

УДК 621.395

П.Я. Ксьонзенко, Т.М. Наритник, П.В. Химич

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МІСЬКИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ МІТРС

This paper presents possibilities of constructing the city data transmission networks on the microwave integrated multimedia systems of a multiservice radio access (MITRIS technology) basis using the cable standard DOCSIS modems. We describe and propose parameters of the system and its constituents: base station, repeaters, secondary concentrators, and the user's station. Also, we consider the competitiveness and specifics of implementing the data transmission city networks based on the MITRIS technology in the range of frequencies 10,15–10,30 and 10,50–10,65 GHz. We show that the approaches proposed to construction of such networks permit minimizing the influence on ecosystems, reducing the consumption of materials and energy.

Вступ

Сучасний етап розвитку комунікацій характеризується поширенням усіх типів безпроводових мереж передавання даних, таких як: персональні (PAN), локальні (LAN), глобальні (WAN) та міські (регіональні) (MAN) [1]. Останні зазвичай пов'язують із системами WiMAX та LTE, які належать до третього та четвертого поколінь мобільних систем та мають надавати користувачам послуги широкосмугового мобільного зв'язку [2]. Очікування щодо їх споживчих можливостей іноді бувають надто завищеними. Вказані системи мобільного зв'язку об'єднує здатність працювати в складних умовах розповсюдження радіохвиль у каналі передавання, тобто за умов, що відповідають так званому режиму відсутності прямої видимості (NLOS). Розроблення типів модуляції й завадозахисного кодування для цих систем спрямоване на подолання труднощів, пов'язаних із режимом багатопроменевого розповсюдження. Але, зрештою, успішне подолання "багатопроменевості" неминуче пов'язане з енергетичними втратами. Якщо в режимі, наближеному до прямої видимості, залежність рівня сигналу від відстані до передавальної станції пропорційна квадрату цієї відстані, то в умовах NLOS вона пропорційна третьому або навіть четвертому ступеню від відстані.

На спосіб розповсюдження радіохвиль у режимі NLOS великий вплив має співвідношення довжини хвилі радіосигналу та геометричних розмірів завод і відбивачів. Тому радіозв'язок у режимі NLOS ефективніший на частотах метрового та дециметрового діапазонів. У сантиметровому діапазоні зони тіні більш чітко окреслені, а відбиті сигнали розсіюються на заводах і загасають у просторі значно швидше.

Тому в цьому діапазоні (особливо в його верхній частині) заходи з підвищення надійності радіозв'язку, які використовуються в безпроводових мережах мобільного зв'язку, є малоефективними. Тут традиційні методи модуляції з використанням однієї несучої ні в чому не поступаються OFDM, а метод MIMO неефективний через нестійкість характеристик додаткових трас передавання сигналів. При просуванні вгору по частотному спектру втрати на трасі зростають, що збільшує труднощі, пов'язані з без того напруженим енергетичним режимом радіолінії. Для зберігання розмірів зони обслуговування під час зростання частоти величина еквівалентної ізотропно-випромінюваної потужності передавальної станції теж має зростати. Щоправда, вплив цього феномена частково пом'якшується завдяки тому, що антени, які мають ті ж самі геометричні розміри, на вищих частотах мають більші коефіцієнти підсилення. Але це твердження повною мірою відповідає дійсності тільки для систем фіксованого зв'язку, в яких для абонентських станцій (АС) є характерним використання спрямованих антен. Цим можна пояснити причину того, що всі мобільні системи безпроводових локальних мереж, які вже побудовані або проектуються, займають діапазон дециметрових хвиль. Тут вже стає помітною нестача вільних смуг частот. Та й самі ці смуги, в т.ч. і з міркувань енергетики лінії, не можуть бути вибрані доволі широкими.

Одним із перспективних шляхів подолання цих труднощів є побудова мереж фіксованого зв'язку, призначених для надавання послуг передавання даних великій кількості абонентів у сантиметровому та міліметровому діапазонах. Це означає, що спочатку це будуть лінії первинного розподілу, які з'єднуюватимуть між со-

бою локальні мережі. Тим не менше, такі системи повною мірою можуть замінити будь-які інші локальні мережі міського типу за умов реалізації ефективного протоколу управління мережею (MAC). Досвід вказує на те, що придатний MAC-протокол мають модеми кабельного стандарту DOCSIS. До їх складу також входять маршрутизатори, призначені для з'єднання із зовнішніми IP-мережами. Дійсно, всі найсучасніші MAC-протоколи, включно з MAC систем WiMAX та LTE [3], походять від MAC DOCSIS. Усі ускладнення цих протоколів так чи інакше призначені для боротьби з “багатопроривністю” або спрямовані на її використання з метою збільшення пропускної спроможності (метод MIMO). Загалом MAC-протокол DOCSIS дає змогу реалізувати всі режими розподілу абонентів (у прямому каналі – TDM/FDM, а в зворотному каналі – TDMA/FDMA), які в поєднанні з методами просторового розподілу, що реалізуються тільки в пристроях фіксованого зв'язку, створюють дуже розгалужену мережу з величезною пропускною спроможністю, яка набагато перевищує можливості найсучасніших систем мобільного зв'язку.

Постановка задачі

Мета статті – розглянути особливості побудови міських мереж передавання даних на базі мікрохвильової інтегрованої телерадіоінформаційної системи мультисервісного радіодоступу (технології MIPIC) [4], багаторічна експлуатація якої в містах України та закордоном довела її високу якість та надійність при забезпеченні екологічної безпеки та ресурсозбереження. В системі використовуються модеми кабельного стандарту DOCSIS, які мають один із найефективніших протоколів управління мережею.

Загальні підходи до побудови системи

Як відомо [5], сантиметровий (надвисоко-частотний) діапазон, в якому працює система MIPIC та її модифікації типу UMDS, має великий вплив на їх роботу. Головна його перевага полягає в тому, що в ньому можуть використовуватись ширші смуги частот, що сприяє досягненню більшої пропускної спроможності. При переході від мобільного зв'язку до фіксованого усуваються пов'язані з режимом NLOS обмеження у використанні надвисоких частот. Однак є фактор, який дуже впливає на вибір

частотного діапазону – це додаткові втрати сигналу під час дощу та в атмосферних газах. На частотах, вищих за 10 ГГц, втрати під час дощу та в атмосферних газах швидко зростають зі збільшенням частоти. Цей фактор обмежує вибір частотного діапазону зверху, особливо якщо система призначена для використання у регіоні, який характеризується випаданням інтенсивних опадів. Якщо брати до уваги звичайну зону обслуговування MAN, яка має радіус 10–25 км, то задовільним можна вважати вибір частотного діапазону близько 10 ГГц.

У Плані використання радіочастотного ресурсу України, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України № 815 від 9 червня 2006 р. (з наступними змінами і доповненнями): офіційний вісник України, 2006 р., № 24, ст. 1771; 2007р., № 46, ст. 1887; 2008 р., № 63, ст. 2131; 2008 р., № 64, ст. 2815; 2009 р., № 48, ст. 1618, у розділі I “Діючі радіотехнології” для радіотехнології багатоканального наземного телерадіомовлення за технологією MIPIC закріплено діапазон частот 11,7–12,5 ГГц, а для радіотехнології мультисервісного радіодоступу діапазони частот 10,15–10,30 і 10,50–10,65 ГГц [6].

З метою оптимального використання частотного спектра для передавання низхідних даних слід використовувати модуляцію 64QAM. Для цієї модуляції за будь-яких умов експлуатації має бути забезпечений радіус зони обслуговування у 10 км. При цьому потрібно використовувати стандартну АС, яка має інтегровану панельну антену, що в умовах міста забезпечує кращі експлуатаційні й естетичні характеристики, ніж дзеркальна антена. Для того щоб забезпечити радіус зони обслуговування 25 км, можна запропонувати використання АС із параболічною антеною діаметром 60 см, у якої значно більший коефіцієнт підсилення. У висхідному напрямку потрібно використовувати типи модуляції QPSK та 16QAM. Для досягнення відстані 10 і 25 км пропонується використовувати QPSK, оскільки у режимі 16QAM відстань зв'язку зменшується вдвічі.

Головний принцип частотного планування полягає в тому, що під час приймання абонентом даних, які надходять від його базової станції (БС), приймач терміналу абонента не має зазнавати впливу з боку іншої БС, що працює в цьому самому каналі. Це слушно і для висхідного напрямку.

Для запобігання виникненню інтерференції необхідно передбачити всі можливості ефективного використання частотного спектра. Вся

система може використовувати смуги частот як для прямих, так і для зворотних каналів, які дорівнюють 84 МГц. У низхідному напрямку смуга 84 МГц може бути розділена на 14 стандартних смуг каналів DOCSIS завширшки 6 МГц. У кожному з цих радіоканалів може використовуватись як горизонтальна, так і вертикальна поляризація, що дає змогу отримати 28 різних каналів. Модуляція 64QAM дає можливість реалізувати загальну швидкість даних 30 Мбіт/с. Проте навіть при досягненні граничної швидкості передавання даних, враховуючи кодове відношення, їх корисна швидкість не перевищить 20 Мбіт/с на канал.

У висхідному напрямку загальна смуга 84 МГц поділена на 26 каналів завширшки по 3,2 МГц кожний. При використанні як вертикальної, так і горизонтальної поляризації, а також при повторному використанні частот, їх загальна кількість сягає 52-х каналів. Цими каналами передбачається передавання даних із модуляцією QPSK, яка забезпечить загальну швидкість принаймні 5 Мбіт/с при корисній швидкості близько 4 Мбіт/с. Як опцію можна використати модуляцію 16QAM, яка може вдвічі збільшити бітову швидкість.

Схему побудови антен БС, яка демонструє можливість повторного використання частот у протилежних квадрантах системи при використанні чотирьох секторів, наведено на рис. 1. Таким чином вдається запобігти виникненню інтерференції сигналів на межах між сусідніми секторами. Співвідношення фронтальної та задньої пелюсток антени має бути таким, щоб усі АС могли приймати сигнали,

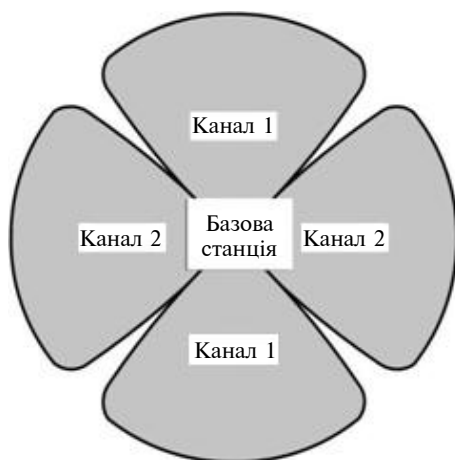


Рис. 1. Розподіл радіоканалів у системі з використанням чотирьох секторів

що надходять до них по прямому напрямку від БС, але щоб була виключена можливість приймання від іншої станції, віддаленої від бажаної на відстань 5 км. Це означає, що в різних секторах частоти можуть бути використані вдруге, а їх розподіл буде забезпечений на відстані щонайменше 10 км.

Ключовою перевагою такого вибору є те, що в системі використовується стандарт, який забезпечує інтерфейс із будь-якими мережами відкритих стандартів і модемами, доступними на світовому ринку. Такі пристрої постачаються багатьма виробниками, в т.ч. такими відомими фірмами, як Motorola, Ambit, Cisco, Texas Instruments і Samsung. При цьому перелік послуг включає всі послуги розвинутої специфікації DOCSIS, зокрема VoIP та передавання швидкісних даних.

Обладнання MAN, що проектується, має забезпечувати просту та безпосередню інсталяцію. У більшості випадків оператору необхідно мати можливість розгорнути та вводити систему в експлуатацію самостійно.

Визначальною якістю системи має бути висока пропускна спроможність мережі, побудованої на її основі. Якщо припустити, що буде використовуватись смуга 84 МГц, що підлягає ліцензуванню, то БС зможе реалізувати пропускну спроможність 840 Мбіт/с в низхідному напрямку та принаймні 260 Мбіт/с у висхідному. Забезпечуючи доступ до дуже великого числа користувачів, БС може підтримувати швидкість тільки корисних даних 560 Мбіт/с в низхідному напрямку та 208 Мбіт/с у висхідному. При цьому пропускна спроможність у висхідному напрямку розрахована за умов використання в зворотному каналі модуляції QPSK. При використанні модуляції 16QAM пропускна спроможність у зворотному каналі подвоюється, але водночас удвічі зменшується радіус зони обслуговування.

Антенам АС необхідно мати високий ступінь спрямованості. Разом з ефективною фільтрацією їх сигналів на БС висока спрямованість антен дає змогу вдруге використовувати одні й ті ж частоти в кожному парному або непарному секторі. Цьому також може сприяти розподіл за поляризацією. Вказані засоби дають можливість при обслуговуванні користувачів у міських умовах декількома БС із зонами обслуговування, які частково перекриваються, досягнути загальної корисної швидкості передавання даних 2 Гбіт/с, яку не спроможна надати жодна з існуючих безпроводових MAN.

Опис базової станції

БС з'єднується з центральною станцією MAN, через яку має вихід до зовнішніх мереж передавання даних, а також забезпечує зв'язок із ретрансляторами, концентраторами та множиною АС за умов збереження режиму прямої видимості. Відстань зв'язку зі стандартним абонентським терміналом має дорівнювати 10 км, а з терміналом, що розроблений для забезпечення збільшеної відстані, до 25 км.

