

УДК 621.396.2 (045)

Одарченко Р.С.¹, Полігенько О.О.¹, Дика Н.В.¹, Поліщук В.В.²

¹Національний авіаційний університет

²ТОВ «МТС Україна»

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ НЕДОЛІКІВ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ РІЗНИХ ПОКОЛІНЬ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Odarchenko R.S., Polihen'ko O.O., Dyka N.V., Polishchuk V.V. Research of the main demerits of the base stations of different generations mobile communication. In this work, modern base stations of mobile operators have been analysed, in particular, it has been defined their architecture, the main components and functions. Base stations of different generations of mobile communication are considered and their common features and distinctions are allocated. The special attention has been paid to the analysis of structures of GSM, UMTS and LTE. Determined what role in these structures plays the base stations BTS, NodeB and eNodeB respectively. The main modern methods of physical realization of BS of the mobile operator have been considered. It is explained in what distinctions in realization of base stations with connections of "feederline" and "feederless". The main shortcomings of base stations of mobile operators are also in details analysed.

Keywords: mobile communication, GSM, UMTS, LTE, base station, BTS, NodeB, eNodeB, antenna, radio module, feeder

Одарченко Р.С., Полігенько О.О., Дика Н.В., Поліщук В.В. Дослідження основних недоліків базових станцій різних поколінь стільникового зв'язку. Розглянуто базові станції різних поколінь мобільного зв'язку та виділено їх спільні риси і відмінності. Виконано аналіз структур GSM, UMTS, LTE та описані особливості використання в них базових станцій BTS, NodeB та eNodeB відповідно. Розглянуто основні сучасні методи фізичної реалізації базових станцій мобільного оператора. Проаналізовані основні недоліки базових станцій операторів мобільного зв'язку.

Ключові слова: мобільний зв'язок, GSM, UMTS, LTE, базова станція, BTS, NodeB, eNodeB, антена, радіомодуль, BTS, NodeB, eNodeB, фідер

Одарченко Р.С., Полигенько О.О., Дикая Н.В., Полищук В.В. Исследование основных недостатков базовых станций разных поколений сотовой связи. Рассмотрены базовые станции разных поколений мобильной связи и выделены их общие черты и отличия. Выполнен анализ структур GSM, UMTS, LTE и описаны особенности использования в них базовых станций BTS, NodeB и eNodeB соответственно. Рассмотрены основные современные методы физической реализации базовых станций мобильного оператора. Проанализированы основные недостатки базовых станций операторов мобильной связи.

Ключевые слова: мобильная связь, GSM, UMTS, LTE, базовая станция, BTS, NodeB, eNodeB, антенна, радиомодуль, фидер

1. Вступ. Аналіз досліджень та публікацій

Мобільний зв'язок представляє собою комплекс технологій, що дозволяють абонентам залишатись на зв'язку під час руху, вдома, на роботі, в транспорті, у роумінгу і, навіть, на морі; це електровз'язок із застосуванням радіотехнологій, під час якого кінцеве обладнання хоча б одного із споживачів може вільно переміщатися в межах усіх пунктів призначення телекомунікаційної мережі, зберігаючи єдиний унікальний ідентифікаційний номер мобільної станції [1]. Робота мобільного зв'язку забезпечується розвинутою мережею базових станцій (БС) – фіксованих антен, які передають інформацію на комутаційні центри за допомогою радіочастотних сигналів. У світі на сьогодні експлуатується близько 1,4 мільйони БС, більш ніж 20 000 з них розташовані в Україні [2].

Дослідженням стільникових мереж різних поколінь присвячено багато наукової та навчальної літератури [1, 3-7]. Однією з найважливіших підсистем мереж стільникового зв'язку являється підсистема БС, дослідженням роботи яких присвячені праці [3, 4, 8, 9], плануванню їх розміщення та оптимізації [10-12], частотно-територіальному плануванню [13], оцінці електромагнітного впливу на зовнішнє середовище та організм людини [14-16], вибору та оптимізації антенних систем [17] тощо.

Основною метою цієї роботи є аналіз архітектури сучасних БС та виявлення їх основних недоліків з метою їх усунення під час планування стільникових мереж нового покоління в Україні. Тому в роботі необхідно проаналізувати основні проблеми, з якими стикаються мобільні оператори в даний момент при їх розгортанні, оптимізації, обслуговуванні та запропонувати шляхи їх вирішення.

