

УДК 621.391

П.Ф.Баховський, М.М.Євсюк

Луцький національний технічний університет

## ОКРЕМІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ РАДІОЛІНІЙ ПРОЕКТУ SAE/EPG В МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

*Розглянуто метод розрахунку енергетичного балансу радіоліній проекту SAE/EPG в мережах мобільного зв'язку.*

Ключові слова: *Мобільний зв'язок, енергетичний баланс, радіолінія, проект sae/eps, радіоінтерфейс, зона обслуговування.*

Не зважаючи на значну різноманітність і високу якість послуг мобільних телекомунікацій другого і третього покоління, які надаються сучасними системами, вони у принципі не здатні задовольнити всі вимоги користувачів засобів мобільного зв'язку в найближчій перспективі [1]. До концепції таких основних вимог належать високошвидкісний обмін даними, висока місткість та пропускна спроможність, якість передачі мови і даних, а також глобальна мобільність. Неможливість реалізації перерахованих вимог у повній мірі на базі існуючих систем, призводить до подальших пошуків динамічного розвитку мобільних засобів телекомунікацій в тому числі і на базі проекту SAE/EPG (*System Architecture Evolution / Evolved Packet System*) і відповідного устаткування [2, 3, 4].

Відомо, що проект SAE/EPG базується на стандарті CDMA 2000, який, у свою чергу, ґрунтується на стандарті IS-95. Такий базовий стандарт мобільних телекомунікацій, відповідає рекомендаціям Міжнародного союзу електров'язку. Отже, устаткування версії проекту SAE/EPG повинне підтримувати вже існуючі сервіси IS-95 по передачі голосу і даних з комутацією каналів, а також сервіси передачі голосу та пакетних даних з комутацією пакетів [2, 5, 6]. Реалізація концепції в повному обсязі [7], збільшить ємність при передачі голосу і даних, фактично удвічі більше, ніж в IS-95. Мережа проекту SAE/EPG і підсистема введення-виводу пакетних даних забезпечує користувачам можливість обміну пакетними даними з раніше позначеними швидкостями по радіоінтерфейсу IS-2000 [2, 4, 8]. При цьому мобільні абоненти, що використовують портативний термінал, комп'ютер або інший пристрій обробки даних, відповідний стандартам IS-2000 і IS-707A1, отримують доступ до різних додатків обміну даними, таким як Інтернет (або Intranet), базам даних, електронній пошті, тощо [2, 11].

Фізичний рівень систем проекту SAE/EPG забезпечує не тільки вищі швидкості передачі даних, але й кращу спектральну ефективність у порівнянні з попередніми стандартами. Реалізація пакетного режиму специфікована для зменшення впливу інтерференції і найкращого використання ємності мережі. Мобільний сервіс обміну пакетними даними в стандарті підтримується каналом трафіку, який в літературі називають основним [2]. При передачі таких даних використовується ширша смуга частот як в *низхідній*, так у *висхідній* радіолініях, і тому обслуговується високошвидкісними додатковими каналами, що забезпечують передачу довгих пачок тривалістю до декількох секунд. Іншим призначенням додаткових каналів є управління завантаженням, базовою інфраструктурою системи та умовами інтерференції [2, 5].

По кожному додатковому каналу підтримується широкий діапазон швидкостей передачі даних. Статичний розподіл множинних кодів між невеликою кількістю користувачів приводить до неефективного використання ємності радіоінтерфейсу CDMA. Тому в проекті SAE/EPG повинен застосовуватися динамічно керований інфраструктурою розподіл пачок, що дозволяє усунути цей недолік [4]. Алгоритм розподілу пачок забезпечує максимізацію пропускної спроможності каналу CDMA і системних ресурсів. Швидкість передачі даних і тривалість пачки, що передається по додатковому каналу, динамічно визначатиметься інфраструктурою залежно від завантаження, інтерференції і умов доступності ресурсу. Внаслідок цього по додатковому каналу не пропонується яка-небудь швидкість передачі інформації, а тільки та, що гарантується, як і гарантована швидкість передачі пакетних даних, що забезпечується основним каналом.

Для *низхідної радіолінії* розподіл пачок забезпечується у міру отримання даних з боку системи. Для *висхідної радіолінії* дані накопичуються в мобільному терміналі, який в свою чергу посилає запит по додатковому каналу у бік системи, ініціюючи процедуру розподілу пачок. Обслуговування може бути асиметричним, тобто для передачі високошвидкісних пакетних даних

у бік мобільного абонента у будь-який момент можуть бути призначені різні значення ширини смуги частот як в низхідній, так і у висхідній радіолініях. Це допомагає максимізувати ефективність використання радіочастотного спектру в обох напрямках за умови забезпечення запитаної смуги частот для мобільного абонента в кожному напрямі.

