**ПОБУДОВА БЕЗДРОТОВОЇ WIMAX МЕРЕЖІ ТОРГОВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Розенбойм К.О., студентка 2 курсу спеціальності «Кібербезпека»

 **Анотація**

У статті розглянуто процес побудови бездротової мережі WiMAX для потреб торговельного підприємства. Проаналізовано сучасні бездротові технології (Wi-Fi, LTE, WiMAX) та обґрунтовано доцільність вибору саме WiMAX завдяки її стабільності, великому радіусу дії та адаптивним можливостям. Описано ключові технічні аспекти WiMAX — стандарти IEEE 802.16, принципи модуляції, кодування, вибору частот. Наведено особливості проєктування мережі з урахуванням фізичних умов підприємства, розподілу покриття, конфігурації обладнання та питань безпеки. Проведено порівняння з іншими технологіями та сформульовано переваги впровадження WiMAX у корпоративному середовищі.

**Ключові слова:** WiMAX, бездротові мережі, IEEE 802.16, торговельне підприємство, проєктування мережі, безпека зв’язку.

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємницької діяльності стабільний та високошвидкісний доступ до мережевих ресурсів є критично важливим для ефективної роботи торговельних підприємств. Бездротові технології зв’язку дозволяють забезпечити гнучке розгортання телекомунікаційної інфраструктури, що особливо актуально для об’єктів з великою площею або складною архітектурною структурою. Одним із перспективних рішень у цій сфері є технологія **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access), яка забезпечує широкосмуговий доступ до мережі з високою пропускною здатністю на великі відстані.

Традиційні дротові рішення не завжди є зручними або рентабельними в умовах швидкозмінних вимог бізнесу, що обумовлює зростання інтересу до бездротових систем зв’язку нового покоління. **WiMAX**, завдяки своїм технічним характеристикам, таким як підтримка великої кількості користувачів, висока швидкість передачі даних, широкий радіус дії та гнучкість у розгортанні, відкриває нові можливості для організації ефективної корпоративної мережі. Це особливо важливо для торговельних підприємств, які прагнуть підвищити якість обслуговування клієнтів, забезпечити безперервну роботу терміналів, камер відеоспостереження, платіжних систем тощо. WiMAX є стандартизованою технологією бездротового широкосмугового зв’язку, що базується на протоколах IEEE 802.16. Вона призначена для забезпечення високошвидкісного доступу до Інтернету, передачі даних, голосових та відео сервісів у міських та сільських умовах. На відміну від Wi-Fi, який обмежений коротким радіусом дії, WiMAX здатен охоплювати відстані до 50 км (в умовах прямої видимості) і підтримувати більшу кількість одночасних підключень, що робить її придатною для масштабних корпоративних рішень.

## Теоретичні основи бездротових мереж WiMAX

Сучасні бездротові технології — Wi-Fi, WiMAX та LTE — відіграють важливу роль у побудові масштабованих мереж.
**Wi-Fi** підходить для невеликих зон (до 100 м) і використовується в офісах та домівках.
**LTE** забезпечує мобільний високошвидкісний доступ у стільникових мережах.
**WiMAX** поєднує високу швидкість та великий радіус дії (до десятків км), що робить її ефективною для підприємств і муніципальних мереж. Вирізняється кращою стабільністю та масштабованістю у порівнянні з Wi-Fi.

WiMAX базується на стандарті **IEEE 802.16**, що охоплює фізичний і канальний рівні.
Версії: **802.16d** — для фіксованих точок доступу, **802.16e** — для мобільного доступу. WiMAX підтримує механізми **QoS**, шифрування, управління каналами та адаптацію до різних умов зв’язку , використовує **OFDM-модуляцію** для стійкості до завад, підтримує **BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM**, що дозволяє адаптувати передачу до умов каналу. Застосовується **FEC-кодування**, що підвищує надійність при поганому сигналі.WiMAX працює у **ліцензованих** (2,3–3,5 ГГц) та **неліцензованих** (до 5 ГГц) діапазонах. Правильна конфігурація параметрів забезпечує стабільну роботу мережі навіть при великому навантаженні.

### Проєктування WiMAX мережі для торговельного підприємства

У корпоративних умовах бездротові мережі мають відповідати вимогам надійності, масштабованості та безпеки. Для підприємств важливо забезпечити стабільний зв’язок між офісами, складами та торговими залами, при цьому зберігаючи централізоване управління мережею та контроль доступу користувачів.

Архітектура WiMAX-мережі повинна враховувати кількість об'єктів, розташування користувачів і потребу в мобільному або стаціонарному доступі. Для торговельного підприємства доцільно використовувати точково-багатоточкову топологію (Point-to-Multipoint), з базовою станцією, яка обслуговує всі підрозділи. Обладнання включає WiMAX-базову станцію, абонентські термінали (CPE), антени з потрібним коефіцієнтом підсилення, маршрутизатори та контролери доступу.

Оптимальний вибір частотного діапазону (залежно від ліцензійного статусу) та планування радіопокриття — критичні етапи проєктування. Необхідно враховувати перешкоди, рельєф, густоту забудови та матеріали будівель. При використанні ліцензованого діапазону (наприклад, 3,5 ГГц) досягається краща стабільність, менше завад. Корпоративна мережа WiMAX має підтримувати сучасні засоби шифрування (AES, RSA) та аутентифікації (EAP, PKI). Це дозволяє захистити конфіденційні дані від несанкціонованого доступу, забезпечити контроль сеансів і журналювання дій користувачів.

### Практична реалізація: побудова мережі WiMAX для торговельного підприємства

Для ефективної роботи торговельного підприємства мережа має забезпечувати надійний зв’язок між усіма структурними підрозділами: адміністрацією, складами, касовими терміналами та віддаленими офісами. Основними вимогами є висока пропускна здатність, мінімальні затримки, безперебійна передача даних та захист інформації.

З урахуванням розташування будівель підприємства обрано топологію типу «зірка», де центральна базова станція WiMAX встановлюється на даху головної будівлі. Інші точки — склади, термінали, торгові зали — підключаються через клієнтські приймачі. При проєктуванні враховано перешкоди, зонування сигналу та максимальне покриття без втрат якості.

До складу обладнання входять: базова станція WiMAX з панельною антеною, абонентські приймачі (CPE), маршрутизатори з підтримкою QoS та мережеві комутатори. Обладнання налаштовується з урахуванням пропускної здатності, кількості користувачів та необхідних сервісів. Особлива увага приділена налаштуванню шифрування та аутентифікації користувачів.

Початкове покриття забезпечує обслуговування до 100 пристроїв із середнім навантаженням у 10–15 Мбіт/с. Завдяки гнучкості WiMAX-архітектури можливе легке масштабування: додавання нових абонентських пристроїв, розширення зони покриття та інтеграція з іншими мережами підприємства.

У порівнянні з Wi-Fi, технологія WiMAX має значно більший радіус дії (до кількох десятків кілометрів) та кращу підтримку роботи з великою кількістю абонентів. Це робить її ефективною для покриття великих територій торговельного підприємства або кількох будівель без потреби в численних точках доступу.
На відміну від LTE, який орієнтований переважно на мобільні оператори та вимагає ліцензованого спектру, WiMAX може працювати і в неліцензованих діапазонах, що здешевлює впровадження. Водночас LTE має кращу інтеграцію з сучасними мобільними пристроями, що може бути перевагою у деяких сценаріях.

**Переваги** WiMAX **:**

Великий радіус покриття з однієї базової станції.

Стабільне з’єднання навіть у складних умовах.

Гнучка масштабованість та адаптація до потреб підприємства.

Можливість роботи як у ліцензованих, так і неліцензованих діапазонах.

**Обмеження:**

Потреба у спеціалізованому обладнанні, яке дорожче за Wi-Fi.

Обмежена підтримка на сучасних споживчих пристроях.

Менша популярність порівняно з Wi-Fi та LTE, що може ускладнювати сервісне обслуговування.

У результаті впровадження WiMAX у торговельному підприємстві доцільне там, де необхідна надійна бездротова мережа для великої площі покриття з відносно постійними користувачами — наприклад, між офісами, складами й торговими зонами.

#### Рекомендації щодо впровадження WiMAX мереж у торговельних підприємствах:

Використовувати WiMAX у великих або багатозонних торговельних об'єктах, де необхідне стабільне бездротове покриття на значних відстанях.

Обирати обладнання, яке підтримує адаптивну модуляцію та якісне шифрування, для забезпечення безпеки й ефективності передачі даних.