2. Архітектура базової станції

Покриття будь-якої мережі стільникового зв'язку має стільникову структуру, утворену за допомогою БС, які представляють собою комплекс радіопередавачів, призначених для розподілу дзвінків з телефонів та їх аутентифікації [3]. Кожна БС може обслуговувати один і більше стільників в залежності від конфігурації мережі і потреби в ємності та якості покриття в заданій області. Базова станція мобільного оператора не залежно від стандарту складається з таких основних складових (рис. 1):

- головний процесорний модуль (BBU – Baseband Unit), обробляє інформацію та розподіляє ресурси БС (частотні та часові канали, полоси пропускання та ін.);
- радіомодуль (RRU – Remote Radio Unit), містить радіопередавачі та радіоприймачі, що перетворюють цифрову інформацію в електромагнітне випромінювання і навпаки;
- антена, випромінює електромагнітну енергію в відкритий простір та виокремлює радіохвилі з повітря та передає їх до радіомодуля.



Рис. 1 Типова архітектура базової станції

Показана вище архітектура БС не залежить від стандарту зв'язку, але БС різних стандартів виконують дещо різні функції в своїх мережах і мають різні назви.

В залежності від стандарту БС поділяють на:

- 1) *BTS (Base Transceiver Station)* – базова станція мереж 1G і 2G.
- 2) *NodeB* – базова станція мережі стандарту UMTS.
- 3) *eNodeB (eNB)* – базова станція мережі стандарту LTE.

Розглянемо роль кожної з цих БС у власній мережі більш детально.

2.1. Базова станція BTS. BTS входить до складу системи БС (BSS – Base Station Subsystem). Головне завдання БС – створення радіоз'єднання між мобільною станцією MS (Mobile Station) і BSS. Саме БС створюють покриття мережі стільникового зв'язку. BTS не приймає самостійних рішень і працює на основі інструкцій від BSC (Base station controller).

BTS – це елемент мережі стільникового зв'язку, який отримав найбільшу кількість варіантів установки, конфігурацій, ємності, призначення та способів організації зв'язку з іншими елементами мережі.

Існує кілька конфігурацій BTS в залежності від числа і виду панельних антен. Найбільш популярною конфігурацією залишається схема 1+1+1, коли використовуються 3 секторні (панельні антени), кожна з яких випромінює сигнал в 120-градусний сектор. Також існує багато рішень по організації покриття всередині приміщень і в метро.

Крім того, існує багато варіантів установки BTS: на спеціальних вежах або щоглах, на дахах житлових будинків, виробничих будівлях, трубах котелень тощо.

Місце BTS в структурі GSM. Мережа GSM ділиться на 2 системи. Кожна з них включає в себе ряд функціональних пристроїв, які, в свою чергу, є компонентами мережі мобільного радіозв'язку:

- *система комутації – Network Switching System (NSS).* Ця система виконує функції обслуговування викликів і встановлення з'єднань, а також відповідає за реалізацію всіх призначених абоненту послуг.
- *система базових станцій – Base Station System (BSS).* Система відповідає за всі функції, пов'язані з радіоінтерфейсом.

На рис. 2 зображена структура GSM у загальному вигляді та місце BTS в цій структурі.

