad (11)$$

Вираз (11) дозволяє врахувати внесок у підвищення ємності системи WCDMA від поліпшення характеристик антени. Варто мати на увазі, що поправочний коефіцієнт  $A_b$  має досить складну залежність від параметрів антенно-фідерної системи. Так у роботі [3] показано, що цю залежність можна представити у вигляді наступного аналітичного виразу

$$A_b = N_s \frac{\int_{-\phi/2}^{\phi/2} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta}{\int_{-\pi}^{\pi} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta}, \quad (12)$$

де  $p(\theta)$  – потужність сигналу, що приймається антеною в напрямку  $\theta$ ;

$G(\theta)$  – коефіцієнт підсилення антени в напрямку  $\theta$ ;

$N_s$  – кількість секторів на сайті;

$\phi = \frac{2\pi}{N_s}$  – кут що відводиться на один сектор.

В умовах, коли потужність прийнятого сигналу є величина постійна, незалежно від напрямку прийому й діаграма спрямованості антени є парною функцією відносно  $\theta$ , вираз (12) можна спростити й представити в наступному виді

$$A_b = N_s \frac{\int_{-\phi/2}^{\phi/2} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta}{\int_{-\pi}^{\pi} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta} = N_s \frac{2p \int_0^{\phi/2} G(\theta) d\theta}{2p \int_0^{\pi} G(\theta) d\theta} = N_s \frac{\int_0^{\phi/2} G(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi} G(\theta) d\theta} \quad (13)$$

Для стандартних і часто використовуваних видів антен, зроблені аналітичні розрахунки коефіцієнта  $A_b$  відповідно до виразу (13). Отримані результати зведені в табл. 2.

Таблиця 2  
Результати аналітичних розрахунків коефіцієнта  $A_b$

Кількість секторів на сайті	Ширина діаграми направленості антени в горизонтальній площині	Значення коефіцієнта $A_b$
1	360	1,000
3	180	1,878
3	130	1,930
6	130	2,164
6	90	2,425
6	65	2,974

Для нестандартних або рідко використовуваних антен, необхідно робити розрахунки з урахуванням залежності, описаної виразом (13). У цьому випадку узагальнена формула для визначення ємності системи прийме наступний вигляд

$$K^* = \sum_{g=1}^G K_g = 1 + \alpha_p \cdot N_s \times \frac{\int_0^{\phi/2} G(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi} G(\theta) d\theta} \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b / N_0)_g} \frac{1}{(1 + \beta_g) \nu_g} \quad (14)$$

для  $G$  послуг в системі WCDMA.

Вираз (14) може бути використаний при визначенні ємності системи з односекторною всеспрямованою антеною. Однак при побудові мережі оперують не сотами (секторами), а сайтами. При цьому загальна ємність сайту не є простою сумою ємності секторів. Ця залежність більш складна й має такий вигляд

$$K_s = \xi_p \cdot N_s \cdot K^* = \xi_p \cdot N_s \cdot \sum_{g=1}^G K_g = \xi_p \cdot N_s \cdot 1 + \alpha_p \cdot N_s \times \left[ \frac{\int_0^{\phi/2} G(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi} G(\theta) d\theta} \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b / N_0)_g} \frac{1}{(1 + \beta_g) \nu_g} \right], \quad (15)$$

де  $\xi_p$  – коефіцієнт, що враховує абонентів, які знаходяться в зоні дії двох секторів й, відповідно споживають подвійний ресурс.

В свою чергу  $\xi_p$  можна визначити за допомогою виразу (16)

$$\xi_p = 1 - \frac{\theta_{0,5} - 2\pi/N_s}{\theta_{0,5}} = 1 - \left(1 - \frac{2\pi}{N_s \theta_{0,5}}\right) = \frac{2\pi}{N_s \theta_{0,5}}, \quad (16)$$

де  $\theta_{0,5}$  – ширина діаграми направленості антени базової станції в горизонтальній площині.

