

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ КАНАЛУ ІНТЕГРОВАНОЇ WI-FI/GSM МЕРЕЖІ

© Бешлей М.І., Ткачук В.П., Бугиль Б.А., Лаврів О.А., 2014

Обґрунтовано можливість поліпшення якості надання послуг мобільного оператора за рахунок використання технології Unlicensed Mobile Access-Advanced (UMA-A).

Розроблено оригінальний програмний продукт, який дозволяє здійснити оптимізацію мережевої інфраструктури мобільного оператора, перерозподіляючи мережеві ресурси із впровадженням і розвитком в ній елементів NGN-технологій для спільного розгортання інфокомунікаційної мережі. Також поліпшено якість обслуговування мобільних абонентів розподіленими сервісами в системах мобільного зв'язку із застосуванням запропонованого методу оцінки завантаженості Wi-Fi каналу та динамічного резервування пропускної здатності для кінцевих користувачів у процесі інтеграції мереж.

Досліджена поведінка інтегрованої мережі в годину найбільшого навантаження та механізми керування мережею під час перевантаження на основі імітаційної моделі, розробленої в програмному середовищі Opnet Modeler.

Ключові слова: інтегрована мережа, трафік, параметри забезпечення якості, імітаційна модель, мобільна мережа, черги.

M.I. Beshley, V.P. Tkachuk, B.A. Bugil, O.A. Lavriv  
Lviv Polytechnic National University

## MODEL OF DYNAMIC MANAGEMENT SYSTEM THROUGHPUT OF THE CHANNEL INTEGRATED WI-FI/GSM NETWORK

© Beshley M.I., Tkachuk V.P., Bugil B.A., Lavriv O.A., 2014

In this paper the possibility of increasing quality of service for mobile operator based on using of Unlicensed Mobile Access-Advanced (UMA-A) technology has been substantiated. It has been proposed a new way of increasing the efficiency of resources allocation of convergent network. The use of UMA-A allows releasing part of the radio channel resources in the places where overloads are observed.

It has been developed an original software product which allows optimization of network infrastructure of mobile operator by redistribution of network resources when implementing and developing in it elements of NGN technologies for common deployment of infocommunication network. Also it has been increased quality of service for mobile users by distributed services in mobile systems using the proposed method of evaluation of the Wi-Fi channel load and dynamic reservation of throughput capacity for end users in the process of networks integration.

Services that will be provided in the network and quality requirements for this services have been formed. The behavior of intergrated network during the hour of the highest load and mechanisms of network control during the overload based on immitation model developed in software environment Opnet Modeler were investigated.

Key words: integrated network, traffic, QoS parameters, simulation model, mobile network, queues.

**Вступ.** Телекомунікаційні мережі, що використовують радіоканал як засіб доступу кінцевого користувача до послуг мережі, нині на етапі бурхливого розвитку і широкого впровадження. Напрямок розвитку, що намітився, отримав назву NGN-технології [1]. Він має всі ознаки уніфікації методів і засобів, що існують, і тих, що створюються, в єдину інтегровану структуру. Цей процес не може бути простим і однозначним, оскільки повинен відбуватися в умовах перебудови наявних мереж і технологій, що часто вимагають корінних змін для інтеграції в NGN-структури. Конвергентний шлях розвитку телекомунікаційних мереж, мабуть, єдиний прагматично обґрунтований напрям для операторів, у яких склався ринок користувачів. Проте він потребує зважених рішень, з тим, щоб, здобуваючи нові можливості за рахунок перетворень, не зашкодити наявному ринку.

Питання конвергенції та забезпечення якості обслуговування вже аналізували фахівці України та Росії, зокрема надання абоненту послуг із заявленими параметрами якості та побудову моделей забезпечення гнучкого управління мережею розглядали Ю.А. Семенов, В. Вишневський, А.В. Лемешко, питання конвергенції неодноразово досліджували у своїх працях Б.С. і А.Б. Гольдштейни. Серед іноземних дослідників відзначимо роботи з питань забезпечення якості в мультисервісних мережах П. Фергюсона, Д. Хеймана, В. Іверсена, Л. Клейнрока.

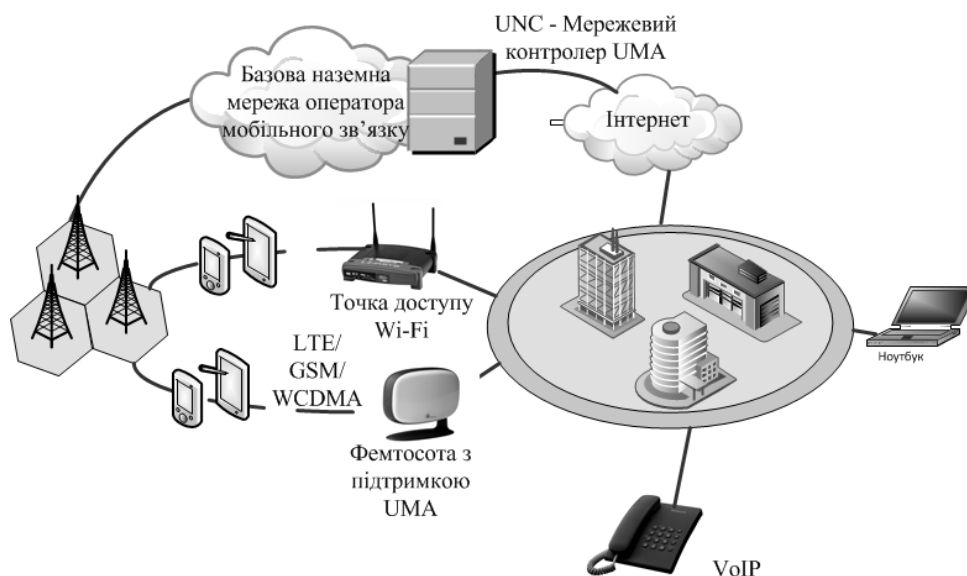
Для надання мультимедійної послуги в реальному часі з гарантованою якістю необхідно класифікувати трафік за класами обслуговування. Більшість досліджень щодо забезпечення якості дійшли висновку, що усе покладено безпосередньо на мережу оператора. Однак це не дозволило повністю забезпечити QoS між кінцевими користувачами. Це питання дотепер залишається відкритим і потребує подальшого дослідження. У деяких публікаціях [2, 5, 6] пропонується платформа, що підтримує обслуговування мультимедійного трафіку в реальному часі між кінцевими користувачами. Для гарантування QoS встановлюють QoS-гарантований шлях між вузлами мережі для встановленого сеансу SDP/SIP. Ця платформа може використовуватися як на сучасних IP мережах, так і на бездротових конвергентних мережах майбутнього.

У реальності, для мобільного оператора завдання побудови і вдосконалення конвергентної мережі ускладнюється обмеженістю ресурсів існуючої GSM мережі, зниженням надійності надання послуг в умовах перевантаження радіоканалів, слабкою пристосованістю GSM-технології для передавання даних. Поява і розвиток нових технологій, зокрема Wi-Fi, що потенційно можуть надати більшу кількість послуг, загрожує впливом “традиційних” GSM-користувачів до Wi-Fi-операторів. Інтерес операторів мобільного зв’язку до сегмента бездротового широкосмугового доступу проявився досить давно й спочатку був пов’язаний більше з наданням послуг доступу в Інтернет за технологією Wi-Fi, ніж з повноцінним впровадженням концепції NGN. Спільне використання можливостей мереж NGN і мереж мобільного зв’язку, повноцінна їх конвергенція здатні забезпечити абонентів унікальним набором можливостей і послуг. Якщо ж надання конвергентних послуг забезпечує оператор мобільного зв’язку “з одних рук”, різко підвищується привабливість такої мережі для клієнтів, і отже, оператор отримує конкурентні переваги. Рішення виявляється, безумовно, ефективним і з економічного погляду.

