

КОНЦЕПЦІЇ ТАКТИЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ В МЕРЕЖАХ 5G

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

²Шосткинський інститут Сумського Державного Університету

Анотація

Проаналізовано важливі технологічні концепції, що має Тактильний Інтернет у системах 5G. Тезам містить основні тактичні вимоги та архітектурні підходи до тактильного Інтернету, що належить до безпроводного доступу, особливості радіоресурсів наступного покоління.

Ключові слова: мережа 5G, Тактильний Інтернет, мобільна мережа, комунікації в реальному часі.

Abstract

Important technological concepts of Tactile Internet in 5G systems are analyzed. The thesis contains the basic tactical requirements and architectural approaches to the tactile Internet, which belongs to wireless access, features of the next generation of radio resources.

Keywords: 5G network, Tactile Internet, mobile network, real time communication.

Вступ

Останнім часом мережі мобільного Інтернету успішно приєднують до мережі більшість світового населення через велику кількість смартфонів та ноутбуків. Головна мета таких мереж полягає в тому, щоб пошити підключення пристроїв та машин у всьому світі, створюючи мережі Інтернету (IoT) [1-3].

Такі мережі є стадією для появи тактильного Інтернету, де наднадійне та надчутливе мережеве підключення дозволить це забезпечити в реальному часі передачу фізичного тактильного сприйняття на відстані. Тактильний Інтернет забезпечить можливість перейти від передачі контенту до мереж передачі навиків та тим самим змінити всі сфери суспільства.

Тактильний Інтернет відкриває нові можливості взаємодії людини з машиною, забезпечуючи необхідну низьку затримку для побудови розумних систем у реальному часі. Крім того, Тактильний Інтернет поєднує низьку затримку, дуже короткий час транзиту, високу доступність та високу надійність при високому рівні безпеки [4, 5]. Він пов'язаний з близькими хмаринними обчисленнями, наприклад мобільні граничні Хмари, що в поєднанні із віртуальною або доповненою реальністю використовується для сенсорного та тактильного контролю із часом реакції порядку мілісекунди. Прикладами використання тактильного Інтернету є комп'ютерні ігри в реальному часі, промислова автоматизація, транспортні мережі, галузь охорони здоров'я та освіта.

Системи, що будуть використовувати Тактильний Інтернет мають бути наднадійними, підтримувати дуже низькі затримки та мати велику ємність для зв'язку великої кількості пристроїв одночасно та автономно. Такі мережі будуть містити в собі традиційні провідні мережі Інтернет та Інтернет речей та формувати нові можливості Інтернету.

За умов збільшення трафіку у системах 5G додатковий спектр має бути виділений для безпроводного доступу мереж 5G. Для того щоб створити дуже високу пропускну здатність та дуже високі швидкості передачі даних в мульті-Гбіт/с треба буде частотний ресурс більший 10 ГГц. Весь частотний ресурс від 1 ГГц в діапазоні міліметрових хвиль до 100 ГГц є актуальним для мереж 5G. Системи 5G мають бути сумісними із мережами 4G.

Безпроводний доступ 5G буде складатися із еволюції LTE із доповненням новими радіо технологіями та архітектурними особливостями [6-13]. Таким чином, враховуючи такі можливості мобільних мереж 5G буде відігравати невід'ємну частину тактильним системам підключення до Інтернету.

Метою роботи є аналіз концепцій Тактильного Інтернету в безпроводних мережах наступного покоління 5G.

Результати дослідження

Тактильний Інтернет, де люди будуть керувати за допомогою безпроводних мереж реальними та віртуальними об'єктами не можна реалізувати не вирішивши задачі проектування таких мереж. Деякі із самих складних проблем моделі для тактильного Інтернету розглянуті у роботі [14]. Взаємодія людей із навколишній середовищем має рішуче значення. Наші процеси сприйняття обмежують швидкість нашої взаємодії із нашим середовищем. Люди відчувають взаємодію із технічними системами інтуїтивно зрозуміло та природно лише у випадку, якщо зворотний зв'язок системи адаптований до нашого людського часу реакції. Отже, вимоги до технічних систем, що дозволяють у режимі реального часу взаємодії залежать від людських почуттів. Таким чином, час реакції біля 100 мс, 10 мс та 1 мс необхідний для слухової, візуальної та ручної взаємодії відповідно. Якщо знати та розуміти ці часи реакції, то всі людські чуття можуть взаємодіяти із машинами. Відповідно, люди зможуть не лише бачити та чути речі, що далеко від людей, але і торкатися їх та відчувати їх. Передача точного еквіваленту людського дотику через мережі передачі даних замикає цикл даних [15], що призначений для реалізації Тактильним Інтернетом.

