

**ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПРОВІДНОГО КАНАЛУ СТАНДАРТУ 802.11n
ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ 5 ГГц**

В даній роботі, проведено дослідження ефективної швидкості передачі інформації для безпроводного каналу 802.11n у неліцензованому діапазоні 5 ГГц із врахуванням архітектурних перешкод, та особливостей напівдуплексного режиму роботи. Для цього було виконано експериментальні дослідження та аналіз залежностей ефективної швидкості передачі інформації від потужності сигналу на вході приймача для типового приміщення із архітектурними перешкодами.

На основі запропонованої структури мережі та проведених експериментальних досліджень, було встановлено, що ефективна швидкість передачі інформації має лінійну характеристику спадання, архітектурні перешкоди мають найбільший вплив на високопродуктивний режим роботи для каналу шириною 40 МГц. А також, для каналів діапазону 5 ГГц характерна висока стабільність ефективної швидкості передачі при значній зміні рівня потужності сигналу на вході приймача.

Ключові слова: безпроводний канал, ефективна швидкість передачі інформації, потужність сигналу на вході приймача, стандарт 802.11 Wi-Fi.

D. MIKHALEVSKIY, L. ROHOZINA, A. KRUTIN
Vinnytsia national technical university

**INVESTIGATION OF THE WIRELESS CHANNEL OF 802.11n
STANDARD FOR THE FREQUENCY RANGE OF 5 GHz**

In this paper, was investigation of the effective speed of transferring information for the wireless channel of 802.11n standard in a non-licensed range of 5 GHz was conducted in this work, taking into account architectural obstacles and features of the half-duplex regime of work. For this purpose experimental studies and the analysis of dependencies of the effective speed of transferring information on the signal power at the entry of the receiver for a typical building with architectural obstacles were conducted.

Based on the proposed network structure and conducted experimental investigations it was concluded that the effective speed of transferring information has a linear decline characteristic and architectural obstacles have the strongest influence on the high-performance regime of work for the channel of 40 MHz width. High stability of the effective speed of transferring information during the significant changes of the signal power at the entry of the receiver is typical for channels of 5 GHz range as well.

Keywords: wireless channel, effective speed of transferring information, signal power at the entry of the receiver, 802.11n Wi-Fi standard.

Вступ

Однією із основних задач сучасних засобів для передачі трафіку, з використанням безпроводних каналів, є забезпечення високої пропускної здатності для окремо взятого абонента. По мірі росту об'ємів інформації відбувається постійне вдосконалення апаратних і програмних засобів, що в більшості випадків надає можливість використання більш високочастотних діапазонів. Так як, високошвидкісні канали передачі інформації для стандартів 802.11x, створюються за рахунок розширення спектра, то при збільшенні частоти робочого діапазону можна використовувати їх більшу кількість. Перехід до більш високих частот зумовлюють ряд факторів: значний ріст кількості та якості інформації яка передається, стрімкий ріст кількості об'єктів інтернету речей, перехід на нові формати мультимедійного трафіку.

Як відомо [1], основними показниками якості безпроводних мереж сімейства стандартів 802.11x є ефективна швидкість передачі та потужність сигналу на вході приймача, які є взаємопов'язаними. Але, як правило мають місце фактори, що впливають на ці показники. До основних із них можна віднести [2]: зміна параметрів безпроводного каналу під час передачі в часі; завади які є самостійними джерелами випромінювання; архітектурні перешкоди. Це є умовами для пошуку оптимальних рішень при проектуванні та розгортанні безпроводних мереж.

Це підтверджують дослідження каналів передачі у частотному діапазоні 2,4 ГГц [3], на якому зараз працюють більшість пристроїв сімейства стандартів 802.11x. Він є досить завантаженими, що приводить до погіршення характеристик безпроводних каналів та, в свою чергу, значно знижує пропускну здатність. Але, більшість сучасних пристроїв підтримують неліцензований частотний діапазон 5 ГГц [4]. В нього є свої переваги та недоліки.

Тому, для встановлення реальних характеристик мережі, необхідно проводити експериментальні дослідження каналів передачі на можливість встановлення впливу різних факторів середовища передачі на основні показники якості.

Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є дослідження ефективної швидкості передачі інформації (V) у діапазоні 5 ГГц на базі безпроводного каналу 802.11n із врахуванням архітектурних перешкод, та врахування особливостей напівдуплексного режиму роботи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз спектру для не ліцензованого частотного діапазону 5 ГГц та визначити особливості формування частотних каналів;
- розробити структуру мережі та методику експериментальних досліджень;
- виконати експериментальні дослідження та аналіз залежностей ефективної швидкості передачі інформації від потужності сигналу на вході приймача для типового приміщення із архітектурними перешкодами.

Теоретичні відомості

Весь неліцензований діапазон 5 ГГц поділений на три піддіапазони, для кожного з яких відведена смуга у 100 МГц [4]. Такі частотні піддіапазони отримали назву неліцензійної національної інформаційної інфраструктури (Unlicensed National Information Infrastructure), що не потребують отримання ліцензій. Для сімейства стандартів 802.11x використовуються наступні смуги: нижній UNII - 1 від 5,150 ГГц до 5,250 ГГц; середній UNII - 2 від 5,250 ГГц до 5,350 ГГц; середній розширений UNII – 2 extended від 5,470 ГГц до 5,725 ГГц; верхній UNII - 3 від 5,725 ГГц до 5,825 ГГц. Відповідно до [4], частотний розподіл цих каналів можна представити як на рис. 1.

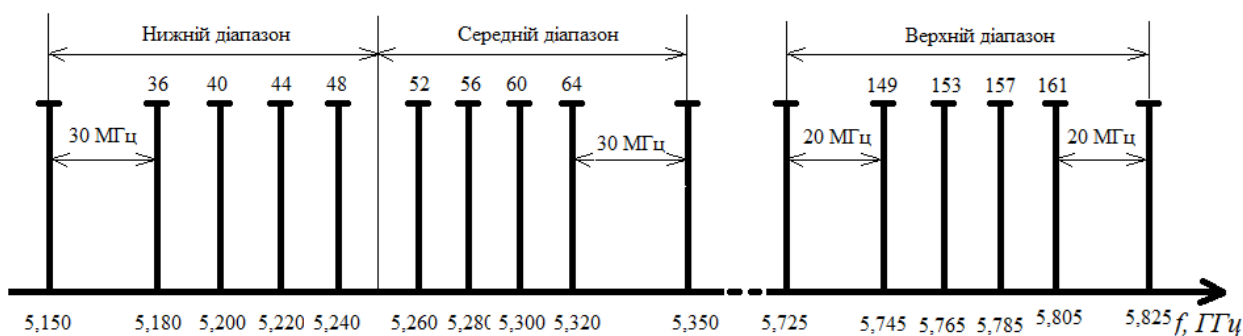


Рис. 1. Розподіл каналів у частотному діапазоні 5 ГГц

Відстань між носійними частотних каналів становить 20 МГц, це означає, що при використанні каналів із смугою $\Delta f = 20$ МГц можна отримати до 23-х каналів, які не будуть перетинатись головними та бічними пелюстками спектру та впливати один на одного, а при застосуванні $\Delta f = 40$ МГц, можна отримати до 12 каналів. Крім того, в даному діапазоні можна формувати канали зі смугою $\Delta f = 80$ МГц та $\Delta f = 160$ МГц, які використовує стандарт 802.11ac. Єдиним недоліком цього є законодавство країн, що не завжди дозволяє вільно використовувати неліцензований діапазон повністю без дозволу [5]. Наприклад, середній частотний діапазон від 5,260 ГГц до 5,725 ГГц використовується для радіолокаційних систем, тому використання таких каналів потребує наявності функції динамічного вибору частоти, яка надає пріоритети для точки доступу та клієнтів. В такому випадку точка доступу постійно сканує середовище передачі та при наявності випромінювання радарів повинна автоматично змінити частотний канал на вільний. Також, у майбутньому для частотного діапазону 5 ГГц можуть появлятися системи передачі інших стандартів, такі як LTE-U – мережі четвертого покоління у неліцензованому частотному діапазоні, які в свою чергу для безпроводних каналів 802.11 будуть являтися як додаткові шуми або системи із боротьбою за частотний ресурс.