Сьогодні процес стандартизації в області хмарних обчислень продовжується, тобто в плані розробленості цієї галузі можна впевнено сказати, що вона лише почала свій розвиток. У разі використання cloud-технологій кінцевому користувачу не потрібно турбуватися про апаратне та програмне середовище для надання необхідних ресурсів мережі або певних Cloud сервісів (паралельні обчислення, зберігання даних), йому достатньо тільки мати підключення до Інтернету із кінцевого терміналу (планшет, смартфон, ноутбук).

Тому актуалізується завдання оптимізації мережевої інфраструктури мобільного оператора GSM перерозподілом мережевих ресурсів з впровадженням і розвитком у ній елементів NGN-технологій для спільного розгортання інфокомунікаційної мережі, а також підвищення якості обслуговування мобільних абонентів розподіленими сервісами в системах мобільного зв’язку другого, третього та четвертого покоління, які перебувають у процесі конвергенції на основі платформи UMA-A, з використанням cloud-технологій.

**Аналіз концепції побудови конвергентної мережі.** З появою концепції NGN з'явилася можливість конвергенції наявних мереж з комутацією каналів з мережами з комутацією пакетів. UMA – це розроблений низкою провідних компаній-виробників та операторів стандарт абонентського доступу до сервісів мереж мобільного зв'язку за допомогою різного роду IP-мереж, зокрема через Інтернет. Технологія UMA дає можливість використання широкосмугового безпроводного інтернет-з'єднання (Wi-Fi) для мобільного телефонного зв'язку. Це стосується голосових викликів, мобільного Інтернету, електронної пошти, MMS, SMS та будь-яких інших мобільних послуг, для яких необхідне підключення до мобільних мереж. Дворежимний абонентський термінал сам визначає можливість отримання послуг через одну з мереж (GSM/Wi-Fi), при цьому пріоритет надається мережі, котра забезпечує вищий рівень якості надання послуг, а її вибір здійснюють контролер у Wi-Fi мережі та контролер базових станцій в оператора мобільного зв'язку. Wi-Fi точки доступу ввімкнені до наявної транспортної IP-мережі, що використовується для транспортування пакетів EDGE. Ця IP-мережа під'єднується до UMA контролера Network Controller (UNC), що, своєю чергою, ввімкнений у класичний MSC. Шлюзування між MSC та UNC відбувається через шлюзи Wireless Media Gateway (WMG) – для підтримки голосової несучої UMA та Security Gateway (SeGW) – шлюз безпеки для захисту UMA. На UNC відбувається пакування та кодування голосу при роумінгу Wi-Fi/GSM, та розпакування і декодування у разі зворотного передавання.



*Рис. 1. Реалізація інтегрованої мережі на базі технології UMA-A*

Контролер UNC підключається до одного MSC і до вузла SGSN по інтерфейсах A і Gb відповідно. Як показано вище, функції UNC еквівалентні функціям, що виконуються контролером базових станцій мережі коміркового зв'язку. Контролер під'єднується до точки доступу WLAN через транспортне сполучення IP. З мобільною станцією контролер UNC взаємодіє через інтерфейс Ur, який функціонує через транспортну мережу IP і здійснює перенесення сигналізації GSM/ між опорною мережею і мобільною станцією. Протокольні дані мобільних мереж переносяться прозоро між мобільною станцією і MSC. Це забезпечує мобільній станції в мережі WLAN доступ до всіх послуг мережі GSM, які їй можуть бути доступні у підсистемі базових станцій мережі GSM. Функціонування такої конвергентної мережі проілюстровано на рис. 1.

Реалізація хендвера у процесі інтеграції мереж GSM/ Wi- Fi виконується в такі етапи:

- Мобільний абонент з дворежимним терміналом UMA потрапляє в зону дії мережі неліцензованого безпроводного доступу, з якою цей термінал UMA взаємодіє.
- Після під'єднання терміналу UMA до точки доступу він зв'язується з контролером UNC по транспортній IP-мережі загального користування для автентифікації, авторизації та доступу до послуг мобільного зв'язку по безпроводній мережі неліцензованого доступу.

- У разі успішної авторизації відбувається оновлення інформації про місцезнаходження абонента, яка зберігається в опорній мережі.
- Залежно від конфігурації терміналу UMA мобільний зв'язок встановлюється або з неліцензованою мобільною мережею доступу UMA, або з мережею GSM.
- Роумінг. Коли абонент UMA виходить із зони покриття мережі неліцензованого безпроводного доступу, до якої він підключений, UNC і термінал UMA забезпечують роумінг з ліцензованою мобільною мережею. Цей процес відбувається автоматично і непомітно для користувача.
- Якщо абонент встановив активне з'єднання GSM, не перериваючи його, увійшов в зону покриття (або вийшов із зони покриття) неліцензованої безпроводної мережі, поточне з'єднання автоматично перемикається на іншу мережу без переривання послуги. Хендовер відбувається непомітно для користувача.

Для вирішення проблеми перевантаження оператора мобільного зв'язку, пов'язаної зі скупченням численних абонентів на обмеженій території, варіант конвергенції UMA технології є ефективнішим порівняно з використанням мікрокомірок [4], оскільки, по-перше, не вимагає від оператора перегляду існуючого частотного планування, а по-друге, є у декілька разів дешевшим за встановлення базової станції. Зокрема, значно дешевше коштує ліцензування частот під Wi-Fi, порівняно з критично обмеженим діапазоном під GSM.

**Моделювання процесу обслуговування абонентів у інтегрованій Wi-Fi/GSM мережі на основі методу динамічного розподілу пропускної здатності каналу.** Ресурси фізичного каналу, як провідного, так і безпроводного з пропускною здатністю  $C_{\Sigma}$  (у нашому випадку 100 Мбіт/с), завжди є обмеженими за доступу до нього. Для створення нових механізмів управління ресурсами пропускної здатності Wi-Fi каналу необхідно розглянути існуючий метод. Отже, у фізичному каналі організовано декілька логічних (розглянемо три логічні (віртуальні)) каналів (VC віртуальні канали), виділених для певних Wi-Fi абонентів з статично заданими пропускними здатностями  $C_1$  і  $C_n$  відповідно від загальної  $C_{\Sigma}$ , причому значення  $C_1=C_2=C_3=C_{\Sigma}/2$ . Отже, за звичайного доступу до Wi-Fi точки N-ю кількістю користувачів певним трафіком виділяється пропускна здатність за формулою:

$$C_{1,2,n} = \frac{C_{\Sigma}}{N}, \quad (1)$$

причому  $C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + C_n$  (див. рис. 2).

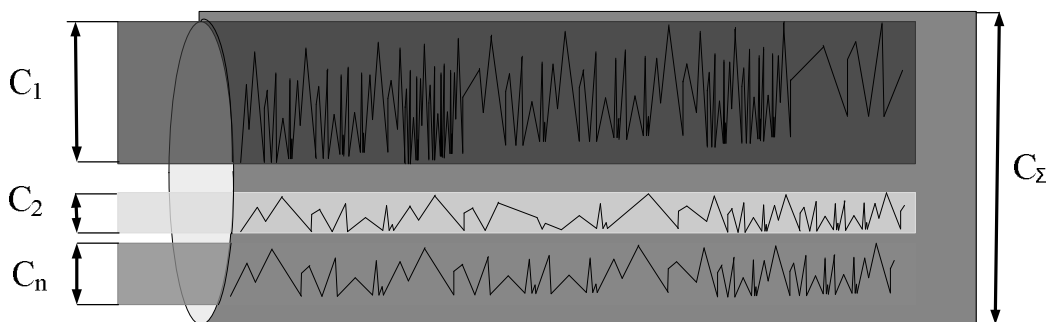


Рис. 2. Статичний розподіл пропускної здатності фізичного каналу між трьома логічними

У першому з них передається інформація реального часу, чутлива до затримок і втрат (для систем відеоконференцзв'язку), в другому і третьому – другорядна інформація (дані, WEB, FTP та інформація, яка не чутлива до затримок і втрат). Виникає завдання найефективнішого способу розділення загальної пропускної здатності  $C_{\Sigma}$  фізичного каналу між трьома логічними. Оскільки в першому віртуальному каналі передається критична до втрат інформація, необхідно збільшувати пропускну здатність  $C_1$  цього каналу. Однак при цьому зменшується ефективність його

використання і доступна пропускна здатність для другого каналу. В результаті ресурси фізичного каналу витрачаються неефективно.

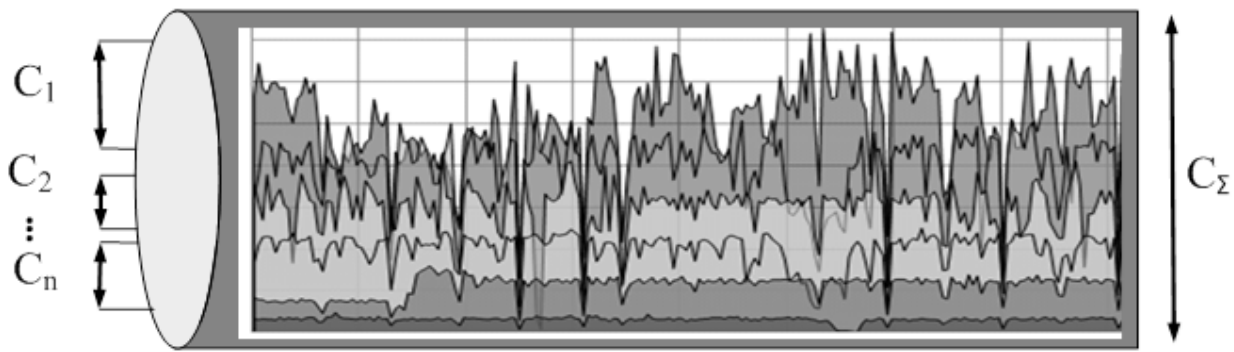


Рис. 3. Динамічний розподіл пропускної здатності фізичного каналу між декількома логічними в певний момент часу

$$C_{[1,t]} = C_{\Sigma} - C_{[n-1,t]} - C_{[n,t]} \quad (3)$$

Набагато більші можливості в цьому випадку може запропонувати схема з динамічним управлінням пропускною здатністю каналу з наданням необхідних мережевих ресурсів з метою забезпечення якості обслуговування в інфокомунікаційній Wi-Fi/GSM/WCDMA/LTE мережі (рис. 9). Отже, за динамічного розподілу пропускної здатності до настання моменту часу  $t$  система виділяє для першого сервісу необхідний ресурс пропускної здатності для забезпечення QoS, розподіливши при цьому другому і третьому каналу всю решту доступної пропускної здатності. Як бачимо з рис. 3, принцип динамічного управління пропускною здатністю в цьому прикладі збільшує ефективність використання пропускної здатності в першому каналі та надає більше ресурсів для другого і третього каналів.

За підсумками досліджень розроблено оригінальний програмний продукт, який дає змогу практично здійснювати оптимізацію конвергентної мережі із застосуванням запропонованого критерію оцінки завантаженості Wi-Fi каналу та параметрів QoS за інтеграції технологій Wi-Fi/GSM на основі динамічного керування пропускною здатністю. Завданням моделювання є оцінка таких параметрів:

- визначення максимальної кількості абонентів, що може обслужити одна точка доступу в разі користування мультисервісними послугами;
- затримка під час передавання даних користувачем;
- джитер при передачі даних;
- втрати пакетів;
- перевантаження буферів маршрутизаторів;
- навантаження на канали зв'язку;
- затримки та втрати за різних політик керування чергами.

Вхідні дані імітаційної моделі: пропускна здатність Wi-Fi каналу точки доступу  $C=100$  Мбіт/с; кількість інфокомунікаційних послуг, які підтримуються точкою доступу  $i=6$  (IPTV, VoIP, VoD, WEB, Відеоконференція, Службові дані(сигналізація)); необхідна пропускна здатність каналу для забезпечення якісного надання послуг мобільним абонентам:  $IPTV = 10$  Мбіт/с,  $VoIP = 128$  Кбіт/с,  $VoD = 4$  Мбіт/с,  $WEB = 512$  Кбіт/с,  $Відеоконференція = 2$  Мбіт/с,  $Службові дані(сигналізація) = 64$  Кбіт/с; ймовірність доступу абонентів  $i$ -ї категорії послуг до ресурсів Wi-Fi точки доступу  $p$ ; тривалість виклику  $T_{трив.}$  від  $i$ -го абонента, згенерованих за пуассонівським законом розподілу із середнім значенням  $\lambda=1500$  с; моменти початків викликів  $T_{поч.}$ , згенерованих у випадковий спосіб з рівномірним законом розподілу; моменти кінців викликів, визначених як  $T_{кін} = T_{поч} + T_{трив.}$ ; тривалість моделювання  $T_{трив.} = 1$  год.