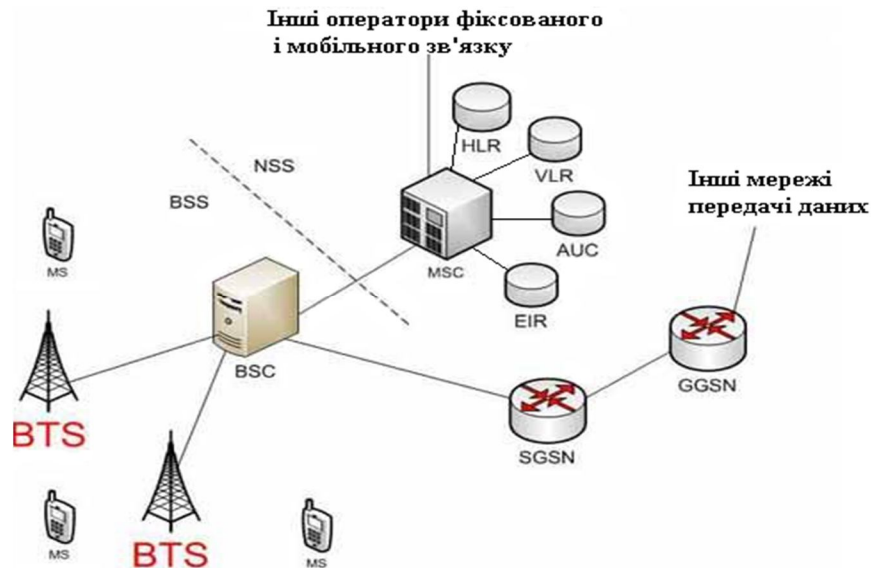


Рис. 2. BTS в складі мережі GSM

2.2. Базова станція NodeB. NodeB також відповідає за створення покриття мережі стільникового зв'язку. Основною функцією NodeB є передача сигналу від RNC (Radio network controller) в ефір в певних стільниках (чи стільнику). NodeB логічно відповідає BTS мережі стандарту GSM, але має меншу функціональність. Базова станція NodeB не приймає рішень про виділення ресурсів, про зміну швидкості до абонента, а лише служить мостом між контролером і обладнанням абонента, і вона повністю підпорядкована RNC.

NodeB зазвичай складається з двох основних частин: блок проміжної частоти, який відповідає за мультиплексування сигналу, що надходить від RNC і його модуляції на проміжну частоту. Після чого цей сигнал по оптичному патчкорду (з'єднувальному кабелю) передається до радіомодуля, який перетворює сигнал з проміжної частоти в високочастотний сигнал і передає його по фідеру до секторних антен. Така схема примітна тим, що радіомодулі можна встановлювати безпосередньо біля антен. Це дає значну економію коштів, тому що відпадає необхідність в прокладанні довгої фідерної траси, а також зменшує втрати, тому що оптичний кабель вносить набагато менше загасання, ніж коаксіальний.

Місце NodeB в структурі UMTS. Розглянемо структуру системи UMTS (рис.3) і її основні відмінності від стандарту другого покоління GSM.

Мережа UMTS складається подібно GSM з підсистеми комутації і підсистеми БС. У перших релізах стандарту UMTS (R99, R4) підсистема комутації не відрізнялася за своєю структурою від тієї ж підсистеми мереж другого покоління. У неї входили MSC – мобільний центр комутації, який виконував функції комутації, встановлення з'єднання, тарифікації та ін., а також ряд реєстрів HLR, VLR, AUC, які призначені для зберігання абонентських даних. У більш пізніх релізах (R5, R6, R7, R8) MSC функції були розділені між двома пристроями: MSC-сервер і MGW (Media Gateway). MSC-сервер відповідає за встановлення з'єднань, тарифікацію, виконує деякі функції аутентифікації. MGW – це комутаційне поле, підпорядковане MSC-серверу.

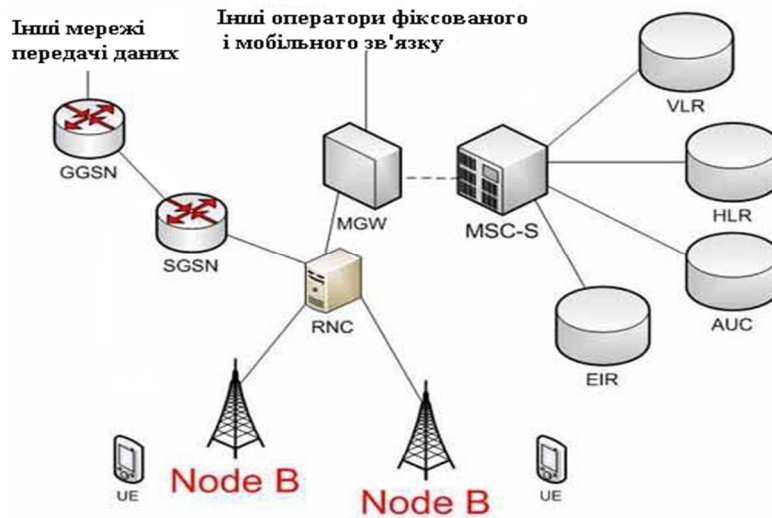


Рис. 3. NodeB в складі мережі UMTS

У мережі UMTS у порівнянні з мережею GSM найбільші зміни відбулися у підсистемі БС. В підсистему БС входять RNC та NodeB, функції якої розглянуто вище.

