

*Наталія Кунах, Людмила Харлай, Олексій Коновалов,  
Костянтин Нікіфоренко, Юлія Сотніченко, Юрій Матюшичев*

## ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПРОВІДНОГО АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Актуальність теми дослідження.** Технологія Wi-Fi використовується для побудови безпроводних локальних мереж Wi-Fi. Недоліками Wi-Fi технології є використання радіоканалу, інтерференція, низька безпека й захищеність даних і самих мереж Wi-Fi. Тому є потреба в модифікації безпроводового доступу.

**Постановка проблеми.** Усунення недоліків дасть змогу забезпечити користувачів високонадійним та швидкісним зв'язком. Запропоновано модифікацію безпроводового доступу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації з досвіду використання в локальних мережах оптичних технологій.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Можливість перехоплення інформаційних сигналів, що випромінюються через віконні отвори. Відсутність всеспрямованих оптичних антен.

**Постановка завдання.** Вдосконалення параметрів та характеристик локальних оптичних мереж доступу, зокрема підвищення рівня інформаційної захищеності.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі проведено порівняльний аналіз двох систем безпроводного абонентського доступу. Показано, що система безпроводного доступу з використанням оптичних технологій має певні переваги, серед яких можна відзначити відсутність завад від сусідніх мереж та практично повну захищеність від перехоплення інформації. Запропоновано застосування світлодіодів ультрафіолетового діапазону для забезпечення відсутності витоку світлового сигналу через віконні отвори. Для побудови базаточкових систем локального оптичного зв'язку з випадковим розташуванням абонентів запропоновано використання оптичних циліндричних елементів із високим показником заломлення.

**Висновки відповідно до статті.** Побудова оптичних систем безпроводного зв'язку з використанням оптичних технологій має певні переваги перед безпроводними системами, що використовують радіотехнології.

**Ключові слова:** світло діод; оптичні безпроводні мережі; циліндричний оптичний елемент; розсіяння світла; показник заломлення; індикатриса розсіяння.

*Рис.: 6. Бібл.: 10.*

**Актуальність теми дослідження.** Технологія Wi-Fi була створена у 1998 році й використовується для побудови безпроводних локальних мереж Wi-Fi. Нині пристрої, що підтримують цю технологію, набули значного поширення, і технологія продовжує стрімко розвиватись і застосовуватись у всьому світі. Основні переваги застосування технології Wi-Fi полягає у відсутності проводів. Це радіозв'язок, який може об'єднувати між собою декілька пристроїв. Wi-Fi мережа особливо корисна в тих випадках, коли прокладання проводів недоцільне або взагалі неприпустиме. Wi-Fi мережі знайшли широке застосування при підключенні різних пристроїв не тільки між собою, але й до Інтернету. Ще однією перевагою можна вважати простоту створення сітки Wi-Fi. Стандартизація технології Wi-Fi дозволяє підключатися до мережі в будь-якій країні, хоча все ж є певні особливості її застосування.

У неї великий потенціал, але, як і у будь-якій іншій технології, поряд із перевагами є й недоліки.

Основним недоліком Wi-Fi технології можна вважати використання радіоканалу. Це зумовлює можливість перехоплення інформації. Крім того, у діапазоні 2,4 ГГц працює велика кількість інших пристроїв, таких, наприклад, які підтримують Bluetooth, та зокрема навіть мікрохвильові печі, що погіршує електромагнітну сумісність.

Ще однією з основних проблем, характерних для мереж Wi-Fi, є інтерференція, тобто перетин зон прийому від різних станцій та накладання сигналів від однієї станції, що прийшли різним шляхом. На якість зв'язку великий вплив робить навколишнє середовище. Особливо чутлива ця мережа до електромагнітних випромінювань, що створюються побутовими приладами. Передусім це позначається на швидкості передачі даних. Крім того, умови прийому та передачі погіршують стіни, залізобетонні перекриття, металеві перегородки та ін.