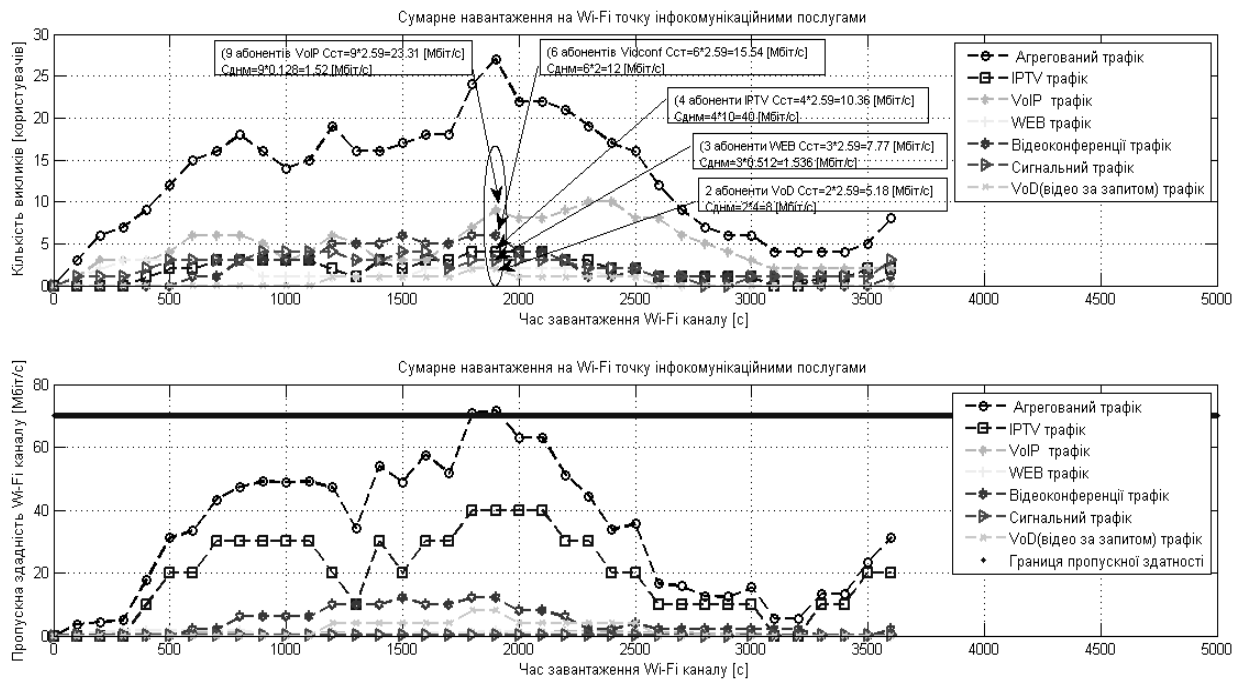


Рис. 4. Моделювання процесу обслуговування абонентів інтегрованої мережі на основі запропонованого методу

На рис. 4 показано результати завантаженості Wi-Fi точки інфокомунікаційними послугами протягом години за умови, що в певний момент часу кінцевим користувачам надається один сервіс із набору всіх можливих послуг. Ці графіки показують залежність кількості викликів, які надходять на точку доступу протягом часу моделювання, а також динаміку зміни використаної пропускної здатності кінцевими користувачами в процесі обслуговування Wi-Fi точкою упродовж часу моделювання. Трафік VoIP у цій роботі створюється як користувачами мобільного зв'язку в разі використання технології UMA-A, так і користувачами локальної мережі із забезпеченням VoIP у разі застосування SIP сервера. З графіка бачимо, що в деякі моменти часу є відмова в обслуговуванні. У цьому випадку таке перевантаження створюється на 1800 с і 1895 с, кількість користувачів, яким надаються послуги з високою якістю, становить 24 і 25, абонент отримує відмову в обслуговуванні.

Для вирішення цієї проблеми пропонується послуги голосових викликів переводити на мережу оператора мобільного зв'язку, оскільки в цей момент часу рівень QoS може бути набагато вищий, ніж в IP-орієнтованих мережах. Але у процесі розвантаження мобільних мереж засобами технології UMA-A з'являється інша проблема – забезпечення параметрів QoS для різних послуг під час передавання трафіку через IP мережу. Wi-Fi точки доступу будуть вмикатися до існуючої IP-мережі оператора, що нині використовується для транспортування пакетів EDGE. При цьому можуть виникнути проблеми з забезпеченням затримки пакетів VoIP. Одним з шляхів усунення зазначеного недоліку в межах існуючої IP-мережі є розроблення та впровадження нових методів прогнозування навантаження на елементи мережі, а також реалізація динамічного управління ресурсами IP-мережі, що запропоновано в роботах [3, 5, 6]. Для розроблення таких методів необхідно враховувати властивості реального мережевого трафіку та застосування певних механізмів обслуговування черг та методів уникнення перевантаження мережі.

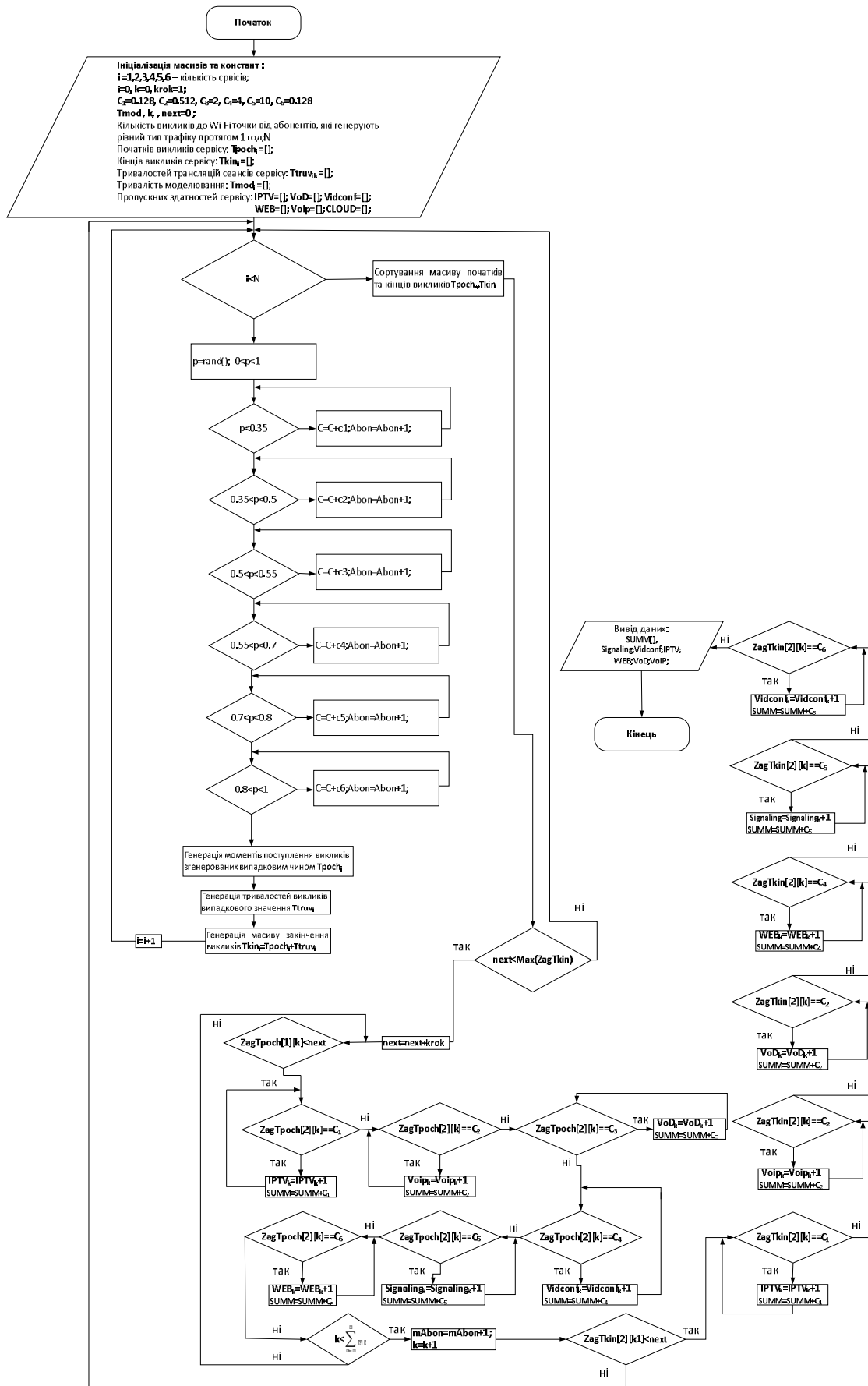


Рис. 5. Блок-схема алгоритму роботи імітаційної моделі динамічного розподілу та резервування пропускної здатності фізичного каналу між декількома логічними в певний момент часу

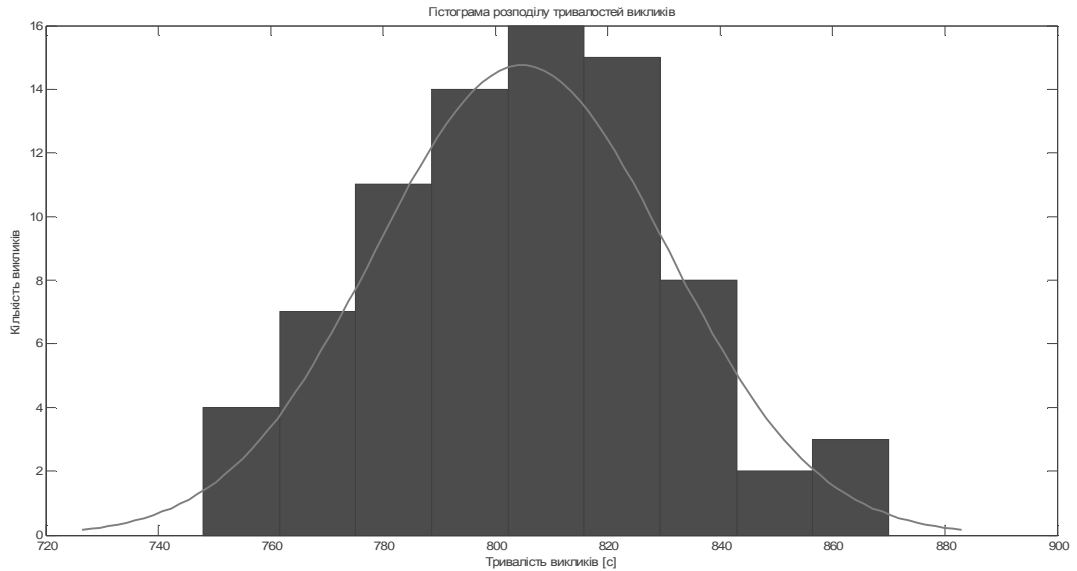


Рис. 6. Гістограма розподілу тривалостей викликів

Оцінка параметрів, наведених вище, здійснюватиметься для частини мультисервісної мережі, на основі імітаційної моделі, розробленої в програмному середовищі Opnet Modeler. Оскільки ця частина досліджується для години найбільшого навантаження, результати можна використати і для налаштування інших об'єктів.

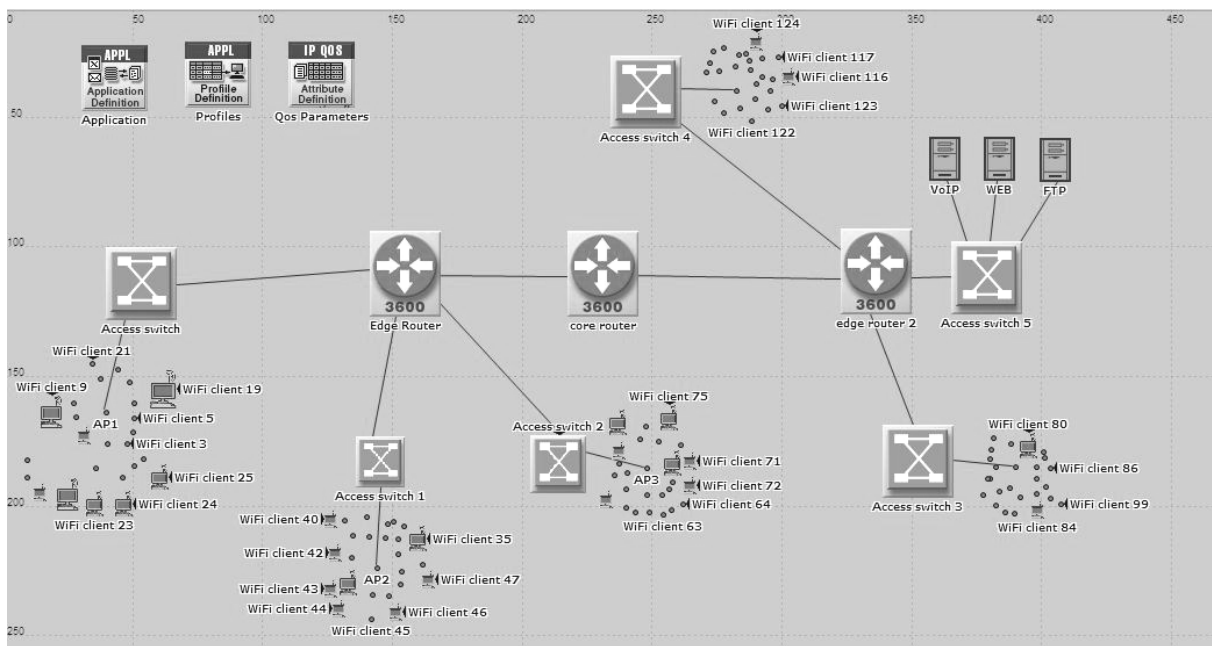


Рис. 7. Структура інтегрованої Wi-Fi/GSM мережі, що досліджується

Модель мережі побудована за трірівневою архітектурою (рис. 7), тобто має маршрутизатор ядра, який може об'єднувати цю частину мережі із загальною мережею оператора. Маршрутизатори рівня розподілу виконують функції агрегації трафіку від комутаторів доступу та визначають маршрути пересування трафіку в мережі. Точки доступу під'єднуються до комутаторів доступу, забезпечуючи цим можливість бездротовим абонентам дістатися до ресурсів мережі. Кінцеві пристрої – це планшети, смартфони, ноутбуки, комп'ютери. Wi-fi клієнти, які позначені на мережі точками, для доступу до мережевих ресурсів використовують безпроводні мобільні GSM-мережі, смартфони, планшети з підтримкою VoIP телефонії, тобто здійснюватиметься плавний перехід



викликів (хендовер) між GSM-мережею і Wi-fi технологією, щоб підвищити якість обслуговування мобільних абонентів.

Серед сервісів, що надаються в мережі та доступні для бездротових абонентів, можна назвати: VoIP – передавання голосу, WEB серфінг, FTP додатки. Передавання голосу, згідно з рекомендаціями ITU-T, належить до 1 класу трафіку Interactive Voice та має вимоги до забезпечення якості, такі як: кінцева затримка між двома абонентами – 300 мс, варіація затримки – не більше ніж 50 мс та процент втрачених пакетів – 0.001. Сервіс FTP додатків належить до 4 класу обслуговування – Excellent Effort та має такі вимоги – кінцева затримка – 1 с, процент втрачених пакетів – 0.001. Сервіс WEB серфінгу може обслуговуватися за останнім класом та не має жодних обмежень щодо якості. Для врахування параметрів, що наведені вище, необхідно додатково корегувати імітаційну модель та встановлювати параметри QoS (Quality of Service) для кожного виду сервісів. Оцінка параметрів має проводитися в годину найбільшого навантаження, вся система загалом моделюватися не буде. Таке моделювання має надвисоку складність та потребує надзвичайно високих ресурсів ПК для реалізації.

Моделювання однієї години роботи моделі може зайняти декілька днів реального часу.

Вимоги до моделювання:

- моделювання здійснюється від бездротового абонента до сервера із сервісом, якого цей абонент вимагає;

- параметри якості надання послуг треба оцінити для бездротових клієнтів;

- має враховуватися трафік в інших каналах зв'язку у випадку ГНН.

У моделі наявний лише трафік сервісів, будь-який сервісний або фоновий трафік не враховується.

Налаштування моделі здійснюється так:

- створення топології з використанням обладнання таких каналів зв'язку;

- створення профілів користувача (які сервіси можна використовувати тому чи іншому абоненту);

- налаштування профілів системи (які сервіси існують в мережі та які параметри цих сервісів);

- налаштування показників забезпечення якості в мережі за допомогою поля ToS у IP пакеті.

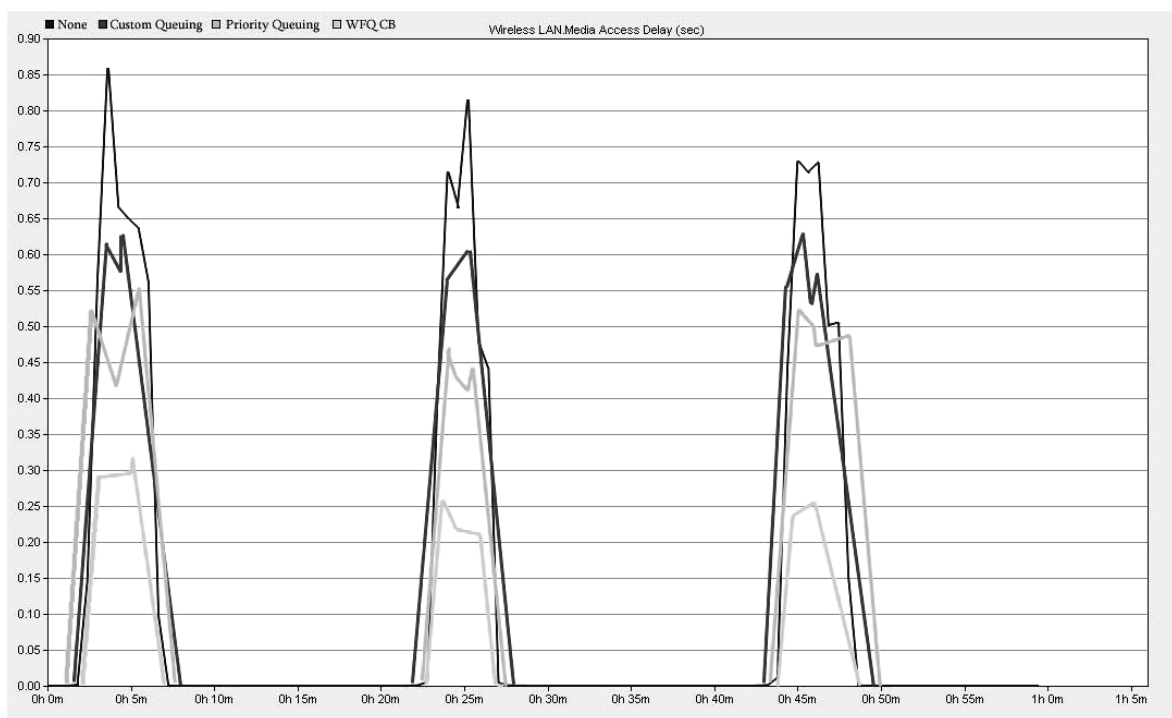


Рис. 8. Затримки у Wi-Fi мережі за різних механізмів обслуговування черг

Під час моделювання використовувалися механізми обслуговування черг WFQ Class Based, Priority Queuing, Custom Queuing. Черги формуються на точках доступу та маршрутизаторах мережі. Результати моделювання наведено на рис. 8. Як бачимо з рис. 8, використання черг для корегування роботи мережі в години перевантаження ефективне. Так, використання політики WFQ Class Based (класових черг) дозволяє зменшити затримки медіа-додатків майже в 2.5 разу, тепер затримки задовольняють вимоги QoS.

Порівняльна характеристика затримок мультимедіа-додатків, передавання даних і WEB має такий вигляд (рис. 9).

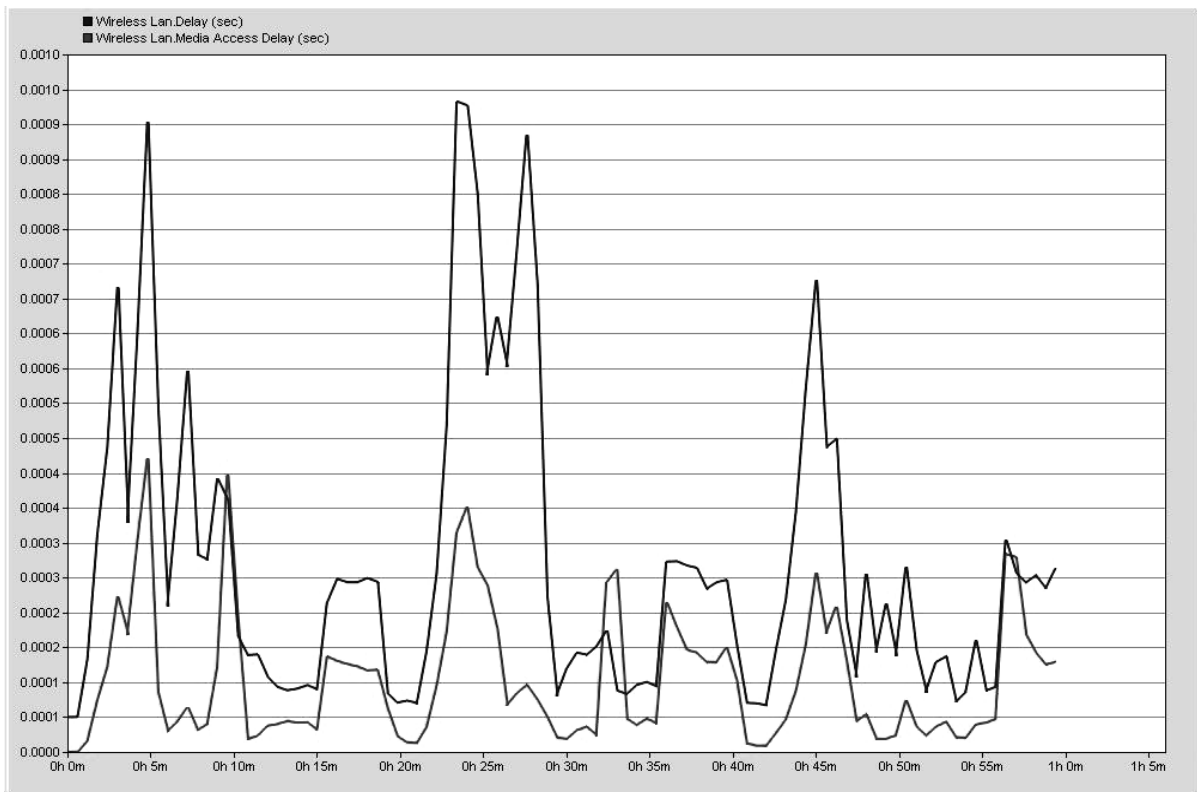


Рис. 9. Затримки мультимедіа-додатків та WEB

За рахунок використання черг для додатків у мережі виникають медіа-затримки. У такому разі якість під час передавання голосу набагато краща та не виникають перевантаження у мережі. Кінцева затримка під час передавання голосу також зменшилася завдяки використанню механізмів обслуговування черг.

Як бачимо, класова черга дає змогу зменшити затримки при передаванні медіа-інформації від абонента до абонента в три рази в пікові відрізки часу.

На рис. 11 показано навантаження буфера черги на граничному маршрутизаторі по інтерфейсах. Найбільше навантаження створюється на інтерфейсі, що виконує роль шлюза для серверів із сервісами. Завантаження до 16 кбайт не є дуже великим, отож не спричиняє значної кінцевої затримки між абонентами у разі з'єднання.

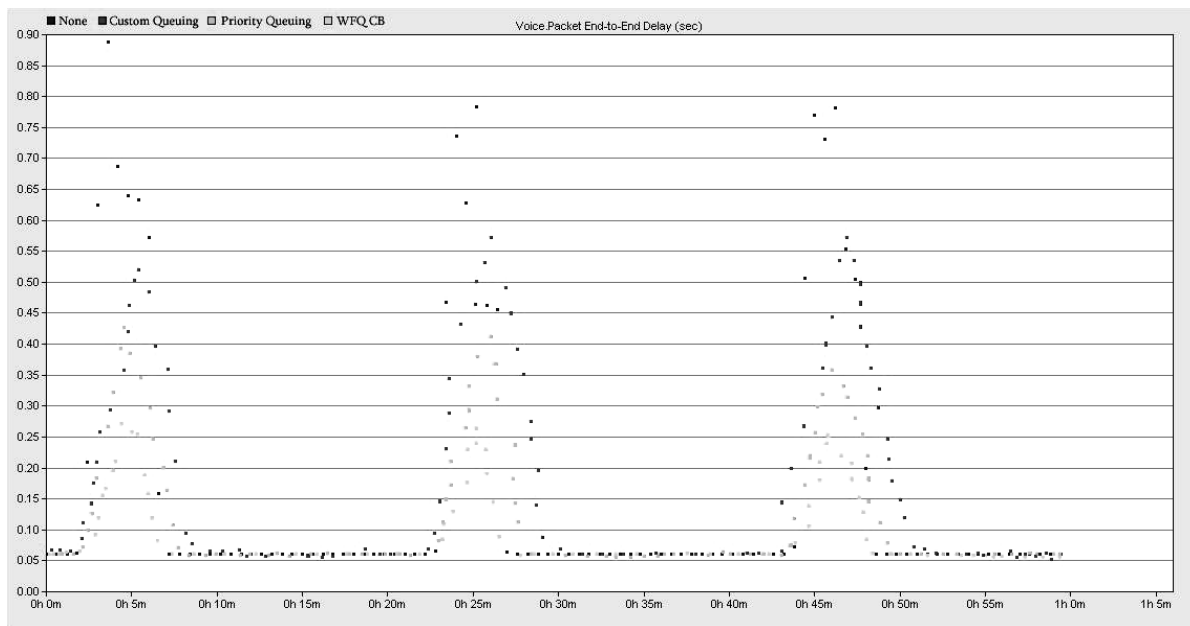


Рис. 10. Кінцева затримка у разі використання черг

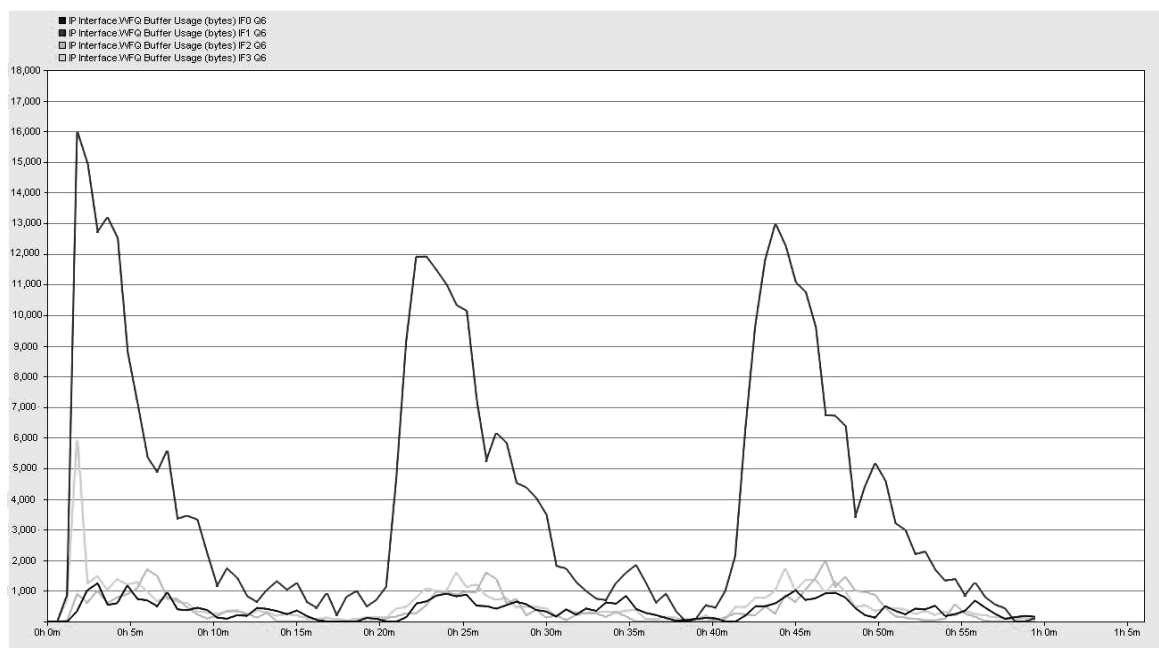


Рис. 11. Навантаження буфера в разі обслуговування черги механізмом WFQ на граничному маршрутизаторі

У табл. 1 наведено основні параметри, які впливатимуть на визначення оптимального механізму обслуговування черг. Серед них кінцева затримка, джитер, затримки у бездротовій мережі, частка втрачених пакетів, якість сприйняття QoE. Для оцінювання якості надання послуг використовують показник оцінювання якості сприйняття послуг QoE (Quality of Experience), що визначає, як сприймає кінцевий користувач цю послугу, і який прямо пропорційно залежить від показника якості надання сервісу QoS (Quality of Service). Для чіткого виділення кожного із термінів визначимо, що QoE – це суб’єктивна оцінка послуги на прикладному рівні користувачем, який користується послугою, а QoS – це набір технологій мережевого та каналного рівнів,

застосування яких дають змогу ефективніше використовувати ресурси мережі, особливо під час передавання потокових видів трафіку для забезпечення необхідного рівня QoE.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика різних видів формування черг**

Механізм	Кінцева затримка, мс	Джитер, мс	Затримка у Wi-Fi мережі, мс	MOS	Частка втрачених пакетів
<b>Без черги</b>	900	0,025	15	2.5	0.1
<b>WFQ CB</b>	300	0,0001	0,3	3.9	0.0
<b>Custom Queuing</b>	520	0,001	0,5	3.5	0.02
<b>Priority Queuing</b>	430	0,006	0,6	3.4	0.0015

Практичний аналіз та дослідження довели, що керування мережею за допомогою формування черг WFQ CB на основі пріоритетизації трафіку дають змогу зменшити затримки в мережі в годину найбільшого навантаження до трьох разів та задовольняють вимоги забезпечення якості QoS.

Таблиця 2

**Результати аналізу потоків даних**

Напрямок	Розмір потоку, б/с	Середня затримка в каналі зв'язку, мс	Кількість хопів	Частка втрачених пакетів, %
<b>Client1 → VoIP</b>	64,000	0,007	6	0,0
<b>Client1 → WEB</b>	128,000	0,031	6	0,0
<b>Client1 → FTP</b>	64,000	0,024	6	0,0
<b>Edge Router → Core Router</b>	19,200,000	0,081	1	0,0
<b>Access SW5 → Edge Router 2</b>	32,000,000	0,135	1	0,0
<b>VoIP → Edge Router 2</b>	8,000,000	0,061	2	0,0
<b>FTP → Edge Router 2</b>	16,000,000	0,067	2	0,0
<b>WEB → Edge Router 2</b>	8,000,000	0,048	2	0,0

Найбільші затримки у каналі зв'язку можна спостерігати на ділянці Access Switch 5 to Edge Router 2. Це пояснюється тим, що весь трафік, що надходить до серверів, йде через один інтерфейс граничного маршрутизатора. Тому на цьому інтерфейсі спостерігаються найбільші черги, розмір потоку та середні затримки.

Затримки, що є критичним параметром для передавання голосових даних, зменшились за рахунок використання черг для різних типів трафіку. Так, кінцева затримка для голосового трафіку становить 310 мс, що задовольняє вимоги QoS.

**Рівень затримок у каналах рівня доступу зв'язку  
та частка втрачених пакетів**

Ділянка	Затримка до QoS, мс	Затримка після QoS, мс	Варіація затримки, мс	Частка втрачених пакетів
<b>Затримка на ділянці від абонента до точки доступу</b>	800	310	10	0,0
<b>Затримка на ділянці від точки доступу до комутатора доступу</b>	15	8	5	0,0
<b>Затримка на ділянці від абонента до сервера</b>	880	320	25	0,0
<b>Затримка відповіді від сервера до абонента</b>	0,07	0,07	0,008	0,0

Таблиця 4

**Рівень затримок у системі у разі користування кожним з сервісів**

Назва сервісу	Рівень затримок до керування, мс	Рівень затримок після керування, мс
<b>IP-телефонія</b>	900	310
<b>FTP обмін даними</b>	1500	390
<b>WEB-серфінг</b>	1000	900

Для всіх додатків, що надаються в мультисервісній мережі, параметри якості задовольняють вимоги QoS при інтеграції GSM/Wi-Fi.

**Висновок.** Досліджено концепцію побудови конвергентної мережі, визначено основні напрями розвитку та її впровадження. Обґрунтовано можливість підвищення надійності надання послуг мобільного оператора за рахунок використання технології Unlicensed Mobile Access-Advanced (UMA-A).

Перехід до передавання даних пакетним способом дасть змогу впровадити нові абонентські сервіси з мінімальними витратами. Встановлено такі види трафіку для інтегрованої WiFi/GSM мережі: передавання голосу (VoWi-Fi), відеодзвінки, відеоконференція, передавання даних, інтернет-серфінг, передавання голосу (VoIP) для корпоративних абонентів, хмарні обчислення, розгортання фемтосот для корпоративних абонентів.

Технологія UMA дозволить збільшити кількість абонентів за рахунок залучення наявних і потенційних користувачів стаціонарних мереж. Якщо абонент має домашню Wi-Fi мережу, то завдяки UMA він зможе здійснювати дзвінки через неї, використовуючи свій мобільний телефон. Також можна відзначити переваги єдиного номера абонента, нижчої вартості дзвінків у межах єдиної IP-мережі. Крім того, UMA-сервісами зможуть користуватись відвідувачі кафе, ресторанів, готелів, де вже встановлено Wi-Fi точки доступу (Hot Spot). Це ще одна перевага такого вирішення проблеми конвергенції та побудови мультисервісної NGN мережі.

Розроблено оригінальний програмний продукт, який дає змогу здійснити оптимізацію мережевої інфраструктури мобільного оператора, перерозподіливши мережеві ресурси з упровадженням і розвитком у ній елементів NGN-технологій для спільного розгортання

інфокомунікаційної мережі. А також підвищено якість обслуговування мобільних абонентів розподіленими сервісами в системах мобільного зв'язку із застосуванням запропонованого методу оцінки завантаженості Wi-Fi каналу та динамічного резервування пропускну здатності для кінцевих користувачів у процесі інтеграції мереж.

Сформовані сервіси, що надаватимуться у мережі, та параметри QoS, які є базовими для надання послуги абонентові (затримка, втрати, джитер). Досліджена поведінка інтегрованої мережі в годину найбільшого навантаження та механізми керування мережею під час перевантаження на основі імітаційної моделі, розробленої в програмному середовищі Opnet Modeler.

Використання класових черг WFQ Class Based дає змогу динамічно регулювати навантаження мережі та задовольняти вимоги забезпечення якості QoS.

1. Лемешко А.В. Динамическая модель структурно-функционального синтеза транспортной ТКС [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, В.Л. Стерин // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 3(5).– С.8–17. – Режим доступа к журн.: [http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113\\_lemeshko\\_synthesis.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_lemeshko_synthesis.pdf). 2. Климаш М.М., Лаврів О.А., Бугиль Б.А. Вплив властивостей трафіку на параметри якості обслуговування вузла мультисервісної мережі // 4-й Международный радиоэлектронный форум “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” МРФ-2011: сб. научн. трудов. Том II. Международная конференция “Телекоммуникационные системы и технологии”. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2011. – С. 315–318. 3. Klymash Mykhailo, Beshley Mykola, Lavriv Orest. Model of network resources management on the basis of services priorities association. Proceedings of international conference CADSM'2013. Polyana-Svalyava. – 2013. – P. 172–173. 4. Klymash M., Savchuk R., Beshley M., Pozdnyakov P. The researching and modeling of structures of mobile networks for providing of multiservice radioaccess // TCSET'2012. (February 22, 2012 Lviv-Slavske, Ukraine). Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 281–282. 5. Klymash M., Beshley M., Koval V. Method of Resource Distribution for Mobile Cloud Computing Systems // TCSET'2014. (February 22, 2014 Lviv-Slavske, Ukraine). – Publishing House of Lviv Polytechnic. – P. 220–223. 6. Климаш М.М., Бешлей М.І., Селюченко М.О. Динамічне управління якістю послуг на основі SOCCA в конвергентних телекомунікаційних мережах // Восьма міжнародна науково-технічна конференція і Шоста студентська науково-технічна конференція “Проблеми телекомунікацій”. – К., 2014. – С. 50–52.