

## ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Аломара Мхамеда**  
«Удосконалення технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж»,  
що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.13.05 – «комп'ютерні системи та компоненти»

### **Актуальність теми.**

Відомо, що через пульсації трафіку на портах пакетного комутатора коефіцієнт інформаційного навантаження на вузлове обладнання пакетних мереж, якщо не прийняти спеціальних заходів, зазвичай не буде перевищувати 0,4. Активне застосування інженерії пакетного трафіка дозволяє суттєво збільшити завантаження цього обладнання, але, у середньому, не більше, ніж 0,55 – 0,6. Тому, існує вагомий резерв із збільшення значень цього показника, який і спробував використати здобувач у рамках своєї дисертаційної роботи. Актуальність робіт, що спрямовані на підвищення інформаційного завантаження обладнання пакетних мереж, підтверджується тим, що вартість такого обладнання є високою і його раціональне використання в процесі експлуатації повинно дати помітний економічний ефект. У дисертаційній роботі Аломара Мхамеда запропоновано удосконалення відомого адаптивного механізму підвищення інформаційних навантажень на порти вузлового обладнання (ВО) пакетної мережі за рахунок цілеспрямованого формування трафіку та уведення у контур адаптивного управління блоку короткострокового прогнозування тренду трафіка. Впровадження цих удосконалень в експлуатаційну практику операторами пакетних мереж, у певних умовах, якщо погодитися з результатами, що викладені у дисертації Аломара Мхамеда, має дати економічний ефект за рахунок збільшення коефіцієнта використання пропускної спроможності ВО та відмови від його заміни на більш продуктивне і вартісне.

### **Зв'язок дисертаційної роботи з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, державними чи галузевими науковими програмами.**

Проблема підвищення ефективності використання мережного обладнання є однією із пріоритетних проблем за напрямком інформаційні технології. Цій проблемі приділяється велика увага як з боку державних органів, так і з боку провідних операторів та провайдерів інформаційних сервісів. Тому тема дисертації Аломара Мхамеда отримала відповідну підтримку з боку вищеназваних структур. Зокрема, пошукач приймав участь у спільній роботі з фахівцями Національного авіаційного університету (НАУ) і його наукові результати знайшли відображення у науково-технічних звітах та впровадженнях нових інформаційних систем, що належать МДА «Бориспіль». Отримані результати використовуються у навчальному процесі Національного авіаційного університету.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому.** Дисертаційна робота викладена на 140 сторінках, складається з вступу, чотирьох розділів, які містять основні наукові результати, списку літератури та 2 додатків. Основний

текст містить 130 сторінок тексту, який ілюстровано 23 рисунками.

*Перший розділ* автор присвятив розгляду характеристик адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж з метою виявлення недоліків, що утруднюють впровадження цього способу управління в умовах значних пульсацій трафіку. На основі розгляду відомих методів підвищення завантаженості вузлового обладнання (ВО) визначено можливі шляхи удосконалення технології адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж. Обговорено можливий вплив цих удосконалень на показник помилок адаптивного управління. Автор стверджує, що використання методу адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж забезпечує більш високий рівень завантаження обладнання корисним трафіком у порівнянні із можливостями статичного методу управління, не порушуючи при цьому норм на припустимі рівні втрат пакетів. Розглянуто дискретно-адаптивне управління розподілом ширини смуг портів ВО, на входи котрих подавалися усереднені тренди пакетного трафіка, що згладжувалися за методом «відра токенів». Автор робить висновок, що робота такої системи управління супроводжується виникненням системних помилок: типу  $D^{(-)}$  - недооцінки смуги пропускання портів, що призводять, за певних умов, до підвищення рівню втрат пакетів; типу  $D^{(+)}$  - переоцінки смуги пропускання портів, що призводять, до зниження навантаження обладнання корисним трафіком. Заявлено також, що використання механізму прогнозування у контурі дискретно-адаптивного управління забезпечує можливість не тільки зменшення помилок недооцінки  $D^{(-)}$ , але і перетворення цих помилок у помилки переоцінки  $D^{(+)}$ . Стверджується, що при вирішенні більшості експлуатаційних завдань більш важливою є задача зменшення помилок типу  $D^{(-)}$ . Тому технологія управління розподілом ресурсів ВО має використовувати дискретно-адаптивний принцип управління із уведенням у контур адаптивного управління певним чином обраного механізму прогнозування пакетного трафіка.

У *другому розділі* розглянута можливість моделювання пакетного трафіка у вигляді дискретних асимптотично самоподібних (фрактальних) процесів, а також доцільність використання цих моделей для прогнозування трафіка. Рівень самоподоби встановлюється не через рівність процесів у сенсі їхніх статистичних розподілів, а шляхом порівняння властивостей статистичних абсолютних моментів, зокрема функції автокореляції та індексу дисперсії. Розглянуто функціональний зв'язок між параметрами усереднення пакетного трафіка та його статистичними характеристиками, сформульовано шляхи та умови формування тренду трафіка (зокрема, наголошено на виборі інтервалу усереднення трафіку), придатного для обробки в системі адаптивного управління. З метою визначення коректності процесу формування вихідного пакетного трафіку, запропоновано процедуру віднесення пакетного трафіка до класу самоподібних процесів на основі оцінок параметра Херста та індексу дисперсії IDC.

Стверджується, що чим ближче значення параметра Херста до 1 (із діапазону значень у межах від 0,5 до 1,0), тим вище ступінь самоподібності

трафіка. Показано, що збільшення інтервалу усереднення трафіку приводить до збільшення ступеню його самоподоби (до збільшення значень параметру Херста), що сприяє прогнозуванню його тренду, але при цьому зростає час затримок та коефіцієнт втрат пакетів. Автор стверджує, що цілеспрямоване формування пульсуючого пакетного трафіка, зокрема його усереднення, з дотриманням норм щодо припустимих втрат пакетів в багатьох випадках може у певній мірі згладити пульсації і створити більш прийнятні умови для прогнозування його трендів.

Складено процедуру віднесення вибірок пакетного трафіка до класу асимптотично самоподібних, що надає можливість визначення умов застосування засобів формування та прогнозування пакетного трафіку у складі системи адаптивного розподілу ресурсів ВО.

Автором складено технологію формування пакетного трафіка. Ця технологія надає можливість перетворення нестационарних потоків пакетів, що просуються через порти вузлового обладнання, на квазістационарні відрізки з проміжками стаціонарності, які узгоджені з інтервалами кроків дискретного управління.

*В третьому розділі* задачу адаптивного розподілу пропускної здатності ВО між його портами поставлено як задачу вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів з використанням методу динамічного програмування Белмана. Було наведено рівняння настроювання та функціонал, що має бути оптимізованим. Обрано вид функції Белмана і записано відповідне їм рівняння Белмана. Як стверджує автор, це дозволило звести задачу аналітичного конструювання регуляторів до рішення рівняння Рікаті (ні самого рівняння, ні процесу його рішення не наведено). Проте, таке представлення системи адаптивного управління не враховує можливість виникнення системних помилок адаптивного управління та їхній негативний вплив на якість управління. Тому було проведено огляд можливих чинників виникнення системних помилок адаптивного управління та знаходженню шляхів зменшення їхнього впливу.

Для зменшення помилок адаптивного управління запропоновано у ланцюг управління включити засіб прогнозування пульсацій потоків пакетів. Вибір методу прогнозування обумовив необхідність оцінювання якості прогнозування за показниками, що адекватні умовам застосування вибраного методу. Тому для оцінювання якості прогнозування аспірант запропонував використати два наступні показники: показник економії ширини смуг портів ВО, що відображає ступінь підвищення (у відсотках) завантаженості ВО завдяки застосуванню блоку прогнозування в системі перерозподілу пропускної здатності ВО відносно рівня завантаженості в умовах відсутності прогнозування; параметр помилки прогнозу, який відображає долю помилок, що виникають під час застосування того чи іншого алгоритму прогнозування.

Автором складено структуру та відповідну технологічну схему реалізації механізму перерозподілу ширини смуг портів ВО в умовах пульсацій трафіку.

Запропоновані засоби усереднення та формування дозволили сподіватися отримати на уводах портів ВО квазістаціонарні, згладжені тренди цих потоків. Стверджується, що включення цих засобів в систему адаптивного управління може покращити можливості прогнозування і, тим самим, зменшити кількість системних помилок дискретного-адаптивного управління.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень пакетного трафіку на вузлі Інтернет низового рівня, що виконані з метою визначення можливостей його моделювання самоподібним стохастичним процесом. Проведено експериментальне випробовування запропонованих у роботі засобів прогнозування пакетного трафіку з метою визначення ступеню придатності прийнятих автором обчислювальних схем прогнозування для застосування в системах адаптивного управління ресурсами ВО (СУАР). Здійснено комп'ютерне моделювання запропонованої СУАР і виконана експериментальна оцінка ефективності уведених удосконалень в технологію адаптивного управління розподілом ресурсів ВО.

За твердженням автора, результати моделювання показали, що:

- з включенням у склад СУАР блоків прогнозування підвищується якість роботи системи адаптивного перерозподілу смуг портів ВО, оскільки значення показника недооцінки смуги портів ВО на п'ятисекундних інтервалах при інтегруванні рівняння настроювання з кроком 0.0001 секунди за методом Ейлера зменшуються в середньому на 25 ÷ 35%.

- обчислювальна схема прогнозування за методом експоненціального згладжування дає щодо обраного показника недооцінки смуги портів ВО приблизно на 20% кращі результати у порівнянні із прогнозуванням з використанням похідних.

Автор робить висновок, що, у цілому, результати моделювання показали, що запропоновані удосконалень дозволяють знизити рівень системних помилок дискретно-адаптивного управління у порівнянні із відомою технологічною схемою реалізації СУАР.

У висновках викладено наукові та практичні результати, отримані в дисертації.

Список використаних джерел оформлений в основному правильно та складається з 110 найменувань наукової літератури по темі дисертації.

Додатки містять додатковий матеріал до основного тексту дисертації та акти впровадження.

Дисертація оформлена певною мірою коректно, відповідно до прийнятих норм у цій сфері.

Аналіз публікацій показав, що дисертація виконана здобувачем особисто у вигляді спеціально підготовленого рукопису. На мій погляд можна вважати, що зміст та оформлення дисертації, відповідає вимогам ВАК України до кандидатських дисертацій. Дисертація Аломара Мхамеда являється завершеною науковою працею, яку можна кваліфікувати як таку, що містить ряд наукових результатів. Наукові положення, що відображені в дисертації, судячи з публікацій здобувача, сформульовані ним самостійно (без співавторів), що може свідчити про особистий внесок здобувача в науці.

**Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.** Автореферат відповідає змісту та основним положенням дисертації.

**Відповідність теми і змісту дисертації паспорту спеціальності, за якою вона подана на захист.** Тема дисертації та її зміст відповідають формулі й галузі досліджень паспорта спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.** У роботі розглянуто широке коло питань, які пов'язані між собою єдиною метою. Ступінь обґрунтованості наукових результатів дисертації спирається на залучені методи теорії мереж масового обслуговування та теорії автоматичного управління, співставлення теорії та експерименту, відтворюваність одержаних результатів, а також узгодженістю з теоретичними та експериментальними роботами інших авторів.

**Новизна та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Наукова новизна одержаних результатів роботи полягає у наступному:

1) Показано, що використання механізму прогнозування у контурі дискретно-адаптивного управління забезпечує можливість зменшення помилок недооцінки  $D^{(c)}$ . Тому технологія управління розподілом ресурсів пакетних мереж має використовувати дискретно-адаптивний принцип управління із уведенням у контур адаптивного управління механізму прогнозування пакетного трафіка.

2) Показано, що збільшення інтервалу усереднення трафіку приводить до збільшення ступеню його самоподоби (тобто, до збільшення значень параметру Херста), що сприяє прогнозуванню його тренду, але при цьому зростає час затримок та коефіцієнт втрат пакетів. Запропоновано процедуру визначення інтервалу усереднення пакетного трафіку, яка дозволяє забезпечити певну ступінь самоподібності усередненого трафіку і не перевищити припустимого значення затримок пакетів.

3) Складено технологію формування пакетного трафіку, яка надає можливість перетворення нестационарних потоків пакетів, що просуваються через порти вузлового обладнання, на квазістационарні відрізки з проміжками стаціонарності, які узгоджені з інтервалами кроків дискретного управління.

4) Для зменшення помилок адаптивного управління запропоновано у ланцюг управління включити засіб прогнозування пульсацій потоків пакетів. Для оцінювання якості прогнозування запропоновано використати два наступні показники: показник економії ширини смуг портів ВО, що відображає ступінь підвищення завантаженості ВО завдяки застосуванню блоку прогнозування в системі перерозподілу пропускної здатності ВО відносно рівня завантаженості в умовах відсутності прогнозування; параметр помилки прогнозу, який відображає долю помилок, що виникають під час застосування того чи іншого алгоритму прогнозування.

5) Складено структуру та технологічну схему реалізації механізму перерозподілу ширини смуг портів ВО в умовах пульсацій трафіку. Запропоновані засоби усереднення та формування дозволили отримати на



уводах портів ВО квазістаціонарні згладжені тренди потоків пакетів. Включення цих засобів в систему адаптивного управління може покращити можливості прогнозування і зменшити кількість системних помилок дискретного-адаптивного управління.

**Повнота викладення сформульованих в дисертації наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях.** Основні результати дисертації опубліковані в наукових фахових виданнях України та США, профіль яких відповідає спеціальності за якою дисертація подана на захист. За темою дисертаційної роботи опубліковано 8 наукових праць, в тому числі 5 - у фахових виданнях ВАК України, а 1 -одноосібне, 2 статті у зарубіжних фахових виданнях. Дисертаційна робота також була апробована на 2 міжнародних науково-практичних конференціях. В авторефераті і дисертації наведені дані щодо конкретного особистого вкладу здобувача.

Таким чином, кількість опублікування результатів роботи та їх якість відповідає вимогам ВАК України до кандидатських дисертацій.

**Практична цінність результатів роботи.** Запропоновані удосконалення системи адаптивного управління смугами портів ВО є придатними для створення технологій адаптивного керування ресурсами портів ВО.

**Зауваження щодо дисертації.** За матеріалами дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження:

1. Формулювання теми дисертації і конкретизація об'єктів, на які спрямовані зусилля автора видаються занадто широкими: «...управління розподілом ресурсів *пакетних мереж*», вузлове обладнання (ВО) мереж, - тоді, як робота витікає із базової ідеї модернізації мережних *комутаторів*. Сам автор у рукописі не наводить точних визначень цих понять і під терміном ВО набагато частіше вказує *комутатор* (наприклад, стор.71) і лише кілька разів згадує *маршрутизатор*. Дві роботи дисертанта прямо присвячені «комутаторам» (за назвою). Тим більше, що маршрутизатор у описі експериментальної частини роботи виявився лише багатошаровим комутатором, здатним організувати віртуальні локальні мережі, задля чого він вміє обробляти таблиці маршрутизації (для підтримки технологій VLAN). Нажаль, автор не розкласифікував ВО на категорії з принципово різними властивостями, не зробив різниці між комутаторами і маршрутизаторами.

2. Автор не дослідив можливу реакцію «пакетних мереж», із багатьма маршрутизаторами з динамічними протоколами маршрутизації, на регулярні втручання в налаштування їх портів з метою адаптивного регулювання їх смуг пропускання. Видається високоймовірним, що «пакетна мережа» за таких умов (коли діють динамічні протоколи маршрутизації) буде перманентно знаходитися у неконвергентному стані перехідного процесу і зможе досягти конвергенції лише після зупинки процесів адаптивного регулювання, запропонованих у роботі. Можливо, що у такій мережі не варто очікувати встановлення оптимальних маршрутів за критерієм мінімальної вартості.

3. З огляду на зауваження 2, не досліджено різницю впливів методів, запропонованих автором, на «пакетні мережі» із distance-vector та link-state динамічними протоколами маршрутизації, та статичною маршрутизацією, а також іншими протоколами, що є задіяні в мережах.

4. Суть пропозицій автора формулюється у підрозділі 1.2. першої глави (стор.27), з відсиланням до рис. 3.1. у третій главі (стор. 93), ще до виконання досліджень і обґрунтувань доцільності такого підходу. Подібні відсилання автором з поточного підрозділу до майбутніх підрозділів у подальших главах є не поодинокими: стор. 25 - посилання на підрозділ 2.3., стор. 30 - до підрозділу 2.1., стор.36 - до рис. 3.3., стор. 41, 42, 59, 63 (двічі) - до підрозділу 4 та 4.1 з пропозицією спочатку познайомитися з результатами експериментів, і т.д., і т.п.

5. Деякі висновки по 1, 2, 3, 4 главам часом неконкретні, схожі на декларативні твердження, не обґрунтовані достатньо у тексті рукопису, не дають розуміння мотивації і доцільних шляхів подальшого дослідження. Так, наприклад, висновок 2.3. (стор. 68), 2.4., 2.5., 2.6.; стор. 96 висновок 1 - лише згадка про ланцюг математичних перетворень, яка не може замінити його відсутності у тексті; стор. 97 висновки 2 та 3 - автор пропонував у тексті використати прогнозування і не виконав його дослідження, про що свідчить його ж пропозиція у висновку 3. Висновки по 4 главі - це великі цитати із рукопису без належних конкретики, обґрунтувань і вказівок на позитивні зрушення показників у відсотках, або разях, наприклад: показник покращено на 14 %, або у 1,14 раза.

6. Дуже часто у рукописі зустрічаються твердження без належного обґрунтування їх застосування, наприклад: стор. 46 - про автокореляційну функцію, стор. 60 - п. 5. «Вимірюють приблизний кут нахилу...» (на скільки приблизний?), стор. 63 - загальні словесні оцінки без належних обґрунтувань і обрахунків, стор. 64, 65, 66, 67. У розд. 3 кілька раз згадується рівняння Рікати (стор.71, 118 наприклад), але ніде не демонструється його застосування, хоча зроблено висновки нібито на основі його використання. Стор. 101 - твердження про представницький обсяг вибірки. Стор. 102 рис.4.2 - опис рисунка у тексті не відповідає цифрам і даним на самому рисунку. Рис. 4.3 - відсутня крива у друкованому рукописі. Стор. 105 посилання на «отримані експериментальні дані», яких у тексті побачити не вдалося. Стор. 120 - твердження: «експериментально підбираються параметри моделі, які більш/менш правдоподібно відбивають реальну роботу мереж з пакетною комутацією», - важко зрозуміти у науковій роботі.

7. Часто зустрічаються повтори одного і того ж тексту, наприклад: стор. 62 - початок п.п.2.5 про параметр Херста (втретє по тексту рукопису), стор. 92. Стор. 115 і 116.

8. Кілька разів в тексті зустрічається приклад системи з 3-ма змінними, але із нього робиться узагальнення на випадки невідомо якої складності (стор. 72-74).

9. Повз весь рукопис не зникає запитання: у чому полягає особистий внесок автора у дослідження. Причиною є велика кількість посилань на чужі роботи, навіть у 2-й, 3-й і 4-й главах, де автор після наведення великих цитат з інших робіт, стверджує, що він обґрунтував, довів, визнав доцільним і т.п., не доводячи власну позицію математичними викладками, перетвореннями, розрахунками, тощо.

10. У Списку використаних джерел роботи №91 і №93 суть два

бібліографічних описи однієї і тієї ж роботи (повтор). У авторефераті і рукописі автор повідомляє про 8 наукових робіт за темою дослідження, хоча у Списку використаних джерел наводить 9 робіт з власним ім'ям. Викликає подив, що у тексті рукопису присутнє (стор. 100) лише одне посилання автора на лише одну із 8 (чи 9-ти) власних наукових робіт.

11. У деяких математичних виразах (наприклад, 2.6 – 2.18) некоректно опущені позначки усереднення, іноді великі літери позначень параметрів замінюються маленькими літерами та навпаки. Дуже часто зустрічаються фізичні величини, позначені різними символами, неакуратне використання індексів у позначеннях змінних.

Проте, можна сказати, що в цілому вказані недоліки, не дивлячись на кількість і вагу зауважень, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи. Оскільки вона містить ряд цікавих і цінних наукових ідей, пропозицій, висновків про можливі підходи до їх дослідження і реалізації з отриманням позитивного ефекту у експлуатації обладнання пакетних мереж.

### ВИСНОВОК

Дисертаційна робота «Удосконалення технології управління розподілом ресурсів пакетних мереж» є закінченою науковою працею. Нові результати, що отримані в роботі, та їх практична реалізація в сукупності забезпечує розв'язання актуальної задачі підвищення інформаційного завантаження певних типів вузлового обладнання мереж з пакетною комутацією. Вони мають істотне значення для галузі інформаційних технологій. Дисертація відповідає вимогам, що пред'являються ВАК України до кандидатських дисертацій, а її автор Аломар Мхамад заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.05 – «комп'ютерні системи та компоненти».

Офіційний опонент,  
кандидат технічних наук, доцент  
НТУУ «Київський політехнічний інститут»,  
доцент кафедри автоматизації та управління  
в технічних системах

В.П. Полторак

Підпис канд. техн. наук  
доцента В.П. Полторака, засвідчую

Вчений секретар НТУУ  
«Київський політехнічний інститут»,  
кандидат філософських наук, доцент



А.А. Мельниченко