

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 64.052.09 у Харківсь-
кому національному університеті
радіоелектроніки

61166, Харків, пр. Науки, 14

ВІДГУК

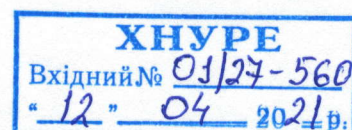
офіційного опонента доктора технічних наук, професора Толупи Сергія Васильовича на дисертаційну роботу Шаповалової Анастасії Сергіївни «Потокові моделі безпечної та відмовостійкої маршрутизації з балансуванням навантаження в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації

Безперечно, на сьогоднішній день забезпечення відмовостійкості та безпеки в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах (ТКМ) є одним із надзвичайно важливих завдань. Це обумовлено гетерогенністю, зростанням складності та масштабів мережних інфраструктур, постійним збільшенням кількості кібератак та вторгнень, стрімким зростом об'ємів трафіку внаслідок величезного попиту на інтернет-ресурси, безперервним підвищенням вимог до якості послуг, а часом і використанням застарілого обладнання без відповідного оновлення програмного забезпечення тощо. У зв'язку з цим до програмно-конфігурованих телекомунікаційних мереж постійно підвищуються вимоги щодо забезпечення заданого рівня відмовостійкості та мережної безпеки. Таким чином, відповідно до вимог сьогодення, виникає актуальна **науково-прикладна задача**, що полягає в забезпеченні відмовостійкості та мережної безпеки в програмно-конфігурованих ТКМ, які функціонують в умовах відмов та компрометації мережного обладнання, шляхом розроблення та вдосконалення відповідних математичних моделей маршрутизації.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертація складається з чотирьох розділів, в яких досить повно та на високому науково-технічному рівні викладено отримані наукові результати. Структура дисертаційної роботи логічна та послідовна. Актуальність дисертації добре обґрунтована та повністю відповідає проблематиці сучасного ста-



ну досліджень в області забезпечення відмовостійкості та мережної безпеки в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану теоретичних і технологічних рішень щодо підвищення безпеки та відмовостійкості програмно-конфігурованих телекомунікаційних мереж. Проаналізовано існуючі рішення щодо забезпечення відмовостійкості на різних рівнях програмно-конфігурованих мереж. Грунтуючись на результатах аналізу відомих рішень сформульовано перелік вимог, що висувуються в області безпечної та відмовостійкої маршрутизації для програмно-конфігурованих мереж. Відповідно до зазначених вимог сформульовано наукову-прикладну задачу, яка відображає необхідність розроблення нових та вдосконалення існуючих поточкових моделей маршрутизації, які можуть служити основою перспективних протоколів відмовостійкої та безпечної маршрутизації в програмно-конфігурованих ТКМ.

У **другому розділі** вдосконалено поточкову модель безпечної маршрутизації в телекомунікаційних мережах. Наведено методичку розрахунку метрик безпечної маршрутизації на основі оцінки ризику інформаційної безпеки каналів зв'язку. Формалізовано вирази, які, виступаючи в якості маршрутних метрик, характеризують ризик інформаційної безпеки в каналах зв'язку мережі та враховують збитки в разі використання наявних вразливостей на вузлах ТКМ. Проведено дослідження запропонованої поточної моделі безпечної маршрутизації із врахуванням ризиків інформаційної безпеки, результати якого довели ефективність розробленого рішення.

У **третьому розділі** запропоновано удосконалення поточної моделі безпечної маршрутизації з балансуванням навантаження на основі врахування параметрів мережної безпеки в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах. Проведено модифікацію умов балансування навантаження в мережі, які орієнтують на мінімізацію верхнього динамічно керованого порогу завантаженості каналів зв'язку, зваженого щодо ймовірності їхньої компрометації. При цьому вплив ймовірності компрометації регулювався за допомогою представленої множини моделей блокування каналів зв'язку. На низці структур телекомунікаційних мереж в межах запропонованого рішення здійснено дослідження процесів балансування навантаження в ТКМ відповідно до вимог мережної безпеки.

У **четвертому розділі** запропоновано поточкові моделі швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження та обмеженням трафіку на границі телекомунікаційної мережі. Розроблено та досліджено математичну модель швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження та диференційованим обмеженням трафіку в програмно-конфігурованих ТКМ. Вдосконалено та досліджено модель безпечної швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження та диференційованим обмеженням трафіка в

ТКМ. Все розроблені в четвертому розділі моделі були досліджені на ряді фрагментів телекомунікаційних мереж за допомогою пакету імітаційного моделювання MATLAB. Приведено рекомендації щодо практичного застосування запропонованих у роботі маршрутних рішень в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах.

Висновки дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень. Аналіз публікацій, апробацій та актів впровадження свідчить про повноту викладу в дисертаційній роботі отриманих наукових результатів.

Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

В рамках дисертаційної роботи Шаповаловою А.С. отримані наступні нові наукові результати:

– удосконалено потокову модель безпечної маршрутизації в телекомунікаційних мережах. Новизна моделі полягає в тому, що для розрахунку маршрутних метрик застосовуються вирази, які характеризують ризик інформаційної безпеки в каналах зв'язку ТКМ та відповідно до рекомендацій NIST враховують збитки від використання наявних вразливостей. Використання запропонованої моделі безпечної маршрутизації дозволяє забезпечити розрахунок та застосування маршрутів із мінімальним ризиком інформаційної безпеки, забезпечивши цим максимальний рівень мережної безпеки пакетам, які передаються в ТКМ.

– удосконалено потокову модель безпечної маршрутизації з балансуванням навантаження на основі врахування параметрів мережної безпеки в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах. До новизни запропонованої моделі належить модифікація умов балансування навантаження в ТКМ, які орієнтують на мінімізацію верхнього динамічно керованого порогу завантаженості каналів зв'язку, зваженого щодо ймовірності їхньої компрометації; використання множини моделей блокування каналів зв'язку, за допомогою яких можна регулювати вплив ймовірності компрометації каналів на поріг їхньої завантаженості. Відповідно до результатів дослідження, отримані за допомогою запропонованої моделі маршрутні рішення враховують як пропускну здатність каналів зв'язку, так і їхні параметри безпеки, представлені ймовірностями компрометації під час визначення порядку балансування навантаження.

– уперше запропоновано модель швидкої перемаршрутизації із забезпеченням балансування навантаження на принципах Traffic Engineering та диференційованого обмеження трафіку в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах. Новизна моделі полягає в модифікації умов збереження потоку, які враховують пріоритетне обмеження трафіку на границі ТКМ у випадку її ймовірного перевантаження; та у використанні системи критеріїв оптимальності маршрутних рішень, застосування яких

орієнтує на мінімізацію верхнього порогу завантаженості каналів зв'язку та відмов в обслуговуванні на границі мережі, зважених щодо пріоритету та інтенсивності потоків, з метою запобігання її перевантаження.

– удосконалено потокову модель безпечної швидкої перемаршрутизації з балансуванням навантаження та диференційованим обмеженням трафіку на границі ТКМ. Новизна моделі полягає в забезпеченні захисту елементів мережі та її пропускної здатності в умовах реалізації швидкої перемаршрутизації на основі врахування в процесі балансування навантаження в каналах зв'язку ймовірності їхньої компрометації, а в разі диференційованого обмеження трафіку на границі ТКМ – вимог потоків пакетів щодо рівня мережної безпеки. Використання отриманих в межах запропонованої моделі маршрутних рішень дозволить зменшити завантаженість каналів зв'язку з високою ймовірністю компрометації шляхом перерозподілу трафіка для передавання пакетів більш безпечними каналами мережі.

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

Проблематика дисертації та результати дослідження відповідають змісту положень «Стратегії національної безпеки України», «Концепції розвитку цифрових компетентностей до 2025 року», рекомендацій щодо «Реформ у галузі інформаційно-комунікаційних технологій та розвитку інформаційного простору України» тощо.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій

Наукові положення дисертаційної роботи здобувачки відповідають основній меті та завданням дослідження. Обґрунтованість та достовірність висновків дисертації підтверджується використанням добре апробованого інструментарію імітаційного моделювання MATLAB, математичним апаратом, представленим теорією графів та ризиків. Дисертанткою проведено детальний та ретельний аналіз 124 використаних джерел наукової літератури, які включають в себе дослідження як вітчизняних, так і зарубіжних вчених з теми дисертаційного дослідження.

Практичне значення результатів, отриманих в дисертаційній роботі

Практична значимість результатів, що отримані в дисертації Шаповалової А.С., полягає в можливості їх використання в програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах на рівні SDN-контролерів для управління процесами маршрутизації, балансуванням навантаження та диференційованим обмеження трафіка на границі мережі, представленою площиною даних. Запропоновані потокові моделі можуть бути реалізовані у вигляді програмно-алгоритмічної надбудови під час конфігурування контролерів мережі SDN, а також покладені в основу перспективних протоколів безпечної та відмовостійкої маршрутизації.

Крім того, отримані наукові та практичні результати використано в навчальному процесі Харківського національного університету радіоелектроніки, а саме у лекційному курсі та практичних заняттях з дисципліни «Маршрутизація в ТКС», «Алгоритми управління та адаптації в ТКС» і «Telecommunication transmission systems» при підготовці студентів спеціальності «Телекомунікації», які проводяться для студентів Харківського національного університету радіоелектроніки.

Повнота викладу основних результатів дисертації у фахових виданнях

Дисертаційна робота Шаповалової А.С. достатньо апробована, матеріали дисертації доповідались на міжнародних та всеукраїнських конференціях і опубліковані у 19 наукових працях, з яких 7 статей – у фахових наукових періодичних виданнях, у тому числі 2 статі у закордонних журналах, з яких 1 стаття індексується наукометричною базою Scopus, 10 тез-доповідей – у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій, з яких 5 індексуються наукометричною базою Scopus.

Зауваження та недоліки до дисертації

1. В межах першого наукового результату, що представлений в другому розділі, приведено розрахунок вагових коефіцієнтів (ваги компрометації), які використовуються для оцінки ризику, створюваного використанням уразливостей на i -му вузлі ТКМ. При цьому зазначено, що компрометація каналів зв'язку відбувається тільки через використання вразливостей на відповідному вузлі мережі. Проте не вказано, яким чином будуть впливати вразливості на маршрутизаторах на весь маршрут від вузла-відправника до вузла-отримувача.

2. В другому розділі для дослідження в якості вихідних даних згідно бази даних загальновідомих вразливостей інформаційної безпеки CVE було обрано вразливості програмного забезпечення маршрутизаторів. При цьому не враховувались інші вразливості, наприклад, які пов'язані з наявністю відкритих портів, IP адресацією тощо.

3. В третьому розділі в межах другого наукового результату досить детально описані сценарії компрометації ТКМ та її каналів зв'язку для п'яти моделей блокування каналів зв'язку при безпечному балансуванні навантаження в мережі. При цьому не достатньо приділено увагу саме сценарію відбору моделі блокування каналів з налаштуванням її керуючих параметрів, тобто в яких випадках слід обирати ту чи іншу модель блокування каналів зв'язку для підвищення безпеки телекомунікаційної мережі.

4. У четвертому розділі в межах третього та четвертого наукового результату досліджувались випадки, коли в мережі циркулювали два потоки із різними пріоритетами та класами обслуговування, але не досліджувалось, яким чином буде відбуватись обмеження трафіку, коли і вздовж основного, і

вздовж резервного маршруту буде передаватись потік із однаковим пріоритетом.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, а її оформлення в цілому відповідає встановленим вимогам МОН України. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює всі отримані результати, сформульовані висновки та запропоновані рекомендації.

Загальний висновок:

В цілому дисертація Шаповалової А.С. представляє собою завершену наукову працю, в якій розв'язано актуальну науково-прикладну задачу щодо забезпечення відмовостійкості та мережної безпеки в програмно-конфігурованих ТКМ шляхом розробки та вдосконалення відповідних поточкових моделей маршрутизації. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі, задовольняє вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015 року № 1159 від 30.12.2015 року та № 567 від 27.07.2016 року), що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор Шаповалова Анастасія Сергіївна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент

Професор кафедри кібербезпеки та захисту
інформації факультету інформаційних технологій
Київського національного університету

імені Тараса Шевченка

доктор технічних наук, професор

С.В. ТОЛЮПА