Підставивши (16) в (15) одержимо результуючу формулу оцінки ємності сайту

$$K_s = \frac{2\pi}{\theta_{0,5}} \times \left[ 1 + \alpha_p \cdot N_s \times \frac{\int_0^{\phi/2} G(\theta) d\theta}{\int_0^\pi G(\theta) d\theta} \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b/N_0)_g} \frac{1}{(1 + \beta_g) \nu_g} \right]. \quad (17)$$

Таким чином, використання виразу (17) при оцінці ємності системи WCDMA дозволяє врахувати не тільки основні параметри функціонування, але й структуру антенно-фідерної системи базової станції.

### ВИСНОВОК

Основним напрямком розвитку математичного апарату аналізу й синтезу телекомунікаційних систем є пошук аналітичних залежностей параметрів функціонування досліджуваної системи. При цьому прагнуть до того, щоб отримані вирази охоплювали якнайбільше параметрів функціонування, мали просту й наочну форму запису.

У роботі зроблене подальше узагальнення математичного опису системи WCDMA. Запропоновано модифікований аналітичний вираз для оцінки

ємності мережі, що більш повно враховує параметри функціонування й структуру антенно-фідерної системи базової станції. Є можливість обліку взаємного впливу секторів одного сайту на загальну ємність мережі WCDMA.

### Список літератури:

1. Son N. *Capacity and Throughput Optimization in Multi-cell 3G WCDMA Networks* / N. Son. – University of North Texas, 2005.
2. Gripatis T. *The Capacity of a WCDMA Network* / T. Gripatis, T. Lee. – A Case Study, Bechtel, 2005.
3. Jaana Laiho. *Radio Network Planning and Optimization for UMTS. Second Edition* / Laiho Jaana, Achim Wacker. – John Wiley & Sons, LTD, 2006.
4. Кааранен Х. *Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы* / Х. Кааранен, А. Ахтиайнен и др. – М.: Техносфера, 2007. – 464 с.
5. Alma Skopliak Ramovic, "The Modification of WCDMA Capacity Equation", Belgrad, 2008.
6. Тухвинский В.О. *Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS* / В.О. Тухвинский, С.В. Тереньтьев. – М.: Эко-Трендс, 2007. – 400 с.
7. Holma, H. *WCDMA for UMTS – Third Edition* / H. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons, Sussex, England, 2004.

Надійшла до редколегії 17.12.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.

### ОЦЕНКА ЕМКОСТИ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ WCDMA

О.И. Романов, А.В. Чмыренко, В.Б. Маньковский

*При проектировании сети WCDMA важный параметр - это число обслуживаемых абонентов в соте. В современной научной и технической литературе опубликованы многочисленные методы, которые позволяют решить эту задачу на определенном уровне точности. Поэтому, некоторые методы совершенно простые, но они используют самые ограниченные наборы исходных данных. Таким образом, они не принимают во внимание полный набор рабочих режимов рассматриваемой сети и имеют низкий уровень точности. Другие методы слишком детализируют параметры функционирующей сети, и они являются сложными в практическом использовании. Цель работы - это определение метода вычисления емкости системы WCDMA, который мог бы рационально объединить уровень изменения найденного определенного варианта и рациональное пространство функционирования сети.*

**Ключевые слова:** вместимость сети WCDMA, емкостное вычисление uplink, число абонентов в ячейке WCDMA.

### ESTIMATIONS OF CAPACITY OF MOBILE COMMUNICATION WCDMA NETWORK

O.I. Romanov, O.V. Chmirenko, V.B. Mankivskij

*While designing a WCDMA network, an important parameter is the number of served subscribers in the cell. In the contemporary scientific and technical literature numerous methods are published, which allow solving this task at the certain level of accuracy. Thus, some methods are quite simple, but they use very restricted basic data sets. In this way they do not take into account the full set of operating conditions of the examined network and they have a low level of accuracy. Other methods have too detailed network functioning parameters and they are difficult to be used practically. The purpose of this work is determination of WCDMA system capacity calculation method that could rationally combine the level of searched variable determination complicity and the scope of rational list of network functioning.*

**Keywords:** WCDMA network capacity, uplink capacity calculation, number of subscribers in WCDMA cell.