

Дакова Л.В., к.т.н., Даков С.Ю., к.т.н.,
Блаженний Н.В., PhD, Галика К.В., Луцюк І.В.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ТУНЕЛЮВАННЯМ У МАГІСТРАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Dakova L.V., Dakov S.U., Blazhenyi B.V., Galyka K.V., Lutsiuk I.V. The method of assessing the efficiency of tunneling management in trunk networks. The article deals with the method of evaluating the effectiveness of tunneling management in trunk networks with a focus on improving efficiency and optimizing data transmission. The relevance of creating a tunneling management technique in the context of growing traffic volumes and expanding the functionality of IP/MPLS networks is substantiated. It is noted that traditional control methods may be ineffective in the given environment, and the use of specialized models of network construction is a key factor for optimal use of tunnel resources. The main requirements for the trunk network technology are high bandwidth, speed of information transfer and scalability. The current state of the market and the needs of users require access to integrated network services, and the organization of virtual private networks, the provision of intelligent services. The growing demand for additional services implemented on top of simple IP access requires the development of backbone network architectures with virtually unlimited scaling capabilities, increased traffic processing speed, and unprecedented flexibility in terms of the organization of additional services. The MPLS technology allows for network integration, due to which service providers will not only be able to save the means invested in asynchronous transmission equipment, but also get additional benefits from the compatible use of protocols. It is proposed to use a specialized model to determine and optimize tunnel resources aimed at maintaining a high level of service quality. It is shown that with an increase in the load with an unchanged number of nodes, the time the packet stays in the tunnel increases, since the load served by each node increases, and therefore the total time the packet stays in the tunnel.

Key words: network, tunneling, router, management, traffic, packet, switching

Дакова Л.В., Даков С.Ю., Блаженний Н.В., Галика К.В., Луцюк І.В. Методика оцінки ефективності управління тунелюванням у магістральних мережах. У статті розглядається методика оцінки ефективності управління тунелюванням у магістральних мережах з фокусом на підвищення ефективності та оптимізації передачі даних. Обґрунтовується актуальність створення методики управління тунелюванням в контексті зростання обсягів трафіку та розширення функціональності мереж IP/MPLS. Зазначається, що традиційні методи управління можуть бути неефективними у зумовленому швидким розвитком середовищі, а використання спеціалізованих моделей побудови мереж є ключовим чинником для оптимального використання тунельних ресурсів. Головними вимогами, що пред'являються до технології магістральної мережі є висока пропускна здатність, швидкість передачі інформації і масштабованість. Сучасний стан ринку і потреби користувачів, вимагають доступу до інтегрованих сервісів мереж, і організацію віртуальних приватних мереж, надання інтелектуальних послуг. Попит на додаткові послуги, що реалізуються поверх простого IP-доступу, що зростає, вимагає розробки архітектури магістральних мереж, що мають практично необмежені можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіку і безпрецедентну гнучкість з погляду організації додаткових сервісів. Технологія MPLS дає змогу інтегрувати мережі, за рахунок чого постачальники послуг зможуть не тільки зберегти засоби, інвестовані в устаткування асинхронної передачі, але і отримати додаткову вигоду із сумісного використання протоколів. Пропонується використання спеціалізованої моделі для визначення та оптимізації тунельних ресурсів, спрямованої на підтримку високого рівня якості обслуговування. Показано, що із збільшенням навантаження при незмінній кількості вузлів час перебування пакету в тунелі зростає, так як зростає навантаження, що обслуговується кожним вузлом, а отже, і сумарний час перебування пакета в тунелі.

Ключові слова: мережа, тунелювання, маршрутизатор, управління, трафік, пакет, комутація

Вступ

Тунелювання – це спосіб передачі корисної інформації через проміжну мережу. Такою інформацією можуть бути пакети іншого протоколу [1]. При інкапсуляції пакет не передається у згенерованому вузлом-відправником вигляді, а постачається додатковим заголовком, що

містить інформацію про маршрут, що дозволяє інкапсульованим пакетам проходити через проміжну мережу Internet. В кінці тунелю кадри деінкапсулюються та передаються одержувачу.