Тактильний Інтернет забезпечує середовище для передачі дотиків та активації у режимі реального часу контролю через Інтернет. На відміну від зорових та слухових відчуттів, чуття дотику здійснюється шляхом накладання руху по навколишньому середовищу та відчуття спотворення навколишнього середовища та сила реакції [16]. Базова відмінність між тактильним та не тактильним контролем полягає в тому, що у випадку першого, насправді існує тактильний зворотний зв'язок від системи, на доданок до аудіо / відео зворотного зв'язку, тим самим закриття глобального циклу керування; тоді як у випадку останнього, зворотний зв'язок може бути лише аудіо/візуальний.

Тактильний Інтернет вимагає надчутливого мережевого з'єднання, тобто затримка має становити порядку 1 мс [17]. Для передачі в реальному часі, тактильні користувачі будуть відчувати кіберхворобу, що є результатом конфлікту між зоровими, вестибулярними та проприоцептивним сенсорними системами. Ця особливість важлива для технічних систем з тактильною взаємодією або для машинного зв'язку, що дозволяє контролювати у реальному часі, автоматизація динамічних процесів.

Тактильний Інтернет повинен обробляти тактильну інформацію також звичайно як і аудіо та візуальну інформацію. Отже, необхідні механізми тактильного кодування, що полегшує передача тактильної інформації по пакетній комутації мереж. Також має мати місце сенсорний зворотний зв'язок через багато мірну природу тактильного сприйняття людини.

Безпека та конфіденційність також є ключовими вимогами до Тактильного Інтернету. З жорсткими обмеженнями затримки, безпека має бути вбудована у фізичну передачу та в ідеальному випадку мати низькі обчислювальні витрати. Для тактильних додатків необхідно розробляти нові методи кодування, що дозволяють лише законні приймачі для обробки захищеного повідомлення. Абсолютна безпека, таким чином, буде досягнута, якщо неправомірний приймач не може розшифрувати дату навіть з нескінченною обчислювальною потужністю. Це спричиняє проблему, особливо в масових додатках для підключення. Ідентифікація законних одержувачів потребує нових надійних методів з низькою затримкою. Одним із таких методів може бути використання апаратних специфічних атрибутів, таких як біометричні відбитки пальців.

Ще однією ключовою особливістю є можливість забезпечити надійність доступу оператора. Тому ультранадійне підключення до мережі є важливою вимогою до тактильного Інтернету.

Надійність стосується тут ймовірності гарантувати необхідну продуктивність у зазначених умовах протягом певного часу інтервал. Конкретні вимоги до надійності відрізняються для різних видів послуг та додатків. Попит на максимально високу надійність пов'язаний з вимогами до реагування в режимі реального часу. Така надійність вимагає, щоб рівень відмов навіть нижче 10^{-7} , що відповідає

відповідає лише 3,17 секунди відключення в рік. Бездротові системи сьогодні побудовані навколо сприйняття цього посилання з відключенням на 3%. Однак при двох ланках з некорельованими каналами поєднуються, 3% відключення на ланку створює комбінований відключення приблизно 10^{-3} . І п'ять некорельованих посилань вже можуть домогтися відключення менше 10^{-7} . Отже, одночасне підключення до декількох посилань (багатоядерність) може бути потенційним рішенням для досягнення цієї жорсткої вимоги надійності для тактильних додатків [18-20]. Досягнута надійність також матиме позитивний вплив на затримку, оскільки буде менше повторних передач даних.

Тактильний контроль має більшість тактильних доданків. На рис. 1 подана наскрізна архітектура для Тактильного Інтернету, де вона поділена три основні сфери: головна сфера, мережева сфера та контрольована сфера.