Аналіз енергетичного балансу *висхідної радіолінії* в режимі обміну даними дозволяє визначити розмір зони обслуговування для фіксованої швидкості передачі даних, яку потрібно забезпечити на межі цієї зони. Вказана межа може відповідати або не відповідати фізичній межі стільника, яка проектується так, щоб підтримати задану швидкість передачі по периметру стільника і вищі швидкості передачі тільки в межах її внутрішньої області. Якщо швидкість передачі даних, яка потрібна на межі певної зони обслуговування задана, то розмір зони обслуговування при обміні даними визначається в припущенні, що всі мобільні абоненти, що знаходяться в її межах, працюють з заданою швидкістю передачі при використанні додаткового каналу. Аналіз літературних джерел показав, що відома методика аналізу висхідної радіолінії при передачі [6, 10, 13] повністю застосовна до режиму обміну даними при використанні наступних допущень:

- додаткові канали, що підтримуються радіоінтерфейсом, будуть практично безперервно зайняті, оскільки вони розподілені між користувачами.
- інформаційна швидкість буде вища за ту, яка відповідає швидкості передачі даних, вибраної для межі стільника.

При передачі матимуть місце додаткові втрати енергії електромагнітних хвиль в голові та тілі абонента, які складають близько 2 дБ. При обміні даними абонент, що використовує термінал доступу, антена якого знаходиться за межами будівельного об'єкту або транспортного засобу, може вносити малі втрати або зовсім не вносити втрат. Тому в подальшому аналізі обміну даними ці втрати прирівнюються до 0 дБ.

Необхідне співвідношення енергії корисного сигналу до сумарної потужності теплових шумів приймача та радіозавод, необхідне для забезпечення заданої якості та надійності роботи радіолінії, стосовно додатку обміну даними менше, ніж при передачі мови. Це пояснюється тим, що додаток обміну даними фактично не працює в режимі реального часу та кадри, прийняті з помилками, можуть бути передані повторно з метою забезпечення безпомилкової передачі.

Опускаючи громіздкі відомі обчислення, зупинимося на результатах аналізу енергетичного балансу висхідної радіолінії системи проекту *SAE/EPS* для швидкостей передачі пакетних даних від 19,2 Кбіт/с до 153,6 Кбіт/с, які істотно відрізняються від відповідних результатів, що приведені для швидкості передачі 9,6 Кбіт/с.

Занижені вимоги до відношення енергії корисного сигналу до сумарної потужності теплових шумів приймача та радіозавод, необхідного для забезпечення заданої якості та надійності роботи радіолінії при обміні даними, можуть бути використані для збільшення максимальних допустимих втрат при розповсюдженні радіохвиль, а отже і розміру зони обслуговування. При мінімальній швидкості передачі даних допустимі втрати при розповсюдженні радіохвиль для двох даних режимів роботи системи проекту *SAE/EPS* трохи різняться, проте зі збільшенням швидкості обміну даними ця відмінність все більше збільшується і досягає 6 дБ. Таким чином, максимальний розмір зони обслуговування для сервісу високошвидкісного обміну даними буде менший в порівнянні з аналогічним параметром для передачі мови.

Результати проведеного моделювання показали, що збільшення допустимої невизначеності передачі символу в кадрі не викликає істотного зменшення пропускної спроможності при обміні даними за протоколом TCP/IP.

Якщо мета проектування системи проекту *SAE/EPS* полягає в тому, щоб забезпечити повсюдне обслуговування при передачі даних з високою швидкістю, то для радіочастотного проектування повинен використовуватися аналіз енергетичного балансу радіолінії, що базується на швидкості передачі по додатковому каналу. В цьому випадку фізична межа стільника визначатиметься межею зони обслуговування за передачею даних.

Якщо використовується аналіз енергетичного балансу радіолінії в режимі передачі мови, то сервіс обміну даними з високою швидкістю буде доступний з такою ж імовірністю забезпечення зв'язку, як і при передачі мови. При цьому реалізовувана швидкість передачі пакетних даних (або імовірність досягнення вищої швидкості передачі даних) зменшиться, коли мобільний абонент знаходиться близько до межі стільника. Максимальні допустимі втрати при розповсюдженні радіохвиль в режимі обміну пакетними даними можуть бути збільшені при використанні абонентами терміналів доступу, що мають антени з вищим коефіцієнтом підсилення і більшу

потужність передавача. Якщо інтерференційний запас буде збережений постійним, то він складе 5,5дБ не дивлячись на те, що число додаткових каналів, доступних для кожної фіксованої швидкості передачі даних, зменшується так само, як і при збільшенні швидкості передачі. Зменшення числа додаткових каналів може викликати скорочення забезпечуваного завантаження для реалізації системної стабільності.

Приведені результати аналізу енергетичного балансу можна використовувати за ситуації, коли проектування ведеться з метою забезпечення заданого розміру зони обслуговування для певної швидкості передачі даних.