Структурну схему БС показано на рис. 2, а схему з'єднань між окремими її блоками – на рис. 3. До складу БС може входити таке обладнання:

- система управління мережею та маршрутизатор;
- лінійні карти;
- здвоєний підвищувальний конвертор;
- прийомопередавач з інтегрованою антеною;
- джерело живлення –48 В.

Маршрутизатор, підвищувальні перетворювачі та джерело живлення виконані у корпусах 19", а прийомопередавач з інтегрованою антеною – у герметичному корпусі, призначеному для зовнішнього встановлення. Між собою блоки з'єднуються за допомогою недорогих коаксіальних кабелів. При використанні у складі БС чотирьох прийомопередавачів досягається загальна пропускна спроможність до 120 Мбіт/с у низхідному напрямку та до 80 Мбіт/с у висхідному.

Параметри, що характеризують систему в цілому наведено в табл. 1, а БС – в табл. 2.

Систему створено відповідно до таких стандартів: за електромагнітною сумісністю та для радіобладнання (EN 301 489-1, EN 301 489-4 та EN 301 021); екологічних (ETS 300 019-1-4, ETS 300 019-2-4, клас 4.1); для антени (БС, ретранслятор) (EN 302 085 CS, клас та вторинний Hub); антени АС (EN 302 085 TS4, діапазон 3).

Масштабування системи реалізується за рахунок простого додавання модулів і блоків. Дві додаткові лінійні карти можуть бути впроваджені в системі для роботи з маршрутизатором, а чотири додаткових пере-

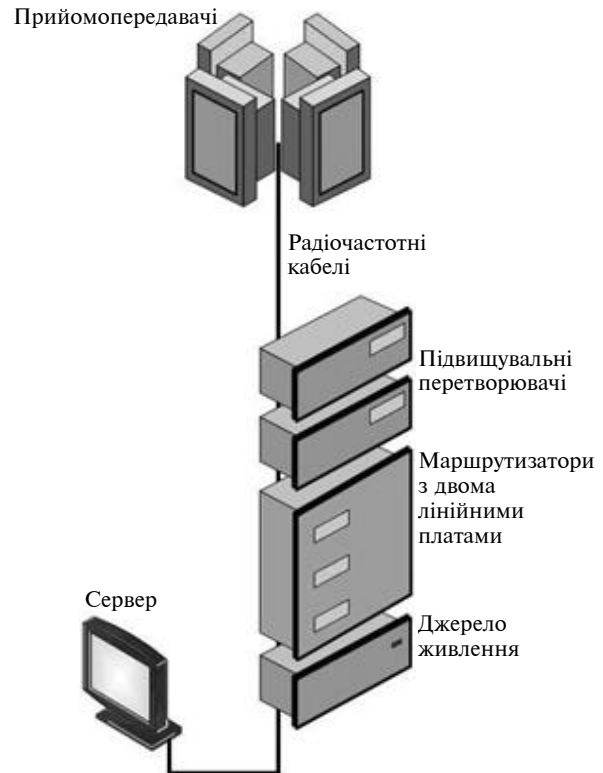


Рис. 2. Структурна схема БС

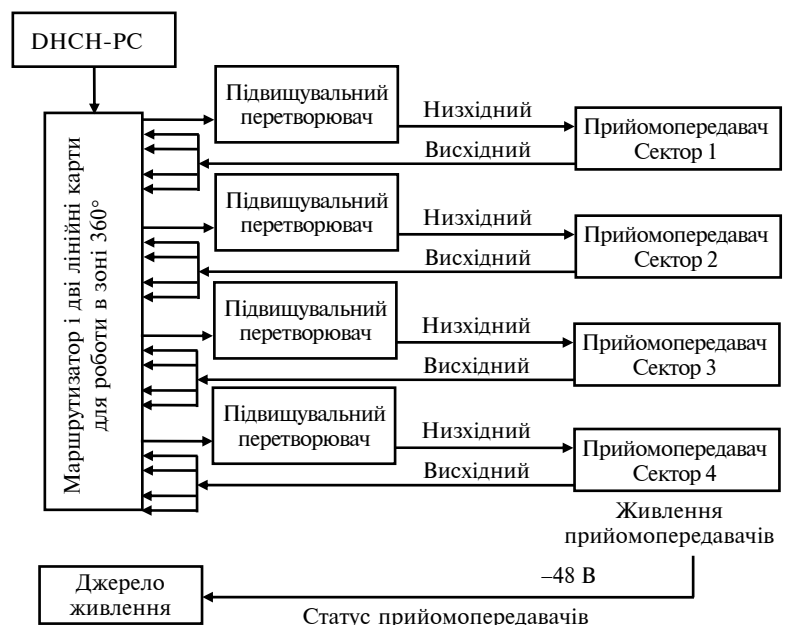


Рис. 3. Схема з'єднань складових частин БС

давача – додані для подвоєння потужності. Для додаткового підвищення пропускної спроможності необхідно повторити весь комплект обладнання, що збільшить ємність системи в

понад два рази. Під час обслуговування малих населених пунктів доцільнішим може виявитись використання маршрутизатора з конструкцією "pizza-box", який поєднує в одному корпусі лінійні карти та маршрутизатор. Він забезпечує формування двох низхідних та восьми висхідних каналів (DOCSIS 1.1). Найбільш універсальним є маршрутизатор типу uBR7246VXR. Він включає Cable Management and Termination System та Dynamic Host Control Protocol Server, який по ефіру керує обладнанням користувача, включно з IP-адресацією та розподілом каналів. Маршрутизатор забезпечує зовнішній інтерфейс системи, приймаючи та передаючи дані, отримані по оптоволоконній мережі, через НВЧ радіолінію "точка-точка" або через термінал VSAT. Підтримуються всі загальноприйняті стандарти WAN/LAN, включаючи ATM та швидкий Ethernet.

У будь-якому з низхідних каналів використовується смуга 6 МГц та модуляція 64QAM, даючи можливість реалізувати загальну швидкість

даних 30 Мбіт/с. Усі канали, що передаються, формуються шляхом модуляції 44 несучих, частоти яких потім перетворюються вгору у діапазон 400–500 МГц та надходять на прийомопередавач, призначений для передавання в діапазоні 10,15–10,3 ГГц (нижня половина загальної смуги частот). Підвищувальні перетворювачі – це здвоєні блоки C6U від Motorola, які розміщені в одному корпусі 19", або подібні до них. У висхідному напрямку вихідний сигнал прийомопередавача безпосередньо подається на маршрутизатор без додаткового перетворення частоти. Смуга радіоканалу може бути вибрана з таких смуг частот: 0,8; 1,6 або 3,2 МГц. При модуляції QPSK у смузі 3,2 МГц досягається загальна швидкість даних 5 Мбіт/с, а при модуляції 16QAM – 10 Мбіт/с. Сигнали, що пройшли маршрутизатор та підвищувальні перетворювачі, спрямовуються на прийомопередавачі, а сигнали, отримані від прийомопередавачів, на маршрутизатор по окремих радіочастотних кабелях. Напруга живлення на всі прийомопередавачі подається ще по одному кабелю.

Таблиця 1. Параметри системи в цілому

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення параметра	Зауваження
Діапазон радіочастот, ГГц: низхідних каналів: смуга 1 смуга 2 смуга 3 висхідних каналів: смуга 1 смуга 2 смуга 3	 10,168–10,196 10,196–10,224 10,224–10,252 10,518–10,546 10,546–10,574 10,574–10,602	
Смуга одного радіоканалу, МГц: головна система розширена система розподіл на сектори	 28 84 чотири сектори по 90° для БС	
Кількість каналів, МГц: низхідних висхідних	 14×6 26×3,2; 52×1,6; 104×0,8 тільки для DOCSIS 2,0–13×6,4	
Пропускна спроможність на один канал, Мбіт/с: низхідний висхідний (2.0) висхідний (1.1)	 30 загальна–20 корисна 10 загальна–8 корисна 5 загальна–4 корисна	
Швидкість даних користувача, Мбіт/с: DOCSIS 2.0 DOCSIS 1.1	 0,128–10 (9,2 корисна) до 5 загальна–4 корисна	
Максимальна кількість АС на сектор при швидкості 1 Мбіт/с на АС при коефіцієнті використання каналу 20:1 (16 QAM у висхідному потоці)	 2400	

Закінчення табл. 1

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення параметра	Зауваження
Максимальна пропускна спроможність БС (у смузі 84 МГц), Мбіт/с: у низхідному напрямку у висхідному напрямку: QPSK 16 QAM	840 загальна—480 корисна 260 загальна—208 корисна 520 загальна—416 корисна	
Радіус зони обслуговування, км: стандартна АС АС для системи з розширеним радіусом дії стандартна АС АС для системи з розширеним радіусом дії	10 25 5 10	Модуляція QPSK у висхідному каналі (DOCSIS 1.1) Модуляція 16QAM (DOCSIS 2.0)
Типи модуляції: низхідний потік висхідний потік	64QAM QPSK і 16QAM	
Коефіцієнт готовності радіолінії, %	99,99	
Втрати пакетів, %	менше 0,1	
Протоколи множинного доступу	DOCSIS 1.0; 1.1; 2.0	
Типи інтерфейсів, які підтримує БС	Ethernet 10Base-TX та 10Base-FX; Fast Ethernet з опціями прийомопередавачів Serial; багатоточковий T1, E1, T3, ES, HSSI; багатоканальний T1, E1, T3, E3, Packet Over SONET (POS), Dynamic Packet Transport (DPT), ATM	
Типи інтерфейсів, які підтримує АС	Ethernet 10BaseT та USB, E1 та T1	E1 і T1 – з додатковим обладнанням для мультиплексування

Прийомопередавач – це блок, який забезпечує двосторонній радіоз'язок БС із багатьма АС. До складу блока входять передавач та приймач зі своїми антенами. Всі блоки інтегровані в цілісну конструкцію. Крім даних, передавач також подає сигнал радіомаяку, за допомогою якого у радіоканалі передається сигнал опорної частоти. За його допомогою всі станції користувачів, що оточують цю БС, налаштовуються на одну частоту. При цьому не буде виникати необхідності в підборі абонентських безпроводових блоків або в їх попередньому налаштуванні при введенні системи в експлуатацію.

У разі пред'явлення підвищених вимог до ємності системи в кожному секторі можуть бути встановлені додаткові передавачі, які за параметрами ідентичні передавачам головних прийомопередавачів.

Якщо в станції, що має малу пропускну спроможність, використовується модем, в якому формується тільки один низхідний канал, то його сигнал спочатку ділиться за потужністю на дві частини, й ці дві копії сигналу надходять на підвищувальні перетворювачі подвійного

блока перетворювачів для того, щоб сформувати два низхідних канали. Цими каналами передаються одні й ті ж самі дані, але у двох сусідніх смугах частот, що розташовані всередині діапазону 400–500 МГц. Один із сигналів надходить на передавач прийомопередавача сектора 1, а другий – на передавач прийомопередавача сектора 2, в яких ці сигнали перетворюються в одну з фіксованих частот діапазону 10,15–10,30 ГГц. Половина потужності сигналу, який спрямовувався до сектора 1, відгалужується в сектор 3, а половина потужності сигналу, спрямованого до сектора 2, в сектор 4. Так формується покриття в секторі 360° за азимутом при різних частотах у сусідніх секторах, за допомогою якого запобігають виникненню інтерференції у зоні перекриття сусідніх секторів. У низхідному каналі вихідні сигнали приймачів надходять на окремі входи маршрутизатора.

Побудована таким чином БС має меншу вартість, ніж стандартна БС, оскільки в ній використовується більш простий та дешевий маршрутизатор. На практиці можуть траплятися випадки, коли користувачі не розподіляються

лів. У цьому випадку сигнал не перетворюється включно до головної смуги, й тому, на відміну від процесу обробки в концентраторах, шуми та продукти інтерференції у ретрансляторі не приглушуються. Ретранслятори опрацьовують один низхідний канал та від одного до чотирьох висхідних каналів. При цьому використання ретрансляторів не потребує розміщення додаткових апаратних засобів на БС.

Опис вторинного концентратора

Центральна станція всієї системи за допомогою будь-яких ліній зв'язку (радіорелейних, кабельних або волоконно-оптичних) з'єднується з БС, а ті в свою чергу – по радіоканалах із вторинними концентраторами (Hub), які використовуються для засвічення затінених ділянок та збільшення по одному з напрямків відстані зв'язку до 25 км та більше. В них виконується перетворення сигналів, прийнятих від БС та множини АС, до рівня головної смуги та ремодуляція цифрових сигналів перед їх повторним передаванням. Таким чином, вторинні Hub можуть забезпечити передавання сигналів на більші відстані, ніж ретранслятори, та без жодних втрат.

Передбачається, що вторинний Hub використовує один низхідний канал та чотири висхідних. Однак для жодного обмеження пропускної спроможності, яка досягається за рахунок ускладнення вторинного Hub, причин немає.

Якщо в мережі використовуються вторинні Hub, то це не потребує встановлення додаткових апаратних засобів на БС для передавання сигналів на вторинний Hub у тому випадку, коли він розташовується від БС на відстані не більше за 25 км. Потрібно лише встановити спрямовану антену з великим коефіцієнтом підсилення. Конфігурацію обладнання наведено у вигляді структурної схеми на рис. 5.

Вторинний Hub може приймати сигнали, як від БС, так і від АС. Він перетворює ці сигнали до рівня головної смуги, ремодулює їх та перетворює вверх за частотою в діапазон НВЧ для подальшого передавання. За раху-

нок ремодуляції вплив комунікативних шумів та інтерференції знижується. Для передавання та приймання сигналів від БС має використовуватись параболічна антена діаметром 60 см. Антена підтримує дві поляризації. Сигнали з неї надходять на модифікований радіоблок АС і далі – на стандартний кабельний модем.

Підкреслимо, що запропонована конфігурація є ідентичною до конфігурації АС, призначених для зв'язку на великі відстані, в яких антена з коефіцієнтом підсилення 33 дБ замінює інтегровану антену.

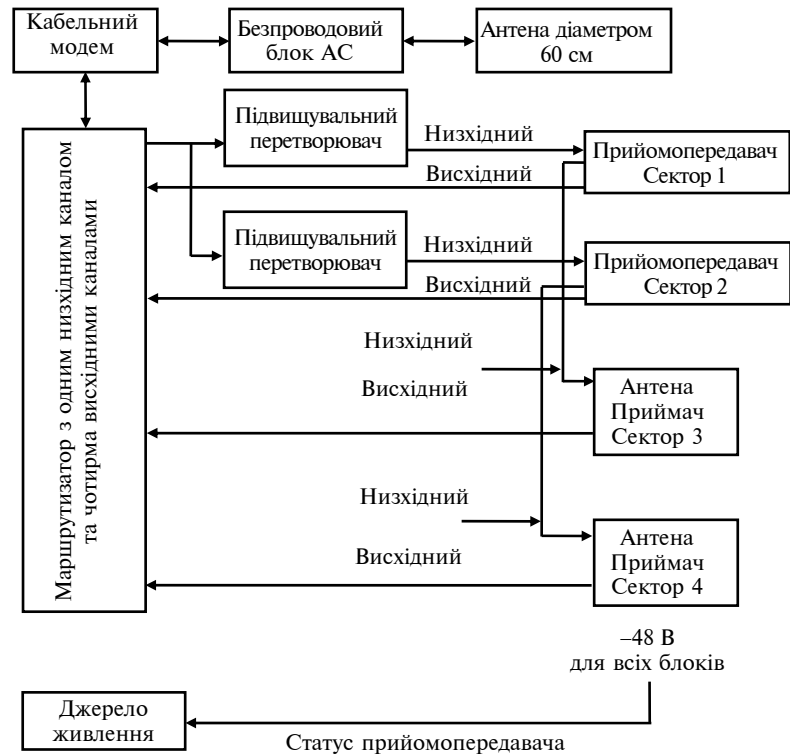


Рис. 5. Конфігурація вторинного концентратора

Опис абонентської станції

Пропонується реалізувати абонентську станцію в двох варіантах. Стандартний блок має компактную антену, яка інтегрована з безпроводовим блоком і забезпечуватиме зв'язок на відстані до 10 км за будь-яких погодних умов. Друге виконання передбачає передавання сигналів на велику відстань, а саме до 25 км. У ньому використовується окрема параболічна антена діаметром 60 см. В принципі, АС підвищеної дальності може працювати й у складі вторинного Hub, збільшуючи дистанцію зв'язку до 25 км, тобто забез-

печуючи загальну відстань до 50 км. Але на практиці невиконання умов прямої видимості обмежує відстань набагато сильніше, ніж зменшення рівня вихідної потужності передавача або погіршення реальної чутливості приймача.

Обладнання стандартної АС включає компактний безпроводовий блок, який живиться від мережевого джерела живлення через інжектор. Він з'єднаний з кабельним модемом одним недорогим коаксіальним кабелем, як показано на рис. 6. Параметри АС наведено в табл. 3.

Орієнтовні розміри безпроводового блока 220×210× 50 (мм). Він має бути спроектований для роботи поза приміщенням.

Блок приймає сигнал радіомаяка, який використовується для формування внутрішніх опорних сигналів частоти. Ці сигнали призначені для стабілізації частот високостабільних генераторів, які використовуються в передавачі та приймачі кожного безпроводового блока.

Для передавання по одному кабелю у напрямку кабельного модема сигнали ІF низхідного та висхідного каналів об'єднуються за допомогою дуплексора. При застосуванні стандартного кабелю типу СТ100 його довжина може дорівнювати 25 м, а кабелі RG6 або RG11 використовуються у тих випадках, коли треба з'єднати безпроводовий блок і кабельний модем за допомогою кабелю більшої довжини. Зовнішнє випромінювання з безпроводового блока дуже мале (у 200 000 разів менше, ніж випромінювання мобільних телефонів), тому блоки не становлять ніякої загрози для користувачів.

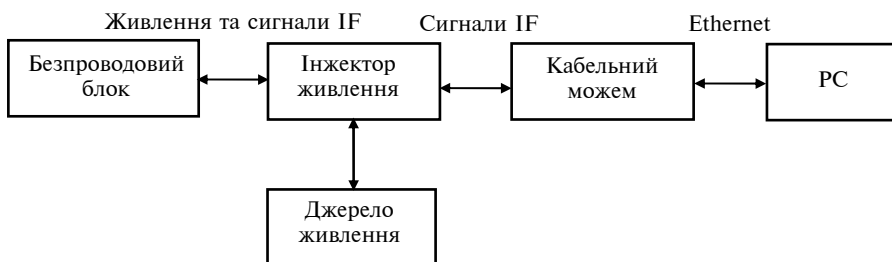


Рис. 6. Структурна схема АС

Таблиця 3. Параметри АС

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення параметра
Вхідні частоти модема, МГц	469–497
Вихідні частоти модема, МГц	14,5–42,5
Відхилення частоти від номінального значення, КГц	< 20
Спектральна щільність потужності фазового шуму при відхиленні від несучої на 10 КГц, дБн/Гц	< -77
Рівень позасмугових завад, дБм	< -40
Рівень детектування сигналу радіомаяка, дБм	від < -100 до > -45
Приймач	
Коефіцієнт шуму, дБ	< 5 (типове значення 3,5)
Точка компресії на 1 дБ по виходу, дБм	-20
Передавач	
Коефіцієнт підсилення, дБ	22 +/- 6
Нерівномірність АЧХ, дБ	< 5 загальна, < 2/3 МГц
Точка компресії на 1 дБ по виходу, дБм	> 17
Інтегрована антена	
Ширина променя, град	3,5
Номінальний коефіцієнт підсилення, дБі	33,4
Поляризація	вертикальна для висхідного каналу та горизонтальна для низхідного, або навпаки
Кліматичні умови	
Інтервал температур, °С	від -20 до + 55
Захищеність від вологи та пилу	IP66 (без дренажного отвору)

Розрахункові енергетичні параметри радіолінії

Розрахункові енергетичні параметри радіолінії наведено у табл. 4. Енергетичний розрахунок радіолінії (розрахунок її бюджету) виконувався на підставі Рекомендацій ІТУ-R Р.530-10, ІТУ-R Р.837-3 та ІТУ-R Р.837-1 із врахуванням додаткових втрат у гідрометеорах (під час дощу).

Також у табл. 4 подано параметри радіолінії у випадку використання стандартної АС та АС, призначеної для роботи на великих відстанях від БС.

Таблиця 4. Параметри радіолінії

Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення параметра	
	Стандартна АС	АС, призначена для роботи на великій відстані
Низхідний канал		
Частота низхідного радіоканалу, ГГц	10,2	10,2
Поляризація		горизонтальна
Коефіцієнт готовності, %		99,99
Інтенсивність опадів, мм/год	30	30
Модуляція		64QAM
Смуга низхідного каналу, МГц		6
Потужність передавача БС при компресії на 1 дБ, дБм	35,0	35,0
Величина, на яку має бути знижена потужність передавача БС при роботі у режимі 64QAM, дБ	9,0	9,0
Номінальна вихідна потужність передавача БС, дБм	26,0	26,0
Коефіцієнт підсилення передавальної антени БС, дБ	19,0	19,0
Еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність передавача БС, дБм	45,0	45,0
Довжина траси, км	10	25
Теоретичні втрати на трасі, дБ	132,6	140,6
Втрати під час дощу та в атмосферних газах, дБ	6,4	11,3
Загальні втрати на трасі, дБ	140,0	152,9
Потужність, що діє на приймальну антену АС, дБм	-95,0	-107,9
Коефіцієнт підсилення приймальної антени АС, дБі	20,0	33,2
Втрати в кабелі, дБ	0,0	0,5
Рівень потужності на фланці приймальної антени АС, дБм	-75,0	-75,2
Інтегральна потужність шумів у смузі радіоканалу на виході антени АС, дБм	-106,1	-106,1
Коефіцієнт шуму приймача АС, дБ	3,5	3,5
Потужність шумів на вході приймача АС, дБм	-102,6	-102,6
Відношення несуча/шум, дБ	27,6	27,4
Висхідний канал		
Поляризація	вертикальна	вертикальна
Коефіцієнт готовності радіолінії, %		99,99
Інтенсивність дощу, мм/год		30
Тип модуляції		QPSK
Смуга радіоканалу, МГц		3,2
Потужність передавача АС при компресії на 1 дБ, дБм	17,0	17,0
Величина, на яку має бути знижена потужність передавача БС при роботі у режимі QPSK, дБ	3,0	3,0
Номінальна вихідна потужність передавача АС, дБм	14,0	14,0
Коефіцієнт підсилення антени АС, дБі	21,0	33,2
Втрати в кабелі, що з'єднує антену з безпроводовим блоком, дБ	0,0	0,5
Еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність передавача АС, дБм	35,0	46,7
Довжина траси, км	10,0	25,0
Теоретичні втрати на трасі, дБ	132,9	140,9
Втрати під час дощу та в атмосферних газах, дБ	6,5	10,7
Загальні втрати на трасі, дБ	139,4	151,6
Рівень потужності, що діє на приймальну антену БС, дБм	-104,4	-104,9
Коефіцієнт підсилення приймальної антени БС, дБі	19,0	19,0
Рівень потужності сигналу на виході приймальної антени БС, дБм	-85,4	-85,9
Інтегральна потужність шумів у смузі радіоканалу на виході антени БС, дБм	-108,8	-108,8
Коефіцієнт шуму приймача, дБ	4,0	4,0
Потужність шумів на вході приймача БС, дБм	-104,8	-104,8
Відношення несуча/шум, дБ	19,4	18,9

Склад системи в цілому та варіанти її комплектації

Система, що проектується, складається з чотирьох головних частин:

- базової станції;
- ретранслятора;
- вторинного концентратора;
- абонентської станції.

Варіанти конфігурації системи під час вирішення нею різних завдань наведено на рис. 7.

У режимі прямої видимості можлива пряма передача від БС до багатьох АС (рис. 7, а). Якщо пряма видимість відсутня або відстань до абонента перевищує 10 км, може використовуватись простий ретранслятор, як показано на рис. 7, б. Якщо відсутня пряма видимість, а відстань від БС до найбільш віддаленого абонента перевищує 25 км, може використовуватись вторинний концентратор (рис. 7, в). Конфігурацію типової системи, що обслуговує діловий центр, наведено на рис. 8.

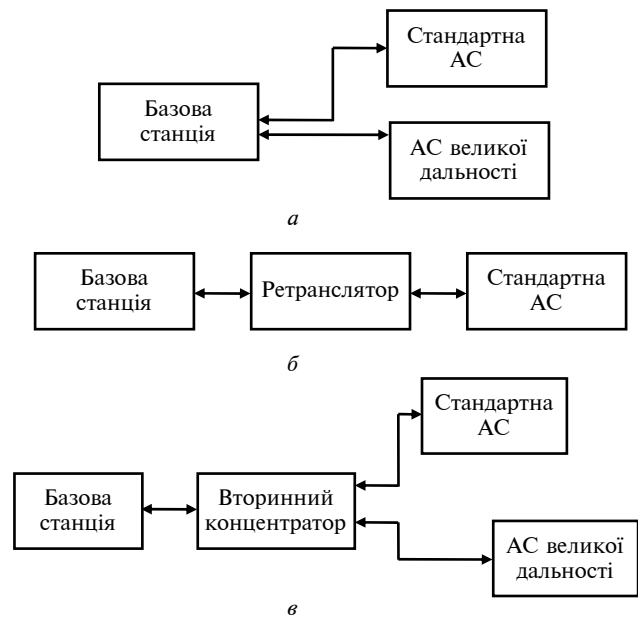


Рис. 7. Варіанти конфігурації обладнання типової системи: а – безпосереднє з’єднання БС зі стандартною АС та АС великої дальності; б – з’єднання БС зі стандартною АС через ретранслятор; в – з’єднання БС зі стандартною АС та АС великої дальності через вторинний концентратор

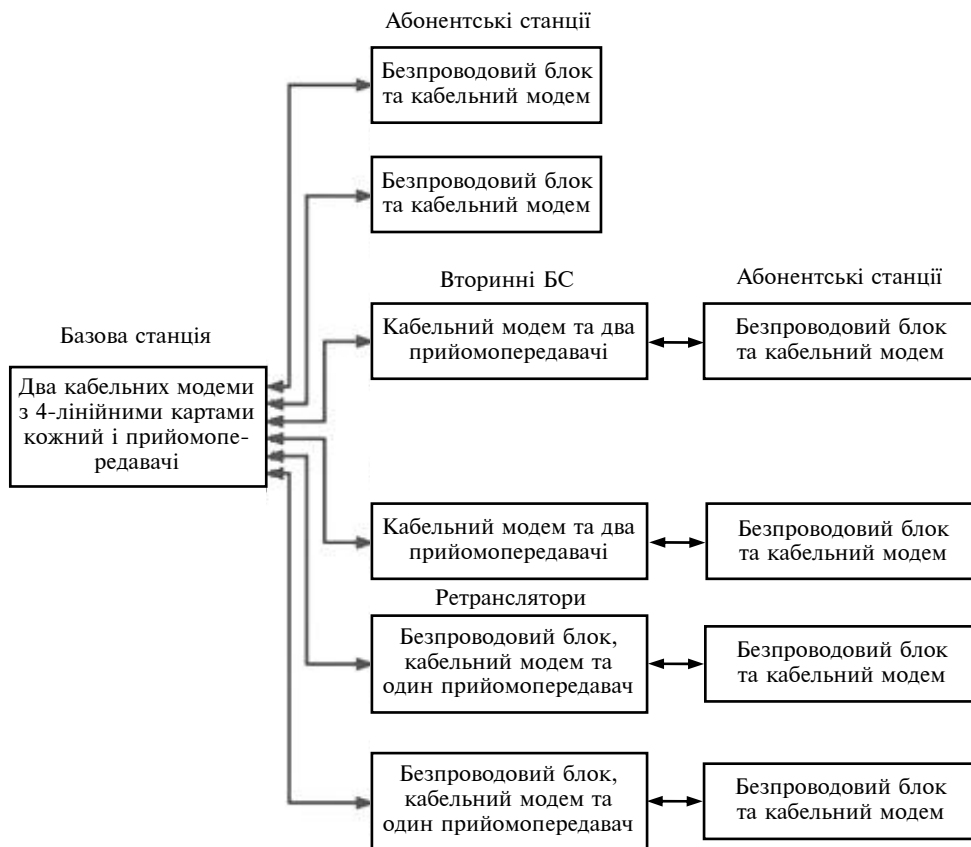


Рис. 8. Конфігурація мережі, що обслуговує діловий центр

Конкурентоспроможність та простота інсталяції системи

Оскільки на практиці реальні зони обслуговування нечасто мають форму правильного кола, то коректно спроектована система має забезпечити покриття зон неправильної форми та більших за розмірами, ніж зона обслуговування однієї БС, а також надавати можливість обслуговування віддаленої групи користувачів. Тому в процесі проектування, крім БС та АС, мають бути передбачені інші засоби, що розширюють можливості системи. Запропонована побудова системи є унікальною з точки зору гнучкості, обумовленої використанням ретрансляторів і вторинних концентраторів, які дають змогу значно розширити межі зони обслуговування та реалізувати функції обладнання, призначеного для доступу на “останній милі” (рис. 9).

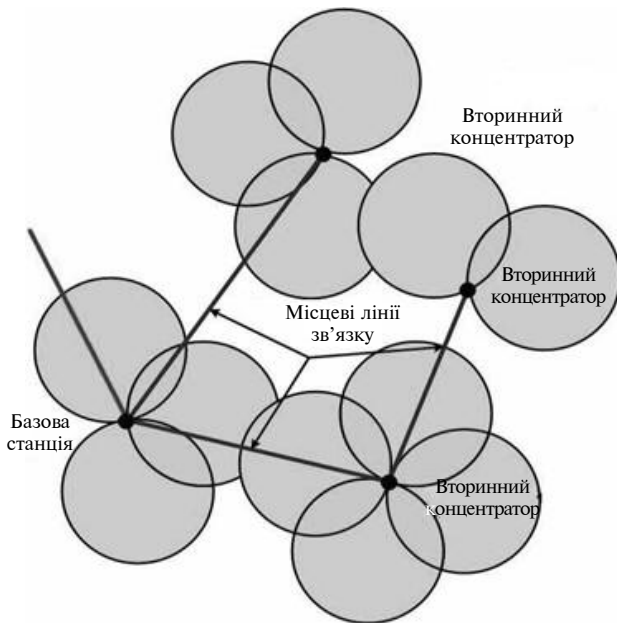


Рис. 9. Схема реалізації взаємодії із вторинними концентраторами й обслуговування на “останній милі”

БС та вторинні концентратори системи забезпечують обслуговування абонентів, що перебувають у межах секторів по 90° кожний. При їх побудові використовується той самий набір антен, передавачів та приймачів для організації прямих і зворотних каналів передавання даних. Така побудова дає можливість уникнути застосування деякої кількості додат-

кових ліній “точка–точка” та дуже спрощує і здешевлює мережу. Найістотнішим фактором, який варто брати до уваги при розгортанні мережі, є вартість абонентського терміналу. Врахувавши той факт, що вартість більшості сучасних кабельних модемів DOCSIS не перевищує 40 у.о., можна стверджувати, що ціна АС буде головним чином визначатися ціною безпроводового блока й антени. Припустимою слід вважати вартість абонентського терміналу, яка не перевищує 300 у.о. для стандартного виконання та 500 у.о. – для АС, спроектованої для роботи на великих відстанях. Виробництво цих безпроводових блоків має бути серійним, тому їх ціна буде значною мірою залежати від кількості. Вартість БС та додаткового обладнання, що використовується в мережі, значною мірою залежить від конфігурації мережі. При промисловому освоєнні ця система буде успішно конкурувати з будь-якими іншими системами, на основі яких можуть бути побудовані MAN.

Однією з головних позитивних якостей системи є легкість інсталяції. Для створення мережі необхідно мати мінімальну кількість апаратних засобів. При монтажі системи не потрібно виконувати жодних налаштувань або попередніх підготовчих дій, як на БС, так і на абонентських терміналах. У процесі експлуатації мережі приєднання до неї нових користувачів не потребує жодних додаткових дій, крім тих, які виконуються у кабельній мережі стандарту DOCSIS. У результаті цього будь-яка БС або вторинний Hub можуть бути змонтовані та запущені в експлуатацію не більше як за два дні. А АС може бути змонтована та введена в експлуатацію всього за кілька годин. Деякі з користувачів можуть отримати можливість встановити АС самостійно.

Планування системи – пряме: в багатьох випадках воно навіть простіше, ніж планування кабельних мереж. У системі LOS шуми інгресії обмежені, а взаємна інтерференція не спостерігається. Це означає, що число користувачів у системі нічим не обмежене. Дія програмних засобів модемів БС поширюється на всю мережу. Антени передавача та приймача проектуються таким чином, щоб забезпечити необхідні рівні сигналів для будь-якої зі станцій користувачів, що розміщуються всередині зони обслуговування та одержують сигнал від якої-небудь БС,

що передає на абиякій частоті та в будь-якій поляризації. Це дає можливість забезпечити для всієї зони обслуговування належний рівень відношення несуча/інтермодуляційна завада (C/I).

Висновки

Для збільшення пропускної спроможності систем, що працюють у режимах LOS та NLOS, часто використовується адаптивна модуляція, яка дає можливість істотно збільшити пропускну спроможність систем з модуляцією OFDM. Але у нашому випадку максимальні розміри зони обслуговування можуть бути досягнуті тільки при відносно малій швидкості даних у зворотному каналі та використанні модуляції QPSK. Більші швидкості даних можуть бути отримані за використання модуляцій високих порядків, зокрема 64QAM, і тільки в зоні з радіусом, який дорівнює 10 % від максимального радіусу зони обслуговування. Наприклад, у системі з максимальним радіусом зони обслуговування 30 км робота на максимальних швидкостях можлива у зоні з радіусом лише 3 км. Тому, зрештою, використання різних типів модуляції не дає значного виграшу в пропускній спроможності мережі в цілому, оскільки для забезпечення рівних умов доступу для віддалених та близько розташованих користувачів треба було б перерозподілити час обслуговування на користь віддалених, які обслуговуються на нижчій швидкості, відібравши його в тих, котрі перебувають близько і можуть обслуговуватись на великій швидкості.

Порівняльний аналіз системи, що проектується, при використанні нею частотних діапазонів 11,7–12,5; 10,15–10,30; 10,50–10,65 ГГц, та аналогічної за призначенням системи LMDS, що використовує більш високочастотний діапазон 27,5–29,5 МГц, засвідчив, що є суттєвими такі відмінності між ними: для LMDS характерна більш широка смуга частот (до 2 ГГц), тому особливої потреби в економії частотного ресурсу за рахунок впровадження спектрально ефективних методів модуляції немає. Збільшення втрат сигналу на трасі зі зростанням частоти призводить до необхідності підвищення еквівалентної ізотропно-випромінюваної потужності передавачів. Це співвідношення вказує на те, що при збільшенні частоти в два рази втрати на трасі зростають на 6 дБ. З метою збільшення

ККД передавачів у системі LMDS надають перевагу використанню методів модуляції з постійною амплітудою (QPSK, 8-PSK), а не більш ефективному з точки зору використання спектра методу модуляції 64QAM, який потребує зниження потужності передавача відносно 1 дБ на 9 дБ. При цьому для передавання того ж обсягу інформації буде потрібен у два–три рази ширший за смугою радіоканал. Збільшення ширини смуги радіоканалу є рівнозначним зростанню шумової смуги та зниженню реальної чутливості приймача. Тому, хоч застосування методів модуляції із постійною амплітудою, за кінцевим результатом, не дає прогнозованого виграшу в енергетиці лінії, використовують саме ці типи модуляції, в т.ч. й завдяки простішим схемам модуляторів та демодуляторів і нижчим вимогам до гетеродинів.

Але головною проблемою, яка виникає під час проектування систем LMDS, є велике збільшення втрат під час дощу на більш високих частотах. Для інтенсивності дощу 30 мм/год лінійні втрати на трасі становлять на частоті 10 ГГц приблизно 0,7 дБ/км, а на частоті 28 ГГц вони збільшуються до 4 дБ/км. Тому, наприклад, при радіусі стільникової чарунки 10 км потрібно буде забезпечити запас, який дорівнює 40 дБ, на втрати під час дощу.

Сукупність наведених факторів приводить до того, що радіус чарунки мережі LMDS зазвичай не перевищує 5–6 км. А це означає, що для того щоб вкрити ту ж площу, яку обслуговує пропонувана система, в мережі LMDS треба буде встановити в чотири рази більше вузлових точок (Nodes). Якщо ж врахувати, що обладнання, яке належить до кожної з чарунок мережі LMDS, дорожче, а кількість самих чарунок у чотири рази більша, стає зрозумілим, що система, запропонована нами, є конкурентоспроможнішою.

Таким чином, технологія MIPIC перш за все може бути фундаментом для побудови новітніх телерадіоінформаційних систем мультисервісного радіодоступу та міських мереж передавання даних для надання повного спектра інфокомунікаційних послуг широкому колу споживачів. Мікрохвильові системи прямої видимості ще далеко не повною мірою реалізували всі свої можливості при побудові таких мереж передавання даних, що мінімізують вплив на екосистеми [5], скорочують споживання матеріалів, енергії та виключають викиди парникових газів.

Подальший розвиток міських мереж зв'язку на основі технології МІТРІС потребує впровадження хоча б галузевих стандартів, що стосуються побудови і визначення основних параметрів базових та абонентських станцій і мережі в цілому. Тільки на їх основі можливе освоєння промисловістю випуску обладнання у серійному масштабі. На цей час кількома компаніями в Україні вже набуто великого досвіду у впровадженні дослідних зразків окремих частин системи. На жаль, Україна не має великої кількості оригінальних розробок в

галузі радіоелектроніки. Тому впровадження систем на основі технології МІТРІС, технічні рішення на яку захищені багатьма патентами на винаходи, дасть нам можливість вийти на передові рубежі в галузі телекомунікацій.

Подальші дослідження пов'язані з необхідністю підвищення енергетичного потенціалу радіолінії, зниження вимог до стабільності частоти та фазового шуму гетеродинів, а також підвищення завадостійкості каналу передавання даних шляхом використання додаткових новітніх (крім Ріда–Соломона) методів кодування.

1. *Ильченко М.Ю., Кравчук С.О.* Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу. – К.: НВП Наук. думка НАН України, 2009. – 312 с.
2. *Шахнович И.В.* Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
3. *Сюваткин В.С., Есипенко В.И., Ковалев И.П.* WiMAX-технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2006. – 368 с.
4. *Нарытник Т.Н., Бабак В.П., Ильченко М.Е., Кравчук С.А.* Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. – К.: Техніка, 2000. – 304 с.
5. *Нарытник Т.Н., Згуровский М.З., Ильченко М.Е. и др.* Микроволновые устройства телекоммуникационных систем. – В 2 т. – Т. 1. – Микроволновые устройства телекоммуникационных систем. – К.: ІВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2003. – 648 с.
6. *Брагин А.С., Нарытник Т.Н.* Основы управления использованием радиочастотного ресурса. – К.: Основа, 2009 – 680 с.
7. *Нарытник Т.Н., Ильченко М.Е.* Микроволновые телекоммуникационные технологии и биологическая безопасность // Наука и культура. – 2010. – № 35. – С. 17–39.

Рекомендована Радою
Інституту телекомунікаційних систем
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
9 грудня 2011 року