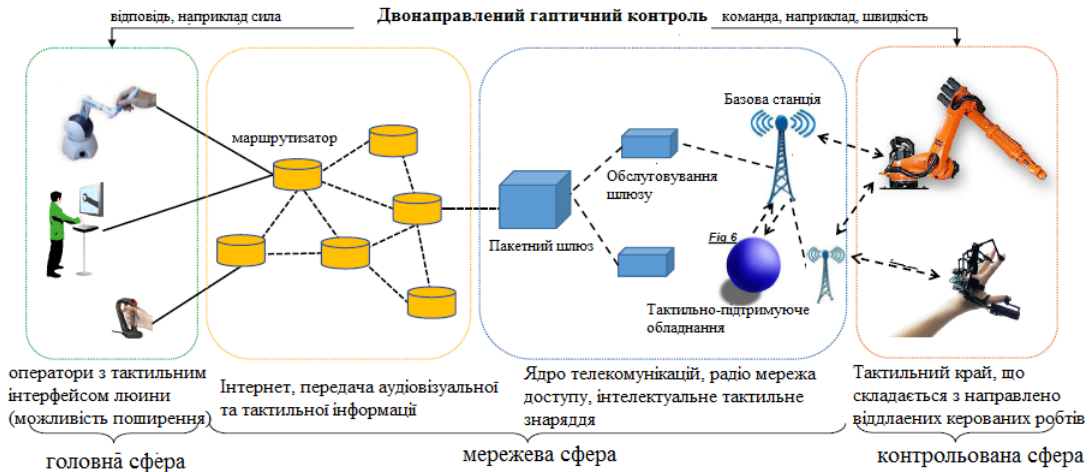


Рис. 1. Архітектура тактильного Інтернету

Тактильний Інтернет видобуває перевагу із хмаринної технології [21-24], що є вбудована в мережу. Перевага хмаринних обчислень є те, що ресурси використовуються декількома користувачами та динамічно передаються за вимогою [25]. Рух від важкої виділеної інфраструктури до загальної створює максимальні можливості для обчислень при мінімальній потужності споживання. Це дозволяє запустити додатки швидше із покращеною керованістю та меншим обслуговуванням та можливість пристосовуватися до умов під час виконання. Технічні можливості для хмар можливі недорогі комп'ютери / сервери; недороге зберігання; мережі великої ємності; і безпечні можливості програмного забезпечення у віртуальній формі та сервіс-орієнтованій архітектурі [26, 27]. Це важливо для забезпечення масштабованості та надійності впровадження тактильних інтернет-технологій [28].

На рис. 2 подані різні приклади варіантів розміщення хмаринних функцій. Існуючий попит для можливостей граничної хмари внаслідок масштабованості та через наскрізні причини затримки. Для мобільного зв'язку мережева архітектура 5G для масштабування та підтримки цієї тенденції 3GPP, необхідно буде додатково послабити деякі вимоги о впорскуванні трафіка не-3GPP в ядро. Спочатку були використані технології фемтосот, то бто Home eNB (HeNB). Інші підходи використовували гетерогенні довірених / ненадійний трафік у реальному часі / не в реальному часі в мобільній системі 3GPP [29-31].

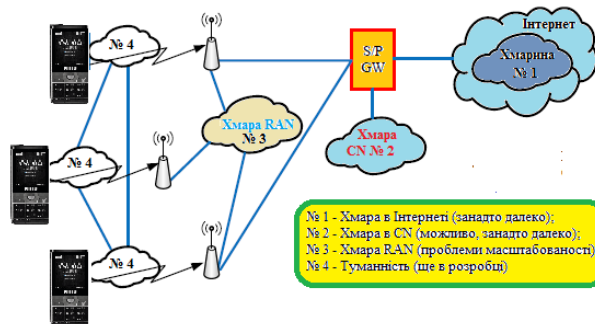


Рис. 2. Варіанти розміщення хмаринних функцій

Впровадження Тактильного Інтернету допомагає ввести лише концепція локально доступних хмаринок. Навіть на швидкості світла, наприклад у волоконно-оптичних лініях доступу, затримка поширення 1 мс туди і назад вимагає наявності хмаринки у межах 150 км. Хмаринки можна розглядати як децентралізовані проксі хмаринні сервери із обробкою та можливістю зберігання або декілька підходів безпроводних користувачів. Минулі дослідження були спрямовані на використання хмаринних технологій для мереж WiFi, але останім часом зростає інтерес серед провайдером мобільних мереж. На рис. 3 подана удосконалена хмаринна система сервісу FiWi мережі доступу, де можуть розміщуватися хмаринки із точками портала WiFi (MPP), як інтерфейс з оптичними мережевими блоками (ОМБ) загального транзиту оптоволоконна.

