

## ВІДГУК

### офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Єременко Олександри Сергіївни  
на дисертаційну роботу Воронця Віталія Миколайовича  
«Моделі і методи забезпечення QoS шляхом обслуговування черг  
в умовах пікових навантажень»,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології, галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

### Актуальність теми роботи

Інфокомунікаційні мережі будуються як багаторівневі мультисервісні платформи, основним завданням яких є забезпечення заданого рівня якості обслуговування (Quality of Service, QoS) користувачів. Зі зростанням територіальної розподіленості та кількості мережних пристроїв (комутаторів, маршрутизаторів, контролерів мереж тощо), зі збільшенням об'єму навантаження на мережу, а також різноманітності трафіка, що передається, проблема забезпечення QoS тільки загострюється. Кожен потік пакетів, що генерується тим чи іншим застосунком, вимагає диференційованого обслуговування та по-різному чутливий до тих чи інших QoS-показників. Водночас механізми забезпечення QoS мають надавати функції щодо управління перевантаженням та пріоритезації трафіку. За відсутності гарантованого рівня QoS користувачі мережі можуть відчувати затримки, втрати пакетів, погіршення якості обслуговування. Поширення застосунків, що виконуються у режимі реального часу (відеоконференції, телемедицина), вимагає надійних мереж з низькою затримкою. Отже, механізми QoS мають забезпечити критично важливим застосункам необхідні мережні ресурси навіть під час пікових навантажень.

Існуючі засоби забезпечення диференційованої якості обслуговування, як-от FIFO, PQ, CQ, FQ/WFQ, CBQ, LLQ та їх чисельні модифікації та комбінації, мають свої переваги, недоліки та рекомендовану область застосування на різноманітних інтерфейсах комутаторів і маршрутизаторів мереж. У зв'язку з цим сучасні мережі потребують вирішення завдань підвищення ефективності існуючих і створення нових технологічних рішень, моделей і методів управління чергами з метою підвищення якості обслуговування.

Виходячи з цього, є актуальною проблематика дисертаційної роботи Воронця Віталія Миколайовича, яка присвячена розв'язанню науково-прикладної задачі щодо розробки та удосконалення моделей і методів управління чергами при пікових навантаженнях для підвищення якості обслуговування комп'ютерних мереж.

Результати роботи отримано в ході досліджень, що проводились на кафедрі «Системи інформації ім. В.О. Кравця» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

## Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення

Дисертація складається з чотирьох розділів, в яких викладено отримані наукові результати. Структура дисертаційної роботи логічна та послідовна. Актуальність дисертації обґрунтована та повністю відповідає проблематиці сучасного стану досліджень в області забезпечення якості обслуговування шляхом управління чергами в комп'ютерних мережах.

У *вступі* подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення, актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена апробація дисертаційної роботи і публікації.

В *першому розділі* проведено аналіз управління чергами в архітектурі забезпечення якості обслуговування мереж наступного покоління та огляд існуючих практичних і теоретичних рішень. Обрано напрям теоретичних та експериментальних досліджень, а також здійснено постановку науково-технічної проблеми та задач дослідження.

У *другому розділі* роботи досліджено марковські моделі вузлів комп'ютерних мереж з UDP та TCP трафіком. Запропоновано математичні моделі вузлів комп'ютерної мережі з неоднорідним вхідним потоком без пріоритетів, багатоканального вузла мережі з неоднорідним вхідним потоком з абсолютним пріоритетом, багатоканальним потоком з відносним пріоритетом, вузла мережі з повторною передачею пакетів. Крім того, представлено наближену технологію оцінки якості обслуговування багатоканальних вузлів мережі з відмовами та неоднорідним вхідним трафіком з урахуванням пріоритетів потоків, що передаються.

В *третьому розділі* запропоновано комплексну математичну модель управління потоками пакетів на вузлі мережі. Водночас розроблено сценарій управління вузлом з чотирма чергами обслуговування потоків пакетів, що відрізняються своїми характеристиками. Технологічне завдання представлено у вигляді оптимізаційної задачі з вартісною цільовою функцією. Працездатність моделі доведена шляхом програмної симуляції фрагмента мережі з вузлом, на якому реалізовано механізм управління чергами з пріоритетами та відповідними потоками пакетів.

У *четвертому розділі* запропоновано подальший розвиток методу управління обслуговуванням черг на вузлі мережі, що гарантує показники якості обслуговування з реалізацією раціонального розподілу ресурсів. Розроблено відповідну імітаційну модель за допомогою симулятора OMNeT++ для тестування розвинутих методів управління чергами на вузлах на прикладі моделі мережі кампусу.

Висновки дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень. Аналіз публікацій, апробацій та актів впровадження свідчить про повноту викладу в дисертаційній роботі отриманих наукових результатів.

### Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Воронця В.М., впливають з достовірності отриманих дисертантом результатів, засвідчених відповідними актами впровадження, обговоренням матеріалів дисертації на 6 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях, а також наукових семінарах, де отримали схвальну оцінку. Адекватність отриманих рішень та оцінка їхньої ефективності підтверджені результатами моделювання та дослідження запропонованих моделей і методів управління чергами та якістю обслуговування. Отже, розроблені аналітичні та імітаційні моделі управління трафіком у мережі було використано під час:

- аналітичного моделювання та дослідження залежності довжини черги одного потоку від інтенсивності іншого при передачі UDP та TCP трафіку в мережі;
- дослідження комплексної моделі управління потоками пакетів на вузлі мережі за допомогою програмної симуляції фрагмента мережі з вузлом, на якому реалізовано механізм управління чергами з пріоритетами та потоками пакетів;
- дослідження розвинутого методу управління чергами на вузлах на прикладі моделі мережі кампусу шляхом імітаційного моделювання в симуляторі OMNeT++.

### Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

У дисертаційній роботі Воронця В.М. отримано такі наукові результати:

- *удосконалено* марковські моделі обслуговування мережного трафіку шляхом урахування особливостей протоколу управління передачею TCP з гарантованою доставкою сегментів та їх повторної передачі у разі втрати;
- *вперше запропоновано* вартісно-вагову модель управління обслуговуванням потоків пакетів за рахунок їх розподілу чергами вузла мережі з урахуванням суперпозиції показників якості обслуговування, внутрішніх параметрів заголовку пакетів і додаткових зважених показників;
- *отримали подальший розвиток* методи управління обслуговуванням черг з розподілом ресурсів за такими критеріями, як середня довжина черг з урахуванням пріоритетів, середня тривалість очікування початку обслуговування, середня кількість черг, довжина яких не менше критичної.

### **Практична значимість результатів роботи**

Отримані в дисертаційній роботі Воронця В.М. наукові результати мають практичну цінність у зв'язку з тим, що можуть бути використані під час створення нових і вдосконалення існуючих моделей і методів управління чергами у разі пікових навантажень для підвищення якості обслуговування комп'ютерних мереж. Впровадження запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити рівень якості обслуговування за наступними показниками:

- використання вартісно-вагової моделі управління обслуговуванням потоків пакетів за множиною показників дозволило знизити пакетну затримку на 15,7% при піковому навантаженні мережі 90% і більше;
- за рахунок застосування удосконалених марковських моделей обслуговування мережного трафіку покращено точність розрахунку втрат пакетів на 3,83% та затримки пакетів на 4,63% при піковому навантаженні мережі 90% і більше.

Важливість для практики результатів дисертаційної роботи підтверджена актами їхнього впровадження, а саме:

- у ТОВ «Макснет» (м. Харків) – профільній організації, що є провайдером та оператором зв'язку, який надає комплекс телекомунікаційних послуг;
- в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) при використанні в навчальному процесі кафедри «Системи інформації ім. В.О. Кравця», а саме у навчальних курсах «Технології транспортних мереж», «Забезпечення якості надання телекомунікаційних послуг», «Технології вимірювання в телекомунікаціях».

### **Повнота викладу основних результатів дисертації у фахових виданнях**

Проведений аналіз показав, що здобувач має необхідний обсяг наукових публікацій та апробацій. Результати дисертаційної роботи висвітлено у 13 наукових працях, серед них 4 статті у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у виданні категорії А, що індексується наукометричною базою Scopus. Дисертант доповідався на 6-ти міжнародних і всеукраїнських конференціях. Здобувачем отримано 1 авторське свідоцтво на комп'ютерну програму.

Опубліковані матеріали відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і

містяться в опублікованих працях. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

### **Зауваження та недоліки**

1. У першому розділі недостатньо уваги приділено протоколам транспортного рівня UDP та TCP, а також особливостям їх функціонування і ролі в процесах управління трафіком.

2. У другому розділі запропоновано аналітичні розв'язки марковських моделей, які можуть бути складними для практичного впровадження у вигляді модуля застосунка та потребувати значних обчислювальних ресурсів, враховуючи розмірність та складність топологій сучасних мереж. Розв'язання систем рівнянь для великих мереж може стати ресурсоємним. Необхідно враховувати, що розмірність задачі зростає експоненційно залежно від кількості підпотоків та розміру черг. Крім того, не надано конкретних рекомендацій щодо практичної імплементації і застосування моделей для управління мереж.

3. У третьому розділі при розгляданні існуючих механізмів обслуговування черг не приділено уваги таким механізмам, як Deficit Round Robin (DRR), Weighted Round-Robin (WRR) та Low Latency Queuing (LLQ).

4. Таблиці 3.2 – 3.5 потребують додаткового пояснення та аналізу отриманих результатів.

5. Не наведено обґрунтування вибору та переваги використання саме застосунку OMNeT++ як програмного засобу симуляції. Не надано порівняння реалізації запропонованих теоретичних рішень в різних засобах моделювання.

6. У четвертому розділі дисертаційної роботи не наведено блок-схеми запропонованого методу, що ускладнює його розуміння.

7. Було б доцільно привести в роботі емпіричне обґрунтування запропонованих методів, їх практичну реалізацію, тестування в реальних умовах та врахування специфічних вимог різних мережних середовищ, в тому числі програмно-конфігурованих архітектур. Експериментальні дослідження на фізичному обладнанні допомогли б зменшити потенційні недоліки та підвищити практичну цінність дослідження.

Проте, вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертаційні дослідження є актуальними, мають наукову цінність та практичну значущість.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Воронця Віталія Миколайовича «Моделі і методи забезпечення QoS шляхом обслуговування черг в умовах пікових навантажень» є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу щодо розробки нових та удосконалення існуючих моделей і методів, пов'язаних з управлінням чергами при пікових навантаженнях комп'ютерних мереж з метою покращення показників якості обслуговування.

За своєю формою, об'ємом і змістом робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Загалом здобувач Воронець Віталій Миколайович за рівнем своєї підготовки та кваліфікації заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Офіційний опонент:

професор кафедри інфокомунікаційної  
інженерії імені В. В. Поповського  
Харківського національного університету  
радіоелектроніки,  
доктор технічних наук, професор

Олександра ЄРЕМЕНКО

27.06.2024р.

Учений секретар

Харківського національного університету  
радіоелектроніки  
кандидат технічних наук, доцент



Ірина ЖАРІКОВА

27.06.2024р.