RNC (контролер радіомережі) – контролер мережі радіодоступу системи UMTS. Він є центральним елементом підсистеми БС і виконує велику частину функцій: контроль радіоресурсів, шифрування, встановлення з'єднань через підсистему БС, розподіл ресурсів між абонентами та ін. У мережі UMTS контролер виконує набагато більше функцій ніж в системах стільникового зв'язку другого покоління.

Устаткування абонента отримало назву UE (User Equipment). Тим самим підкреслюється, що на відміну від попередніх стандартів, в UMTS може бути не тільки звичайний телефон, але і смартфон, ноутбук, стаціонарний комп'ютер і т.д.

2.3. Базова станція eNodeB (eNB). Ця БС є аналогом NodeB для мережі UMTS і BTS для мережі GSM. Основним завданням eNodeB є перетворення сигналу, що надходить від SGW (Service gateway) в високочастотний сигнал і передача його через секторні антени (антену). Саме eNodeB відповідає за покриття мережі LTE і виконує роль шлюзу між абонентським терміналом і мережею.

У мережі LTE немає аналогу контролера БС RNC або BSC. Всі функції контролера покладені на eNodeB, внаслідок чого ємність і покриття мережі доступу легко масштабуються.

У Rel.9 3GPP крім звичайних eNodeB передбачені ще Home eNodeB (HeNB). Головна відмінність HeNB від eNodeB полягає в простоті конструкції, легкості монтажу і можливості автоконфігурації. HeNB являє собою невеликий прямокутний пристрій, розміром з поштову скриньку, в якому вже є панельна антена, інтерфейсний блок і основний функціональний блок обробки і перетворення сигналу. Він легко монтується на стіну або стелю, а підключення його до SGW можливо за допомогою Ethernet-кабелю через мережу Інтернет. Зазвичай HeNB має можливість автоматичної конфігурації і не вимагає виїзду на місце фахівця, тому процедуру установки необхідних параметрів можна провести віддалено після підключення пристрою до мережі Інтернет. Основне призначення HeNB – це встановлення всередині житлових приміщень, офісів, невеликих виробничих приміщень.

Місце eNodeB в структурі LTE. Зі схеми мережі LTE, представленої на рис 4, видно, що структура мережі сильно відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотних змін зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації. Була змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією. Також зазнали зміни і протоколи передачі даних між мережевими елементами. Вся інформація (голос, дані) передається у вигляді пакетів. Таким чином, вже немає поділу на частини, що оброблюють або тільки голосову інформацію, або тільки пакетні дані.

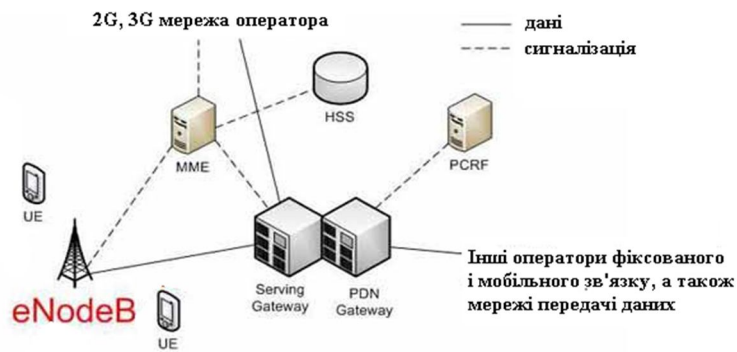


Рис. 4. Базова станція eNodeB в складі мережі LTE

3. Фізична реалізація базових станцій

Можливих способів реалізації БС не злічити. Залежно від покоління, ємності, використовуваного стандарту, області покриття БС може бути виконана як в окремому контейнері в поєднанні з 72-х метровою щоглою, так і у вигляді невеликого компактного кейса для покриття всередині будівель – «фемтосота». Розглянемо найбільш типові випадки реалізації повномасштабних БС для покриття як в міських умовах, так і за містом.