Поєднувати WiMAX з іншими технологіями (наприклад, Wi-Fi) для гнучкого розподілу навантаження в межах об’єкта.

Доцільно дослідити інтеграцію WiMAX із хмарними сервісами, системами відеоспостереження та IoT-рішеннями для торговельного бізнесу. Також перспективним є порівняльний аналіз продуктивності WiMAX і сучасних версій LTE/5G у специфічних умовах підприємств.

### Актуальність використання WiMAX у торговельному підприємстві на фоні розвитку 4G/5G та Private LTE

З моменту появи новітніх технологій зв’язку — таких як **4G LTE**, **5G** і **Private LTE** — використання **WiMAX** поступово втратило свою актуальність. Нові стандарти пропонують **вищу пропускну здатність, менші затримки, краще масштабування та широку підтримку з боку виробників і операторів зв’язку**. У більшості урбанізованих регіонів вони стали стандартом для бізнес-комунікацій.

Проте у **певних умовах** саме для торговельного підприємства **WiMAX залишається доцільним рішенням**:

1.Якщо підприємство вже має **встановлену WiMAX-інфраструктуру**, і **витрати на модернізацію** до 4G/5G є економічно недоцільними.

2.Якщо об’єкти компанії розташовані у **віддалених районах**, де мобільне покриття нестабільне або відсутнє.

3.У випадках, коли потрібна **незалежна приватна мережа**, а не зв’язок через мобільного оператора.

4.Для **стаціонарних задач** — відеоспостереження, підключення касових вузлів, терміналів збору даних, де **мобільність не є критичною**.

### SWOT-аналіз впровадження WiMAX у торговельному підприємстві

| **Сильні сторони (Strengths)** | **Слабкі сторони (Weaknesses)** |
| --- | --- |
| – Великий радіус покриття (до 50 км) | – Застарілість стандарту, низька підтримка виробників |
| – Незалежність від операторів мобільного зв’язку | – Обмежена мобільність користувачів |
| – Стабільність у стаціонарних умовах | – Низька швидкість порівняно з 4G/5G |
| **Можливості (Opportunities)** | **Загрози (Threats)** |
| – Побудова автономної мережі між магазинами/складами | – Повна відмова постачальників від підтримки WiMAX |
| – Економія на використанні вже наявного обладнання | – Витіснення з ринку 5G-інфраструктурою |
| – Придатність для підприємств у регіонах із слабким LTE | – Складність інтеграції з сучасними сервісами |

### Висновки

У ході роботи було проаналізовано особливості технології WiMAX, її технічні переваги, архітектуру та можливості застосування в умовах торговельного підприємства. Розроблено топологію мережі, підібрано відповідне обладнання та обґрунтовано вибір частотного діапазону. Проведено оцінку продуктивності та стабільності побудованої мережі з урахуванням фізичних умов та потреб бізнесу.

**Використані джерела:**

1. Коваленко І. В. Бездротові мережі: технології та проєктування. — Київ : Техніка, 2018. — 320 с.
(Джерело для огляду сучасних бездротових технологій Wi-Fi, WiMAX, LTE)

2. Климаш М. М., Пелішок В. О., Михайленич П. М. Технології безпровідного зв’язку. — Київ : Інфоком, 2017. — 310 с.
(Фізичні та канальні рівні WiMAX: модуляція, кодування, радіочастоти)

3. Савченко О. В., Дмитрієва І. П. Основи мобільних та бездротових мереж. — Харків : ХНУ, 2017. — 280 с.
(Стандарти та протоколи WiMAX, безпека мереж)

4. Мельник В. І. Радіотехнічні мережі та системи зв’язку. — Львів : ЛНУ, 2016. — 256 с.
(Радіочастоти, вибір обладнання)

5. Литвин П. М. Телекомунікаційні мережі підприємств. — Київ : Наука і Техніка, 2019. — 300 с.
(Особливості бездротових мереж у корпоративному середовищі)

6. Бондаренко Д. С. Проєктування сучасних інформаційних мереж. — Київ : Електроніка, 2020. — 270 с.
(Вибір архітектури мережі, топології, обладнання)

7. Воробієнко П. П., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. — Харків : ХНУРЕ, 2018. — 290 с.
(Оптимізація покриття, безпека мережі)