В роботі [4] було встановлено особливості застосування частотних діапазонів для стандарту 802.11. На основі цього можна стверджувати, що для отримання високих швидкостей передачі необхідно використовувати частотний діапазон 5 ГГц. Крім того, якщо враховувати зону Френеля, то дальність передачі при прямій видимості буде більша. Але, з точки зору теорії поширення електромагнітних хвиль, наявність перешкод та відсутність прямої видимості буде приводити до значних затухань та спотворень сигналу, що для діапазону 2,4 ГГц є менш критичним, оскільки довжина хвилі є у два рази меншою. Таким чином передавач буде мати більш вузький діапазон випромінювання сигналу при використанні однакового рівня потужності. Крім того він залежить від випадкових факторів середовища передачі, умов поширення хвиль та коефіцієнту поглинання матеріалів перешкод.

Отже, при проектуванні безпроводних мереж є доцільним використання обох частотних діапазонів, але із врахуванням особливостей місцевості: при створенні високошвидкісних каналів для доступу до сучасних видів інфокомунікаційних послуг необхідно використовувати канали діапазону 5 ГГц, при умові відсутності архітектурних перешкод для прямої видимості; при наявності великої кількості оптимальним є застосування каналів діапазону 2,4 ГГц (наприклад об'єднання багатьох пристроїв із концепції інтернету речей).

Із-за наявності недоліків у діапазоні 5 ГГц існують методи їх зменшення. Одним із таких методів можна виділити: метод підвищення пропускної здатності за рахунок збільшення щільності розташування випромінюючих пристроїв для діапазону 5 ГГц [6]. Він дає можливість виділити залежність щільності

реальної пропускної здатності від теоретичної швидкості передачі інформації на MAC рівні:

$$\Omega(\lambda, W) = \frac{E}{A} \left[\sum_{i \in K} \sum_{i \in \Phi^k} w^k \min(\xi_1 \log_2(1 + \xi_2 \cdot S/N), \eta_{\max}) \right],$$

де S/N – відношення сигнал до шуму та інтерференційних завад; ξ – коефіцієнти ефективності використання смуги пропускання; k – номер частотного каналу; A і E – густина розміщення точок доступу та абонентів; Φ – кількість активних точок доступу; η_{\max} – коефіцієнт максимальної спектральної ефективності; λ – щільність точок доступу; K – кількість каналів, які не перекриваються; W – ширина частотного діапазону; $w^k = W/K$ – ширина смуги каналу.

Як видно із наведеного виразу, для підвищення пропускної здатності каналу необхідно виконувати ущільнення розташування точок доступу, для мінімізації впливу інтерференційних завад та архітектурних перешкод.

Методика досліджень

Методика досліджень полягає в наступному. Було створено мережу стандарту 802.11n на основі маршрутизатора із точкою доступу (ТД). Передбачається, що архітектурні перешкоди будуть вносити найбільший вплив на ефективну пропускну здатність каналу, тому було встановлено місце вносимої перешкоди (П) на відстані одного метра від ТД. Таким чином, структура мережі для досліджень, наведена на рис.2.

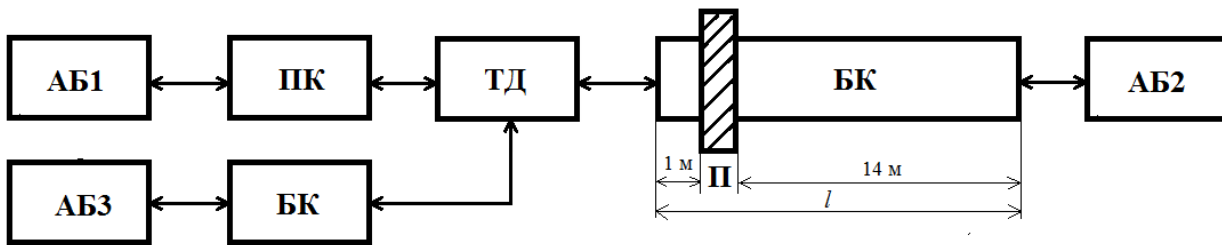


Рис. 2. Схема досліджуваної мережі

В цій мережі існують: один абонент (АБ1) із проводимим каналом (ПК) до ТД, та два абоненти (АБ2, АБ3) із безпроводними каналами (БК). Для досліджень використовувались безпроводні канали типу АБ1-АБ2, АБ3-АБ2 оскільки, по каналу Wi-Fi інформація може передаватись тільки в напівдуплекному режимі. Всі дослідження виконувались для каналів шириною 20 МГц та 40 МГц. В якості основного досліджуваного параметра використовується ефективна швидкість передачі інформації V , яка має залежність від потужності прийнятого сигналу P та відстані між передавачем та приймачем l [3]. Дослідження виконувались у приміщенні де довжина безпроводного каналу могла змінюватись до 15 м.

Результати досліджень

На основі запропонованої на рис. 2 структури безпроводного каналу стандарту 802.11n, було проведено експериментальні дослідження визначених основних параметрів для типових умов середовища передачі. В якості архітектурних перешкод було обрано типові конструкції із дерева, як перший тип, та цегли як другий тип. Для систематизації результатів досліджень було ведено наступні види позначення для графіків: 1 – крива, що показує пряму видимість між передавачем та приймачем; 2 – крива, при якій в середовищі передачі присутня перешкода першого типу; 3 – крива, при якій в середовищі передачі присутня перешкода другого типу.

В першу чергу розглянемо канал передачі інформації АБ1-АБ2 – використання одного безпроводного каналу для точки доступу (див. рис. 2). Результати досліджень наведено на рис.3.

Як видно із рис. 3, при прямій видимості, спостерігається робота безпроводного каналу у високопродуктивному режимі, як для ширини каналу 20 МГц так і для 40 МГц. На даному етапі спостерігається майже теоретичне збільшення пропускної здатності, за рахунок використання захисного інтервалу у каналі 40 МГц. На відміну від діапазону 2,4 ГГц, тут присутній незначний вплив перешкоди першого типу для каналу 40 МГц, та більш значного – другого типу. Крім того, для каналу 20 МГц присутні більш виражені максимуми та мінімуми характеристик.

В дослідженнях на рис. 2 можна виділити одну особливість: зменшення потужності вхідного сигналу на 20 дБ має незначний вплив на ефективну швидкість передачі для каналу шириною 20 МГц та у 1,5..2 рази зменшує для каналу 40 МГц.

Далі розглянемо напівдуплекний режим на базі найбільш поширеного випадку – наявності двох абонентів у мережі (два безпроводних канали). Результати досліджень для АБ3-АБ2 наведено на рис. 4.

Такий випадок можна вважати схожим із присутністю інтерференційної завади, де в середовищі

існує боротьба за частотний ресурс. Це обумовлює збільшення імовірності виникнення помилок при передачі пакетів та поділ пропускної здатності між абонентами. Тут спостерігається рівномірність характеристик по всій довжині каналу. Перешкода другого типу має вплив на параметр V для каналу шириною 40 МГц. Аналогічна рівномірність спостерігається із зменшенням потужності сигналу аж до 30 дБ.

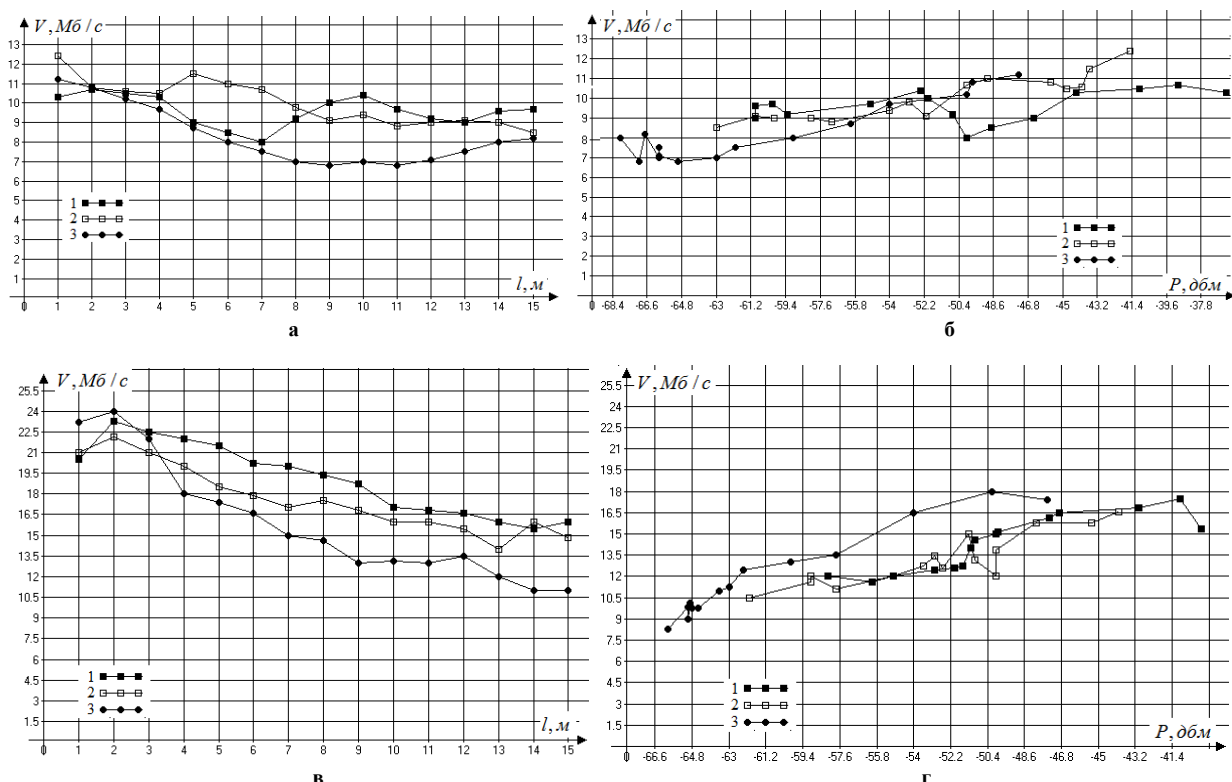


Рис. 3. Залежність ефективної швидкості передачі для каналу АБ1-АБ2 від: відстані між передавачем та приймачем для каналу 20 МГц (а); потужності прийнятого сигналу для каналу 20 МГц (б); відстані між передавачем та приймачем для каналу 40 МГц (в); потужності прийнятого сигналу для каналу 40 МГц (г);

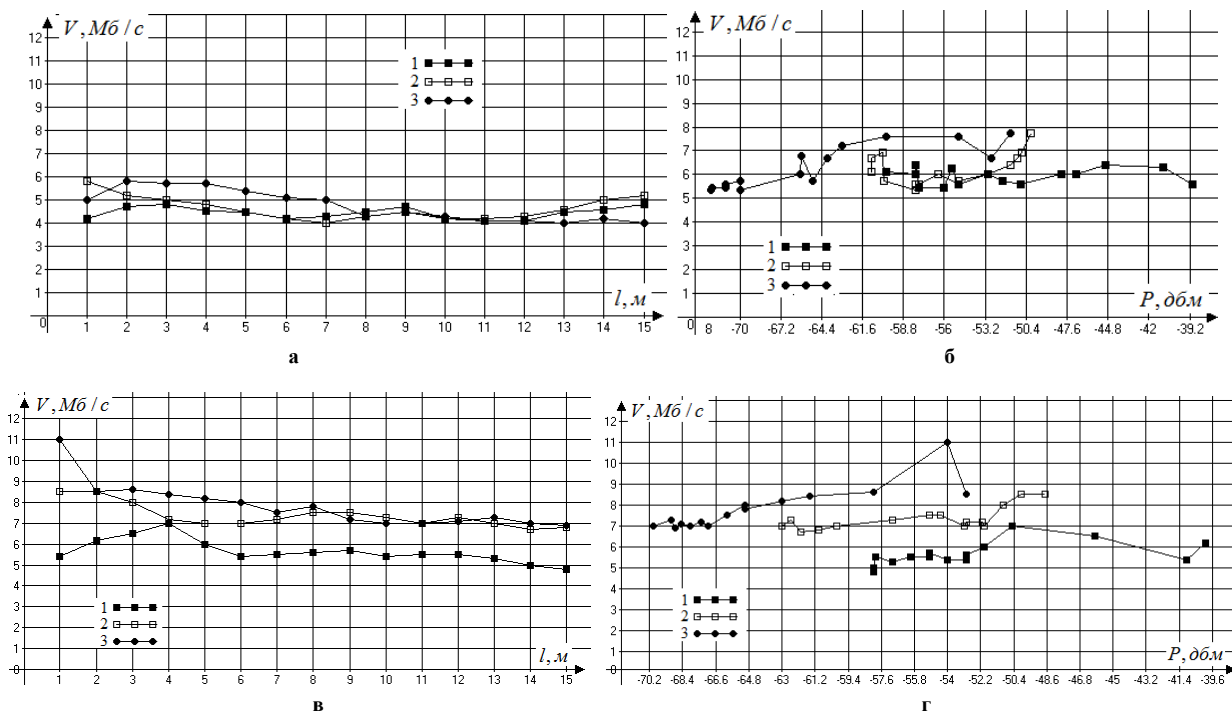


Рис. 4. Залежність ефективної швидкості передачі для каналу АБ3-АБ2 від: відстані між передавачем та приймачем для каналу 20 МГц (а); потужності прийнятого сигналу для каналу 20 МГц (б); відстані між передавачем та приймачем для каналу 40 МГц (в); потужності прийнятого сигналу для каналу 40 МГц (г);

Висновки

Отже, в даній роботі було проведено дослідження передачі інформації по безпроводному каналі

стандарту 802.11n в умовах прямої видимості та наявності архітектурних перешкод, для не ліцензованого частотного діапазону 5 ГГц.

На основі запропонованої структури мережі та проведених експериментальних досліджень, було встановлено наступні особливості:

- ефективна швидкість передачі інформації, при використанні одиничного безпроводного каналу, має лінійну характеристику спадання, що має характерні максимуми та мінімуми;
- архітектурні перешкоди мають найбільший вплив на високопродуктивний режим роботи, особливо для каналу шириною 40 МГц із збільшенням густини матеріалу;
- для каналів частотного діапазону 5 ГГц характерна висока стабільність ефективної швидкості передачі при значній зміні рівня потужності сигналу на вході приймача.

Література

1. Michalevskiy D. V. The research of wi-fi channel for multimedia traffic / D. V. Michalevskiy, V. E. Mondlyak, R. O. Krasota // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №2. – С. 173 – 177.
2. Михалевський Д. В. Оцінка параметрів безпроводного каналу передачі інформації стандарту 802.11 Wi-Fi / Д. В. Михалевський. – Східно - Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/9 (72). – С. 22-25.
3. Михалевський Д. В. Дослідження передачі інформації в умовах суміщеного та сусіднього інтерференційного каналів для стандарту 802.11n / Д.В. Михалевський, В.В. Номировська, О.М. Постернак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 155 – 159.
4. Михалевський Д. В. Аналіз частотного спектру діапазону 5 ГГц для сімейства стандартів 802.11x / Д. В. Михалевський // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «The Top Actual Researches in Modern Science, Vol. I. – Dubai.: Rost Publishing, 2015. С. 9-12.
5. 802.11ac. In-Depth. [Електронний ресурс] / Aruba Networks, – Режим доступу: http://www.arubanetworks.com/pdf/technology/whitepapers/WP_80211acInDepth.pdf. – Назва з екрана.
6. Kang, D. H. Attainable user throughput by dense Wi-Fi deployment at 5 GHz / D. H. Kang, K. W. Sung, J. Zander // Proc of IEEE PIMRC, 2013. – Pp. 3418 – 3422.

References

1. Mikhalevskiy D. V. The research of wi-fi channel for multimedia traffic / D. V. Mikhalevskiy, V. E. Mondlyak, R. O. Krasota // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2014. – №2. – Pp. 173 – 177.
2. Mykhalevskiy D. V. Otsinka parametrov bezprovodnogo kanalu peredachi informatsiyi standartu 802.11 Wi-Fi / D. V. Mykhalevskiy. – Skhidno - Yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy. – 2014. – № 6/9 (72). – S. 22-25.
3. Mykhalevskiy D. V. Doslidzhennya peredachi informatsiyi v umovakh sumishchenoho ta susidn'oho interferentsiynoho kanaliv dlya standartu 802.11n / D. V. Mykhalevskiy, V. V. Nomyrovs'ka, O. M. Posternak // Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – №2. – Pp. 155 – 159.
4. Mykhalevskiy D. V. Analiz chastotnoho spektru diapazonu 5 GHz dlya simeystva standartiv 802.11x / D. V. Mykhalevskiy // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «The Top Actual Researches in Modern Science, Vol. I. – Dubai.: Rost Publishing, 2015. S. 9-12.
5. 802.11ac. In-Depth. [Elektronnyy resurs] / Aruba Networks, – Rezhym dostupu: http://www.arubanetworks.com/pdf/technology/whitepapers/WP_80211acInDepth.pdf. – Nazva z ekrana.
6. Kang, D. H. Attainable user throughput by dense Wi-Fi deployment at 5 GHz / D. H. Kang, K. W. Sung, J. Zander // Proc of IEEE PIMRC, 2013. – Pp. 3418 – 3422.

Рецензія/Peer review : 2.6.2016 р. Надрукована/Printed :28.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією