

## **Відгук офіційного опонента**

на дисертаційну роботу Довженка Тимура Павловича на тему:  
“Методика побудови системи активного управління чергою  
пакетів буфера маршрутизатора в TCP/IP-мережах з  
використанням REM-регуляторів”, що подана до захисту  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних  
наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрой та засоби  
телекомунікацій

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження**

При некерованому зростанні обсягів трафіку в транзитних та кінцевих вузлах TCP/IP-мережі збільшуються черги у буферах маршрутизаторів, що призводить до перевантаження мережі, явища глобальної синхронізації TCP потоків, зменшення ефективної швидкості передавання даних та погіршення параметрів якості системи передачі даних.

Для запобігання негативним явищам, які пов'язані з переповненням черги пакетів використовують спеціальні методи активного управління чергою (Active Queue Management, AQM), які маркують кожний пакет в черзі відповідним чином, а при критичній заповненості буфера маршрутизатора – виконують скидання пакетів черги.

З огляду на викладене, тема дисертаційної роботи, яка присвячена удосконаленню методики підвищення показників якості системи управління чергою буфера маршрутизатора мережі TCP/IP на базі AQM-методів на сьогоднішній день є досить важливою і актуальною.

### **Структура та зміст роботи**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків. Загальний обсяг дисертації становить 180 сторінок машинописного тексту, зокрема представлено 78 рисунків, 23 таблиці. Крім того, дисертація включає 1 додаток і список використаних джерел зі 110 найменувань.

У вступі обґрутовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, викладено основні наукові та практичні результати, здобуті в роботі, а також основні положення, що виносяться на захист.

У *першому розділі* роботи наведено характеристики основних методик активного управління чергою, відмінності між активними (AQM) та пасивними (PQM) методами управління чергою, проведено порівняльний аналіз функціонування і моделювання мережі з використанням AQM-методик (RED, PI, REM).

В *другому розділі* було описано роботу регуляторів, побудованих на основі REM (Random Exponential Marking) методики, а також зроблені висновки про їх вплив на параметри маршрутизатора шляхом імітаційного комп’ютерного моделювання.

В *третьому розділі* представлено алгоритм реалізації нової, розробленої автором, AQM-методики з динамічно розщеплюваною характеристикою маркування/скидання пакетів на основі REM (REM algorithm with dynamic split feature – DSREM). Виконано повний факторний експеримент  $2^3$  для отримання прогнозуючої моделі по відкинутим та втраченим пакетам в мережі TCP/IP. Визначено адекватність отриманої моделі. Порівнюються дві методики активного управління чергою – REM і його модифікація DSREM та проводиться аналіз їх застосування при моделюванні на мережному симулаторі ns-2. Визначено ряд ключових переваг DSREM-методики над REM.

В матеріалі *четвертого розділу* роботи приведено структурну схему мережі TCP з DSREM-регулятором. Проведено імітаційне моделювання мережі TCP/IP із застосуванням REM та DSREM регуляторів та здійснено порівняння відповідних логарифмічних фазових та амплітудних характеристик для кожного з них. Результати моделювання засвідчують, що система з DSREM-регулятором є більш стійкою при значних флюктуаціях вхідного трафіку мережі.

В *додатках* до дисертаційної роботи наведено обрані програмні коди та відскановані акти впровадження.

### **Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій**

Обґрунтованість та достовірність отриманих автором нових результатів, зокрема щодо дослідження якісних показників DSREM-регулятора в мережі TCP/IP, забезпечено коректним використанням апробованих математичних методів і підходів, які широко використовувалися в процесі дослідження, а

також підтверджено результатами імітаційного комп'ютерного моделювання в мережевому симуляторі ns-2 та в інтерактивній системі MATLAB.

**Наукова новизна отриманих в дисертаційній роботі результатів полягає в тому, що:**

1. Удосконалено методику активного управління чергою пакетів маршрутизатора. На відміну від існуючої REM-методики, DSREM має кращі показники стабільності роботи алгоритму, враховуючи особливості оброблення пакетів та їх взаємодії в черзі маршрутизатора, при цьому використано запропоновані автором коефіцієнти масштабу та стійкості.

2. Вперше запропоновано статистичні моделі прогнозування кількості відкинутих та втрачених пакетів для мережі TCP/IP з використання DSREM алгоритму, які дозволяють прогнозувати можливі втрати даних при перевантаженні мережної системи.

3. Набула подальшого розвитку модель регулятора черги маршрутизатора, яка включає новий алгоритм управління для DSREM-методики з поліпшеною характеристикою системи управління.

**Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях**

Всі результати дослідження, які отримані в дисертаційній роботі, опубліковані в 15 наукових працях, серед яких 8 статей в українських та зарубіжних фахових та наукометричних виданнях. Крім того, результати дисертаційної роботи були представлені на 7 конференціях.

Всі публікації, які вказані у списку опублікованих автором праць відповідають темі дисертації. Ступінь опублікованості результатів роботи є достатньою.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертаційна робота оформлена відповідно до встановлених вимог. Автореферат повністю та ідентично розкриває основний зміст дисертаційної роботи, характеризує отримані результати, сформульовані висновки та рекомендації. Стиль викладення матеріалів забезпечує доступність їх сприйняття.

## **Практичне значення одержаних результатів**

Практичне застосування отриманих результатів можливе при проектуванні активних елементів телекомуникаційних мереж, зокрема при реалізації систем активного управління чергою, оскільки DSREM де-факто забезпечує найменші втрати пакетів TCP/IP-мережі серед усіх інших відомих AQM-алгоритмів та забезпечує стабільність мережних параметрів в широкому діапазоні вхідних навантажень. Розроблена автором статистична модель роботи даного алгоритму дозволяє аналізувати можливі втрати даних в умовах перевантаження мережі, що дає можливість зменшити необхідні затрати часу і інших ресурсів.

## **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. В першому розділі дисертації відсутні результати моделювання мережі при застосуванні методів пасивного управління чергами.
2. Моделювання мережі при застосуванні AQM-методів виконувалось при малій кількості вхідних потоків. При цьому не наведено результати моделювання мережі в парі із основними методами запобігання перевантаженням.
3. У другому розділі роботи проведено порівняння основних модифікацій REM-методу, проте модифікація REM із самоналаштуванням (STREM) порівнюється лише із основними AQM-методами.
4. В третьому розділі дисертації не вказано, яким саме якісним показникам переходного процесу повинно задовольняти значення логарифмічної фазової характеристики при знаходженні частоти  $\omega$  для визначення коефіцієнта стійкості  $k_{st}$ .
5. З четвертого розділу роботи не зовсім зрозуміло, яким чином отримано передавальну функцію для REM.

Проте, наведені зауваження не змінюють загальну *позитивну* оцінку наукової значимості і практичної цінності дисертаційної роботи.

## **Висновки**

1. Дисертаційна робота Довженка Тимура Павловича на тему “Методика побудови системи активного управління чергою пакетів буфера

маршрутизатора в TCP/IP-мережах з використанням REM-регуляторів” є завершеною науковою працею, що містить нові науково-обґрунтовані результати, важливі для подальшого розвитку систем передавання даних, які, у сукупності, розв’язують актуальне наукове завдання покращення характеристик систем активного управління чергою за рахунок вдосконалення існуючого методу випадкового експоненціального маркування пакетів буфера маршрутизатора та розроблення на його основі AQM-регулятора.

2. Структура дисертаційної роботи є обґрунтованою, за змістом робота відповідає паспорту спеціальності 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомуникацій, а поданий автореферат об’єктивно і з необхідною повнотою відображає зміст і основні положення дисертації.

3. За науковим рівнем, практичною цінністю, апробацією та публікаціями дисертаційна робота Довженка Тимура Павловича на тему “Методика побудови системи активного управління чергою пакетів буфера маршрутизатора в TCP/IP-мережах з використанням REM-регуляторів” відповідає нормативним вимогам Кабінету Міністрів України згідно пп. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор – Довженко Тимур Павлович – заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомуникацій.

**Офіційний опонент:**

Завідувач кафедри телекомуникацій

Національного університету

“Львівська політехніка”

д.т.н., професор

М.М. Климаш

Підпис професора Климаша М.М. засвідчує,

Вчений секретар

Національного університету

“Львівська політехніка”



Р.Б. Брилинський