

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Ель Хаж Слейман Батул Гаді  
«ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ ТА БЕЗПЕЧНОЇ  
МАРШРУТИЗАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ШЛЯХАМИ, ЩО  
НЕ ПЕРЕТИНАЮТЬСЯ»,  
що подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка,  
галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації

### 1. Актуальність дисертаційної роботи

Постійне підвищення актуальності наукових досліджень, пов'язаних із забезпеченням надійності, безпеки та відмовостійкості телекомунікаційних мереж, пояснюється динамічним розширенням кількості чинників, які викликані, з одного боку, інтенсивним розвитком галузі телекомунікацій та глобальною цифровізацією, а з іншого боку, збільшенням кількості атак, зовнішніх втручань та різноманітних відмов елементів та ресурсів мережі внаслідок перевантажень. У зв'язку з цим, комплексне забезпечення відмовостійкості та інформаційної безпеки всіма доступними технологічними засобами, серед яких важливе місце займають і протоколи маршрутизації, є важливою науково-прикладною задачею.

Тому для досягнення поставленої мети в межах дисертаційного дослідження вирішується актуальна **науково-прикладна задача**, що полягає в оптимізації процесів відмовостійкої та безпечної маршрутизації за шляхами, що не перетинаються, в телекомунікаційних мережах шляхом розробки, вдосконалення та дослідження відповідних математичних моделей.

### 2. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Ель Хаж Слейман Батул Гаді виконувалась у

відповідності до наукового напрямку кафедри інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського Харківського національного університету радіоелектроніки. Зокрема робота виконувалась в межах держбюджетної теми д/б № 344 «Розробка алгоритмічно-програмного забезпечення для кіберстійких інфокомунікаційних систем і мереж критичних інфраструктур» (номер державної реєстрації 0123U100128). Крім того дисертаційна робота пов'язана з виконанням положень «Концепції державної політики у сфері цифрової інфраструктури», «Стратегії національної безпеки України», «Концепції розвитку цифрових компетентностей до 2025 року», «Концепції розвитку телекомунікацій в Україні», рекомендацій щодо «Реформ у галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвитку інформаційного простору України».

### **3. Аналіз змісту роботи**

Дисертаційна робота має загальний обсяг 156 аркушів, містить 5 розділів та 1 додаток. Всі подані матеріали цілком відповідають чинним вимогам до оформлення дисертаційних робіт.

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення та подано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено особистий внесок здобувача та відомості про апробацію.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз теоретичних і прикладних рішень щодо організації відмовостійкої та безпечної маршрутизації в телекомунікаційних мережах. Встановлено, що на перший план виходять задачі щодо вдосконалення математичних моделей, методів і протоколів маршрутизації в ТКМ з їхньою адаптацією під сучасні вимоги. Ефективним напрямком удосконалення моделей і методів маршрутизації є використання шляхів, які не перетинаються, що дозволить оптимально розподілити мережний ресурс для підвищення рівня відмовостійкості та мережної безпеки.

У **другому розділі** пропонується вдосконалення математичних моделей QoS-маршрутизації в телекомунікаційній мережі шляхами, що не перетинаються. Залежно від форми обраного критерію оптимальності та введеної системи обмежень, в межах запропонованих моделей, результатом розрахунку може бути множина шляхів із максимальною або наперед заданою кількістю, використання якої орієнтоване на покращення такого показника, як пропускна здатність. Маршрутні рішення направлені або на підвищення пропускної здатності розрахованих маршрутів, які не перетинаються, або на забезпечення наперед заданих значень цього важливого показника якості обслуговування. Підвищення пропускної здатності маршрутів позитивно впливає й на покращення інших показників якості обслуговування – середньої затримки, джитеру та ймовірності втрат пакетів.

У **третьому розділі** представлена система математичних моделей безпечної QoS-маршрутизації у телекомунікаційній мережі за шляхами, які не перетинаються. Спільною рисою запропонованих моделей є те, що вони зводять розв'язання технологічної задачі безпечної QoS-маршрутизації до розв'язання різнотипних оптимізаційних задач. В залежності від множини врахованих аспектів ТКМ моделі відрізнялись видом критеріїв оптимальності, а також множиною обмежень, які накладались на маршрутні змінні та змінні щодо балансування пропускної здатності шляхів. Результати дослідження математичної моделі безпечної QoS-маршрутизації за шляхами, що не перетинаються, підтвердили її ефективність з точки зору забезпечення гарантованої пропускної здатності мультишляху та мінімальної ймовірності його компрометації

У **четвертому розділі** представлено удосконалену модель швидкої перемаршрутизації з реалізацією схем захисту шляху  $n:1$  та пропускної здатності мережі, в межах якої з метою отримання оптимальних маршрутних рішень запропоновано до використання два види критеріїв оптимальності, що пов'язані з максимізацією цільових функцій та які є лінійними функціями від

нижньої границі пропускної здатності основного та множини резервних маршрутів. У процесі дослідження встановлено, що за наявності необхідної кількості маршрутів у ТКМ застосування вдосконаленої моделі багатошляхової швидкої перемаршрутизації дозволяє при забезпеченні заданого рівня відмовостійкості суттєво підвищити величину пропускної здатності мережі, яка резервується.

У **п'ятому розділі** запропоновано практичні рекомендації щодо використання отриманих в дисертаційній роботі наукових результатів, пов'язаних з відмовостійкою та безпечною маршрутизацією у телекомунікаційних мережах. Для досліджень щодо практичної реалізації використовувався симулятор Cisco Modeling Labs. Також в роботі наведено програмні приклади автоматизованого збору та обробки інформації про стан мережної безпеки елементів ТКМ, які реалізовані у середовищі MATLAB.

В додатку до роботи надано акти впровадження результатів та список наукових праць автора.

#### **4. Наукова новизна отриманих в дисертаційній роботі результатів**

В ході дисертаційних досліджень Ель Хаж Слейман Батул Гаді отримала наступні наукові результати:

1. *Вдосконалено* математичні моделі QoS-маршрутизації в телекомунікаційній мережі за шляхами, що не перетинаються. Наукова новизна першої математичної моделі полягає у введенні нових умов балансування пропускної здатності маршрутів та використанні оновленого критерія оптимальності маршрутних рішень, що дозволило забезпечити у процесі маршрутизації максимізацію як кількості, так і сумарної пропускної здатності розрахованих шляхів. Наукова новизна другої математичної моделі полягає у введенні нових білінійних умов забезпечення гарантованої сумарної пропускної здатності маршрутів, що дало змогу розрахувати шляхи, які мають пропускну здатність, не нижчу за встановлений поріг (вимоги).

2. *Вдосконалені* математичні моделі безпечної QoS-маршрутизації за шляхами, які не перетинаються. Новизна запропонованих моделей полягає у використанні комплексного критерію оптимальності маршрутних рішень, який поруч з показниками пропускної здатності враховує параметри мережної безпеки каналів зв'язку – імовірності їхньої компрометації. Це дозволило забезпечити розрахунок такої множини шляхів у ТКМ, які, по-перше, не перетинались; по-друге, їхня кількість була максимально можливою; по-третє, їхня сумарна пропускна здатність була або максимально можливою, або не нижче заданої; по-четверте, ймовірність компрометації цих шляхів була мінімальною.

3. *Удосконалено* модель швидкої перемаршрутизації з підтримкою схем захисту шляху  $n:1$  та пропускної здатності мережі, адаптованих під одношляхову та багатошляхову стратегії маршрутизації. Новизна запропонованої моделі полягає у введенні оновлених умов захисту пропускної здатності мережі, що дозволило реалізувати схему захисту шляху  $n:1$  без пропорційного збільшення розміру оптимізаційної задачі.

## **5. Практичне значення результатів дисертаційного дослідження**

Впровадження результатів роботи підтверджено відповідними актами, а саме у ТОВ «СМАРТ ПАВЕР» отримані результати використовувались для додаткового налаштування мережного обладнання телекомунікаційних мереж з метою підвищення якості обслуговування та мережної безпеки, а у ТОВ «Омега Солюшинс» при розробці практичних рекомендацій щодо підвищення рівня мережного захисту та відмовостійкості в телекомунікаційних мережах. Крім того, здобуті наукові результати впроваджені в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки на кафедрі інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського у процесі викладання дисципліни «Маршрутизація в інфокомунікаціях».

## **6. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Ель Хаж Слейман Батул Гаді, впливають з наступного:

- план дисертаційної роботи логічний і послідовний, структура дисертації чітка та спрямована на досягнення поставленої мети;
- достовірність отриманих результатів обґрунтовано коректним застосуванням відомих методів досліджень, сучасних засобів моделювання телекомунікаційних мереж, а також проведеними дослідженнями за допомогою добре апробованого пакету імітаційного моделювання MATLAB на ряді прикладів структур ТКМ, а на прикладі використання симулятора Cisco Modeling Labs;
- достовірність отриманих здобувачем науково-практичних результатів засвідчено актами впровадження;
- матеріали дисертації пройшли необхідну апробацію, обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

## **7. Відсутність порушення академічної доброчесності**

Підстав для сумнівів у науковій доброчесності здобувачки Ель Хаж Слейман Батул Гаді під час детального ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено. Узгодженість тексту дисертації з науковими працями дисертанта свідчить про відсутність ознак фальсифікації.

## **8. Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Більшість сформульованих у дисертації оптимізаційних задач відносяться до класу досить складних з обчислювальної точки зору задач цілочисельного або змішаного цілочисельного програмування. Їхнє успішне

розв'язання може вимагати високої обчислювальної потужності мережного обладнання – маршрутизаторів, серверів або контролерів мережі.

2. На практиці при зміні стану мережі оновлення маршрутів відбувається практично у реальному часі. У дисертації не висвітлено питання щодо процедури частоти оновлення значень щодо ймовірності компрометації каналів зв'язку та від чого це залежить.

3. У процесі дослідження у четвертому розділі відмовостійких маршрутних рішень дисертант зосередився в основному на аналізі лише схем резервування 2:1 та 3:1. Однак у масштабних за топологією мережах кількість маршрутів, які не перетинаються, може бути значно більшою за 4.

## **9. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях**

За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі Ель Хаж Слейман Батул Гаді, опубліковано 17 наукових праць, з них 1 монографія, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 4 статті у науковому періодичному виданні інших держав, що входять до наукометричних баз Scopus/Web of Science, 9 у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій, 7 з яких проіндексовані у наукометричних базах Scopus та Web of Science.

У працях здобувачки повністю висвітлені основні положення та результати дисертаційного дослідження.

## **10. Загальні висновки**

На підставі розгляду змісту дисертації, її анотації, праць здобувачки, актів впровадження, аналізу ступеня новизни наукових положень та практичної значимості отриманих у роботі результатів, висновків та рекомендацій можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ель Хаж Слейман Батул Гаді є завершеною працею, в якій отримані нові наукові результати, що в сукупності

дозволяють покращити показники якості обслуговування та мережної безпеки із забезпеченням відмовостійкості телекомунікаційної мережі при реалізації схем захисту (резервування) елементів мережі у випадку їх ймовірних одиничних або множинних відмов.

Результати роботи достатньо повно опубліковані та апробовані, а сама дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44). Дисертантка Ель Хаж Слейман Батул Гаді заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 172 – «Телекомунікації та радіотехніка».

Рецензент:

завідувач кафедри  
інформаційно-мережної інженерії  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
доктор технічних наук, професор



Валерій БЕЗРУК

Підпис засвідчую  
Проректор з наукової роботи



Юрій РОМАНЕНКОВ