Оскільки для кожної швидкості передачі потрібен однаковий інтерференційний запас, вказані результати можна також використовувати для планування зон обслуговування для групи додаткових каналів [12]. Так, зовнішній фізичний периметр стільника може бути визначений з використанням балансу радіолінії для швидкості передачі даних 9,6Кбіт/с. У межах цього периметра можна розрахувати додаткові обмеження, що накладаються на допустимі втрати енергії електромагнітних хвиль в децибелах для вищих швидкостей обміну даними.

Таким чином, зменшення максимальних допустимих втрат при розповсюдженні радіохвиль при збільшенні швидкості передачі (останній рядок таблиці) приводить до зменшення розміру зони обслуговування, що наочно підтверджує ефект «дихання стільника», характерний для систем зв'язку з кодовим розділенням каналів. Необхідне співвідношення енергії корисного сигналу до сумарної потужності теплових шумів приймача та радіозавад, необхідне для забезпечення заданої якості та надійності роботи радіолінії, стосовно додатку обміну даними менше, ніж при передачі мови і знижується зі збільшенням швидкості передачі. Отримуваний при цьому вигравш (близько 3дБ) пояснюється застосуванням турбокодів і можливістю повторної передачі спотворених пакетів даних.

У результаті опрацювання літературних джерел встановлено, що аналіз балансу низхідної радіолінії найдоцільніше проводити методами числового моделювання, проте обчислювальне навантаження, що виникає при таких розрахунках, достатньо велике, що приводить до необхідності пошуку простіших засобів [13].

Всі відомі методи можна використовувати стосовно двох основних положень мобільних абонентів в межах зони обслуговування [14].

Перше, – вбудоване розташування визначається єдиною швидкістю передачі даних, наприклад 76,8Кбіт/с. Ця швидкість передачі даних відповідає фізичному краю стільника та таким чином визначає розмір зони обслуговування для даної швидкості.

Друге, – концентричне розташування визначене двома швидкостями передачі даних, наприклад 76,8Кбіт/с і 9,6Кбіт/с. Нижча швидкість передачі даних визначає зовнішню межу стільника для цієї швидкості. Вища швидкість визначає внутрішню межу зони обслуговування, в межах якої може підтримуватися вища швидкість передачі даних (рис. 1.).

Проаналізуємо енергетичний баланс низхідної радіолінії з використанням методу симетричного аналізу, при якому передбачається, що всі мобільні абоненти розміщені симетрично на межі стільника.

Мета аналізу низхідної радіолінії полягає у визначенні допустимих втрат при розповсюдженні радіохвиль, при яких забезпечуватиметься необхідна швидкість передачі даних і може підтримуватися зона обслуговування, обмежена енергетичним балансом висхідної радіолінії.

Для аналізу вибрана швидкість передачі даних у додатковому каналі, яка підтримується на межі стільника. В ході аналізу розрахунковим методом необхідно визначити, чи є достатньою доступна потужність передавача базової станції для досягнення необхідного відношення енергії інформаційного біта до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції в приймачі мобільного абонента з урахуванням повільних завмирань електромагнітних хвиль при розповсюдженні. Припущення про симетричне розташування мобільних абонентів на межі зони обслуговування гарантує, що це відношення для кожної радіолінії ідентичне, і дозволяє провести аналіз без використання громіздких обчислень.

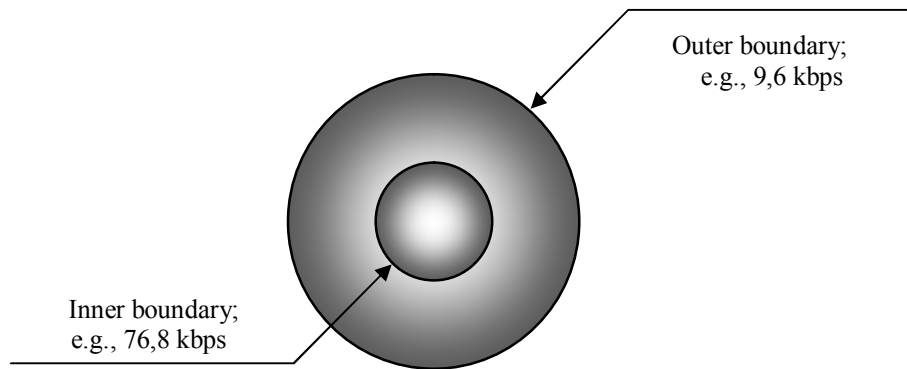


Рис. 1. – Концентричне розташування передачі даних: Inner boundary; e.g., 76,8 kbps – внутрішня межа, наприклад 76,8 Кбіт/с; Outer boundary; e.g., 9,6 kbps – зовнішня межа, наприклад 9,6 Кбіт/с.

Швидкості передачі даних у всіх радіолініях при обміні даними не є ідентичними. В аналізі повинні розглядатися мобільні абоненти, що використовують обидва канали – основний низькошвидкісний і додатковий високошвидкісний, причому програмне забезпечення автоматичного перемикавання секторів доступне тільки для основного каналу і не використовується стосовно додаткових каналів низхідної радіолінії.