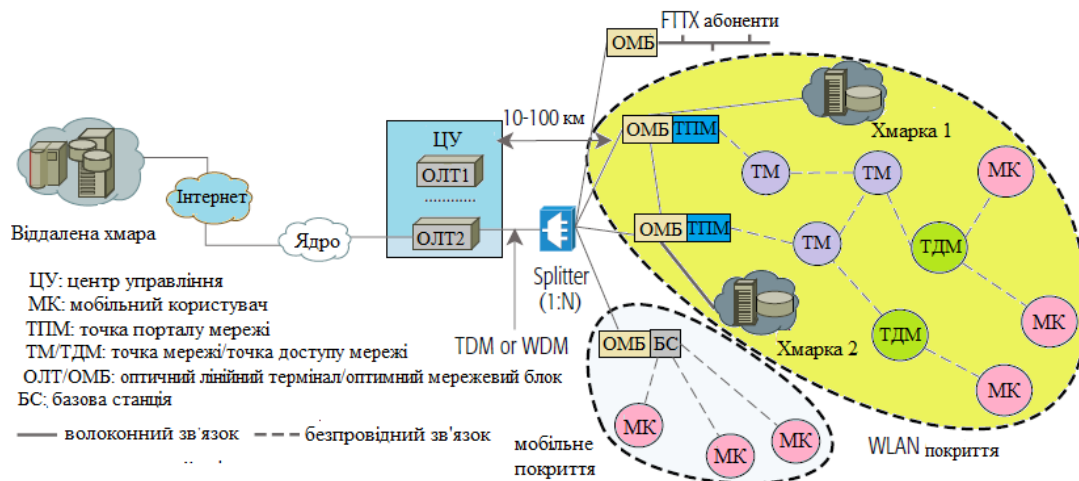


Рис. 3. Загальна архітектура мереж Wi Fi з розширеними хмаринними технологіями

Важливість хмарок можна побачити у множині наскрізних доданків, що є чутливими до затримки, такі як додаткова реальність, когнітивна допомога в режимі реального часу чи розпізнавання обличчя на смартфоні. Мобільні обчислювальні технології MEC пропонують можливість Інтернету речей та хмаринних обчислень у мережі радіодоступу (RAN) в тісній близькості до мобільних абонентів. MEC перетворює мобільні базові станції в розумні сервісні центри, використовуючи близькість, контекст, швидкість.

Висновки

Таким чином, різні варіації поширення звичайного Інтернету будуть зменшені появою тактильного Інтернету, що зможе у режимі реального часу передавати фізичне тактильне сприйняття відчуттів віддалено. Це в свою чергу приведе до окремих революцій у кожному сегменту суспільства. Очікується, що покоління мобільних мереж 5G буде підтримувати технології тактильного Інтернету.

У тезі приведені технічні вимоги до ключових технічних рішень до розгортання мереж тактильного Інтернету. Це вимагає включати інноваційні рішення у наскрізній архітектурі, революційні рішення у обладнанні, що передає, нові підходи до радіо доступу, хмаринні технології на межі. Найголовніша задача для розробників це врахувати безпрецедентні вимоги до часу затримки та забезпечення жорсткими масштабованими інтеграціями різних компонентів в цілому

Майбутнім дослідникам необхідно зосередитися на дослідженні наднадійного мережевого з'єднання у безпроводній мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Chettri L. A comprehensive survey on Internet of Things toward 5g wireless systems. / L. Chattri, R. Bera // IEEE Internet of Things Journal. – 2020. – Vol. 7, No. 1. – pp. 16-32. DOI:10.1016/J.IOT.2019.2948888.
2. Fettweis G.P. The Tactile Internet: applications and challenges / G.P. Fettweis // IEEE Vehicular Technology Magazine. – 2014. – Vol. 9, No. 1. – pp. 64-70. DOI:10.1109/MVT.2013.2295069.