Найтипівішим способом розміщення обладнання БС є установка спеціальної щогли (рис. 5.а) або вежі (рис 5.б), біля підніжжя якої розташовуються один або кілька контейнерів для приймально-передавального обладнання. Така схема підключення радіомодуля RRU до антени отримала назву «*feederline*». Основна мета установки антенно-щоглової споруди є розміщення антенно-фідерного пристрою. Крім того, в приміській місцевості часто разом з антенами використовуються підсилювачі сигналу в напрямку uplink – МШП (малошумні підсилювачі), які розширюють зону дії БС. Також вежа необхідна для розміщення транспортного обладнання, якщо використовуються РРЛ (радіорелейні лінії зв'язку).

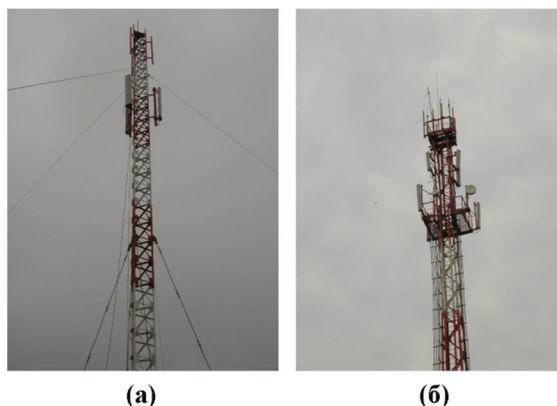


Рис. 5 Обладнання мобільного оператора, встановлене на щоглі (а) та вежі (б)

На БС, розташованих далеко від великих населених пунктів, зазвичай використовують РРЛ для створення транспортних каналів до контролера БС. Однак в деяких випадках використовуються ВОЛЗ (волоконно-оптичні лінії зв'язку), електричні провідні лінії зв'язку або супутниковий зв'язок. Невід'ємним елементом обладнання БС є система енергопостачання. Воно також здійснює перемикання на акумуляторні батареї в разі зникнення зовнішнього живлення і забезпечує їх підзарядку – після відновлення.

Для розміщення БС в містах рідко встановлюють окремі вежі, тому що це і дорого, і не ефективно. Тому зазвичай антени встановлюють на житлових і промислових будівлях і спорудах, а також димових трубах та інших існуючих конструкціях баштового типу. Головна вимога, щоб місце розміщення відповідало всім санітарним нормам установки таких об'єктів. Контейнер при цьому зазвичай встановлюється на горищі або окремим приміщенням у будинку, а антени і фідери часто маскуються під вигляд будівлі, щоб не псувати його зовнішній вигляд.

Крім контейнерного способу розміщення обладнання, багато виробників пропонують встановлювати спеціальні outdoor БС. Для їх розміщення не потрібно окремого приміщення, а все обладнання вміщується в спеціальних термобоксах і може кріпитися в будь-якому зручному місці: стіни, даху, горищі і т.п. Це значно економить операційні витрати компанії. Однак головний мінус таких БС полягає в невисокій ємності і складності розширення ємності. Тому вони не знаходять настільки ж широко застосування як і БС з контейнером.

Також останнім часом багато виробників запропонували, так звані, безфідерні рішення. При цьому приймально-передавальне обладнання розділяється на дві частини: одна встановлюється в контейнері БС і служить основним блоком управління та обробки сигналізації. Інша частина встановлюється в безпосередній близькості від антен і перетворює сигнал, прийнятий від блоку управління в високочастотний радіосигнал, який передається до антен по фідерах. Така схема підключення радіомодулів до антен отримала назву «feederless» (рис. 6). Обидві частини між собою з'єднуються зазвичай за допомогою оптичного патчкорду або рідше витой пари. При цьому, економія на довжині фідера може досягати десятки разів, що відповідно значно зменшує загасання і спрощує прокладку. Особливо широке поширення така схема отримала для реалізації БС 3G.

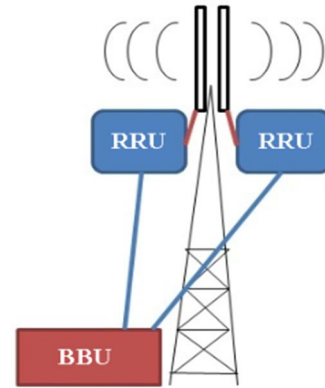


Рис. 6 Схема підключення «feederless»

3.1. Фізична реалізація розподіленої базової станції. Раніше базові станції були дуже громіздкими. Вони могли займати цілу кімнату і бути кілька кубометрів в обсязі. Кожен приймач складався з окремих блоків вагою кілька кілограмів. Але з розвитком мікроелектроніки, появою нової елементної бази та високопродуктивних процесорів розміри і вага БС стали стрімко зменшуватися. Тепер БС може займати всього лише кілька юнітів 19-дюймової стійки і важити менше 10 кг.

Широкого розповсюдження набули розподілені БС. Ці станції не використовують звичайні фідерні траси, що йдуть від апаратної до приймально-передавальних антен, тому це значно знизило вимоги до оснащення і розмірів апаратних.

Основний принцип, який закладений в розподіленні БС, полягає в поділі на окремі фізичні елементи функцій. З одного боку – обробка сигналу, управлінням радіоефіру, забезпечення роботи технологій, шифрування, кодування, а з іншого боку – формування високочастотного радіосигналу, готового для передачі в ефір.

За рахунок цього вирішується відразу кілька проблем, властивих попередньому поколінню БС, в яких всі функції були зосереджені в одному корпусі апаратної. В першу чергу, вирішується питання затухання сигналу в фідері, так як високочастотний сигнал формується на мінімальній відстані до антен. За рахунок великої довжини фідера траси, що досягає іноді 100 метрів, а також має декілька з'єднань, сигнал може затухати в 5-10 разів. З точки зору передачі сигналу це вимагає набагато більшої потужності на виході з обладнання БС. З точки зору прийому сигналу з радіоефіру, це призводить до загасання ослабленого сигналу від мобільної станції і необхідність введення в пристрій АФУ додаткових підсилюючих елементів – МШП.

З цього випливає і ще одна перевага – менша вартість будівництва АФУ, так як немає необхідності в покупці дорогого мідного кабелю, якого може знадобитися на 1 базову станцію до півкілометра. Також значно знижується навантаження на антенно-щоголові спорудження, так як вага радіоблоків, зазвичай, набагато менше, ніж вага мідного високочастотного кабелю.

Ще однією важливою перевагою є зниження вимог до розміру приміщення для облаштування апаратної БС. Всі керуючі модулі виготовляються в форматі, придатному для установки в 19-дюймову телекомунікаційну стійку. Це, в свою чергу, дозволяє

використовувати замість стандартних контейнерів, компактні термошафи, які набагато менші та легші. Крім того, вирішується й інша проблема – з охолодженням обладнання, так як основна теплова енергія виходить саме від блоків, що відповідають за формування високочастотного сигналу.

Проте і для даних архітектур БС існує багато недоліків, які можна розділити на три категорії:

- проблеми з монтажем і експлуатацією БС.
- економічні проблеми, пов'язані з БС.
- технологічні проблеми БС.

3.2. Проблеми з монтажем обладнання для нових стандартів. Першою проблемою, яку має вирішити оператор мобільного зв'язку при монтажі БС – це місце розміщення нових антен. На вежах та щоглах мобільного оператора вже розміщені антени 2G, зазвичай, в два ряди – на верхньому антени стандарту GSM-900, на нижньому – стандарту GSM-1800 (рис. 7). При монтуванні антен стандарту 3G UMTS, на баштах чи щоглах виникає необхідність встановлювати їх під існуючими антенами.

В зв'язку з цим, оператор стикається з цілим рядом проблем збільшення навантаження на опору. В деяких випадках це призводить до вимушеного пониження висоти антени, а в деяких – до неможливості встановити антену на існуючу опору через обмежену несучу здатність конструкції. В останньому випадку необхідно або споруджувати нову опору або укріплювати існуючу, що несе за собою чималі грошові витрати.

Другою проблемою є необхідність протягувати товсті нитки фідерів від радіомодуля до антен та споруджувати фідерні траси при підключенні «feederline»; монтувати радіомодулі на опорі при підключенні «feederless». Все це також значно збільшує навантаження на опорі, що призводить до вищезгаданих негативних наслідків.

Третьою проблемою є великі габарити і вага обладнання BBU. У зв'язку з цим оператори зазвичай споруджують окрему апаратну чи орендують кімнату в приміщенні для розміщення свого обладнання. Через це часто виникають складнощі при виникненні необхідності в розширенні обладнання.

3.3. Фінансові проблеми. При монтажі нових антен на орендованих спорудах часто необхідно сплачувати орендну плату за антеннімісця.

Як було згадано вище, якщо встановити антени на існуючих опорах неможливо, то необхідно або укріплювати опори або монтувати нові, що вимагає грошових затрат. Якщо антену неможливо встановити на опорі, що знаходиться на даху, то для спорудження додаткової опори необхідно також орендувати додаткові площі на даху. Це в свою чергу призводить до збільшення орендної плати.

В обох вищезгаданих випадках, окрім збільшення витрат, необхідно також заключення нових договорів. Цей процес є часозатратним для оператора і гальмує розвиток мережі.

3.4. Технологічні проблеми. Як було описано вище, якщо на існуючих конструкціях встановлені антени попередніх стандартів, то зазвичай необхідно довшувати антену нижче за існуючі антени. Зазвичай, висота антени складає 2 метри. При цьому між антенами має



Рис. 7 Труба з антенами стандартів GSM-900 і GSM-1800

бути хоча б 1 метр відстані для забезпечення електромагнітної ізоляції між антенами та для спрощення експлуатації антен. Звідси випливає, що фазовий центр антени стандарту UMTS буде щонайменш на 6 м нижче за існуючу найвищу антену. При цьому, при встановленні в майбутньому на цю ж опору антени стандарту LTE її висота підвісу буде нижче вже щонайменше на 9 м.

Часто бувають випадки, що антени потрібно встановлювати нижче ніж на 6м. Це може виникнути у одному чи у кількох з нижченаведених випадків:

- через велике навантаження на опору;
- через зменшення впливу відтяжок від щогли;
- через присутність на опорі антен інших операторів.

Пониження висоти підвісу антени значно зменшує потенційну площу покриття і тому є дуже небажаним для оператора, особливо в умовах міської забудови.

Також ще однією технологічною проблемою як нових, так і існуючих стандартів є затухання сигналу в фідерах. Це затухання значно зменшує потужність електромагнітного сигналу, який випромінює антена та сигналу, який антена приймає. Зменшення потужності сигналу також призводить до зменшення площі покриття та до погіршення сервісу в існуючій зоні обслуговування.

4. Висновки

Таким чином, проаналізувавши архітектуру БС та розглянувши їх основні функції, можна сказати, що головною функцією БС не залежно від стандарту є забезпечення покриття мережі мобільного оператора. Кількість БС залежить від кількості абонентів, які користуються послугами оператора зв'язку на заданій території. Тому для забезпечення постійного зв'язку при пересуванні абонента по області, БС з'єднуються між собою в єдину мережу за допомогою радіорелейних ліній. Було розглянуто стандарти базових станцій BTS, NodeB та eNodeB. Виділені головні відмінності в функціях БС різних стандартів. Головна відмінність, в тому, що BTS є базовою станцією 2-го покоління безпроводових технологій, таких як GSM і CDMA, але Node B є його аналогом 3-го покоління в основному UMTS і WiMAX. БС eNodeB (eNB) є аналогом NodeB для мережі UMTS і BTS для мережі GSM. Також було проведено виділення основних недоліків БС стільникових мереж різних поколінь з метою їх подальшого усунення. Зокрема, були виділені проблеми з монтажем і експлуатацією БС, економічні проблеми, пов'язані з БС, технологічні проблеми БС.

Література

1. Бойко М.П. Системи стільникового зв'язку: конспект лекцій / М.П. Бойко. – Одеса : ОНАЗ, 2004. – 76 с.
2. Мобільний зв'язок в Україні [Електронний ресурс] // – Режим доступу : <http://uateka.com/uk/article/society/1227>
3. Немировский М.С., Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: учеб. пособие / М.С.Немировский, О.А. Шорин, А.И. Бабин, А.Л. Сартаков. – Москва : Эко-Трендз, 2010. – 400 с.
4. Вишневский В.М. Энциклопедия WiMAX: Путь к 4G / В.М. Вишневский, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – Москва : Техносфера, 2009. – 472 с.
5. Ипатов В.П. Системы мобильной связи : учебн. пособ. для студентов высш. учебн. завед. / [В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов] ; под. ред. В.П. Ипатова. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2003. – 272 с.
6. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. – Москва : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
7. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи / И.В. Шахнович : изд. 2-е, испр. и доп.. – Москва : Техносфера, 2006. – 288 с.
8. Легков К. Анализ производительности беспроводных сетей нового поколения / К. Легков // Мобильные телекоммуникации. – 2012. – № 5 (117). – С. 12-15.

9. Бочкова Н.И. Сравнительный анализ решений по передаче голоса в мобильных сетях широкополосного доступа / Н.И. Бочкова, С.М. Ярлыкова // ТComm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – №7. – С. 16-19.
10. Варукина Л. Упражнение по планированию радиосетей LTE [Электронный ресурс] / Л. Варукина // Мобильный Форум, 2011. – Режим доступа: <http://www.mforum.ru/news/article/097078.htm>
11. LTE Radio Link Budgeting and RF Planning: LTE Encyclopedia [Электронный ресурс] // – Режим доступа : <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-radio-link-budgeting-and-rf-planning>
12. DBS3900 Distributed Base Stations [Электронный ресурс] // – Режим доступа : <http://e.huawei.com/en/products/wireless/elte-access/network-element/dbs3900>
13. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – Москва : Горячая линия - Телеком - 2007.
14. Думанський В.Ю. Гігієнічна оцінка електромагнітної ситуації та наукове обґрунтування вимог до її безпеки в сучасних населених місцях України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. мед. наук : спец. 14.02.01. – Київ: 2009. – 42 с.
15. Ильченко М.Е. Экологическая безопасность и микроволновые телекоммуникационные технологии / М.Е. Ильченко, В. . Калинин, Т.Н. Нарытник // Инженерная экология–2009 : материалы международного симпозиума. – Москва, 2009. – С. 115-118.
16. Карпов А.В. Методика визначення загального рівня опромінення персоналу в сучасному інформаційному просторі / А.В. Карпов, Г.Ф. Конахович, Г.С. Конахович, Р.С. Одарченко // Наукоємні технології. – 2010. – Вип. 2. – С. 116-121.
17. Воскресенский Д.И. Антенные системы базовой станции системы сотовой связи стандарта GSM и 3G (обзор работ) / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова, Тай За У // Радиотехника». – 2008 г. – №6.

Автори статті

Одарченко Роман Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем, Національний авіаційний університет, Київ. Тел.: +380 (50) 746 28 21. E-mail: odarchenko.r.s@mail.ru.

Полігенько Олег Олегович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем, Національний авіаційний університет, Київ. Тел.: +380 (50) 334 31 05. E-mail: o.polihenko@ukr.net.

Дика Надія Василівна – студент, інженер кафедри телекомунікаційних систем, Національний авіаційний університет, Київ. Тел.: +380 (44) 406 71 25.

Поліщук Володимир Володимирович – інженер ТОВ «МТС Україна», Київ. Тел. +380 (50) 369 29 83.

Authors of the article

Odarchenko Roman Serhiyovych – candidate of sciences (technical), associate professor of Telecommunication systems department. National Aviation University, Kyiv. Tel.: +380 (50) 746 28 21. E-mail: odarchenko.r.s@mail.ru.

Polihenko Oleh Olehovych – postgraduate student of Telecommunication systems department, National Aviation University, Kyiv. Tel.: +380 (50) 334 31 05. E-mail: o.polihenko@ukr.net.

Dyka Nadiya Vasylivna – student, engineer in Telecommunication systems department. National Aviation University, Kyiv. Tel.: +380 (44) 406 71 25.

Polishchuk Volodymyr Volodymyrovych – engineer in LTD “MTS Ukraine”, Kyiv. Tel.; +380 (50) 369 29 83.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор Л.О. Уривський
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського».

Дата надходження
в редакцію: 12.07.2016 р.