

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

У даній роботі проведено аналіз основних характеристик безпроводних мереж та факторів, що впливають на них. Також визначено критерії ефективності безпроводних мереж, для чого був проведений аналіз понять ефективності системи та критеріїв ефективності.

Ключові слова: безпроводні технології, локальні мережі, ефективність, критерії, фактори впливу.

D. MICHALEVSKIY, E. NAUHOLNYKH
Vinnytsia national technical university

ANALYSIS OF EFFICIENCY INFLUENCE FACTORS OF WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS

Abstract. In this paper, the analysis of the wireless networks main characteristics and their influences was conducted. Also efficiency criteria of wireless networks were defined, for which purpose analysis of system's efficiency and efficiency criteria conceptions was conducted.

At the present stage of development of telecommunication systems the technologies of wireless information communication are growing more and more popular. The wireless communication systems have a number of advantages, such as space limitations of nodes and absence of expensive transmission channel, but at the same time these systems have poor speed comparing to wired systems. The given trend rises the topical issue of improving the efficiency of wireless networks.

Resolving the issue of the efficiency of wireless LAN technology provides first of all the effectiveness analysis of this technology. Determination of the main characteristics of wireless networks, their advantages and disadvantages, is the first step towards the network efficiency improvement. In the course of this analysis it is possible to identify weaknesses of this technology and choose ways to address them.

Key words: wireless technologies, LAN, effectiveness, criteria, influence factors.

Вступ

На сучасному етапі розвитку телекомунікаційних систем все більшого поширення набувають безпроводні технології передачі інформації. Вони мають ряд переваг, таких як відсутність просторового обмеження вузлів мережі та відсутність потреби у дорогих каналах передачі, але поступаються у швидкостях проводним системам. Враховуючи дану тенденцію, на даний час актуальним є питання підвищення ефективності безпроводних мереж.

Розгляд питання підвищення ефективності технології безпроводних локальних мереж передбачає насамперед аналіз ефективності роботи даної технології. Визначення основних характеристик безпроводних мереж, їх переваг та недоліків є першим етапом роботи по підвищенню їх ефективності. У ході проведення даного аналізу можливо визначити слабкі сторони даної технології та обрати шляхи їх усунення.

Найпоширенішими технологіями безпроводного доступу на даний час є сімейства стандартів 802.11x та 802.16x. Мережі на основі даних технологій зазвичай використовуються для передачі трафіку великого об'єму, тому до них встановлюються високі вимоги. Останні специфікації даних стандартів здатні забезпечити надання високоякісних інфокомунікаційних та мультимедійних послуг. Але мережі на основі даних стандартів зазвичай схильні до впливу різноманітних факторів, що знижують їх ефективність. Тому актуальним завданням є аналіз таких факторів та визначення шляхів зниження впливу даних факторів на ефективність безпроводних мереж.

Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є огляд факторів, що впливають на ефективність технологій безпроводних локальних мереж та визначення критеріїв ефективності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

16. виконати аналіз понять ефективності системи та критеріїв ефективності;

17. виконати аналіз характеристик сучасних безпроводних технологій;

18. виконати аналіз факторів, що впливають на ефективність безпроводних систем;

19. визначити критерії ефективності стандарту 802.11 для розглянутих характеристик з урахуванням проаналізованих факторів.

Основна частина

Згідно з [1], ефективність системи визначається співставленням результатів її функціонування та затрат всіх видів ресурсів, необхідних для її створення та розвитку. Критерій ефективності системи визначається за допомогою системи показників, кожен з яких описує одну із сторін даної системи. В залежності від математичного апарату критерій може бути виражений у вигляді цільової функції або порядкової міри, яка встановлює впорядковану послідовність поєднань показників. За принципом багатокритеріальності якість мережі можна визначити за допомогою вектору [2]:

$$G = F \times (G_1, G_2, \dots, G_N), \quad (1)$$

де G_1, G_2, \dots, G_N - показники якості, які охоплюють різноманітні аспекти роботи мережі і, згідно з принципом багатовимірності, також можуть бути представлені у вигляді векторів.

Згідно із [3], для системи з багатьма параметрами інтегральний критерій ефективності буде мати вигляд:

$$K = \sum_{i=1}^N (a_i \times k_i), \quad (2)$$

де k_i – значення критерію ефективності по певному і-му параметру; a_i – ваговий коефіцієнт впливу даного параметру на ефективність системи.

Вагові коефіцієнти беруться позитивними для максимізуємих та негативними для мінімізуємих часткових критеріїв. Для вибору величин коефіцієнтів використовується два підходи: в якості коефіцієнтів використовують дробові числа, сума яких для кожної системи рівна одиниці або використовуються цілочисельні коефіцієнти, при чому для найменш важливого критерію обирається одиничний коефіцієнт, а для інших беруть коефіцієнти, кратні одиниці. В обох випадках більш важливому критерію відповідає більший коефіцієнт.

В загальному випадку ефективність довільної системи визначається відношенням суми показників якості створеної продукції до суми показників витрат на її виготовлення [3].

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{\sum_{j=1}^m p_j}, \quad (3)$$

де k_i – значення і-го показника якості, p_j – значення j-го показника витрат.

В безпроводних системах основними показниками якості можна вважати пропускну здатність C , для забезпечення якої необхідна певна смуга частот Δf та радіус дії сигналу D , для забезпечення якого необхідні певні енергетичні затрати, виражені потужністю системи P_Σ .

Радіус дії сигналу, який визначається з виразу [4]:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL-22}{20} - \log(f_c)\right)}, \quad (4)$$

де FSL – втрати сигналу у відкритому просторі, дБ; f_c – частота носійної, МГц.

Втрати у вільному просторі визначаються з сумарної потужності системи:

$$FSL = P_\Sigma - 10, \quad (5)$$

де P_Σ – сумарна потужність системи, яка визначається за формулою:

$$P_\Sigma = P_t + G_t + P_{\min} + L_t + L_r, \quad (6)$$

де P_t – потужність передавача; G_t – коефіцієнт підсилення передавальної антени; P_{\min} – чутливість приймача; L_t та L_r – втрати сигналу на передавачі та на приймачі відповідно.

Пропускна здатність системи можна визначити за допомогою теореми Шенона-Хартлі [5]:

$$C = \Delta f \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (7)$$

де S/N – відношення сигнал/шум каналу.

У безпроводних телекомунікаційних мережах з метою підвищення пропускну здатності використовуються технології частотного та часового мультиплексування каналів. У стандарті 802.11 для досягнення даної мети використовуються технології OFDM та QAM. Відповідно пропускну здатність безпроводного каналу стандарту 802.11 можна виразити наступним чином:

$$C_{wifi} = C \cdot N_{QAM} \cdot N_{OFDM}, \quad (8)$$

де N_{QAM} – розрядність QAM, N_{OFDM} – кількість каналів для OFDM.

Враховуючи той фактор, що сучасні безпроводні локальні мережі все більше використовуються для надання мультимедійних послуг високої якості, основними факторами при встановленні вимог до пропускну здатності даних мереж будуть параметри мультимедійного трафіку, який буде передаватись мережами даного типу.

Під мультимедійним трафіком розуміється цифровий потік даних, який містить різні види повідомлень, які сприймаються органами чуття людини (зазвичай звукова та/або відеоінформація) [4]. У загальному випадку мультимедійний трафік деякої послуги представляється у вигляді випадкового процесу $B(t)$, який описується сімейством функції розподілу $F_{B(t)}(x)$: [5]

$$F_{B(t)}(x) = \text{Ber} \{B(t)\phi x\}, \quad (9)$$

Для параметризації мультимедійного трафіку, як правило, використовується ряд характеристик, які визначені рекомендаціями ITU-T. До основних параметрів мультимедійного трафіку відносять [5]:

Максимальне значення трафіку \hat{V} – це максимальне число блоків інформації, яке відповідний сервіс генерує в одиницю часу:

$$\hat{v} = \max_t B(t), \quad (10)$$

Пікове значення трафіку. Трафік відповідного сервісу, який перевищує встановлений для нього піковий поріг \hat{v} .

Середнє значення трафіку \bar{v} – це середнє число блоків інформації, яке відповідний сервіс генерує в одиницю часу:

$$\bar{v} = \frac{1}{T^{(s)}} \int_0^{T^{(s)}} B(t) dt, \quad (11)$$

де $T^{(s)}$ - тривалість сеансу зв'язку.

Мінімальне значення трафіку \underline{v} – це мінімальне число блоків інформації, яке відповідний сервіс генерує в одиницю часу:

$$\underline{v} = \min_t B(t), \quad (12)$$

Коефіцієнт пачковості трафіку K . Визначається як відношення між максимальним і середнім трафіком відповідного сервісу. Коефіцієнт пачковості обчислюється за формулою:

$$K = \frac{\hat{v}}{\bar{v}}, \quad (13)$$

Для забезпечення ефективного надання мультимедійних послуг безпроводна мережа повинна відповідати наступній вимозі:

$$C \geq \max_i (\hat{v}_i), \quad (14)$$

де C – пропускна здатність мережі; \hat{v}_i – максимальне значення трафіку i -ї мультимедійної послуги.

У таблиці 1 наведені типові значення основних параметрів мультимедійного трафіку [5].

Таблиця 1

Типові значення основних параметрів мультимедійного трафіку

Тип трафіку	\hat{v} , кбіт/с	\bar{v} , кбіт/с	\underline{v} , кбіт/с	$T^{(s)}$, с
IP-телефонія	64	16	4	300
Цифрове радіомовлення	9232	192	128	1200
IP-телебачення	61440	25600	6144	7200
Відеоконференції	1024	820	512	1800
Відеоспостереження	820	512	256	86400

Тобто відповідно до виразу 11, ефективною буде вважатись система безпроводної передачі, яка відповідає вимозі $C \geq 60 \frac{\text{Мбіт}}{\text{с}}$

Ефективність системи проявляється під час її функціонування та залежить від властивостей самої системи та від факторів зовнішнього впливу. Вибір критерію ефективності передбачає виконання наступних завдань: визначення множини характеристик системи, яка виконує операцію та визначення показників результатів операції. Для визначення критеріїв ефективності безпроводних мереж розглянемо характеристики сучасних стандартів безпроводного зв'язку 802.11x. Значення основних характеристик для мереж стандартів 802.11n та 802.11ac наведені у таблиці 2 [6].

Таблиця 2

Характеристики безпроводних мереж.

Характеристика	802.11n	802.11ac
Радіус зони покриття сигналу, м	70 – 250	70 – 250
Потужність передавача, мВт	250	250
Діапазон частот, ГГц	2,4	2,4; 5,1
Максимальна швидкість передачі, Мбіт/с	600	7000(5,1 ГГц)
Чутливість приймача, Вт	$1,0 \times 10^{-10}$	$1,6 \times 10^{-5}$
Відсоток втрачених пакетів	0,0005	0,0005

Вищенаведені значення прописані у специфікаціях даних стандартів та є найвищими межами для даних характеристик. Але на практиці досягнути даних значень досить складно, тому критерії ефективності для даних характеристик мають бути близькими до їх реальних значень. Аналіз залежності радіусу дії сигналу від встановленої максимальної швидкості передачі даних у стандарті 802.11b, який проводився у публікації [7], показав, що, у зв'язку з тим, що різні швидкості передачі використовуються для пакетів даних та для контрольних фреймів, у мережі можуть одночасно існувати різні радіуси зон покриття для передачі даних та для передачі контрольних сигналів. Також радіуси зон покриття на практиці значно менші, ніж

заявлені у специфікаціях, та часто змінюються, навіть протягом одного сеансу зв'язку. Як зазначається в роботі, дані особливості є важливими з тої точки зору, що при використанні максимальної пропускної спроможності є значна відмінність у радіусах зон покриття, які використовуються для передачі даних та для обміну контрольними пакетами. Наприклад якщо станція передає пакет зі швидкістю 11 Мбіт/с іншій станції у межах її зони покриття (приблизно 30 м), резервується контрольний канал з радіусом приблизно 90 м. У таблиці 3 представлені значення радіусів зон покриття для різних пропускних спроможностей для передачі даних та для контрольних пакетів.

Таблиця 3

Значення радіусів зон покриття для різних пропускних спроможностей для передачі даних та для контрольних пакетів.

	11 Мбіт/с	5,5 Мбіт/с	2 Мбіт/с	1 Мбіт/с
Передача даних	30 м	70 м	90-100 м	110-130 м
Сигнали контролю			90 м	120 м

Дана оцінка є актуальною також для стандарту 802.11n для швидкостей 150, 72, 54 та 11 Мбіт/с відповідно. Враховуючи той фактор, що виявлення мережі абонентським пристроєм при використанні архітектури точки доступу відбувається за допомогою контрольних сигналів, радіус зони покриття, у якому абоненти зможуть підключатися до точки доступу, становить 90-120 м. Але ефективна передача великого об'єму даних можлива лише в межах 30-70 м.

Також необхідно врахувати, що дана оцінка проводилась без урахування перешкод, які здатні значно знизити ефективний радіус зони передачі безпроводної мережі. У роботі [8] проводились експериментальні дослідження залежності параметрів безпроводного каналу стандарту 802.11n від відстані при прямій видимості та через стіну. Отримані результати показали, що наявність перешкоди на шляху проходження сигналу знижує рівень сигналу в середньому в 2 рази. Відповідно ефективний радіус зони покриття сигналу буде знижуватись також в 2 рази.

При розробці стандарту 802.11 передбачалось, що даний стандарт буде використовуватись для надання послуг доступу до мережі Інтернет зі швидкістю до 2 Мбіт/с. Але з розвитком сучасних телекомунікаційних технологій збільшуються потреби користувачів у наданні інфокомунікаційних послуг високої якості з використанням безпроводних технологій, що обумовлює підвищення вимог до швидкості передачі даних. Специфікація стандарту 802.11n дозволяє досягнути швидкості передачі даних по одній антені до 150 Мбіт/с, а остання специфікація 802.11ac дозволяє досягнути швидкості передачі до 1 Гбіт/с на частоті 5 ГГц по одній антені. А використання технології багатоантенної передачі дозволяє збільшити швидкість передачі пропорційно до кількості антен. Використання даних технологій дозволяє надавати користувачам інфокомунікаційні послуги високої якості такі як послуги передачі даних через мережу Інтернет, відео за запитом, відеоконференції та IP-телефонія.

Але експериментальні дослідження ряду вчених показують, що реальні значення швидкості передачі даних по безпроводним мережам також є нижчими від заявлених у специфікаціях, що спричинено впливом на трафік різноманітних факторів. Одним із таких факторів є характеристики середовища поширення безпроводного сигналу. У роботі № 5 були проведені експериментальні дослідження залежності швидкості передачі від відстані при різних типах середовища поширення у стандарті 802.11n. З отриманих результатів видно, що при прямій видимості швидкість передачі на відстані 20 метрів складає приблизно 60 % від заявленої максимальної швидкості передачі тоді як при перешкоді вже на відстані 10 м швидкість зменшується у 2 рази, а на відстані 20 м швидкість складає 20 % від заявленої пропускної здатності.

Ще одним фактором, який негативно впливає на ефективність передачі трафіку по безпроводній мережі є дія інтерференційних завад, яка була досліджена у роботі [9]. З отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

20. Швидкість передачі інформації для двох рухомих абонентів, для однієї точки доступу, менша в середньому на 80% по відношенню до одного.

21. При дії інтерференційних завад для каналу зі смугою 20 МГц, спостерігалось підвищення швидкості передачі на 1-2 Мб/с ніж в умовах без завад. Особливо це спостерігалось при знаходженні абонента на відстані 12-16м від точки доступу. Це можливо спричинене ефектом багатопроменевого поширення хвиль у приміщенні, що потребує окремих досліджень.

22. Для каналу із смугою 40 МГц спостерігалась відносна стабільність параметрів каналу передачі із незначним зменшенням до 1 Мб/с при дії інтерференційних завад.

Крім того у роботі [10] було встановлено, що для стандарту 802.11n Wi-Fi, для досягнення максимальної ефективної швидкості передачі, можливе використання кадрів верхнього рівня не більше ніж 4096 байт, як для каналу зі смугою каналу 20 МГц, так і зі смугою 40 МГц.

При дії в середовищі передачі інтерференційних завад, для каналу зі смугою 40 МГц, падіння швидкості передачі для кадрів довжиною більшою за 4096 байт, становить не більше двох раз, на відміну від смуги 20 МГц, де падіння в деяких випадках сягало більше ніж у чотири рази.

Також у публікації [11] було проведено дослідження впливу ефекту доплерівського зміщення частоти на основний критерій якості безпроводної мережі стандарту 802.11n. Для систем передачі Wi-Fi які

працюють у не ліцензованих діапазонах 2.4 ГГц та 5 ГГц, збільшення кількості помилок на приймальній стороні збільшується при досягненні абонентами швидкості від 0,5 м/с і вище.

На основі запропонованої структури мережі та проведених експериментальних досліджень. Було встановлено:

23. при використанні технології МІМО, сумарна потужність випромінювання передавальних антен становить не більше 100 мВт, крім того, чим більша кількість використовуваних антен, тим вища стабільність параметрів каналу при передачі інформації;

24. будь-яке переміщення прийомо-передавального обладнання стандарту 802.11 у просторі вносить суттєвий вплив на ефективну швидкість передачі інформації у каналі.

25. при швидкостях руху 1 м/с спостерігається значне зменшення критерію ефективності, а при двох і більше – падіння досягає у 1,5 – 2 рази.

Висновки

У роботі було проаналізовано ряд факторів, які негативно впливають на ефективність безпроводних локальних мереж. Запропоновано критерії ефективності для безпроводних мереж.

Встановлено, що найбільш суттєве зниження основних показників якості передачі даних у безпроводній мережі відбувається при знаходженні перешкоди на шляху проходження сигналу.

Також встановлено, що певне зниження ефективності відбувається при дії інтерференційних завад. Особливо це виражено під час одночасного руху абонентів по відношенню один до одного.

Була встановлена залежність між розміром кадру верхнього рівня та швидкістю передачі у безпроводній мережі. Додатково встановлено, що при дії інтерференційних завад для кадрів великого розміру (більше 4096 байт), для каналу зі смугою частот 40 МГц, ефективність безпроводної системи є вищою ніж для каналу зі смугою 20 МГц.

Також була встановлена залежність кількості бітових помилок від швидкості руху абонентів. При швидкостях від 1 м/с і вище відбувається суттєве зниження ефективності передачі даних по безпроводній мережі.

Література

- ГОСТ 24.702-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Эффективность автоматизированных систем управления. Основные положения [Текст]. - – Введ. 1987–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 5 с.
- В. В. Приходько. Математичні моделі якості цифрових телекомунікаційних мереж. Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Розділ II. Теоретична фізика. 16, 2012 – с. 79 – 85.
- О.В. Тужилкин, Н.С. Ульянин. Методы оценки эффективности работы беспроводной сенсорной сети. Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел I. Системы и сети. №5, 2012, – С. 28 – 32.
- И. Б. Ядрышников. Расчет зоны действия беспроводного моста, реализованного по технологии Wi-Fi. Омский научный вестник. Информационные технологии. № 4 (73), 2004. – С. 144 – 146.
- Г. П. Катунин, Г. В. Мамчев, В. Н. Попантопуло, В. П. Шувалов. Телекоммуникационные системы и сети. Том 2. Радиосвязь, радиовещание, телевидение. Учебное пособие.-Горячая Линия – Телеком 2004.- 672с.
- Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 3. - Мультисервисные сети / В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев: под ред. профессора В. П. Шувалова. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 592 с.: ил.
- Quoc-Thinh Nguyen-Vuong, Nazim Agoulmine, El Hadi Cherkaoui, Laura Toni. Multi-Criteria Optimization of Access Selection to Improve the Quality of Experience in Heterogeneous Wireless Access Networks, Vehicular Technology, IEEE Transactions on (Volume:62 , Issue: 4), December, 20, 2012.
- G. Anastasi, E. Borgia, M. Conti, E. Gregori. IEEE 802.11 Ad Hoc Networks: Performance Measurements. Dept. of Information Engineering University of Pisa Via Diotallevi 2 - 56122 Pisa, Italy.
- Д.В. Михалевський, Є.С. Наугольних, В.М. Мельник. Система передачі високоякісних звукових сигналів без втрат. ISSN 2219-9365 Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, № 3' 2013. – 4 с.
- Михалевський Д. В., Гузь М. Д., Красота Р. О. Передача трафіку у мережах wi-fi при дії інтерференційних завад. SWorld – 16-26 December 2014. – 6 с.
- Михалевський Д. В., Гузь М. Д., Красота Р. О. Дослідження впливу довжини пакетів верхніх рівнів на ефективну швидкість передачі для стандарту wi-fi. ISSN 2219-9365 Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах № 4' 2014. С. 189 – 192.
- Михалевський Д. В., Гузь М. Д. Дослідження впливу руху абонентів на ефективну швидкість передачі інформації у мережах стандарту wi-fi. ISSN 2219-9365 Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах № 1' 2015. С. 195 – 199.

References

1. GOST 24.702-85. Edinaya sistema standartov avtomatizirovannykh sistem upravleniya. Effektivnost avtomatizirovannykh sistem upravleniya. Osnovnye polozheniya [Tekst]. – Vved. 1987–01–01. – M.: Izd-vo standartov, 1986. – 5 s.
2. V. V. Prihodko. Matematichni modeli yakosti cifrovix telekomunikacijnix mrezh. Naukovij visnik Volinskogo nacionalnogo universitetu imeni Lesi Ukraïni. Rozdil II. Teoretichna fizika. 16, 2012 – s. 79 – 85.
3. O.V. Tuzhilkin, N.S. Ulyanin. Metody ocenki effektivnosti raboty besprovodnoj sensornoj seti. Izvestiya YuFU. Texnicheskie nauki. Razdel I. Sistemy i seti. №5, 2012, – S. 28 – 32.
4. B. Yadryshnikov. Raschet zony dejstviya besprovodnogo mosta, realizovannogo po technologii Wi-Fi. Omskij nauchnyj vestnik. Informacionnye technologii. № 4 (73), 2004. – S. 144 – 146.
5. G. P. Katunin, G. V. Mamchev, V. N. Popantonopulo, V. P. Shuvalov. Telekommunikatsionnye sistemy i seti. Tom 2. Radiosvyaz, radioveschaniye, televidenie. Uchebnoe posobie.-Goryachaya Liniya – Telekom 2004.- 672s.
6. Telekommunikatsionnye sistemy i seti: Uchebnoe posobie. V 3 tomakh. Tom 3. - Multiservisnye seti / V. V. Velichko, E. A. Subbotin, V. P. Shuvalov, A. F. Yaroslavcev: pod red. professora V. P. Shuvalova. - M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2005. - 592 s.: il.
7. Quoc-Thinh Nguyen-Vuong, Nazim Agoulmine, El Hadi Cherkaoui, Laura Toni. Multi-Criteria Optimization of Access Selection to Improve the Quality of Experience in Heterogeneous Wireless Access Networks, Vehicular Technology, IEEE Transactions on (Volume:62 , Issue: 4), December, 20, 2012.
8. G. Anastasi, E. Borgia, M. Conti, E. Gregori. IEEE 802.11 Ad Hoc Networks: Performance Measurements. Dept. of Information Engineering University of Pisa Via Diotisalvi 2 - 56122 Pisa, Italy.
9. D. V. Michalevskiy, E.S. Nauholnykh, V.M. Melnik. Sistema peredachi visokoyakisnix zvukovix signaliv bez vtrata. ISSN 2219-9365 Vimiryuvalna ta obchisluyvalna tekhnika v texnologichnix procesax, № 3' 2013. – 4 s.
10. Michalevskiy D. V., Guz M. D., Krasota R. O. Peredacha trafiku u mrezhax wi-fi pri dii interferencijnix zavada. SWorld – 16-26 December 2014. – 6 s.
11. Michalevskiy D. V., Guz M. D., Krasota R. O. Doslidzhennya vplivu dozhzini paketiv verxnix rivniv na effektivnu shvidkist peredachi dlya standartu wi-fi. ISSN 2219-9365 Vimiryuvalna ta obchisluyvalna tekhnika v texnologichnix procesax № 4' 2014. S. 189 – 192.
12. Michalevskiy D. V., Guz M. D. Doslidzhennya vplivu ruxu abonentiv na effektivnu shvidkist peredachi informacii u mrezhax standartu wi-fi. ISSN 2219-9365 Vimiryuvalna ta obchisluyvalna tekhnika v texnologichnix procesax № 1' 2015. S. 195 – 199.

Рецензія/Peer review : 6.9.2016 р. Надрукована/Printed : 9.11.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 28.10.2016 р.**

Підп. до друку 22.11.2016 р. Умов.арк. 28,18 Автор.арк.(д.а.) 30,63
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № 337/11

Тиражування здійснено редакційно-видавничим центром
Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-633