3. Діхтярук І.І. Майбутні можливості використання Інтернету речей / І.І. Діхтярук, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2019. — С. 146–147.
4. Sharma S.K. Toward tactile Internet in beyond 5G era recent advances, current issues, and future directions / S.K. Sharma, I. Woungang, A. Anpalagan, S. Chatzinotas // *IEEE Access*. – 2020. – Vol. 8. – pp. 56948-56991. DOI:10.1109/ACCESS.2020.2980369.
5. Зіменко Д.О. Тактильний Інтернет у мережах 5G / Д.О. Зіменко, А. В. Булашенко // 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті», Т.4 — Харків: ХНУРЕ, 16-18 квітня 2019. — Т.4. — Р. 20 – 21.
6. Gupta A. A survey of 5G network: architecture and emerging technologies / A. Gupta, R. Jha // *IEEE Access*. – 2015 – Vol. 3, pp. 1206–1232. DOI:10.1016/ACCESS.2015.2461602.
7. Демченко І.В. Маршрутизація в мережі 5G із рухомими вузлами безпроводних сенсорних мереж / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 148–149.
8. Гладун В.В. Забезпечення високої якості мережі 5G за допомогою технології D2D / В.В. Гладун, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 57 – 59.
9. Zabegaloff I.V. 5G Ultra dense networks / I.V. Zabegaloff, A.V. Bulashenko // *Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. — С. 183 – 185.
10. Гнитецький В.А. Забезпечення дуже низьких затримок у стільниковій системі 5G на базі МЕС / В.А. Гнитецький, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р – Київ, 2019. – С. 153 – 155.
11. Ляшко Д.Г. Спільне використання ресурсів D2D та мобільного зв'язку / Д.Г. Ляшко, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 170–171.
12. Ященко С.В. Перспективи розвитку мобільних мереж 5G / С.В. Ященко, А.В. Булашенко // *Матеріали III всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті»*. — Київ: КПІ, 12-15 травня 2020. – С. 42 – 43.
13. Демченко І.В. Система моніторингу та прогнозування автомобільного трафіка / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // *Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2019. — С. 140–141.
14. Mouftah H.T. Machine-to-machine communications in the smart city – a smart grid perspective / H.T. Mouftah, M. Erol-Kantarci, M. H. Rehmani // *Wily Telecom*. – 2019. – pp. 103-145. DOI:10.1002/9781119360124.ch4.
15. Aijaz A. Realizing the Tactile Internet: haptic communications over next generation 5G cellular networks / A. Aijaz, M. Dohler, A. H. Aghvami, V. Friderikos, M. Frodigh // *IEEE Wireless Communications*. – 2015. – Vol. 24, No. 2. – pp. 82-89. DOI:10.1109/MWC.2016.1500157RP.
16. Aijaz A. Haptic communications / E. Steinbach, S. Hirche, M. Ernst, F. Fernanda, R. Chaudhari, J. Kammerl, I. Vittorias // *Proceeding of the IEEE*. – 2012. – Vol. 100, No. 4. – pp. 937-956. DOI:10.1109/JPROC.2011.2182100.
17. Гладун В.В. Забезпечення необхідного часу затримки в мережах 5G // В.В. Гладун, А.В. Булашенко // *Матеріали III всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в XXI столітті»*. — Київ: КПІ, 12-15 травня 2020. – С. 9 – 12.
18. Yilmaz O. N. C. Analysis of ultra-Reliable and low-latency 5G communication for a factory automation use case / O. N. C. Yilmaz, Y.-P. E. Wang, N. A. Johansson, N. Brahmi, S. A. Ashraf and J. Sachs // *IEEE International Conference Communication Workshop (ICC)*, 8-12 June 2015, London, UK. DOI:10.1109/ICCW.2015.7247339.
19. Schotten H. D. Availability indication as key enabler for ultra-reliable communication in 5G / H. D. Schotten, R. Sattiraju, D. Gozalvez-Serrano, R. Zhe and P. Fertl // *European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, 23-26 June 2014, Bologna, Italy. DOI:10.1109/EuCNC.2014.6882630.
20. Ohmann D. Achieving high availability in wireless networks by an optimal number of Rayleigh-fading links / D. Ohmann, M. Simsek, G. Fettweis // *IEEE Globecom Workshops*, 8-12 December 2014, Austin, USA. DOI:10.1109/GLOCOMW.2014.7063630.