Головними вимогами, що пред'являються до технології магістральної мережі є висока пропускна здатність, швидкість передачі інформації і масштабованість [2,3]. Сучасний стан ринку і потреби користувачів, вимагають доступу до інтегрованих сервісів мереж, і організацію віртуальних приватних мереж, надання інтелектуальних послуг [4,5]. Попит на додаткові послуги, що реалізуються поверх простого IP-доступу, що зростає, вимагає розробки архітектури магістральних мереж, що мають практично необмежені можливості масштабування, підвищену швидкість обробки трафіка і безпрецедентну гнучкість з погляду організації додаткових сервісів [6].

Аналіз останніх досліджень. Питання щодо управління тунелюванням розглядалось багатьма вченими із моменту виникнення мережі. Дослідження ведуть такі видатні люди, як В.Б. Толубко [1], А.Ю. Ткачов, Л. Н. Беркман, Аулін В. В.[4]. Однак для створення гнучкої системи управління трафіком потрібно визначитися із завданнями, які вона має виконувати, та засобами, необхідними для її побудови. Для цього необхідне чітке розуміння мети та обізнаність у існуючих технологіях.

Метою роботи є вивчення та оцінка ефективності методів управління тунелюванням у магістральних мережах. Враховуючи аналіз результатів та наявні технологічні рішення в даній області, стаття спрямована на виявлення оптимальних підходів до конфігурації тунелів, їх контролю та підтримки для забезпечення стабільності та ефективності роботи магістральних мереж.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Multiprotocol Label Switching (MPLS) або багатопротокольна комутація за мітками – це механізм передачі даних, який імітує різні властивості мереж з комутацією каналів через мережі з комутацією пакетів. Така технологія MPLS дає змогу інтегрувати мережі [7], внаслідок чого постачальники послуг зможуть зберегти засоби та інвестувати в устаткування асинхронної передачі, а також отримати додатковий зиск із сумісного використання протоколів.

Приклад побудови MPLS мережі представлений на рис.1.

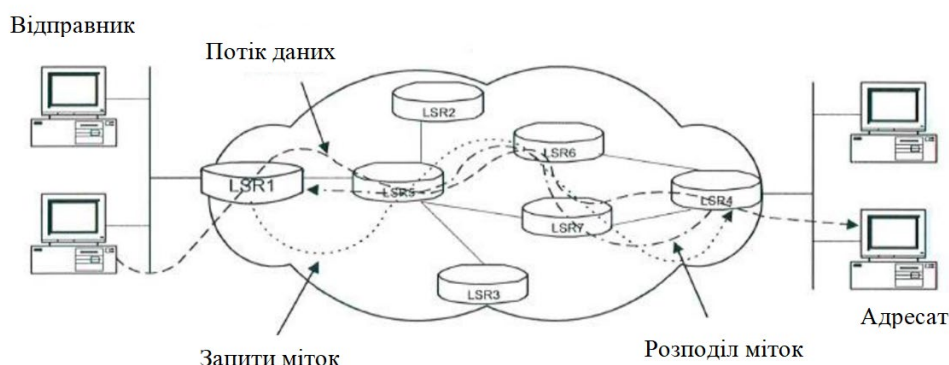


Рис.1. Приклад побудови MPLS мережі

Тунельні передачі інформації представлені на рис. 2. Маршрутизатори MPLS (а саме LER1, LER2, LER3 та LER4) використовують сучасний протокол BGP, а також створюють комутований за допомогою міток тракт LSP1 (між ними). Чотири LER використовують протокол LDP, який забезпечує отримання та зберігання міток від вихідного LER4 до вхідного LER1.

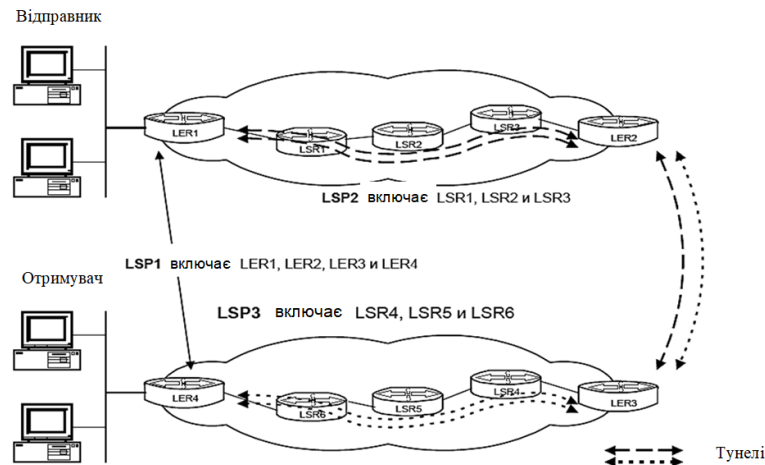


Рис. 2. Схема процесу тунелювання в MPLS

Для передачі від LER1 до LER2, мітки повинні пройти шлях через три транзитних маршрутизатори LSR. Між двома LER1 і LER2 створюється окремий тракт LSP2, який охоплює маршрутизатори LSR1, LSR2 і LSR3. Цей тракт представляє собою тунель між двома маршрутизаторами LER. В цьому тунелі мітки відрізняються від міток, які створили маршрутизатори LER для LSP1. Це твердження справедливо як для LER3, LER4, і для LSR, що знаходиться між ними. Тому з останнього сегмента створюється тракт LSP3. Досягнення цього результату забезпечується передачею пакета через два мережеві сегменти [8] з використанням концепції стеку міток. Пакет слідує через LSP1, LSP2 і LSP3 і переносить при цьому одночасно дві окремі мітки.

Кожний сегмент використовує наступні пари: для першого випадку - мітка для LSP1 та LSP2, для другого випадку - мітка для LSP1 та LSP3. При цьому коли пакет залишає першу мережу і поступає на прийом до маршрутизатора LER2, той видаляючи мітку для LSP2 одночасно замінює її на мітку для LSP3, при цьому замінюючи мітку LSP1 всередині пакету на мітку для наступного пересилання. В даному випадку LER4 видаляє обидві мітки перед надсиланням пакета адресату.

Водночас математичну модель ефекту тунелювання в MPLS [4, 5] доцільно представити мережею масового обслуговування з послідовними чергами (наприклад як на рис. 3).

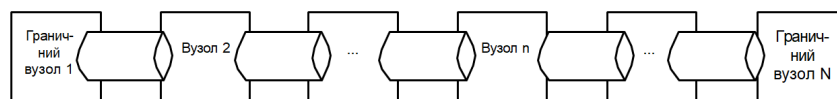


Рис. 3 Модель послідовних черг

При цьому параметрами, які оцінюються можуть виступати:

1. Середній час T_0 обслуговування без переривання (період зайнятості).
2. Середній час $T_{сер}$ перебування пакету в n -му вузлі.

Дані пакети об'єднуються в групу на виході вузла і являють собою пачку. Довжина такої пачки визначається числом пакетів. Припустимо, що на вхід вузла 1 надходить пуасонівський потік повідомлень з середнім часом обслуговування $1/\mu$ та інтенсивністю вхідного потоку заявок λ .

Якщо розглядати два повідомлення наступних один за одним у вузлі n ($n \geq 2$), інтервал часу залежить від часу між надходженням цих двох повідомлень та обслуговування на попередніх вузлах. Повідомлення, які згруповані на вузлі n ($n \geq 2$), залишаються згрупованими і на наступних вузлах $n+1$, $n+2$.

При тунелюванні існують два явища: зчеплення пачок, що виходять з першого вузла, і фрагментація пачок.

Перше явище зчеплення пачок відноситься з до будь-якого не першого вузла n ($n \neq 1$) і пов'язано з тим, перший пакет k -ї пачки доганяє на цьому вузлі останній пакет $(k-1)$ -ї пачки, і обидві пачки - k -а та $(k-1)$ -а зчіплюються відповідним чином (як показано на рис. 4а).

Друге явище фрагментації (як показано на рис. 4б) має місце тільки в другому вузлі і не настільки очевидно. Якщо обслуговується в першому вузлі пакет з номером j із пачки k , то в цей момент на перший вузол надходить пакет з номером $j+1$, при цьому час обслуговування його перевищує час обслуговування пакету j . На другому вузлі пакет j обслуговується, так як в цей момент немає черги і, як тільки він надходить на вузол 2, пакети $j+1$ та j обслуговуються одночасно на вузлах 1 і 2, відповідно. При цьому коли пакет j залишає вузол 2, пакет $j+1$ продовжує оброблятися на вузлі 1, так як його обслуговування значно довше.

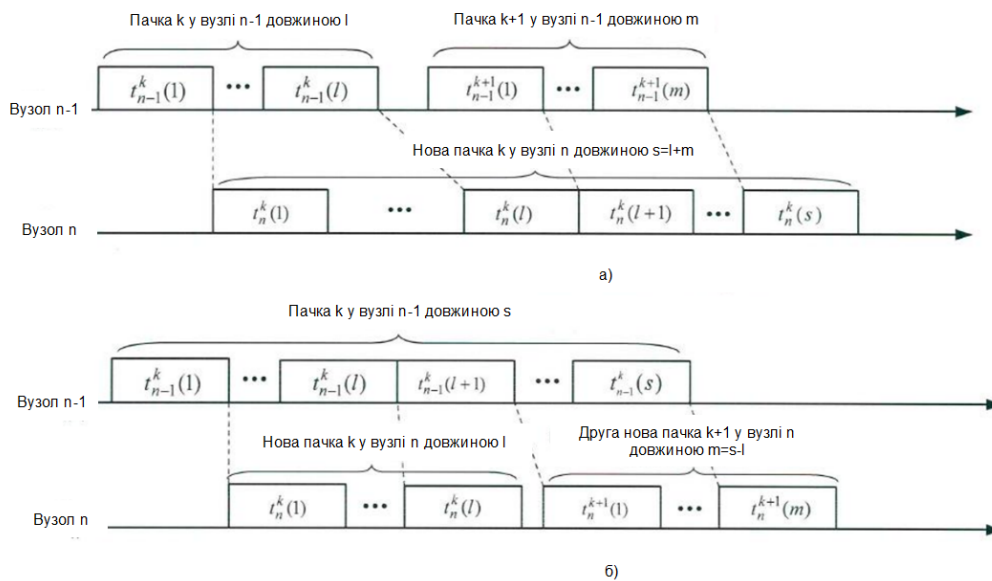


Рис. 4 Зчеплення пачок $k - 1$ і k в вузлі n (а) і фрагментація пачки k в вузлі n (б)

Припустимо, що на наступному вузлі немає черги в цей момент і пакет j обслуговується, як тільки він надходить на вузол 2, тому пакети $j + 1$ та j починають обслуговуватися одночасно на вузлах відповідно 1 і 2. Коли пакет j залишає вузол 2, пакет $j + 1$ усе ще обробляється на вузлі 1, так як його обслуговування довше.

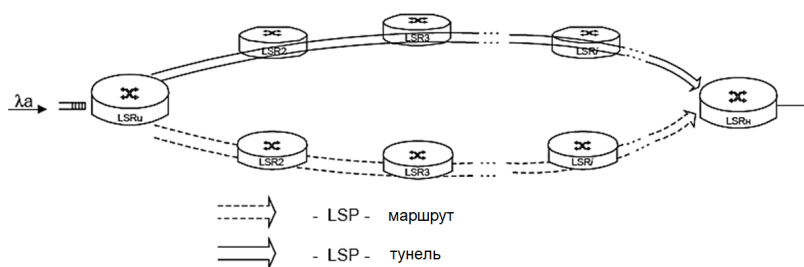
Математичний аналіз явищ ефекту тунелювання MPLS дозволяє застосувати формулу для часу перебування пакета в тунелі [2]. Нехай тунель складається з N вузлів:

$$V_1(N) = \ln \left[(N - 2)! \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right)^N \right] + N(1 + \gamma), \tag{1}$$

де γ – постійна Ейлера, вона становить $\gamma \cong 0,577$, $N > 2$; ρ – навантаження мережі.

Формула (1) оцінює доцільність організації тунелю в LSP-шляху для пар «вихідний вузол - вузол призначення» при заданій величині навантаженні мережі.

На рис. 5 представлений маршрут MPLS-мережі, яка складається з N вузлів і фізичних каналів передачі даних. Маршрут визначається місцем розташування відправника LSR_i відправник, LSR_n отримувач та класом обслуговування трафіку, який визначається допустимим часом передачі даних. Нехай λ - інтенсивність пуассонівського потоку запитів, а $1/\mu$ означає усереднений час обслуговування повідомлень у вузлі. Відповідно, $\rho = \lambda/\mu$ є навантаження при обслуговуванні вузлом LSP-маршруту. При цьому обслуговування навантаження на вузлах, які входять в даний маршрут, і буде основною роботою фрагмента мережі MPLS.

Рис. 5 Порівняльна оцінка величин $V_1(N)$ і $V_2(N)$

У контексті поставленого завдання пошуку стратегії прийняття рішення про організації тунелю для оцінки альтернативного варіанта сумарного часу $V_2(N)$ перебування пакета в використовуватимемо формулу Ерланга оцінки, що дозволить зробити порівняння з $V_1(N)$.

Як видно з рис. 5 де представлені обидва варіанти передачі повідомлень у випадку наявності або в відсутності LSP-тунелю. У першому випадку $V_1(N)$ – сумарний час перебування пакету в мережі, а во другому випадку $V_2(N)$ – час перебування того ж пакета в мережі.

Для дослідження ситуації відсутності LSP-тунелю вузол n доцільно описати за допомогою моделі $M/M/1/K$ зі швидкістю передачі μ пакетів в секунду. При цьому K – максимальне число пакетів, яке він може зберігати в своїй буферній пам'яті. В цій моделі пакети є тими самими, що і у випадку організації тунелю, а обмеження на розмір буфера вибрано за однакових умов варіанта наявності або відсутності тунелю. Тут інженерні відмінності між MPLS і традиційним тунелюванням полягають у відмінності моделі топології MPLS. Традиційні тунелі наскрізь проходять через мережу від однієї межі до іншої. У випадку MPLS тунелі створюються всередині мережі для управління трафіком тільки в частині мережі. Таким чином в LSP з M маршрутизаторів від вхідного LSR1 до вихідного LSRM можна створити LSP-тунель, наприклад, при $N < M$, від вхідного LSR5 до вихідного LSRN. В створюваному на короткий час LSP-тунелі MPLS початок бере всередині мережі, а не з користувальницького додатку на межі мережі. Це особливо важливо для практичного застосування моделі: користувачі будуть продовжувати застосовувати звичайні IP-пакети та адресацію у своїх додатках і навіть у локальних мережах. Однак в випадку підключення локальної мережі до глобальної мережі деякі IP-пакети користувачів (або пакети, що належать до інших протоколів) можуть прямувати через тунелі MPLS в цілях забезпечення їх привілейованого обслуговування.

Ефект, який отримується від організації тунелю, виражається різницею між $V_1(N)$ і $V_2(N)$. Наявність цього ефекту перевіряється починаючи з максимально можливого значення $N=M$, або з максимально довгого тунелю з кінця в кінець. Якщо при цьому досягається позитивний ефект, то приймається рішення про організацію тунелю. Якщо ні, то спроба пошуку цього ефекту повторюється для більш короткого шляху $N=M-1$.

Таким чином методику оцінки ефективності управління тунелюванням у мережі можна представити у вигляді покрокових процедур.

Крок 1. Зробимо припущення, що $N=M$.

Крок 2. Для $n = 1, 2, \dots, N$ визначимо величину розміру пачки K_n за виразом.

$$K_n \approx 1 + n \frac{\rho}{1-\rho}.$$

Крок 3. Визначимо час $V_2(N)$ перебування пакета в мережі MPLS. Припустимо, що мережа складається з N вузлів за наявності черги до вузла n довжиною K_n :

$$V_2(N) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{\mu_2} \frac{1 - (K_n + 1)\rho_2^{K_n} + K_n\rho_2^{K_n+1}}{(1 - \rho_2^{K_n})(1 - \rho)}$$

Крок 4. Визначимо час перебування пакету в тунелі $V_1(N)$ з n вузлів по формулі (1).

Крок 5. Порівняємо величини $V_1(N)$ і $V_2(N)$. За їх позитивної різниці організація тунелю між першим вузлом і вузлом n недоцільна. При цьому здійснюється перехід до кроку 6. У протилежному випадку приймається рішення щодо організації тунелю між першим вузлом і вузлом n .

Крок 6. При різниці $V_1(N)$ і $V_2(N)$ більше одиниці в вузлі n приймається рішення про виключення вузла n з розгляду щодо можливого тунелю. Виконується аналіз рівності N числу 3. Якщо $N=3$, то приймається рішення про відмову в організації LSP-тунелю будь-де вздовж LSP-маршруту і робота алгоритму завершується. У протилежному у разі при $N>3$, присвоюється $N=N-1$ і відбувається повернення до кроку 2.

Виграш часу залежить від різниці V_1 і V_2 і від організації тунелю. При цьому навантаження на LSP розглядається при $\rho = 0,3; 0,5; 0,8; 0,95$.

Час перебування пакету в мережі передачі даних з організацією тунелю (V_1) на початковому етапі менше, чим час проходження пакету по мережі без організації тунелю (V_2). Але після проходження пакетом вузла V_1 час починає суттєво збільшуватися, тоді як час проходження пакету по мережі без організації тунелю (V_2) зростає плавніше. Тобто після вузла пакет у мережі з організацією тунелю буде оброблятися повільніше, чим в мережі без організації тунелю. Це відбувається через зчеплення пачок повідомлень. Розрахунки показують, що ефективність застосування технології MPLS при різних навантаженнях залежить від кількості вузлів. Чим більше вузлів (маршрутизаторів), тим швидше обслуговується навантаження. Так, при навантаженні $\rho=0,3$ найбільша ефективність досягається при двох вузлах; при $\rho = 0,5$ застосування технології неефективне; при $\rho=0,8$ найбільша ефективність від застосування даної технології за $n = 3$, а при $\rho = 0,95$ – при шести вузлах.

Висновки

У роботі розроблено методику оцінки ефективності управління тунелюванням у мережі IP/MPLS за різних топологічних структур. Результатом роботи є методи розрахунку і аналізу магістральних MPLS-мереж, що дає можливість запропонувати рекомендації по підвищенню якості передачі інформації (зменшення часу затримки) шляхом оптимізації структур MPLS-мереж. Проведено аналіз методів розрахунку, принципів проектування та існуючих способів моделювання магістральних мереж, розглянуто моделі побудови магістральних MPLS-мереж; виведено вирази для розрахунку, що дають змогу визначити, яка з досліджуваних топологій є найоптимальнішою для практичного застосування на магістральній MPLS-мережі; проведено аналіз часу затримки під час використання різних топологій; вдосконалено метод збільшення швидкості передачі інформації шляхом зменшення часу доставки пакетів у магістральних мережах на основі покращання швидкості передачі інформації в каналах зв'язку. Досліджено залежності затримки пакета під час проходження його різними маршрутами. Показано, що із збільшенням навантаження при незмінній кількості вузлів час перебування пакету в тунелі зростає, так як зростає і навантаження, що обслуговується кожним вузлом, а отже, і сумарний час перебування пакета в тунелі.

Подальшим напрямком досліджень є визначення оптимальних шляхів проходження пакетів мережами MPLS з врахуванням часу затримки для проектування нарощування магістральних мереж України.

Список використаної літератури:

1. В.Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. П. Крючкова, А. Ю. Ткачов. Підвищення показників якості системи управління послугами мережами майбутнього / В // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2018. - № 3. - С. 5-11.

2. Воробієнко П. П., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. К.: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.: іл.
3. Довгий С.О., Савченко О.Я., Воробієнко П.П. та ін. Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, управління, регулювання / За ред. С.О. Довгого. – К.: Український Видатничий Центр, 2002. – 520 с.
4. Аулін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Кузик О.В., Тихий А. А. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. 428с. ISBN 978-617-7813-27-8.
5. Швець А. В. Мультиагентна система управління транспортними ресурсами. Сучасні проблеми науки. Тези доп. XXI Міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих учених (5-9 квіт. 2021 р. м. Київ.). С. 128-130.
6. Литвин В. В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології. Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2009. № 2 (21). С. 120–126.
7. Теоретичні основи телекомунікаційних мереж: навч. посіб. М.М. Климаш, Б.М.Стрихалюк, М.В.Кайдан. – Львів : вид-во УАД, 2011. – 496 с.
8. X. Zhou, M. Sun, G. Y. Li, and B.-H. F. Juang, “Intelligent wireless communications enabled by cognitive radio and machine learning,” China Commun., vol. 15, no. 12, pp. 16-48, Dec. 2018.

Автори статті

Дакова Лариса - кандидат технічних наук, доцент, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Даков Сергій - кандидат технічних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.

Блаженний Назарій - PhD, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Галика Каріна - аспірант, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Луцюк Іван - магістр, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна.

Authors of the article

Dakova Larisa - Candidate of Science (technic), Associate Professor, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.

Dakov Serhiy - Candidate of Science (technic), Kyiv National University named after Taras Shevchenko.

Blazhenyyi Nazariy - PhD, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.

Galyka Karina - postgraduate, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.

Lutsiuk Ivan - master, State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine.