

Л. О. Березко, І. Ю. Клачко  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних обчислювальних машин

## КОМП'ЮТЕРНА МОБІЛЬНА МЕРЕЖА МІСТА ЛЬВОВА

© Березко Л. О., Клачко І. Ю., 2017

Розглянуто задачу вибору безкабельної технології, на основі якої може бути розроблена мобільна комп'ютерна мережа на території міста Львова із урахуванням територій зі щільною забудовою та таких, для яких створити кабельну мережу проблематично. Розглянуто переваги технологій безкабельного зв'язку та запропоновано технологію для розв'язання поставленої задачі.

**Ключові слова:** комп'ютерна мережа, технологія WiMAX.

L. Berezko, I. Klachko  
Lviv Polytechnic National University,  
Computer Engineering Department

## COMPUTER MOBILE NETWORK OF THE CITY OF LVIV

© Berezko L., Klachko I., 2017

The problem of the choice of non-cable technology on the basis of which a network for data transmission on the territory of the city of Lviv, including dense buildings and those for which the cable network is not relevant, is considered. Several basic technologies of wireless communication are considered and technology is proposed for solving this problem.

**Key words:** computer network, WiMAX technology.

### Вступ

Зі значним зростанням кількості споживачів сервісів мережі Інтернет все актуальнішим стає завдання надання його послуг якомога ширшій категорії користувачів, зокрема мобільним, та таким, які проживають у місцях, де прокладання кабельних мереж проблематичне або недоцільне. Перспективним, конкурентоздатним та економічно виправданим у таких випадках варіантом користування Інтернетом є створення комп'ютерних мереж безкабельного доступу.

Сьогодні відомі за їх маркетинговими назвами такі комп'ютерні мережеві безкабельні технології, як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth та інші. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її сферу застосування. Загалом безкабельним комп'ютерним технологіям притаманні такі переваги [4, 5, 7]: гнучкість архітектури, тобто можливість динамічної трансформації топології мережі у разі підключення, переміщення і відключення мобільних користувачів без значних витрат часу; висока швидкість передавання інформації; порівняно швидке проектування і розгортання; високий ступінь захисту від несанкціонованого доступу; відсутність необхідності створення або оренди дорогої кабельної інфраструктури.

### Стан проблеми

Львів розбудовується так, що виробничі заклади розташовуються на периферії, а в центральній частині міста – державні та приватні установи, об'єкти торгівлі, розваг та відпочинку. Оскільки надійні засоби обміну інформацією та використання можливостей Інтернету є

невід'ємними складовими будь-якої успішної діяльності, то важливо їх забезпечити на належному рівні, враховуючи, що потужності інфраструктури зв'язку в центральній частині міста перевантажені, а на периферії їх недостатньо. У такій ситуації актуальними є сучасні технології безкабельних комп'ютерних мереж. Використовуючи технології ефірного доступу, можна розв'язати задачі ефективного забезпечення сервісами Інтернету малих, середніх та великих підприємств, користувачів центральної частини міста, районів приватного будівництва із урахуванням щільності забудови в кожному окремому районі та особливостей рельєфу території розташування.

### **Постановка задачі**

Порівнюючи характеристики популярних технологій безкабельних комп'ютерних мереж, вибрати технологію, найприйнятнішу для реалізації на території міста Львова. Розглянути тенденції розвитку вибраної технології та запропонувати можливий варіант реалізації.

### **Розв'язання задачі**

**1. Порівняння технологій безкабельного зв'язку.** Для вирішення завдання інформаційного обміну і досі широко використовується технології 2G та 3G, технічні характеристики яких не відповідають сучасним вимогам швидкості інформаційного обміну, а саме до 100 Мбіт/с – у відкритому просторі та до 1 Гбіт/с – у приміщеннях. Вирішення проблеми у впровадженні технології 4G. Під 4G необхідно розуміти групу технологій та стандартів, що обслуговують інформаційні потреби користувачів сучасних мобільних пристроїв оброблення і відображення мультимедійної інформації.

В останні десятиліття розвиток телекомунікаційних технологій відбувається переважно в таких двох напрямках: від мовних послуг кінцевому користувачу до передавання швидкісних потоків даних, які вже діляться на цілий комплекс різноманітних сервісів, включаючи мову, дані й відео; від нерухомих користувачів до мобільних, що може забезпечити лише безкабельний зв'язок.

Природним перетином двох вказаних векторів розвитку телекомунікаційних технологій є мережі безкабельного зв'язку 4G [7].

До сім'ї 4G зараховують технології Wi-Fi (Wireless Fidelity) та WiMAX (World wide Interoperability for Microwave Access). Це різні технології, у них передусім різні сфери застосування.

Технологія Wi-Fi – це набір глобальних стандартів (IEEE 802.11). На відміну від стільникових телефонів, обладнання Wi-Fi може працювати в різних країнах по усьому світу, дає змогу розгорнути мережу там, де не можна прокласти кабель, наприклад, поза приміщеннями й у будинках, що мають історичну цінність. Wi-Fi-пристрої поширені на ринку, і пристрої різних виробників можуть взаємодіяти на базовому рівні сервісів.

Основою технології WiMAX, яка розроблялася як мегаполісна комп'ютерна мережа (MAN), є стандарт IEEE 802.16, що дає змогу забезпечити високошвидкісний доступ в Інтернет, а також послуги телефонії без використання кабельних ліній. На відміну від інших технологій безкабельного доступу, WiMAX забезпечує функціонування в умовах щільної міської забудови та поза прямою видимістю базової станції. Достатньо встановити базові станції на дахах будинків або висотних споруд, що дає змогу швидко розгорнути таку мережу в умовах міста.

На відміну від Wi-Fi, радіус покриття якої не перевищує 100 метрів, зона покриття WiMAX, за певних умов, досягає 50 км. Тому вона може бути корисна мешканцям віддалених районів, для яких недоступні Інтернет або навіть звичайна телефонія через неможливість прокладання кабельної мережі або ліній DSL.

Загострене питання безпеки в мережах WiMAX, як і в мережах Wi-Fi, зумовлене легкістю під'єднання до мережі. Безпека WiMAX мережі на фізичному рівні забезпечується спеціально розробленими чипами ASIC, які вбудовані в пристрої безкабельного зв'язку й управляють передаванням даних радіоканалом, запобігаючи: спробам порушення конфіденційності; порушенню цілісності даних; порушенню автентичності джерела – споживача; відмова в обслуговуванні.

Якість трафіку в WiMAX краща, ніж в Wi-Fi. У разі під'єднання декількох користувачів до точки доступу Wi-Fi виникає проблема черговості доступу до каналу зв'язку. Технологія WiMAX забезпечує кожному користувачеві постійний доступ, використовуючи алгоритм встановлення обмеження на кількість користувачів для однієї точки доступу. Коли базова станція WiMAX наближається до максимуму свого потенціалу, вона автоматично розподіляє “надлишкових” користувачів на іншу базову станцію.

Набір переваг притаманний усій сім'ї WiMAX, однак його версії, фіксована і мобільна, істотно відрізняються. Розробники стандарту шукали оптимальні рішення як для фіксованого, так і для мобільного застосування, але об'єднати всі вимоги в одному стандарті не вдалося. Попри збіг певних базових вимог, націленість технологій на вирішення різних завдань призвела до створення двох окремих версій стандарту. Кожна зі специфікацій WiMAX визначає свої робочі діапазони частот, ширину смуги пропускання, потужність випромінювання, методи передавання та доступу, способи кодування і модуляції сигналу, принципи повторного використання радіочастот та інші показники. Основне розходження двох технологій (рис. 1) полягає у тому, що фіксований WiMAX дає змогу обслуговувати тільки “статичних” абонентів, а мобільний орієнтований на роботу із користувачами, які рухаються.



Рис. 1. Режими WiMAX: а – фіксований WiMAX; б – мобільний WiMAX

Мобільний WiMAX, розроблений спеціально для мобільних пристроїв, підтримує особливі функції: наявність функцій роумінгу й перемикання між базовими станціями у разі пересування абонента, перехід абонента із зони дії однієї базової станції в зону дії іншої відбувається без можливої втрати зв'язку, як це буває в мережах стільникового зв'язку; мобільний WiMAX може обслуговувати як фіксованих користувачів, так і абонентів, які рухаються зі швидкістю до 120 км/год; *idle mode* – режим, у якому модем не передає пакетні дані, будучи підключеним до мережі; технологія дає змогу підключитися до базової станції за відсутності прямої видимості; мобільний WiMAX стабільніше, ніж Wi-Fi, працює за несприятливих погодних умов [6].

Як і в інших технічних галузях, у сфері безкабельного передавання даних відсутня універсальна технологія. Якщо поставлено завдання надати користувачам широкопasmовий доступ до Інтернету поза приміщеннями, доцільніше використовувати WiMAX, тому що цю технологію розроблено саме із цією метою. Якщо завдання – надати широкопasmовий доступ в обмеженому приміщенні, то технології Wi-Fi і WiMAX є конкурентними, за умови низького рівня завад або їх відсутності. А для створення безкабельних систем безпеки або відеоспостереження доцільніше скористатися технологією Wi-Fi.

Технологія WiMAX дає змогу працювати в будь-яких умовах, зокрема в умовах щільної міської забудови, забезпечуючи високу якість зв'язку та швидкість передавання даних. Це дозволяє використовувати технологію як “магістральні канали”, створюючи масштабовані високошвидкісні мережі в межах цілих міст. Єдиний стандарт для WiMAX мереж гарантує взаємну сумісність пристроїв різних виробників, а використання адаптивних методів оброблення сигналу забезпечує значну зону покриття для стаціонарних і мобільних абонентів. Технологія WiMAX – це мережа

широкосмугового безкабельного доступу, яка створюється на території цілого міста, а відстань від приймача до базової станції вимірюється кілометрами.

А локальні мережі Wi-Fi стають логічним продовженням мереж WiMAX. У сервіс-провайдерів з'являється можливість побудови “віртуальних операторів” Wi-Fi послуг, що використовують інфраструктуру WiMAX як мережу агрегації. Таке рішення істотно знижує операційні витрати на розгортання Wi-Fi-мереж і відкриває шлях до кінцевого абонента для великої кількості сервіс-провайдерів середнього рівня. Отже, сфери використання технологій Wi-Fi та WiMAX визначаються їх характеристиками (табл. 1) [1–3].

Якісний швидкісний доступ до Інтернету досі забезпечували лише цифрові абонентські лінії, відомі як “DSL”. Сьогодні технологія WiMAX визнана у світі найпрогресивнішою альтернативою кабельному зв'язку. WiMAX дає змогу економити час та кошти на організацію сучасної телекомунікаційної інфраструктури, що особливо важливо для українського бізнесу. Впровадження технології WiMAX у варіанті 4G в Україні істотно полегшить реалізацію проектів “Телефонізація й інтернетизація села”, “Інтернет – у кожную школу” тощо, дасть змогу гнучко й ефективно забезпечувати квартирний і комерційний сектори широкосмуговим доступом.

Крім того, частотний діапазон 2–11 ГГц в Україні ліцензований і порівняно щільно зайнятий операторами мереж ефірного доступу інших технологій. Тому системи WiMAX, максимально гнучкі й адаптивні в частотно-територіальному плануванні, безумовно, виявляться головними претендентами на модернізацію наявних систем ефірного зв'язку.

Таблиця 1

### Порівняння технологій Wi-Fi та WiMAX

Wi-Fi (IEEE 802.11)	WiMAX (IEEE 802.16)
Порівняння за масштабом та охопленням	
Безкабельні рішення усередині будинків	Безкабельні рішення поза будинками
Пункт – до пункту (Pt -Point to point)	Пункт – до багатьох пунктів (PtMp – Point to multipoint)
Мережі невеликого масштабу (приблизно 100 м)	Великі безкабельні мережі (7–10 км)
Проблема “схованого” вузла (CSMA/CA)	Відсутність проблеми “схованого” вузла (DAMA-TDMA)
Прості модуляції (64 біт)	Комплексна техніка модуляції (256 біт)
Побудова безкабельних мостів на далекій відстані із застосуванням ретрансляторів	Побудова безкабельних мостів на далекій відстані без застосування ретрансляторів
Порівняння за масштабністю і пропускну здатністю	
Фіксована ширина смуги пропускання каналу (20 МГц)	Гнучка ширина смуги пропускання (1.5 – 20 МГц)
Кілька непересічних каналів (3–5)	Множина непересічних каналів
Максимальна швидкість передавання даних – 54 Мбіт/с (залежить від ширини смуги)	Максимальна швидкість передавання даних – 70 Мбіт/с за ширини смуги 20 МГц

**2. Принципи функціонування WiMAX.** Система WiMAX складається з таких основних частин: базова станція WiMAX, яка може бути розміщена на висотному об'єкті (будівля або вишка); приймач WiMAX (антена з приймачем); обладнання, яке з'єднує базові станції між собою, з постачальником сервісів та з Інтернетом.

З'єднання між базовою станцією та клієнтським приймачем здійснюється в низькочастотному діапазоні 2–11 ГГц. Таке з'єднання в ідеальних умовах дає змогу передавати дані зі швидкістю до 20 Мбіт/с і не потребує прямої видимості між станцією і користувачем. Цей режим роботи базової станції WiMAX близький до широко використовуваного стандарту 802.11 (Wi-Fi), що допускає сумісність уже випущених клієнтських пристроїв та WiMAX.

Треба пам'ятати, що технологія WiMAX використовується як на кінцевій ділянці між провайдером і користувачем, так і для надання доступу регіональним мережам: офісним, районним.

Між сусідніми базовими станціями встановлюється постійне з'єднання з використанням режиму надвисоких частот (10–66 ГГц) радіозв'язку прямої видимості. Це з'єднання в ідеальних умовах дає змогу передавати дані зі швидкістю до 120 Мбіт/с (рис. 2). Обмеження за умовою прямої видимості накладається лише на базові станції, які беруть участь у цілісному покритті району, що цілком можливо реалізувати, відповідно розмістивши обладнання.

Як мінімум одна з базових станцій може бути постійно зв'язана з мережею провайдера через широкосмугове швидкісне з'єднання. Фактично що більше станцій мають доступ до мережі провайдера, то вища швидкість і надійність передавання даних. Однак навіть за невеликої кількості точок система здатна коректно розподіляти навантаження за рахунок стільникової топології.

За стільниковим принципом розробляються також способи побудови оптимальної мережі, із урахуванням особливостей території та наявності великих об'єктів, коли декілька послідовних станцій передає дані за естафетним принципом.

Для з'єднання базової станції з користувачем необхідна наявність абонентського обладнання. Згодом сигнал може надходити по кабелю на пункти доступу стандарту 802.11 (Wi-Fi) або в локальну кабельну мережу стандарту Ethernet. Це дає змогу зберегти інфраструктуру районних чи офісних локальних мереж під час переходу з кабельного доступу на WiMAX, максимально спростити розгортання мереж, використовуючи вже створені мережі для підключення комп'ютерів.

Стандарт IEEE 802.16 – це перший стандарт для побудови безкабельних мереж у масштабі міста (WMAN). Технологія WiMAX повинна, доповнивши мережі WPAN і WLAN, об'єднувати в єдину ефірну мережу всі користувацькі пристрої з підтримкою безкабельних технологій малої дальності – Bluetooth, Wi-Fi тощо.



Рис. 2. Станції та приймачі WiMAX

**3. Розрахунок зони покриття базової станції.** Для оцінювання необхідної кількості базових станцій технології WiMAX для надійного покриття безкабельною мережею території міста Львова виконаємо орієнтовний розрахунок дальності зв'язку між антеною базової станції й абонентським пристроєм, орієнтуючись на технічні характеристики обладнання Aperto PacketMax-5000 (табл. 2).

Для розрахунку зони покриття необхідно розрахувати напруженість поля, створеного передавальною базовою станцією. Загальна розрахункова формула має вигляд [6, 7]:

$$E = E_c + E_n + E_\phi + E_{\lambda 2} + E_{\text{РЕД}} + \alpha \cdot l - D_{\text{SU}} + E_\theta, \quad (1)$$

де  $E_c$  – напруженість поля сигналу, необхідна для отримання необхідних параметрів;  $E_c = 20 \text{ дБм}$  (з технічної документації до обладнання Aperto PacketMax-5000);  $E_n$  – поправка, яка враховує

відмінність номінальної потужності передавача від потужності 1 кВт, становить 10 дБ;  $B_{\Phi}$  – загасання у фільтрах і антенних розділювачах, становить 7 дБ;  $B_{h_2}$  – поправка, яка враховує висоту приймальної антени, дБ;  $B_{рел}$  – поправка, яка враховує рельєф місцевості, дБ;  $\alpha \cdot l$  – загасання в фідері передавальної та приймальної антен,  $\alpha \cdot l = 3$  дБ;  $D_{SU}$  – коефіцієнт посилення антени абонентського пристрою, становить 15,5 дБм;  $B_{\theta}$  – поправка, яка враховує зменшення чутливості до перешкод порівняно із чвертьхвильовим штирем, дБ.

Таблиця 2

### Вихідні дані для розрахунків

Базова станція	
Потужність передавача, дБм	10
Мінімальний поріг рівня на вході приймача, дБ	100
Середня частота приймання і передавання, ГГц	5,4
Загасання у фільтрах і антенних розділювачах, дБ	7
Діаграма спрямованості антени	360°
Абонентський пристрій	
Діаграма спрямованості	9°
Коефіцієнт посилення антени	15,5
Потужність передавача, дБм	27

Поправка  $B_{h_2}$ , яка враховує висоту передавальної антени, відмінну від 1,5 м, розраховується за формулою:

$$B_{h_2} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1,5}{h_2} \right), \quad (2)$$

де  $h_2$  – висота передавальної антени, становить 40 м.  $B_{h_2} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1,5}{40} \right) = -14,26$  дБ.

Графіки на рис. 3 побудовано з використанням передавача потужністю 1 кВт, який створює у пунктах приймання на відстані  $r$  напруженість поля  $E$ . Графіки залежності дальності зв'язку від напруженості поля за різних висот передавальних антен БС складено на основі оброблення статистичної інформації. Дальність зв'язку визначається за рельєфом місцевості, наявністю будівель або інших перешкод для проходження сигналу в напрямку прямої видимості.

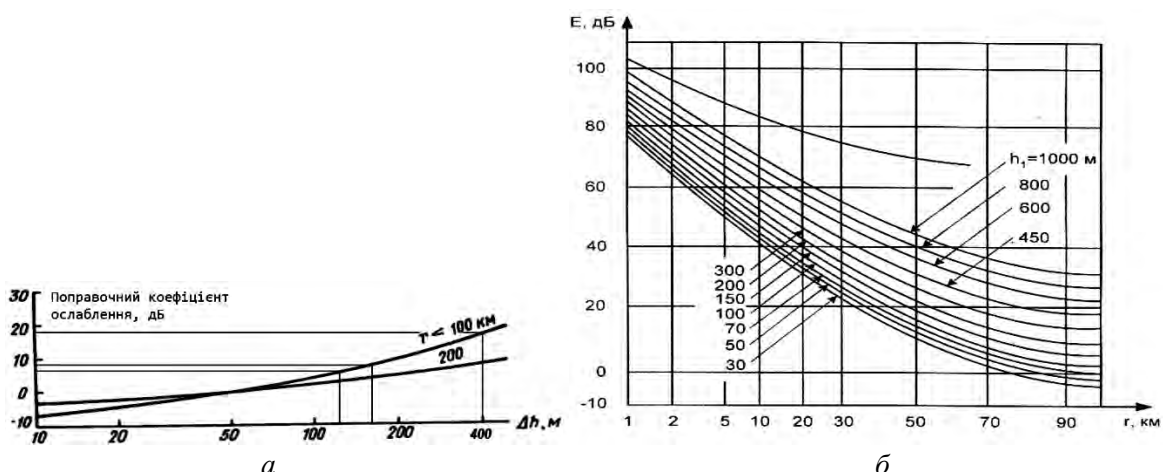


Рис. 3. Визначення поправки, яка враховує рельєф місцевості (а); дальність поширення радіохвиль над поверхнею землі в міській зоні (б)

Наша місцевість характеризується щільною забудовою, з багатьма дев'ятиповерховими житловими будинками до 30 м висоти. Отже, поправка  $\Delta h = 30$  м, а поправка на рельєф  $B_{\text{ред}} = -5$  дБ (рис. 3, а).

Поправку  $B_{\theta}$  розраховують за формулою:

$$B_{\theta} = 10 \cdot \lg \left( \frac{\theta_E}{360} \right), \quad (3)$$

де  $\theta_E$  – кут діаграми спрямованості приймальної антени,  $\theta_E = 9^\circ$ .

$$B_{\theta} = 10 \cdot \lg \left( \frac{9}{360} \right) = -16,02 \text{ дБ.}$$

Визначимо напруженість поля, що створюється передавальною базовою станцією у пункті приймання сигналу:

$$E = 20 + 10 + 7 + 14,26 + 5 + 3 - 15,5 + 16,2 = 60 \text{ дБ.}$$

Якщо  $E = 60$  дБ, забезпечується дальність зв'язку  $r = 3000$  м (рис. 3, б).

Згідно з отриманою оцінкою, орієнтовну кількість базових станцій та їх розміщення на території міста для забезпечення надійного покриття безкабельною мережею показано на схемі (рис. 4).

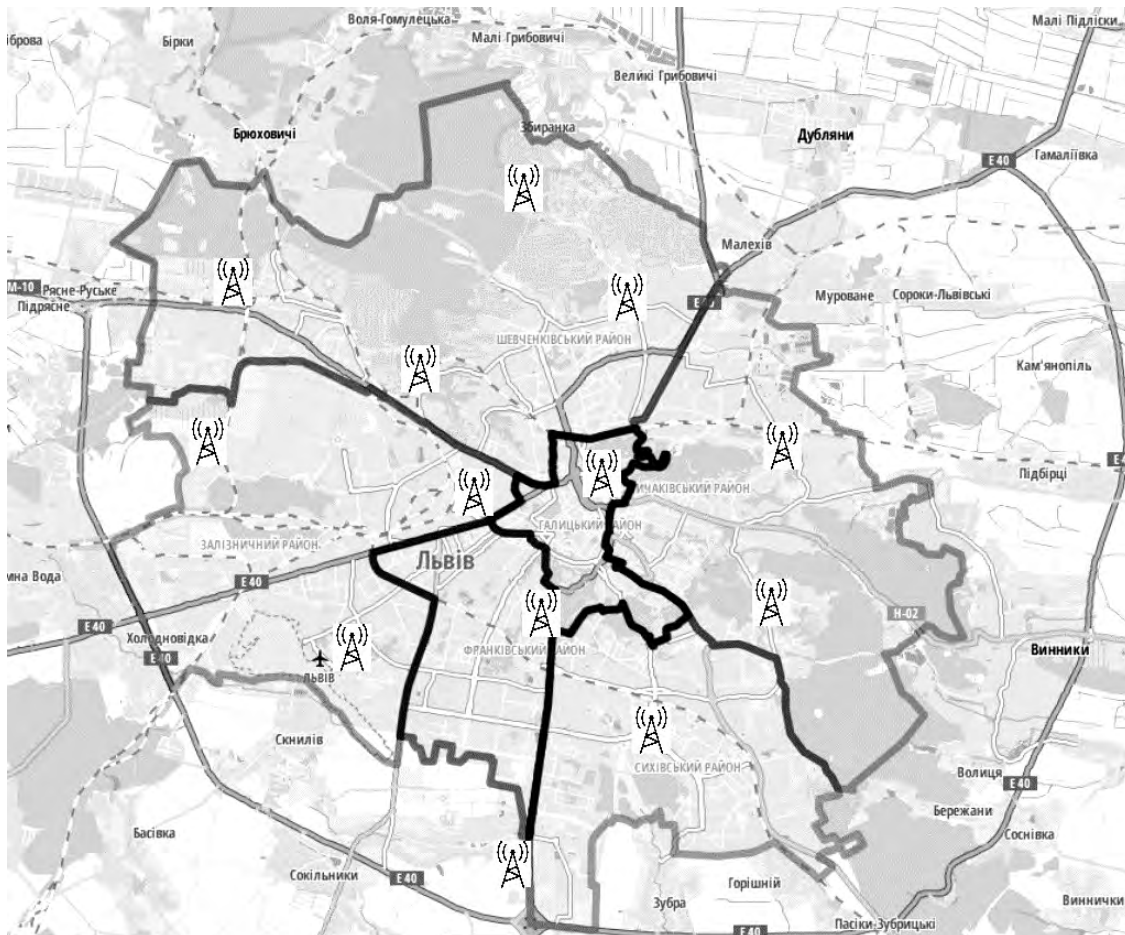


Рис. 4. Орієнтовна схема розміщення базових станцій

### Висновки

Розглянуто завдання вибору безкабельної технології з метою створення комп'ютерної мережі, яка може надати якісний доступ до сервісів Інтернету мобільним користувачам на території міста Львова. Розглянуто основні технології безкабельних мереж. Для розв'язання поставленої задачі запропоновано технологію WiMAX, оскільки вона може надійно працювати в умовах щільної

міської забудови та складного рельєфу території, забезпечуючи високу якість та швидкість трафіку. Виконано орієнтовний розрахунок зони покриття базової станції з метою оцінювання кількості таких станцій та їх розміщення на території міста.

1. *IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology. – Telecommunications and information exchange between systems. – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.* 2. *IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks.* 3. *IEEE Std 802.16-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks.* 4. Grigoriev V. A., Lagutenko O. I. *Seti i systemy radiodostupa. – Moskva: Ekotrendz, 2005. – P. 385.* 5. Vyschnevskij V. M., Ljakov A. I., Вишневский В. М., *Schyrokopolosnye besprovodnye seti peredachi informatsii. – Moskva: Tehnosfera, 2005. – P. 592.* 6. Sjuvatkin V. S., Esypenko V. I., Kovalev I. P., Suhorebrov V. G. *WiMAX – tehnologija besprovodnoj svjazi: teoreticheskie osnovy, standarty, primenenie. – Peterburg: Izdatelstvo BHV, 2005. – P. 368.* 7. Vyschnevskij V. M., Portnoj S. L., Schahnovych I. V. *Entsyklopedija WiMAX. Put k 4G. Izdatelstvo Tehnosfera, 2010. – P. 453.*