

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертаційну роботу Кирика Мар'яна Івановича «Методи та моделі керування контентом в розподілених інфокомунікаційних системах», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми роботи. Телекомунікаційні мережі та інформаційні системи розробляються як типові системи масового обслуговування для одержання максимального техніко-економічного ефекту. Засоби для досягнення ефективності відрізняються в залежності від цільової аудиторії користувачів, які використовують ті чи інші мережні системи, а також від типу послуг, якими вони користуються. Особливості останніх значною мірою формують технічні вимоги до побудови мереж операторського класу. Якщо користувачі потребують передачі великих обсягів інформації, наприклад – телевізійних програм або відео на замовлення, тобто повідомлень чутливих до затримки, виникає ряд проблем, таких як невідповідність методів опрацювання пакетного навантаження в режимі обробки потоків навантаження із заданими параметрами, зокрема обмеженнями на їх переміщення мережею загального користування та виділені, групові тракти передачі. Результати досліджень вказують на невідповідність опису навантаження мережі традиційними моделями, які передбачають пуассонівський характер потоків. Цінність даних або вмісту повідомлення сьогодні багато в чому визначається якістю доступу. Досягти необхідних результатів, в умовах постійного зростання обсягів повідомлень, можливо шляхом підвищення продуктивності систем розподілу інформації. Для побудови високоефективної інформаційної інфраструктури будуть використовуватись наявні телекомунікаційні системи, тому створення відповідного телекомунікаційного середовища є важливою проблемою.

Отже, зростання обсягів обміну інформацією в телекомунікаційних мережах зумовлює актуальність теми дисертаційної роботи М.І. Кирика, а також сформульованої здобувачем наукової проблеми розроблення методологічного забезпечення керування передаванням повідомлень у розподілених телекомунікаційних мережах з метою ефективного використання інфраструктури мережі, підвищення продуктивності систем і якості надання послуг за рахунок динамічного балансування навантаження.

У міру збільшення пропускної спроможності трактів і продуктивності серверів, здавалося б, ця мета буде досягнута природним чином. Але Інтернет як і раніше не надає жодних гарантій якості. Якщо пакет виявиться втрачено внаслідок перевантаження будь-якого ділянки мережі або доставлений із запізненням, наприклад, внаслідок недоступності основного маршруту,

завдання застосувань - обробити такі нерегулярності відповідним чином. Пропускна спроможність тракту передачі між застосуваннями також не гарантована і заздалегідь не відома. Вона визначається безліччю факторів, починаючи від пропускної спроможності окремих сегментів мереж між застосуваннями, і закінчуючи завантаженням самих мереж.

Тематика досліджень дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана із рядом законодавчих актів України та світовими тенденціями щодо розвитку в галузі телекомунікаційних та інформаційних технологій. Мета дисертаційної роботи та часткові завдання досліджень сформульовані коректно, виходячи з сукупності одержаних результатів та висновків, поставлену мету було досягнуто.

Автором дисертації було виконано значний обсяг науково-дослідних робіт, як за державним замовленням, так і на замовлення організацій: «Моделі та структури конвергентних телекомунікаційних мереж на основі CLOUD – технологій» («ДБ/CLOUD») (2013-2014 рр.), № держреєстрації 0113U003184; «Методи побудови та моделі інформаційно-телекомунікаційної інфраструктури на основі SDN-технологій для систем електронного урядування» (ДБ/SDN) (2015-2016), № держреєстрації 0115U000444; «Розробка алгоритму роботи кешуючого медіасервера з авторизацією на базі Nginx» (2015р.), ГД № 0519; «Проектування та впровадження локальної мережі передачі мультимедійних даних на базі Ethernet технологій» (2016 р.), ГД № 0548; «Розробка методів управління контентом в інформаційній системі підприємства з використанням технологій віртуалізації» (2017р.), ГД №0741 та ін.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у ДП НТЦ "Уарнет", ТзОВ «ЛІТех», ТзОВ ВКФ «Радіо Сервіс «Лімітед» та інших компаніях, що підтверджено актами впровадження. Результати та напрацювання одержані у процесі виконання дисертаційної роботи також використано у навчально-науковому процесі кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка», що також підтверджується відповідним документом.

Наукова новизна результатів, які отримані в дисертаційній роботі полягає, перш за все, у тому, що автором запропоновано методологію синтезу мереж доставки повідомлень на основі сегменту глобальної мережної інфраструктури, яка враховує методи ресурсного керування, наскрізного оцінювання їх параметрів, якості послуги та стану активного обладнання мережі, а також динамічного балансування навантаження. За рахунок більш ефективного використання ресурсів мережі вдалося підвищити продуктивність системи та якість надання телекомунікаційних послуг. Також вперше запропоновано модель процесу зміни маршруту транспортування замовленого потокового навантаження, яка, на відміну від відомих, враховує QoE оцінку користувачів та її PaaS реалізацію.

Для оцінки ефективності обслуговування черг та керування розподілом навантаження в радіомережах запропоновано інтегральний критерій, який враховує значення затримки, варіації затримки та ймовірності втрати пакетів і метод оцінки ефективності вибору радіочастотного каналу в когнітивній мережі радіо-доступу, який, на відміну від відомих, враховує ймовірність зайняття визначених ділянок радіочастотного спектру на основі результатів його сканування.

Автором запропоновано методи розподілу та доставки комбінованого навантаження в розподілених телекомунікаційних мережах з використанням технології CDN, що дає змогу оптимізувати параметри переміщення та кешування даних в залежності від їх типу, що в свою чергу підвищує ефективність використання інфраструктури мережі та якість надання послуг.

Пропозиція автора щодо поєднання методів аналітичного та імітаційного моделювання з використанням засобів GPSS дала змогу оцінити основні статистичні характеристики процесів обслуговування комбінованих послуг, враховувати завантаженість мережі та параметр Херста.

Основні практичні результати роботи є комерційно-орієнтованими та підтвержені актами впровадження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які наведені у дисертаційній роботі.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів та висновків отриманих у процесі виконання досліджень підтверджена використанням сучасних методів математичного моделювання, детальним та всебічним аналізом отриманих на основі розроблених моделей результатів. Моделі розроблено на основі теорії теорії інформації, статистичних методів та методів експертних оцінок. Оцінка експериментальних даних проводилася на основі методів математичної статистики.

Повнота викладу матеріалів досліджень у опублікованих працях. Основні результати досліджень за темою дисертації викладено у більше, ніж 50 наукових працях. Наукові результати і положення дисертації доповідались на 27-ми міжнародних та всеукраїнських конференціях та наукових семінарах.

Всього опубліковано 23 наукові статті у періодичних виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз, включаючи Web of Science, Scopus, Index Copernicus. Опубліковано та апробовано 27 матеріалів тез доповідей (згідно переліку).

Наведений перелік публікацій, їх зміст та обсяг повністю відповідають темі дисертаційної роботи, а останні у повному обсязі відображають отримані положення, нові наукові результати та висновки.

Оцінка змісту розділів дисертації, її завершеності.

Матеріал дисертаційної роботи викладено логічно та продумано, з чітким розумінням мети та методів досліджень. Дисертаційна робота має логічну

структуру і складається з переліку умовних скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і чотирьох застосувань. Загальний обсяг роботи складає 330 сторінок друкарського тексту, із них 14 сторінок вступу, 238 сторінок основного тексту, 120 рисунків, 31 таблиць, список використаних джерел зі 198 найменувань, 4 додатки на 22 сторінках.

У **вступі** до дисертаційної роботи містяться основні положення дисертаційних досліджень, а також відомості щодо її актуальності, апробацій, впроваджень, публікацій тощо.

У **першому розділі** дисертації виконано про аналіз процесів конвергенції гетерогенних телекомунікаційних мереж, основні моделі та методи забезпечення показників якості переміщення повідомлень користувачів. Наведено еталонну модель телекомунікаційних мереж, особливості моделювання розподілених телекомунікаційних мереж (с. 57), наведено властивості та класифікацію основних інформаційно-комунікаційних послуг (с. 58-64), виконано аналіз вимог до керування застосуваннями у сучасних інформаційно-телекомунікаційних мережах та системах (с. 64-74). Сформульовано проблеми розподілу ресурсів та обґрунтовано завдання досліджень у галузі розподілених інфокомунікаційних систем згідно тематики дисертаційної роботи.

Другий розділ дисертації присвячено методам та моделям підвищення ефективності передавання інформації в розподілених інформаційно-комунікаційних системах. Визначено основні характеристики ефективності цих систем та методи оцінки їх властивостей. Проведено дослідження ймовірнісно-часових характеристик навантаження мереж у сучасних мультисервісних телекомунікаційних мережах (с. 84-96). У розділі також досліджено методи моделювання та аналізу само подібного навантаження мереж (с. 96-109), автором удосконалено методи моделювання якісних та часових параметрів комбінованого навантаження (с. 109-123), зокрема наведено та проаналізовано результати комп'ютерного моделювання процесів надання послуг в телекомунікаційних мережах.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи виконано комплексне моделювання та дослідження методів переміщення навантаження в мережах радіо-доступу. Розглянуто особливості радіомереж із використанням технології когнітивного радіо, запропоновано імітаційну модель когнітивної радіосистеми для оцінки пропускної спроможності радіо трактів (с. 136-144), розглянуто особливості моделювання процесів керування використанням частотного ресурсу (с. 145-153), проведено оцінку ефективності алгоритмів вибору радіочастотних трактів радіо-доступу (с. 154-165). В **четвертому розділі** автором розроблено методи керування навантаженням в мережах доступу. Здобувачем проведено дослідження архітектури та механізмів керування навантаженням в CDN мережах (с. 172-180), розроблено метод передавання та

балансування навантаження в CDN мережах для забезпечення заданої якості послуг (с. 180-189), наведено результати дослідження методів забезпечення якості передачі інформації в мережах доставки контенту (с. 189-198), проведено експериментальне дослідження методів балансування навантаження в CDN мережах для забезпечення заданої якості надання послуг.

П'ятий розділ дисертації присвячено питанням дослідження процесів обслуговування та керування вмістом у розподілених телекомунікаційних мережах. Зокрема виконано розроблення моделі та алгоритму обслуговування черг у радіо-мережах (с. 209-219), наведено реалізацію та результати дослідження алгоритму оцінки обслуговування черг у мультисервісній мережі на основі уведеного автором інтегрального критерію (с. 220-231), результати експериментального визначення розміру буфера та дослідження впливу його розмірів на параметри передавання навантаження (с. 231-238).

В **шостому розділі** роботи виконано аналіз особливості реалізації CDN-мереж на основі глобальної мережної інфраструктури. На основі розроблення методів пріоритетного керування вмістом у розподілених телекомунікаційних мережах (с. 240-250), розглянуто дослідження ефективності використання мережі CDN на основі практичної реалізації з використанням діючої інфраструктури мережі (с. 250-257), представлено результати експериментальних досліджень особливостей транспортування комбінованого застосування в мережі CDN (с. 257-260).

Додатки до дисертації містять обрані (найбільш суттєві) початкові коди розробленого програмного забезпечення, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, а також список наукових праць автора.

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідницькою працею, яку виконано та оформлено у відповідності з вимогами до кваліфікаційних наукових праць. Дисертаційна робота та автореферат викладені логічно й послідовно й за змістом відповідає паспорту заявленої спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи. Автореферат оформлено з дотриманням необхідних вимог.

У дисертації Кирика М.І. немає положень, які виносились на захист його кандидатської дисертації.

Зауваження по роботі.

Незважаючи на те, що у цілому оцінка дисертаційної роботи здобувача Кирика М.І. є позитивною, слід відмітити ряд зауважень:

1. У другому розділі для проведення аналізу самоподібного навантаження використано метод Нормованого розмаху. Для перевірки адекватності отриманих результатів, на мою думку, варто було б здійснити аналіз хоча б ще одним з методів (наприклад, з використанням методу абсолютних моментів, вейвлет-аналізу тощо).

2. На с. 115, для розрахунку ймовірності втрат наведено посилання на формулу 2.33, що, є опискою, оскільки вказаний розрахунок здійснюється за формулою 2.43. Крім того, на мою думку, коректним було б вживати вислів розрахунок ймовірності втрат з урахуванням параметра Херста, а не за параметром Херста.

3. У продовження зауваження з попереднього п. 2. Для розрахунку ймовірності втрат взято максимальну довжина пакету 1518 байт. Це справедливо для послуг, які, використовують максимальну можливу довжину пакету (наприклад послуги IPTV). Проте, не зрозуміло, якого вигляду набуде наведена залежність ймовірності втрат від коефіцієнта завантаженості для послуг, які використовують невеликі за розмірами пакети (наприклад, IP-телефонія).

4. У розділі 3.3 запропоновано метод керування радіочастотним ресурсом у когнітивній радіо-мережі та наведено алгоритми реалізації методу вибору частотного каналу на основі оцінювання ймовірності зайняття каналу та на основі сканування його параметрів та вказано, що вибір відповідного алгоритму перемикавання каналів здійснюється вторинними користувачами (с.150). Проте, не зовсім зрозуміло, на основі яких критеріїв здійснюється цей вибір.

5. Запропонована автором у четвертому розділі цільова функція для забезпечення задовільної якості обслуговування в CDN мережі враховує, серед іншого, час затримки. З урахуванням особливостей транспортування навантаження реального часу, варто було б враховувати і варіацію затримки пакетів.

6. Для деяких графіків дисертаційної роботи та автореферату, зокрема рис. 4 та рис. 12 автореферату варто було б обрати більш наглядні шкали та масштаби.

7. Незрозуміло, на яких конкретно платформах можливо реалізувати запропонований метод підвищення якості сприйняття послуг QoE за рахунок швидкого перемикавання відео-потоків (розділ 6.4).

8. У розділі 6.5.2. наведено результати дослідження ефективності застосування запропонованих методів керування контентом та методології синтезу мереж доставки контенту на прикладі реалізації мережі CDN на основі мережної інфраструктури компанії OVH. Доцільно було б порівняти отримані результати з результатами отриманими при реалізації CDN мереж на основі мереж інших компаній.

Проте наведені недоліки не зменшують вагомості виконаного дисертаційного дослідження.

Загальний висновок.

Дисертаційна робота Кирика Мар'яна Івановича «Методи та моделі керування контентом в розподілених інфокомунікаційних системах» є

завершеною науковою працею, в якій міститься вирішення актуальної наукової проблеми в галузі телекомунікаційних систем та мереж, а саме розроблення методологічного забезпечення керування транспортуванням навантаження в розподілених телекомунікаційних системах та мережах з метою ефективного використання інфраструктури мережі, підвищення продуктивності мережі та якості надання послуг за рахунок динамічного балансування навантаження.

За актуальністю обраної теми, оригінальністю, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних завдань, новизною, цінністю та ступенем обґрунтування отриманих результатів, висновків і практичних рекомендацій, дисертаційна робота відповідає вимогам до докторських дисертацій, а за своїм змістом – паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Автореферат достатньо ідентично розкриває зміст дисертації. Результати роботи достатнім чином опубліковано та апробовано.

Отже, дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 положення про «Порядок присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України. А її автор – Кирик Мар'ян Іванович – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
телекомунікаційних систем
Одеської національної академії
зв'язку ім. О. С. Попова

 І.П. Лісовий



ПІДПИС ЗАВІРЯЮ:
УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
ОНАЗ ІМ. О. С. ПОПОВА
Руда Г. В.