У системах мобільних телекомунікацій *SAE/EPS* високошвидкісні додаткові канали динамічно підключаються, коли здійснюється передача пакетних даних, і відключаються, коли передача закінчується. Для управління рівнем системної інтерференції одночасно активується обмежене число додаткових каналів [15]. Ці високошвидкісні канали можуть розглядатися як сервери в моделі Ерланга [16].

Пакетні дані, які підлягають передачі, або негайно передаються, або зберігаються в очікуванні передачі. У висхідній радіолінії зберігання даних забезпечується в мобільному пристрої обміну даними. У низхідній радіолінії зберігання даних забезпечується в буфері стільника. Ця ситуація відповідає черзі стосовно моделі Ерланга, коли отриманий запит на обслуговування чекає доступу до серверів. В обох випадках може бути збережено велику кількість прибулих повідомлень, отже, довжина черги, як і припускає модель Ерланга, наближається до нескінченності. Співвідношення між завантаженням, кількістю серверів і середнім часом очікування в черзі також визначаються цією моделлю трафіка. Як тільки перераховані значення визначені, може бути розрахована повна пропускна спроможність з використанням наступного виразу:

$$K = \sum_{n=0}^{N-1} n \mu p(n) + N \mu p_d,$$

де  $K$  – повна пропускна спроможність;  $p(n)$  – час затримки залежно від поточного стану системи;  $p_d$  – час затримки.

У системах *SAE/EPS* число серверів у секторі служить обмеженням, яке накладається використанням радіоінтерфейсом. Середній час очікування в черзі (наприклад, 5с), як правило, заданий і відповідає середньому часу, що пройшов між фактичною передачею повідомлення і введенням даних в буфер (мобільного абонента або стільника) для очікування обслуговування. Розрахункове завантаження, обчислене з використанням моделі Ерланга, надалі порівнюється з передбачуваним завантаженням для оцінки необхідного числа секторів для підтримки заданого об'єму трафіка.

Отримане від багатьох джерел даних завантаження, виражене в Ерлангах, підсумовується, тому для його розрахунку використовуємо вираз [16]:

$$E = \frac{\lambda_{total}}{\mu} = \frac{\sum_i \lambda_i}{\mu},$$

де  $E$  – загальне завантаження, Ерл;  $\lambda_{total}$  – частота надходження запитів на обслуговування (наприклад, число повідомлень у секунду);  $\mu$  – середня швидкість завершення обслуговування, що оцінюється для загальної моделі Ерланга;  $\lambda_i$  – частота надходження запитів на обслуговування

(кількість повідомлень у секунду), що поступають від  $i$  користувачів;  $i$  – число користувачів даних.

Трафік обміну даними в мережах проекту *SAE/EPS* передбачається планувати по нижче приведеному алгоритму (рис. 2.) [16].

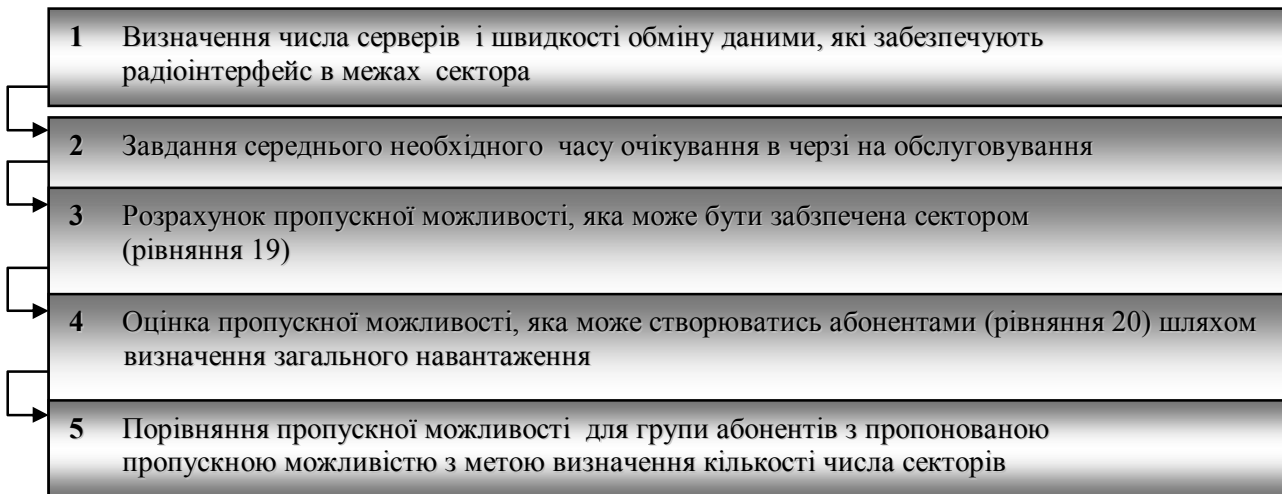


Рис. 2. – Алгоритм організації обміну даними в мережах *SAE/EPS*

Наприклад, якщо один сектор може забезпечити підтримку пропускної спроможності 100 Кбіт/с для заданого обмеженого часу очікування, то необхідно 10 секторів для реалізації загальної пропускної спроможності 1000 Кбіт/с. Насправді для виконання ряду інших вимог, наприклад таких, як забезпечення необхідної зони обслуговування, може бути потрібне більше число секторів.

Далі проведемо аналіз особливостей реалізації перших трьох пунктів планування трафіку обміну даними.

Визначимо втрати при розповсюдженні радіохвиль та відповідні межі стільника по обміну даними, шляхом розрахунку чутливості, потрібної для приймача мобільного абонента при швидкості передачі, яка представляє інтерес:

$$S_{\min} = E\{S\} = \frac{FN_t W}{\frac{g}{d_{\max} - (1 + \beta)(N - 1)\eta_\alpha}}, \quad a = \frac{S_{\min}}{P_{\max} g_{net} \gamma},$$

де  $S_{\min}$  – необхідна мінімальна чутливість приймача мобільного абонента;  $E$  – оператор математичного очікування;  $F$  – коефіцієнт шуму приймача мобільного абонента;  $N_t$  – загальне число каналів мережі;  $W$  – ширина смуги пропускання;  $g$  – виграш за рахунок розширення спектру сигналів при обробці;  $d_{\max}$  – максимальне відношення енергії інформаційного біта до спектральної щільності теплового шуму та інтерференції;  $\beta$  – відношення інтерференції іншої стільника до інтерференції обслуговуючої стільника для висхідної радіолінії;  $N$  – число активних мобільних абонентів в межах сектора;  $\eta_\alpha$  – середнє очікуване значення коефіцієнта використання каналу;  $a$  – загасання електромагнітної хвилі при розповсюдженні між антенної базової станції і мобільним абонентом;  $P_{\max}$  – максимальна потужність, що віддається мобільним абонентом в антену;  $g_{net}$  – мережний виграш, який складається з коефіцієнта підсилення антени мобільного терміналу, втрат в голові та тілі оператора, втрат на проникнення крізь будівельні об'єкти та транспортні засоби, коефіцієнта підсилення антени базової станції та втрат у радіочастотному кабелі антенно-фідерного пристрою базової станції;  $\gamma$  – повільні завмирання.

Цей вираз дозволяє здійснити аналіз низхідної радіолінії при передачі даних по додатковому каналу.

Запишемо вираз енергетичного балансу радіолінії, в правій частині якого міститься необхідне співвідношення енергії корисного сигналу, переданої в одному біті до сумарної енергії теплових шумів приймача та радіозавад. Виконання цієї нерівності гарантує роботу низхідної радіолінії з заданою якістю та надійністю:

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_{links}} \alpha_i d_i \beta_i}{g_i} \leq \frac{(1-\gamma) - Q_{max}}{Q_{total}},$$

$$1 + \bar{\eta}_a \left( \frac{1}{\beta_i} - \frac{d_i}{g_i} \right)$$

де:  $N_{links}$  – число каналів в секторі;  $\alpha_i$  – коефіцієнт використання для  $i$ -го каналу;  $d_i = \frac{E_b}{N_t}$  – відношення енергії, переданої в одному інформаційному біті, до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції для  $i$ -го каналу;  $\beta_i$  – відношення інтерференції іншої стільника до інтерференції обслуговуючої стільника плюс рівень шуму, що приймається, для низхідної радіолінії;  $g_i$  – вигреш за рахунок розширення спектру сигналу при обробці;  $\bar{\eta}_a$  – середнє значення коефіцієнта використання каналу;  $\gamma$  – фіксована частка максимальної потужності, передаваної по службових каналах;  $Q_{max}$  – максимальна потужність, що забезпечується в антенному з'єднувачі базової станції перед настанням перевантаження (блокування);  $Q_{total}$  – стала усереднена потужність в антенному з'єднувачі базової станції.

Такі параметри, як коефіцієнт використання каналу, необхідне співвідношення енергії інформаційного біта до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції, інтерференційне співвідношення і вигреш за рахунок обробки розповсюджуються як на додаткові, так і на основні канали. Це є причиною привласнення індексу  $j$  вигрешу за рахунок обробки. Це значення не є постійним в радіолінії та змінюється залежно від того, є канал основним або додатковим. Відповідно, аналізований вираз можна привести до наступного вигляду:

$$\bar{\eta}_d \sum_{i=1}^{N_{links}} \frac{\alpha_i \varepsilon_{di} \beta_i}{\varepsilon_{gi}} \left[ 1 + \xi \left( \frac{1}{\beta_i} - \frac{\bar{\eta}_d}{\bar{\eta}_g} \right) \right] = \bar{\eta}_d \sum_{i=1}^{N_{links}} \alpha^{new} \beta_i \left[ 1 + \xi \left( \frac{1}{\beta_i} - \frac{\bar{\eta}_d}{\bar{\eta}_g} \right) \right] \leq \bar{\eta}_g (1-\gamma), \quad (1)$$

де:

$$d_i = \varepsilon_{di} E(d) = \varepsilon_{di} \bar{\eta}_d, \quad g_i = \varepsilon_{gi} E(g) = \varepsilon_{di} \bar{\eta}_g. \quad (2)$$

У рівняннях (1) і (2) використані наступні позначення:  $\xi$  – коефіцієнт ортогональності для секторів з іншими каналними кодами Уолша;  $\varepsilon_{di}$ ,  $\varepsilon_{gi}$  – поправочні коефіцієнти, залежні від імовірності знаходження мобільного абонента на межі стільника;  $\bar{\eta}_d$  – середнє значення необхідного співвідношення енергії інформаційного біта до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції  $\left( \frac{E_b}{N_t} \right)$ ;  $\bar{\eta}_g$  – середнє значення вигрешу за рахунок обробки. Решта позначень використана раніше.

Припущення про те, що загальне число каналів є сумою основних та додаткових каналів, дозволяє розрахувати їх вигреш за рахунок обробки сигналу і відношення енергії, переданої в одному інформаційному біті, до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції, використовуючи наступні вирази:

$$\bar{\eta}_d = \frac{N_{suppl} d_{suppl}}{N_{total}} + \frac{N_{fund} d_{fund}}{N_{total}}, \quad \eta_g = \frac{N_{suppl} g_{suppl}}{N_{total}} + \frac{N_{fund} g_{fund}}{N_{total}}, \quad N_{total} = N_{fund} + N_{suppl},$$

де  $N_{suppl}$  – число додаткових каналів;  $N_{total}$  – загальне число каналів в межах мережі;  $d_{suppl}$  – відношення енергії, переданої в одному інформаційному біті, до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції для додаткового каналу;  $N_{fund}$  – число основних каналів;  $d_{fund}$  – відношення енергії, переданої в одному інформаційному біті, до сумарної потужності теплового шуму та інтерференції для основного каналу;  $g_{suppl}$  – вигреш за рахунок обробки сигналу для додаткового каналу;  $g_{fund}$  – вигреш за рахунок обробки сигналу для основного каналу.

Після відповідних перетворень, рівняння енергетичного балансу низхідної радіолінії в режимі передачі даних прийме вигляд:

$$\frac{\eta_g (1-\gamma)}{1 + \xi \left( \frac{1}{\bar{\eta}_\beta} - \frac{\bar{\eta}_d}{\bar{\eta}_g} \right)} \cdot \frac{1}{N_{links} \bar{\eta}_\alpha \bar{\eta}_\beta} \geq \bar{\eta}_\alpha,$$

$$\left( 1 + \frac{k}{\sqrt{N_{links}}} \sqrt{\frac{\sigma_\alpha^2 \sigma_\beta^2}{\bar{\eta}_\alpha^2 \bar{\eta}_\beta^2} + \frac{\sigma_\beta^2}{\bar{\eta}_\beta^2} + \frac{\sigma_\alpha^2}{\bar{\eta}_\alpha^2}} \right)$$

де  $\bar{\eta}_\alpha$  – середнє значення коефіцієнта використання каналу;  $\bar{\eta}_\beta$  – середнє значення інтерференційного співвідношення;  $k$  – множник, використовуваний в Гаусовому розподілі;  $\sigma_\alpha$  – стандартне відхилення коефіцієнта використання каналу;  $\sigma_\beta$  – стандартне відхилення інтерференційного співвідношення.

Задоволення цієї нерівності забезпечує підтримку сервісу обміну даними на межі стільника як за додатковими, так і за основним каналом.

Припустимо, що загальнодоступні додаткові канали використовуються безперервно. Відповідно, коефіцієнт їх використання рівний 1. Основні канали працюють зі швидкістю, що становить 1/8 частину повної швидкості передачі 9,6Кбіт/с. Розглядаючи визначення статистичних даних – рівняння (2) – запишемо вирази для коефіцієнта використання додаткового і основного каналів відповідно.

З імовірністю  $\frac{N_{suppl}}{N_{total}}$  для додаткового каналу отримаємо:

$$\alpha^{new} = 1 \frac{d_{suppl} / \bar{\eta}_\beta}{d_{suppl} / \bar{\eta}_g}.$$

З імовірністю  $\frac{N_{fund}}{N_{total}}$  для основного каналу отримаємо:

$$\alpha^{new} = \frac{1}{8} \frac{d_{fund} / \bar{\eta}_d}{d_{fund} / \bar{\eta}_g}.$$

Далі можна оцінити залежність інтерференційного співвідношення від розташування мобільного абонента в межах стільника. При цьому допускається, що значення і статистика зміни інтерференційного відношення ідентичні як для основних, так і для додаткових каналів. Це впливає із зробленого раніше припущення про симетричне розміщення всіх мобільних абонентів на межі стільника по передачі даних і є або точним або консервативним залежно від використовуваної конфігурації низхідної радіолінії.

При передачі мобільним абонентом, що знаходиться на межі стільника (тобто при вбудованому його розташуванні), завдяки програмному забезпеченню автоматичного перемикавання секторів, відношення потужності корисного сигналу, що приймається від головного обслуговуючого сектора, до потужності інтерференційних сигналів інших секторів максимізується (рис. 4). Тому фактичне інтерференційне співвідношення погіршується з – 4дБ при передачі мови до + 2дБ при обміні даними з використанням додаткового каналу. Останнє значення може також застосовуватися як консервативна оцінка інтерференційного співвідношення для основних каналів, які також управляються за допомогою програмного забезпечення автоматичного перемикавання секторів.

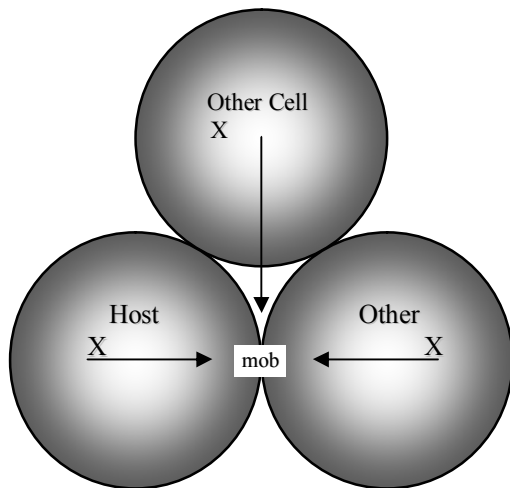


Рис. 4. – Вбудоване розташування мобільного абонента на межі стільника: *Host* – головний обслуговуючий сектор; *Other* – інший; *Other cell* – інші стільники; *mob* – мобільний абонент

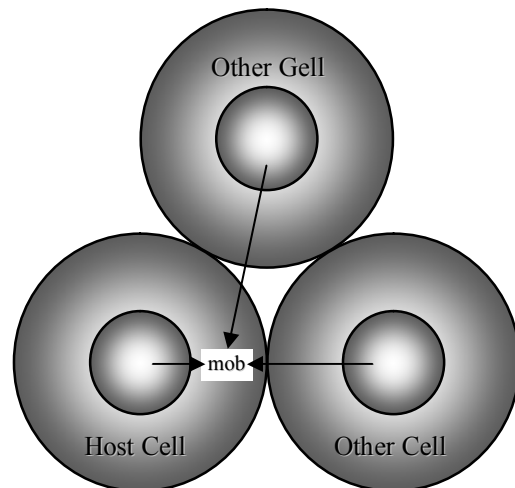


Рис. 5. – Концентричне розташування мобільного абонента: *Host cell* – головний обслуговуючий стільник; *Other cell* – інші стільники; *mob* – мобільний абонент

При концентричному розташуванні мобільного абонента (рис. 5) таке програмне забезпечення не використовується, тому інтерференційне співвідношення для основного і додаткових каналів ідентичні.

При концентричному розташуванні мобільний абонент приймає потужний корисний сигнал від головного обслуговуючого сектора і відносно слабкі інтерференційні сигнали від сусідніх стільників, оскільки в порівнянні з ситуацією, зображеною на рис. 4 він більше не є рівновіддаленим від всіх базових станцій.

Розглянемо результати аналізу енергетичного балансу низхідної радіолінії.

Приведений приклад достатньо консервативний, оскільки в ньому використовується вбудоване розташування, при якому симетричне позиціонування мобільних абонентів на межі стільника забезпечує умови для прийому досить могутніх інтерференційних сигналів від навколишніх стільників при невеликій потужності сигналу, що приймається від головного обслуговуючого сектора. Крім того, вибрана швидкість обміну даними 153,6Кбіт/с характеризується мінімальним розширенням спектру, а значить і мінімальним виграшем за рахунок обробки сигналу.

Таким чином, з проведеного аналізу виходить, що 21,8% потужності передавача базової станції витрачається на передачу сигналів в службових каналах (пейджинговому, пілотному та каналі синхронізації), а 78,2%, що залишилися – припадають на основні та додатковий канали трафіку.

Допустимі втрати при розповсюдженні радіохвиль у низхідній радіолінії складають 128дБ, що дещо менше, ніж у висхідній радіолінії (не менше 144,4дБ). Проте при цьому забезпечується підтримка передачі даних по низхідній радіолінії в основних та додатковому каналі зі швидкостями 9,6 і 153,6 Кбіт/с відповідно. У такому випадку, радіус зони обслуговування по передачі даних для заданого трафіку визначається енергетичним потенціалом низхідної радіолінії, що пояснюється діленням потужності передавача базової станції між мобільними абонентами. Якщо в даних умовах на межі зони обслуговування може підтримуватися одночасна робота 11 основних каналів у режимі передачі даних і один додатковий канал, який забезпечує передачу максимального об'єму трафіка (коефіцієнт використання каналу складає 1). Повна пропускну спроможність низхідної радіолінії складатиме 259,2Кбіт/с

Розрахунок енергетичного балансу радіолінії проекту *SAE/EPS* в мережах мобільного зв'язку при передачі даних дає можливість запланувати та оцінити необхідні додаткові енергетичні ресурси систем проекту *SAE/EPS*, необхідність збільшення яких виникає при розширенні і впровадженні додаткових послуг.



1. Баховський П.Ф., Скопа О.О. Концепція та сценарії реалізації віртуального домашнього оточення в мережах 3G // Наук. записки Міжнар. гуманіт ун-ту. Випуск 13: Економіка та управління проектною діяльністю / Відп. за випуск проф. А.І. Рибак. – Одеса: МГУ, 2008.
2. Мкртчян О.А., Саркисян А.Р., Мкртчян М.О., Манукян З.А., Мелконян А.А. Исследование механизмов синаптической пластичности посредством моделирования реальных нейронных сетей // Материалы юбилейн. Междунар. конф. по нейрокибернетике, 25-28 сентября 2002 г. – Ростов: РГМУ // [Электронный ресурс]: [http://www.krinc.ru/w715/Conferences/ICNC\\_2002/ICNC\\_2002\\_texts.htm](http://www.krinc.ru/w715/Conferences/ICNC_2002/ICNC_2002_texts.htm).
3. Баховський П.Ф. Проблемні питання розвитку телефонної мережі загального користування (ТфМЗК) України та діяльність ДП «УНДІЗ» у цій сфері // Матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. «Впровадження нових технологій, послуг, нормативних документів у телефонній мережі загального користування (ТфМЗК) України», 24-28 листопада 2008 р. // Вісник УНДІЗ. – 2008. – №4. – С.4-5.
4. Баховський П.Ф. Проблемні питання розвитку технології 3G в Україні // Наукові записки УНДІЗ. – 2008. – №2(4). – С.16-26.
5. Гоцуляк А.Ф., Гавриленко В.П., Орлов С.Н., Пархимович Э.Ю. Система передачи речи и обмена данными 3G-1x // «ВКСС. Connect!». – №2, 2004. – С.108-140.
6. Гоцуляк А.Ф., Гавриленко В.П., Орлов С.Н., Пархимович Э.Ю. Система передачи речи и обмена данными 3G-1x // «ВКСС. Connect!». – №5, 2004. – С.101-118.
7. Баховський П.Ф., Скопа О.О. Концепція та сценарії реалізації віртуального домашнього оточення в мережах 3G // Наук. записки Міжнар. гуманіт ун-ту. Випуск 13: Економіка та управління проектною діяльністю / Відп. за випуск проф. А.І. Рибак. – Одеса: МГУ, 2008. – С.86-94.
8. Баховський П.Ф. Концептуальні питання створення систем зв'язку третього покоління ІМТ-2000 // Наук. записки Міжнар. гуманіт ун-ту. Випуск 11: Економіка та управління проектною діяльністю / Відп. за випуск проф. А.І. Рибак. – Одеса: МГУ, 2008. – С. 94-105.
9. Баховський П.Ф. Інтелектуальна мережа: Соціально-економічна концепція // Матер. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми телекомунікацій». – Львів, 28-30 жовтня 2008 р. – С.65-68.
10. Гоцуляк А.Ф., Гавриленко В.П., Орлов С.Н., Пархимович Э.Ю. Система передачи речи и обмена данными 3G-1x // «ВКСС. Connect!». – №4, 2004 // [Электронный ресурс]: <http://www.connect.ru/article.asp?id=5054>.
11. Баховський П.Ф. Інтелектуальна мережа: Соціально-економічна концепція // Матер. наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми телекомунікацій». – Львів, 28-30 жовтня 2008 р. – С.65-68.
12. Torabi M., Buhrke R. Third-Generation mobile telecommunications and virtual home environment: A prioritization analysis // Bell Labs, Vol.3, Number 3.
13. Гоцуляк А.Ф., Гавриленко В.П., Орлов С.Н., Пархимович Э.Ю. Система передачи речи и обмена данными 3G-1x // «ВКСС. Connect!». – №4, 2004 // [Электронный ресурс]: <http://www.connect.ru/article.asp?id=5054>.
14. Баховський П.Ф., Гребенніков В.О. Кризові явища в інфокомунікаціях України та шляхи їх подолання // Матеріали III Міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми телекомунікацій», Київ, 21-24 квітня 2009 р. – С.23-24.
15. Баховський П.Ф., Скопа О.О. Концептуальні питання створення та розвитку інтелектуальних мереж: основоположні зауваження // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова. – 2008. – Вип. 49. – С.154-159.
16. Баховський П., Євсюк М. Фрагменти моделювання високої надійності функціонування первинної (транспортної) мережі електрозв'язку // Materials of IV International modeling school of AMSE-UAPL, Crimea, Alushta, September 12-17, 2000. – P.9-12.