На додаток до цього, частотний діапазон у різних країнах не однаковий, а в певних випадках експлуатація Wi-Fi мереж потребує ліцензування та реєстрації оператора.

Для запобігання перехвату сигналу в технології Wi-Fi застосовується шифрування. Найбільш популярний стандарт шифрування WEP може бути відносно легко зламаний навіть при правильній конфігурації (через слабку стійкість алгоритму). Незважаючи на те, що нові пристрої підтримують досконаліший протокол шифрування даних WPA і WPA2, багато старих точок доступу не підтримують його і вимагають заміни. При цьому новий стандарт WPA2 потребує більш стійких паролів, ніж ті, що зазвичай використовуються.

При великій щільності Wi-Fi-точок, що працюють в одному або сусідніх каналах, вони можуть заважати один одному. Це позначається на якості з'єднання. Така проблема часто зустрічається в багатоквартирних будинках, в яких багато мешканців використовують цю технологію.

**Постановка проблеми.** Таким чином, має місце нагальна потреба в модифікації безпроводного доступу, яка може бути досягнута за рахунок використання оптичних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Накопичено значний світовий досвід з використання в локальних мережах оптичних технологій, причому вагомий внесок у розвиток оптичних технологій здійснили С. W. Chow, С. Н. Yeh, Y. Liu, Н. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи подальше вдосконалення параметрів та характеристик локальних оптичних мереж доступу, зокрема підвищення рівня інформаційної захищеності.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Рішення проблем безпроводного доступу з використанням оптичних технологій.

#### **Виклад основного матеріалу.**

*Оптичні технології для побудови локальних мереж.*

Нині є дуже перспективним розвиток безпроводного оптичного зв'язку на основі світлодіода (VLC). Світлодіод має унікальні характеристики, які дають можливість створювати нові додатки, які неможливо застосовувати з іншими видами джерел світла. Світлодіод може модулюватися при значно більш високих швидкостях, ніж традиційні джерела світла, такі, наприклад, як люмінесцентні лампи. Як наслідок, світлодіодне освітлення можна використовувати для видимого оптичного зв'язку та для оптичних безпроводних мереж усередині будівлі. Оптичний зв'язок може забезпечити безпечний зв'язок між мобільними пристроями. Враховуючи той факт, що промінь світла є видимим, користувач може гарантовано обмежити зону передачі даних, контролюючи зону освітлення, на відміну від Wi-Fi сигналів, що можуть проникати в сусідні кімнати чи приміщення. Крім того, через це користувачі з інших кімнат та будівель не можуть підключитись до конкретної мережі. На додаток до цього, вимоги до ліцензування внутрішньобудинкового зв'язку відсутні.

На сьогодні є дуже перспективним застосування світлодіодів у загальному освітленні. Світлодіод має переваги високої енергетичної ефективності, стійкості, компактного розміру, має тривалий термін використання і легко інтегрується в різні предмети. Пристрої світлодіодного освітлення можна використовувати для оптичного зв'язку у видимому діапазоні [1].

Безпроводна технологія оптичного зв'язку може забезпечити безкабельне середовище передавання. На рис. 1 зображено безпроводний «розумний будинок», в якому надаються мультисервісні послуги (телебачення, телефонний зв'язок, Інтернет) з використанням оптичного зв'язку [1]. Оптичний зв'язок може бути єдиним вирішенням проблеми безпроводного зв'язку у випадках, коли відсутній виділений діапазон частот для Wi-Fi. Він може використовуватися в медичних закладах або на борту літака без електромагнітних перешкод.



Рис. 1. Використання світлодіодного освітлення для побудови локальних мереж

Нині відбувається стандартизація світлодіодного зв'язку. Так, стандарт IEEE (IEEE 802.15.7 – безпроводний оптичний зв'язок із малим радіусом дії з використанням видимого світла) був затверджений у 2011 році [2], тим самим збільшуючи перспективи комерціалізації технологій оптичного зв'язку. Він охоплює як радіо інтерфейс фізичного рівня (PHY), так і управління доступом до середовища передачі (MAC). При цьому забезпечується стійкість до взаємного впливу з радіотехнічними системами.

Підвищення швидкості передачі оптичного зв'язку всередині приміщень.

Є два основних типи структури пристроїв для створення білого світлодіода, які використовуються в освітленні. Перший тип складається з блакитного світлодіодного чипа зі шаром люмінофора, покритого поверх нього. Коли електричний струм підводиться до світлодіодного чипа, випромінюється блакитне світло, і частина його поглинається люмінофором, щоб створити другий колір – жовте світло. У результаті поєднання блакитного та жовтого світла створюється біле світло. Інший тип світлодіоду створюється шляхом поєднання трьох основних кольорових чипів (RGB). Три чипи випромінюють по одному кольору одночасно і в результаті створюється біле світло. Перевагою люмінофору для створення білого світлодіода є його невисока вартість. Однак люмінофорне перетворення світла робить діод непридатним для високошвидкісної прямої модуляції, тому що час спрацювання люмінофору є значно більшим, ніж світлодіодного чипа, і швидкість прямої модуляції зазвичай обмежена до кількох МГц. Цей недолік став причиною кількох досліджень, які б мали покращити швидкість прямої модуляції білого світлодіода.

Одним із підходів для покращення прямої швидкості модуляції є використання блакитного оптичного фільтра в приймачах, щоб усунути повільну реакцію жовтого світла. Проте це призводить до втрати потужності, тому що вся енергія у видимому оптичному спектрі, крім блакитної частини, блокується і, як наслідок, обмежує відстань передачі за допомогою оптичного зв'язку.

За рахунок попереднього вирівнювання та подальшого вирівнювання характеристики світлодіода може бути досягнута швидкість модуляції 40 Мбіт/с та 80 Мбіт/с з попередньо вирівняною on-off-маніпуляцією передачі (ООК) без використання та з використанням оптичного блакитного фільтра, і 100 Мбіт/с при подальшому вирівнюванні on-off-маніпуляції (ООК) повідомляється в роботах [3], [4] та [5] відповідно.

Шляхом оптимізації електронної схеми, оптичний зв'язок зі швидкістю в 125 Мбіт/с при коефіцієнті помилок нижче  $2 \times 10^{-3}$  може бути досягнутий. Використання в приймачах замість PIN-діода фотодіодів з лавинним множенням (APD) може збільшити швидкість передачі до 230 Мбіт/с [6].

Іншим підходом до збільшення швидкості передачі даних є використання передових форматів модуляції. Ортогональне частотне розділення каналів (OFDM) може бути використане для покращення спектральної ефективності. Реалізація бітів та методів енергетичного навантаження піднесучих (subcarriers) сигналів ортогонального частотного

розділення каналів підвищує швидкість до 231 Мбіт/с (з використанням PIN-діодів) та до 513 Мбіт/с (з використанням лавинних фотодіодів (APD)) як це було показано в роботі [7]. Також у наступних роботах було продемонстровано швидкість передачі даних 803 Мбіт/с із застосуванням кольорових світлодіодів, які дозволяють використовувати спектральне ущільнення (WDM) для передачі даних різних каналів різними кольорами, що випромінюють такі світлодіоди. Крім використання спектрального ущільнення, може бути застосовано паралельну передачу даних із залученням декількох світлодіодів. Це також дозволяє збільшити швидкість передачі даних у видимому діапазоні.

*Проблеми захисту інформації в локальних оптичних мережах.*

Як було зазначено вище, основним недоліком Wi-Fi технології можна вважати використання радіоканалу. Це зумовлює можливість перехоплення інформації. Крім того, у робочому діапазоні технології працює велика кількість інших пристроїв, що помітно погіршує електромагнітну сумісність. Перехід безпроводних технологій в оптичний діапазон значно полегшує вирішення цих питань, оскільки проблеми з завадами більше не мають місця, а за межі глухих стін оптичне випромінювання не поширюється. Залишаються лише проблеми з витоком світлового сигналу через вікна, якщо вони виходять назовні. У цьому випадку для формування локальних мереж необхідно використати спеціальні світлодіоди, з робочою довжиною хвилі, яка розташована за межами діапазону видимого світла ( $\lambda \sim 0,38\text{--}0,75$  мкм) та відповідно за межами смуги пропускання віконного скла. Такими світлодіодами можуть бути, наприклад, діоди, що випромінюють у довгохвильовій (ближній) частині ультрафіолетового діапазону з довжиною хвилі близько  $\lambda \sim 0,3\text{--}0,35$  мкм. Віконне скло в цьому випадку має досить високу захисну дію (великі втрати) щодо ультрафіолетового випромінювання. Для подальшого підвищення цієї дії можна використовувати скло з нанесенням додаткового покриття, яким може бути, наприклад, плівка двоокису германію ( $\text{GeO}_2$ ), діапазон прозорості якої лежить в межах 0,4–16 мкм [8]. Тобто включає в себе діапазон видимого світла та виключає ультрафіолетовий. Аналогічні властивості притаманні також і плівці двоокису олова  $\text{SnO}_2$ . Замість нанесення покриття домішки цих матеріалів можна вносити у склад звичайного скла у процесі його виготовлення.

Отже, можна забезпечити практично повний захист інформації від перехоплення її за рахунок витоку електромагнітного випромінювання за межі приміщення.

Крім того, у разі використання для передавання інформації світлодіодів, призначених для функціонування на певній довжині хвилі, додатковою перевагою є те, що їм не властиві ті обмеження у швидкості передавання, які притаманні для світлодіодів освітлення.

*Формування діаграми спрямованості джерела світлового сигналу в умовах приміщення.*

Для формування безпроводної оптичної мережі в межах приміщення з випадковим розміщенням термінального обладнання необхідно сформувавши діаграму спрямованості з рівномірним кутовим розподіленням потужності випромінювання або наближену до неї. Зокрема, становить інтерес дослідження кутових селективних властивостей циліндричних оптичних елементів з метою використання їх у системах оптичного зв'язку.

У роботі [9] були розглянуті дисперсійні характеристики індикатриси розсіяння циліндричних оптичних елементів із величиною показника заломлення такого, що не перевищує 2,25. При цьому є багато оптичних матеріалів з показниками заломлення, які перевищують це значення. Так, наприклад, значення показника заломлення матеріалу  $\text{ZnTe}$  в інфрачервоному діапазоні становить 5,3 [8]. Крім того, успіхи в розвитку нанотехнологій дозволяють створювати (синтезувати) так звані гетеросредини. Гетерогенні середовища складаються з матриці – діелектрика або напівпровідника з металевими, діелектричними, напівпровідниковими, ферромагнітними і ферроелектричними наночастками, розміри яких набагато менше довжини хвилі падаючого електромагнітного випромінювання. Використовуючи різні матеріали для наночасток можна змінювати показник заломлення гетерогенного середовища у широких межах і в заданому діапазоні

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

довжин хвиль. Таким чином, становлять інтерес особливості оптичних характеристик кутових селективних елементів із значенням показника заломлення, що перевищує показник заломлення типових оптичних матеріалів [8]. Індикатриса розсіяння для оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 2,5$  наведена на рис. 2 [10].

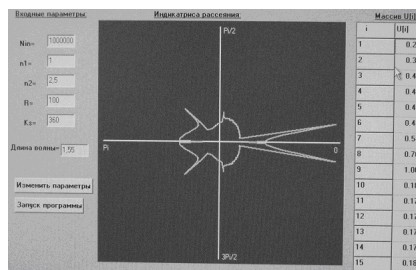


Рис. 2. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 2,5$

Індикатриса розсіяння являє собою кутове розподілення інтенсивності розсіяного світла. Вид індикатриса залежить від показника заломлення оптичного елемента. Так, при підвищенні значення показника заломлення до 2,8 обидва піки в правій частині (рис. 2) об'єднуються в один (рис. 3).

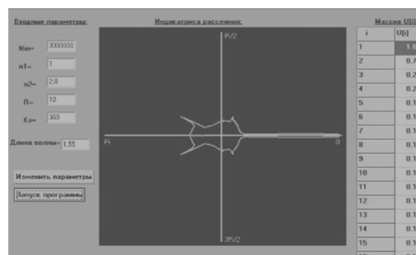


Рис. 3. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 2,8$

При подальшому збільшенні показника відбувається зміна характеру трансформації індикатриса розсіяння. При цьому зростання показника заломлення не супроводжується кутовим переміщенням піків у межах від 0 до  $\pi$  рад, як це було при менших значеннях  $n_2$  [9]. При збільшенні показника заломлення до значення  $n_2 = 3,8$  відбувається перерозподіл інтенсивності піків у протилежному напрямі (рис. 4). І це робить неможливим використання оптичних елементів як спектрально-селективних пристроїв у цьому діапазоні значень показників заломлення.

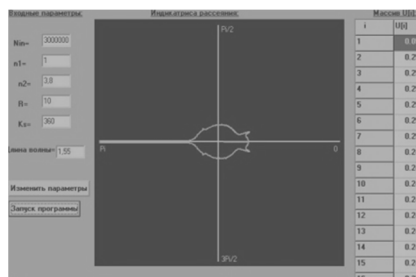


Рис. 4. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 3,8$

Подальше зростання показника заломлення до 5,0 також приводить до перерозподілу енергії піків у зворотному напрямі (рис. 5). Проте при цьому відносна величина піків менше в порівнянні із середнім рівнем інтенсивності розсіяння.

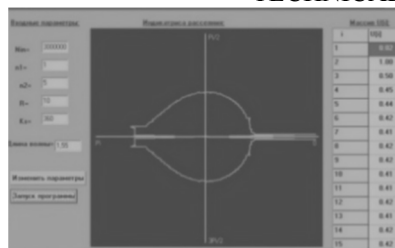


Рис. 5. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 5,0$

Збільшення показника заломлення до значень 5,6–6,5 приводить до такого перерозподілу інтенсивності розсіяного випромінювання, що піки зникають, а сама індикатриса має вигляд, представлений на рис. 6 ( $n_2 = 6,5$ ). При цьому відносна інтенсивність розсіяного сигналу змінюється в кутових межах досить незначно. І лише у вузьких межах  $\pm 1^\circ$  в напрямі падіння світлового пучка і в межах  $\pm 1^\circ$  у зворотному напрямку вона зменшується до 0,07 і 0,02 відповідно.

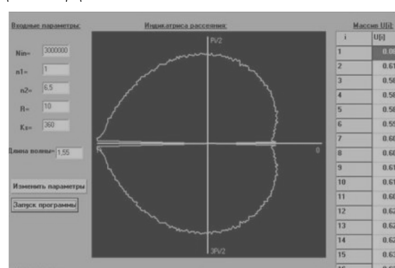


Рис. 6. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 6,5$

Таким чином, циліндричний оптичний елемент при великих значеннях показника заломлення ( $\geq 5,6$ ) з хорошим ступенем рівномірності й за відсутності піків функціонує в режимі квазірівномірного розсіяння світла. Подальше підвищення показника заломлення підтверджує цей результат. Практичне використання елементів із практично рівномірними індикатрисами, на нашу думку, є доцільним для локальних систем оптичного зв'язку на основі світлодіоду з багатьма об'єктами, розташованими в різних напрямках. При цьому ці елементи можуть бути застосовані як для передавальних, так і для приймальних пристроїв. Аналогом застосування подібних елементів у радіотехніці є використання антен з круговою діаграмою спрямованості.

**Висновки відповідно до статті.** Як показали результати досліджень, побудова оптичних систем безпроводного зв'язку з використанням оптичних технологій має певні переваги перед безпроводними системами, що використовують радіотехнології. Серед цих переваг слід відзначити відсутність завад від сусідніх систем та побутових пристроїв і практично повну захищеність від перехоплення інформації. З цією метою в роботі для унеможливлення витoku світлового сигналу через вікна в роботі запропоновано використання світлодіодів, що функціонують в ультрафіолетовому діапазоні.

У роботі також запропоновано новий принцип формування індикатриса випромінювання джерела інформаційного сигналу, що забезпечує практично рівномірне кутове розподілення випромінювання в межах приміщення з випадковим розміщенням термінального обладнання. Це формування відбувається за рахунок застосування циліндричного оптичного елемента. При збільшенні величини показника його заломлення до  $n = 5,6$  і вище оптичний елемент починає функціонувати в режимі кутового розсіювання світла з досить хорошим ступенем рівномірності. Отже, у цьому режимі такі елементи можуть бути використані для багатоточкових систем локального оптичного зв'язку в передавальних і приймальних пристроях.

**Список використаних джерел**

1. *Digital Signal Processing for Light Emitting Diode Based Visible Light Communication* / C. W. Chow, C. H. Yeh, Y. Liu, and Y. F. Liu // *IEEE Photonics society newsletter*. – 2012. – Vol. 26, № 5. – Pp. 9–13.
2. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks (2011). Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light*, IEEE Std 802.15.7-2011, pp. 1–309. DOI: 10.1109/IEEESTD.2011.6016195.
3. *High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization* / H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh // *IEEE Photon. Technol. Lett.* – 2008. – Vol. 20. – Pp. 1243–1245. DOI:10.1109/LPT.2008.926030.
4. H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh (2008). 80 Mbit/s visible light communications using pre-equalized white LED. In Proc. *34th European Conference on Optical Communication in Proc. European Conference on Optical Communication*, Paper P.6.09. DOI: 10.1109/ECOC.2008.4729532.
5. H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh (2009). 100-Mb/s NRZ visible light communications using a post-equalized white LED // *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, pp. 1063–1065. DOI: 10.1109/LPT.2009.2022413.
6. J. Vucic, C. Kottke, S. Nerreter, K. Habel, A. Buttner, K.-D. Langer, and J. W. Walewski (2010). 230 Mbit/s via a wireless visible-light link based on OOK modulation of phosphorescent white LEDs. in Proc. *Optical Fiber Communication Conference*, Paper OThH3.
7. *513 Mbit/s visible light communications link based on DMT modulation of a white LED* / J. Vucic, C. Kottke, S. Nerreter, K.-D. Langer, and J. W. Walewski // *J. Lightwave Technol.* – 2010. – Vol. 28. – Pp. 3512–3518. DOI: 10.1109/JLT.2010.2089602.
8. *Справочник технолога-оптика : справочник* / И. Я. Бубис, В. А. Вейденбах, И. И. Духопел и др. ; под общ. ред. С. М. Кузнецова. – Л. : Машиностроение, 1983. – 414 с.
9. *Manko V. A. Optical spectral-selective elements, using effect of the light scattering* / Manko V. A., Manko A. A. // *Laser and Fiber-Optical Networks Modeling [“LFNM’2010”]*: 10<sup>th</sup> international conf., 12-14 September 2010, Proceedings. – Sevastopol, Crimea, 2010. – Pp. 170–171. DOI: 10.1109/LFNM.2010.5624208.
10. *Манько А. А. Особенности характеристик оптических спектрально-селективных элементов с повышенным показателем преломления* / А. А. Манько // *Вісник Харківського національного університету імені В. І. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка»*. – 2011. – № 983, вип. 19. – С. 67–71.

**References**

1. Chow, C. W., Yeh, C. H., Liu, Y. & Liu, Y. F. (2012). Digital Signal Processing for Light Emitting Diode Based Visible Light Communication. *IEEE Photonics society newsletter*, 26 (5), 9–13.
2. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks (2011). Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, *IEEE Std 802.15.7-2011*, 1–309. DOI: 10.1109/IEEESTD.2011.6016195.
3. Le-Minh, H., O'Brien, D., Faulkner, G., Zeng, L., Lee, K., Jung, D. & Oh, Y., (2008). High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 20, 1243–1245. DOI:10.1109/LPT.2008.926030.
4. Le-Minh H., O'Brien D., Faulkner G., L. Zeng, K. Lee, D. Jung, & Y. Oh (2008). 80 Mbit/s visible light communications using pre-equalized white LED. In Proc. *34th European Conference on Optical Communication in Proc. European Conference on Optical Communication*, Paper P.6.09. DOI: 10.1109/ECOC.2008.4729532.
5. Le-Minh, H., O'Brien, D., Faulkner, G., Zeng, L., Lee, K., Jung, D. and Oh, Y. (2009). 100-Mb/s NRZ visible light communications using a post-equalized white LED. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 21, 1063–1065. DOI: 10.1109/LPT.2009.2022413.
6. Vucic, J., Kottke, C., Nerreter, K., Habel, A., Buttner, K.-D., Langer & Walewski, J. W. (2010). 230 Mbit/s via a wireless visible-light link based on OOK modulation of phosphorescent white LEDs. In Proc. *Optical Fiber Communication Conference*, Paper OThH3.
7. Vucic, J., Kottke, C., Nerreter, S., Langer, K.-D. & Walewski, J. W. (2010). 513 Mbit/s visible light communications link based on DMT modulation of a white LED. *J. Lightwave Technol.*, 28, 3512–3518. DOI: 10.1109/JLT.2010.2089602.

8. Bubis, I. Ia., Veidenbakh, V. A., Dukhopel, I. I., Kuznetsov S. M. (Ed.) (1983). *Spravochnik tekhnologa-optika [Reference book of the technologist-optician]*. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].

9. Manko, V. A., Manko, A. A. (2010). Optical spectral-selective elements, using effect of the light scattering. *Proceedings 10th International Conf. "Laser and Fiber-Optical Networks Modeling "LFNM'2010"* (12-14 September 2010) (pp. 170-171). Sevastopol, Crimea (Ukraine). DOI: 10.1109/LFNM.2010.5624208.

10. Manko, A. A. (2010). Osobennosti kharakteristik opticheskikh spektralno-selektivnykh elementov s povyshennym pokazatelem prelomleniia [Features of the characteristics of optical spectral-selective elements with increased index of refraction]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Y. Karazina. Seriya «Radiofizyka ta elektronika» – Bulletin of the Kharkiv National University named after VI Karazin Series «Radiophysics and Electronics», 983 (19), 67–71 [in Russian].*

UDC 621.372.544

*Nataliia Kunakh, Liudmila Kharlai, Oleksii Konovalov,  
Kostiantyn Nikiforenko, Yuliia Sotnichenko, Yurii Matiushychev*

### FEATURES OF WIRELESS SUBSCRIBER ACCESS USING OPTICAL TECHNOLOGIES

**Urgency of the research.** *Wi-Fi technology is used to build wireless Wi-Fi networks. Disadvantages of Wi-Fi technology are the use of radio channels, interference, low security and security of data and the Wi-Fi networks themselves. Therefore, there is a need for modification of wireless access.*

**Target setting.** *Eliminating shortcomings will provide customer with high-reliability and high-speed communication. Modification of wireless access is proposed.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *The latest publications from experience in the use of optical technologies in local networks were considered.*

**Allocation of unresolved parts of a common problem.** *Solution of problems of wireless access using optical technologies.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Setting the goals and objectives of the study. Improvement of parameters and characteristics of local optical access networks, in particular, increase of the level of information security.*

**The statement of basic materials.** *A comparative analysis of two systems of wireless user access has been carried out. It has been shown that the wireless access system using optical technologies has several advantages. Among them, one can note the absence of interference from adjacent networks and virtually complete protection against interception of information. The work proposes the use of ultraviolet light emitting diodes to ensure that there is no leakage of light signals through the window openings. For the construction of multipoint systems of local optical communication with random location of subscribers, it has been proposed to use optical cylindrical elements with a high refractive index.*

**Conclusions.** *The construction of optical systems for wireless communications using optical technologies has several advantages over wireless systems using radio technology.*

**Keywords:** *LED; optical wireless networks; cylindrical optical element; scattering of light; refractive index; scattering indicatrix.*

*Fig.: 6. References: 10.*

УДК 621.372.544

*Наталья Кунах, Людмила Харлай, Алексей Коновалов,  
Константин Никифорова, Юлия Сотниченко, Юрий Матюшичев*

### ОСОБЕННОСТИ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Актуальность темы исследования.** *Технология Wi-Fi используется для построения беспроводных локальных сетей Wi-Fi. Недостатками Wi-Fi технологии является использование радиоканала, интерференция, низкая безопасность и защищенность данных и самих сетей Wi-Fi. Поэтому существует потребность в модификации беспроводного доступа.*

**Постановка проблемы.** *Устранение недостатков позволит обеспечить пользователей высоконадежной и скоростной связью. Предлагается модификация беспроводного доступа.*

**Анализ последних исследований и публикаций.** *Были рассмотрены последние публикации из опыта использования в локальных сетях оптических технологий.*

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** *Решение проблем беспроводного доступа с использованием оптических технологий.*

**Постановка задачи.** *Совершенствование параметров и характеристик локальных оптических сетей доступа, в частности повышение уровня информационной защищенности.*

**Изложение основного материала.** *В работе проведен сравнительный анализ двух систем беспроводного абонентского доступа. Показано, что система беспроводного доступа с использованием оптических технологий имеет ряд преимуществ, среди которых можно отметить отсутствие помех от соседних сетей и практически*



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

полная защищенность от перехвата информации. В работе предложено применение светодиодов ультрафиолетового диапазона для обеспечения отсутствия утечки светового сигнала через оконные проемы. Для построения многоточечных систем локальной оптической связи со случайным расположением абонентов предложено использование оптических цилиндрических элементов с высоким показателем преломления.

**Выводы в соответствии со статьей.** Построение оптических систем беспроводной связи с использованием оптических технологий имеет ряд преимуществ перед беспроводными системами, использующими радиотехнологии.

**Ключевые слова:** светодиод; оптические беспроводные сети; цилиндрический оптический элемент; рассеяние света; показатель преломления; индикатриса рассеяния.

Рис.: 6. Библ.: 10.

**Кунах Наталія Ігорівна** – доктор технічних наук, професор, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Кунах Наталья Игоревна** – доктор технических наук, профессор, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Kunakh Nataliia** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** ignaku@ukr.net

**Харлай Людмила Олексіївна** – здобувач, викладач-методист вищої категорії, голова комісії інформаційних мереж зв'язку, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Харлай Людмила Алексеевна** – соискатель, преподаватель-методист высшей категории, председатель комиссии информационных сетей связи, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Kharlai Liudmila** – Competitor, The teacher-methodologist of the highest category, the head of the information communication networks department, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** Lharlay@i.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7633-933X>

**Коновалов Олексій Юрійович** – кандидат технічних наук, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Коновалов Алексей Юрьевич** – кандидат технических наук, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Konovalov Oleksii** – PhD in Technical Sciences, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** googl.wes@gmail.com

**Нікіфоренко Костянтин Борисович** – кандидат технічних наук, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Никифоренко Константин Борисович** – кандидат технических наук, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Nikiforenko Kostiantyn** – PhD in Technical Sciences, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** kbnkfrnk@gmail.com

**Сотніченко Юлія Олексіївна** – викладач вищої категорії, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Сотниченко Юлия Алексеевна** – преподаватель высшей категории, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Sotnichenko Yuliia** – lecturer high category, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** ikkkz@gmail.com

**Матюшичев Юрій Артемович** – викладач вищої категорії, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Матюшичев Юрий Артемович** – преподаватель высшей категории, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Matishychev Yurii** – lecturer, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** prawn@yandex.com