21. Литвинець О.Л. Аналіз можливості хмарних технологій // О.Л. Литвинець, А.В. Булашенко / Матеріали II Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року. – Суми: Сумський державний університет, 2017. — С. 188 – 191.

22. Литвинець О.Л. Хмарні обчислення / О.Л. Литвинець, А.В. Булашенко // Матеріали XI науково-технічної конференція студентів, аспірантів та викладачів радіотехнічного факультета «Радіоелектроніка в XXI столітті». — Київ: КПІ, 16-18 травня 2017. — С. 79 – 82.

23. Діхтярук І.І. Спільна оптимізація у машинному навчанні з мультидоступними граничними обчисленнями / І.І. Діхтярук, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 150 –151.

24. Діхтярук І.І. Алгоритм глибокого укріплення на основі навчання розвантаження / І.І. Діхтярук, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 156 –157.

25. Rimal B. P. A taxonomy and survey of cloud computing systems / B.P. Rimal, E. Choi, I.Lumb //Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, 27-27 August 2009, Seoul, South Korea. DOI:10.1109/NCM.2009.218.

26. Duan Q. A survey on service -oriented network virtualization toward convergence of networking and Cloud Computing / Q. Duan, Y. Yan, A.V. Vasilakos // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2012. – Vol. 9, No. 4. – pp. 373-392. DOI:10.1109/TNSM.2012.113012.120310.

27. Saravanakumar C. Survey on interoperability, security, trust, privacy standardization of cloud computing / C. Saravanakumar, C. Arun // International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), Nov 2014, pp. 977–982. DOI:10.1109/IC3I.2014.7019735.

28. Dohler M. The tactile internet IoT, 5G and cloud on steroids / M. Dohler // 5G Radio Technology Seminar. Exploring Technical Challenges in the Emerging 5G Ecosystem, 17 March 2015, London, UK. DOI:10.1049/IC.2015.0029.

29. Condoluci M. Enhanced radio access and data transmission procedures facilitating industry-compliment machine-type communications over LTE-based 5G networks / M. Condoluci, M. Dohler, G. Araniti, A. Molinaro, J. Sachs // IEEE Wireless Communications. – 2016. – Vol. 23, No. 1. – pp. 56-63. DOI:10.1109/MWC.2016.7422406.

30. Забегалов І.В. Аналіз трафіка за допомогою коефіцієнта Хьорста в безпроводних сенсорних мережах 5G / І.В. Забегалов, А.В. Булашенко // Матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 23 квітня 2020 року. – Суми: Сумський державний університет, 2020. — С. 144 –145.

31. Oteafy M.A. Leveraging Tactile Internet cognizabcr and operaion via IoT edge / M. Oteafy, H.S. Hassaneun // Proceeding of the IEEE. – 2019. – Vol. 7, No. 1. – pp. 16-32. DOI:10.1016/IJOT.2019.2948888.

Кушнір Ганна Сергіївна — студентка групи РА-71, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, e-mail: madam.kushnir1999@gmail.com;

Шарпан Ярослав Едуардович — студент групи СУ-21ш, Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка, e-mail: yar_sharpan@rambler.ru;

Забегалов Ігор Вікторович — викл. кафедри системотехніки та інформаційних технологій, Шосткинський інститут Сумського державного університету, Шостка.

Булашенко Андрій Васильович — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ.

Kushnir Anna S. — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, e-mail: madam.kushnir1999@gmail.com;

Sharpan Yaroslav E. — Shostka Institute of Sumy State University;

Zabegalov Igor V. — lecture of the chair of systems engineering and information technology, Shostka Institute of Sumy State University, Shostka.

Bulashenko Andrew V. — senior lecture of the chair of theoretical foundations of radio engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv