

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.09
у Харківському національному
університеті радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14

ВІДГУК
офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Оксіюка Олександра Глібовича на дисертаційну роботу Єременко Олександри Сергіївни за темою «Методи управління трафіком із забезпеченням відмовостійкості та мережної безпеки на основі використання динамічних тензорних моделей телекомунікаційних систем», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність проблематики дисертаційної роботи

Фундаментальним аспектом функціонування телекомунікаційних мереж (ТКМ) залишається задоволення вимог користувачів до якості обслуговування, пов'язаних із забезпеченням високої пропускну здатності, мінімальних затримок та втрат пакетів. Зважаючи на існуючі тенденції розвитку та експлуатації ТКМ, технології управління трафіком повинні включати функціонал підтримки відмовостійкості та мережної безпеки, щоб забезпечити оперативне реагування на різномірні впливи внутрішніх та зовнішніх факторів – відмовита перевантаження комутаційного обладнання, компрометація окремих елементів мережі.

В цьому контексті актуальності набуває забезпечення так званої кіберстійкості, суть якої полягає в безперервності надання інфокомунікаційних послуг в умовах несприятливих кібер-подій, наприклад, атак на телекомунікаційну мережу з метою дестабілізації її функціонування. При цьому відповідно до основних принципів відмовостійкості та кіберстійкості необхідно, щоб телекомунікаційні системи та мережі проектувалися таким чином, щоб процес ідентифікації та локалізації відмов був максимально контрольованим та носив як реактивний, так і проактивний характер. В свою чергу, для підвищення масштабованості мережних рішень відмовостійкої архітектури мають бути багаторівневими із забезпеченням на кожному рівні захисту (резервування) та відновлення відповідних елементів мережі, якими можуть виступати як окремі канали та вузли ТКМ, так і їх множини, представлені маршрутами та цілими мережними сегментами.

Саме тому створення нових математичних моделей та методів як складових загальної теорії управління трафіком з підтримкою якості обслуговування за множиною показників в умовах нестаціонарного режиму



роботи телекомунікаційної мережі із забезпеченням її відмовостійкості та мережної безпеки є актуальною науково-прикладною проблемою.

Аналіз основного змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, чотирьох додатків та списку використаних джерел. Зміст роботи відповідає поставленій науково-прикладній проблемі та сформульованим окремим задачам дослідження, рішення яких є суттю та змістом виконаних дисертантом досліджень, які відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Отже, у *вступі* автором обґрунтовано актуальність та проведено аналіз стану досліджуваної проблеми, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами та темами, зазначено мету, яка деталізується в задачах дослідження, визначено об'єкт та предмет, а також методи та інструменти дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення результатів роботи.

В *першому розділі* досліджено проведення аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку телекомунікаційних систем і мереж та характеристика вимог, які до них висуваються. Зроблено огляд технологічних і протокольних, а також теоретичних рішень щодо управління трафіком в телекомунікаційних мережах. Охарактеризовано засоби маршрутизації з підтримкою якості обслуговування, відмовостійкості та безпеки. Проведено постановку науково-технічної проблеми та формулювання окремих задач дослідження.

Результати наукових досліджень, які направлені на вирішення поставлених задач, викладено дисертантом у другому, третьому та четвертому розділах.

Другий розділ присвячено розробці та дослідженню динамічних тензорних моделей маршрутизації та управління трафіком з підтримкою якості обслуговування в телекомунікаційних мережах в базисах контурів і вузлових пар, а також міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар. Набув подальшого розвитку дворівневий метод внутрішньодоменної ієрархічно-координаційної QoS-маршрутизації на основі резервування ресурсів. Вперше запропоновано динамічну модель багатошляхової маршрутизації із забезпеченням якості обслуговування за показником імовірності своєчасної доставки пакетів у телекомунікаційній мережі. Проведено дослідження адекватності динамічних тензорних моделей QoS-маршрутизації та управління трафіком у телекомунікаційній мережі засобами імітаційного моделювання.

В *третьому розділі* розроблено та досліджено потокові моделі та методи відмовостійкої маршрутизації в телекомунікаційних мережах, а саме потокові моделі багатошляхової маршрутизації без резервування елементів мережі за шляхами, що не перетинаються або перетинаються за вузлами; потокова модель швидкої перемаршрутизації з лінійними умовами захисту каналу та вузла при реалізації багатошляхової маршрутизації та системою критеріїв оптимальності рішень щодо відмовостійкої маршрутизації з

встановленням ієрархії співвідношень вагових коефіцієнтів у відповідних цільових функціях. Крім того, у розділі вперше запропоновано дворівневий метод швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження в програмно-конфігурованих мережах, а також лінійну оптимізаційну модель багатошляхової швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження. Проведено вдосконалення методу ієрархічно-координаційної міждоменної швидкої перемаршрутизації, заснованого на декомпозиційному представленні потокової моделі маршрутизації та використанні принципу цільової координації. Вперше запропоновано систему поточкових моделей відмово стійкої маршрутизації з захистом шлюзу за замовчуванням та математичну модель відмово стійкої QoS-маршрутизації в мультисервісній телекомунікаційній мережі при забезпеченні реалізації схеми захисту рівня якості обслуговування за пропускнуою здатністю та середньою міжкінцевою затримкою пакетів.

В *четвертому розділі* дисертантом запропоновано моделі та методи безпечної маршрутизації в телекомунікаційних мережах. Вперше запропоновано методи безпечної маршрутизації та пере маршрутизації конфіденційних повідомлень за шляхами, які перетинаються, що належать до класу проактивних і реактивних рішень щодо забезпечення заданого рівня мережної безпеки за показником імовірності компрометації.

П'ятий розділ дисертаційної роботи присвячено розробці науково-методичних рекомендацій щодо практичної реалізації запропонованих моделей і методів управління трафіком у сучасних і перспективних телекомунікаційних мережах, а саме програмно-конфігурованих мережах різних архітектур.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, достовірність одержаних результатів

Дисертаційна робота й автореферат написані логічно, з дотриманням правил викладення, із чітким розумінням мети та методів дослідження. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи. Стиль викладення автореферату забезпечує доступність його сприйняття, чітко й лаконічно викладені наукові завдання дослідження та шляхи їх вирішення. З тексту зрозуміла наукова та практична значимість роботи, а також особистий внесок здобувача. Мова дисертаційної роботи ясна та чітка. Висновки та рекомендації цілком достатньо відображають основні результати роботи.

Обґрунтованість наукових положень базується на коректному використанні математичного апарату, представленого елементами теорії множин, теорії графів, тензорного обчислення та аналізу, методами математичного програмування, крім того, відповідним обґрунтуванням прийнятих гіпотез і наближень та чіткою фізичною інтерпретацією отриманих результатів. Достовірність дисертаційних досліджень підтверджується коректними розрахунковими результатами, застосуванням сучасного математичного апарату, а також несуперечністю результатів аналітичного та імітаційного моделювання функціонування інтерфейсів

маршрутизаторів телекомунікаційних мереж в процесі QoS-маршрутизації та управління трафіком.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційні дослідження проводилися автором на кафедрі інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки. Зміст роботи, її основні завдання цілком і повністю відповідають державним науково-технічним програмам, які пов'язані з реалізацією основних положень «Концепції розвитку телекомунікацій в Україні», «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні», «Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки», а також рекомендацій щодо «Реформ галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвитку інформаційного простору України».

Обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт, що виконувалися в Харківському національному університеті радіоелектроніки, а саме «Підвищення масштабованості технологічних рішень щодо забезпечення якості обслуговування в конвергентних телекомунікаційних системах» (ДР №0115U002432) та «НИТКА-3» (ДР №0116U000066), де дисертант був виконавцем, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки при викладанні дисципліни «Управління та маршрутизація в ТКС» при підготовці студентів спеціальності «Телекомунікації».

Основні наукові результати, їх новизна

Новими науковими результатами, що *отримані здобувачем вперше* є:

- динамічна модель багатошляхової маршрутизації із забезпеченням якості обслуговування за показником імовірності своєчасної доставки пакетів у телекомунікаційній мережі;
- дворівневий метод швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження в програмно-конфігурованих мережах;
- лінійна оптимізаційна модель багатошляхової швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження в телекомунікаційній мережі з захистом каналу, вузла та пропускної здатності;
- система поточкових моделей відмовостійкої маршрутизації з захистом шлюзу за замовчуванням;
- математична модель відмово стійкої QoS-маршрутизації в мультисервісній телекомунікаційній мережі з реалізацією схеми захисту рівня якості обслуговування за показниками пропускної здатності та середньої міжкінцевої затримки пакетів;

- методи безпечної маршрутизації повідомлень за шляхами, які перетинаються, що належать до класу проактивних і реактивних рішень щодо забезпечення заданого рівня мережної безпеки.

Здобувачем було удосконалено:

- систему тензорних моделей QoS-маршрутизації та управління трафіком, представлених у системах координат контурів і вузлових пар, а також міжполюсних шляхів і внутрішніх вузлових пар;

- метод ієрархічно-координаційної міждоменної швидкої перемаршрутизації, заснований на декомпозиційному представленні потокової моделі маршрутизації та використанні принципу цільової координації.

В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку:

- дворівневий метод внутрішньодоменної ієрархічно-координаційної QoS-маршрутизації на основі резервування ресурсів;

- система поточкових моделей відмовостійкої маршрутизації без резервування елементів телекомунікаційної мережі за шляхами, що не перетинаються або перетинаються лише за вузлами;

- потокова модель швидкої перемаршрутизації з лінійними умовами захисту каналу та вузла за багатошляховою маршрутизацією.

Теоретична та наукова цінність, практичне значення отриманих автором результатів

Теоретична та наукова цінність отриманих автором результатів полягає в подальшому розвитку теорії управління трафіком з підтримкою якості обслуговування за множиною показників в умовах нестационарного режиму роботи телекомунікаційної мережі із забезпеченням її відмовостійкості та мережної безпеки з використанням математичного апарату тензорного обчислення та аналізу, теорії диференціальних рівнянь, теорії ієрархічних багаторівневих систем, методів математичного програмування.

Практичне значення результатів дисертаційних досліджень полягає в тому, що запропоновані моделі та методи можуть використовуватися як базис математичного та алгоритмічно-програмного забезпечення сучасних протоколів маршрутизації та управління трафіком за умови підвищення як рівня якості обслуговування та масштабованості телекомунікаційних мереж, так і відмовостійкості та мережної безпеки.

Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих роботах

Основні положення та висновки дисертаційної роботи опубліковано в 91 науковій роботі, з яких 30 наукових статей, серед них 24 статті у фахових виданнях України та 6 статей у міжнародних наукових журналах, 6 статей проіндексовано наукометричною базою Scopus, 8 одноосібних статей. Отримано патент України на корисну модель. Наукові результати й основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 60

Міжнародних наукових конференціях та форумах, 23 з яких проходили під егідою IEEE та індексуються наукометричною базою Scopus. Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Відповідність дисертації встановленим вимогам Міністерства освіти і науки України

Дисертаційна робота Єременко О.С. на тему «Методи управління трафіком із забезпеченням відмовостійкості та мережної безпеки на основі використання динамічних тензорних моделей телекомунікаційних систем» за оформленням відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій. Робота написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно, логічно та грамотно. Автореферат дисертації достатньо повно розкриває її зміст. Стиль викладів матеріалів дисертаційних досліджень забезпечує без утруднень доступність їх сприйняття.

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату

1. У роботі при захисті рівня якості обслуговування основний та резервний мультишлях задовольняють вимогам щодо пропускної здатності та середньої міжкінцевої затримки пакетів. Проте, необхідної уваги не приділено аналізу такому QoS-показнику, як імовірність втрат пакетів, що особливо важливо для трафіку даних.

2. Запропоновані результати, представлені умовами (3.19) та (3.20), орієнтовані на те, що всім потокам буде забезпечено захист пропускної здатності за швидкої перемаршрутизації в телекомунікаційній мережі. Із дисертації не ясно, чи можна диференціювати обслуговування потоків пакетів, щоб деяким потокам відповідно до їх класу та пріоритету забезпечувався захист пропускної здатності, а деяким не забезпечувався. Це б покращило ефективність використання доступного мережного ресурсу.

3. На жаль, у роботі не вказано, на якому саме мережному пристрої буде здійснюватися погоджене розв'язання задач маршрутизації та визначення шляху за замовчуванням: централізовано на окремому головному маршрутизаторі (сервері маршрутів) або розподілено на кожному з приграничних маршрутизаторів мережі. В другому випадку важливо забезпечити додатково координацію роботи приграничних маршрутизаторів, особливо за необхідності реалізації схеми захисту пропускної здатності мережі.

4. В запропонованих рішеннях щодо безпечної маршрутизації основна увага приділяється передачі в мережі окремих конфіденційних повідомлень – зображень, ключів тощо. Проте, у роботі не проаналізовано особливості застосування представлених рішень при передачі поточкових даних – конфіденційного аудіо/відео контенту, що є також важливим для практики телекомунікацій.

5. Крім того, в дисертаційній роботі в запропонованих методах безпечної маршрутизації та пере маршрутизації розглянуто випадки, коли скомпрометованими можуть бути лише канали зв'язку, тоді як на практиці

треба враховувати також і можливу компрометацію вузлів телекомунікаційної мережі. Отже, доцільно було б узагальнити запропоновані методи і на цей випадок.

Проте, відзначені зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку та не зменшують наукову цінність і практичну значимість дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Єременко Олександри Сергіївни за темою «Методи управління трафіком із забезпеченням відмовостійкості та мережної безпеки на основі використання динамічних тензорних моделей телекомунікаційних систем» є завершеним науковим дослідженням і цілком відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих в дисертаційній роботі, має практичну цінність, що підтверджується актами про впровадження.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій згідно з «Порядком присудження наукових ступенів», а її автор – Єременко Олександра Сергіївна – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кібербезпеки
та захисту інформації факультету
інформаційних технологій
Київського національного
Університету імені Тараса Шевченка



О.Г. Оксіюк

