

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Череватенка Олексія Володимировича

на тему «Спосіб побудови віртуальної комп'ютерної мережі на основі  
технології SDN»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології  
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

### **Актуальність теми дисертації**

Зростаюча кількість користувачів комп'ютерних мереж призводить до підвищених ризиків для функціонування мережевої інфраструктури – перевантаження каналів зв'язку, падіння швидкості з'єднання та, як наслідок, відмови окремих вузлів чи усієї мережі в цілому. Окрім того, наявність людського фактору в налаштуванні мережі та необхідність окремої конфігурації для кожного вузла значно погіршує гнучкість та масштабованість традиційних комп'ютерних мереж.

Технологія мереж, що програмно визначені (software-defined networking, SDN) дозволяє здійснювати управління та конфігурацію мережевих пристроїв програмним чином через так званий контролер. Коли технологія SDN була вперше представлена, рівень обчислювальних потужностей не дозволяв здійснити її масове впровадження. Зараз, коли контролер може безпроблемно функціонувати на базі персонального комп'ютера або віртуальної машини, існує можливість для створення SDN мереж будь-якої розмірності та для передачі будь-якого типу трафіку. Для повного розкриття потенціалу використання мереж SDN актуальним є поєднання технологій SDN та віртуальних мереж. На відміну від фізичних, віртуальні мережі при необхідності їхнього розширення не потребуватимуть переміщення та перепідключення пристроїв.

Актуальною проблемою також є можливість сучасних комп'ютерних мереж передавати різні типи трафіку. Так, існують види трафіку з різними вимогами до надійності – наприклад, трафік, пов'язаний з фінансовими операціями, виставляє більші вимоги до гарантій доставки інформації, ніж мультимедійний трафік. Для того, щоб відповідати вимогам, мережа мусить мати відповідну якість обслуговування (quality of service, QoS). Вона досягається шляхом підтримки певного рівня ряду метрик, як-от, кількість переходів між вузлами або затримка передачі даних. Щоб мати можливість ефективно передавати трафік різного типу, мережа мусить відповідати якомога



більшому (не менше трьох-чотирьох) числу метрик якості обслуговування. Втім, більшість сучасних рішень побудови мереж зазвичай пропонують відповідність лише одній-двом метрикам QoS .

З огляду на це, актуальність дисертаційної роботи зумовлена необхідністю розроблення комплексного способу побудови комп'ютерної мережі, який спрямований на вдосконалення процесів передачі даних в комп'ютерних мережах та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування завдяки інтеграції технологій віртуальних мереж і мереж SDN.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено та обґрунтовано інтегральний критерій побудови каналів зв'язку у віртуальній комп'ютерній мережі на основі технології SDN, який, на відміну від існуючих способів побудови, одночасно враховує необхідну кількість та пріоритети метрик якості обслуговування каналів зв'язку мережі, що дозволяє досягти збереження стабільної швидкості передачі трафіку будь-якого типу;

2. Вперше розроблено та обґрунтовано критерій надійності вузлів мережі для побудови каналів зв'язку, який, на відміну від існуючих способів побудови, враховує здатність проміжних пристроїв мережі транспортувати трафік між своїми портами, що дозволяє збільшити надійність каналів зв'язку та зменшити втрати даних під час передачі;

3. Вперше розроблено та обґрунтовано метод побудови відмовостійких каналів зв'язку віртуальної мережі на основі технології SDN, який, на відміну від існуючих методів, базується на розділенні віртуальної мережі на підмережі та використовує розроблені інтегральний критерій побудови каналів зв'язку з урахуванням якості обслуговування та критерій надійності вузлів, що дозволяє забезпечити стабільну швидкість, зменшити затримку та втрати даних під час передачі будь-якого типу трафіку у разі виходу з ладу окремих ділянок мережі;

4. Удосконалено метод динамічної реконфігурації віртуальної мережі на основі технології SDN, який, на відміну від існуючих методів, базується на використанні відмовостійких резервних каналів зв'язку, збережених у пам'яті контролера SDN, що дозволяє підтримувати безперервний сеанс передачі трафіку у разі відмови основного каналу зв'язку.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання підвищення швидкості та надійності передачі даних шляхом розробки комплексного



способу побудови комп'ютерної мережі на основі технології SDN виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Череватенка О.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Комп'ютерна інженерія.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям високопродуктивних комп'ютерних систем та мереж.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Череватенка Олексія Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. При підготовці дисертаційної роботи здобувач дотримався принципів академічної доброчесності.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок.

У вступі окреслено актуальність роботи, її зв'язок з науковими програмами. Основна мета полягає в підвищенні швидкості та надійності передачі даних шляхом розробки комплексного способу побудови комп'ютерної мережі, що дозволить гарантувати відповідність мережі заданим параметрам якості обслуговування під час виходу з ладу окремих її ділянок шляхом інтеграції технологій віртуальних мереж та програмно-визначених мереж (SDN). Визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, а також підкреслено наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів.

У першому розділі досліджено відомі рішення побудови віртуальних комп'ютерних мереж з використанням технології SDN. На основі аналізу літературних джерел зроблено постановку задачі про необхідність розробки рішення для побудови віртуальної комп'ютерної мережі на основі технології SDN, яке дозволить вдосконалити процеси передачі даних у випадку відмов окремих ділянок комп'ютерної мережі. Після проведеного аналізу літератури на тему відповідності рішень побудови програмно-визначених мереж критеріям



якості обслуговування зроблено висновок про необхідність розробки методу врахування якомога більшої (не менше чотирьох, оскільки відомі рішення зазвичай враховують одну або дві) кількості метрик якості обслуговування при передачі даних у мережі.

У другому розділі запропоновано метод побудови каналів зв'язку віртуальної мережі на основі технології SDN, який використовує інтегральний критерій побудови каналів зв'язку мережі з урахуванням якості обслуговування, критерій надійності вузлів мережі та розділення її на підмережі під час процесу побудови каналів зв'язку. Представлено теоретичне обґрунтування запропонованого інтегрального критерію для побудови каналів зв'язку з урахуванням якості обслуговування у віртуальній комп'ютерній мережі на основі технології SDN. Представлено теоретичне обґрунтування запропонованого критерію надійності вузлів мережі для побудови каналів зв'язку. Продемонстровано, що комбінаторний алгоритм багатошляхової маршрутизації, що формує  $k$  шляхів, що не перетинаються, на графі мережі, характеризується меншою часовою складністю в порівнянні з базовим алгоритмом у випадку розділення графа на підграфи.

У третьому розділі удосконалено метод динамічної реконфігурації віртуальної мережі SDN з використанням відмовостійких резервних каналів зв'язку. Представлено алгоритм побудови множини каналів зв'язку, що не перетинаються, між вузлами мережі, що є реалізацією одного з етапів відповідного методу побудови каналів зв'язку на основі інтегрального критерію з урахуванням якості обслуговування, запропонованого у другому розділі. Представлено алгоритм відбору каналів зв'язку по критерію надійності вузлів, що є реалізацією одного з етапів методу побудови каналів зв'язку, запропонованого у другому розділі.

У четвертому розділі проведено огляд існуючих програмних реалізацій SDN-контролерів. Обґрунтовано вибір контролеру ONOS для виконання моделювання віртуальної мережі SDN та перевірки запропонованих методів. Проведено моделювання віртуальної SDN мережі з використанням запропонованих методів, проведено аналіз зміни швидкості та об'єму передачі трафіку для декількох топологій мережі різної зв'язності при відключенні частини вузлів мережі. Зроблено висновок про правильність обраних технічних засобів розробки застосунку для SDN-контролера ONOS та перевагу запропонованих методів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».



## **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації здобувача мають високий науковий рівень і пройшли відповідне рецензування. У кожную публікацію здобувач зробив вагомий особистий внесок, який був використаний при підготовці дисертаційної роботи. Усі публікації були написані з дотриманням принципів академічної доброчесності та складаються із власних досліджень здобувача та співавторів.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

## **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. У дисертаційній роботі запропоновано інтегральний критерій побудови каналів зв'язку, який одночасно враховує необмежену кількість метрик якості обслуговування каналів. На с. 54 представлено вираз, який враховує чотири метрики. Для великої кількості метрик, кожна з яких може мати різні пріоритети, потрібні ресурси для обробки і оцінки в реальному часі. Робота виграла би, якщо було би розглянуто інші метрики та оцінено їх оптимальну кількість у контексті збільшення обчислювального навантаження, часу обчислень та негативного впливу на продуктивність.

2. Для постійного моніторингу необмеженого набору метрик та їх коректного налаштування можуть знадобитися спеціалізоване апаратне та програмне забезпечення, кваліфікований персонал для керування мережею. Доцільно було би оцінити необхідність залучення додаткових ресурсів для реалізації запропонованого методу.

3. В запропонованому методі побудови шляхів за рахунок врахування метрики надійності вузлів не розглянуто випадок наявності ненадійних вузлів в усіх шляхах, що не перетинаються.

4. Збереження множини маршрутів, що не перетинаються, вимагає значних обсягів пам'яті в контролері SDN, що може обмежити його ефективність у великих мережах. Це питання не розглянуто в контексті методу динамічної реконфігурації.



5. Процес переключення між основним та резервним каналами зв'язку при необхідності реконфігурації може мати певну затримку, особливо якщо резервні канали не готові до негайного використання. Це впливає на час відновлення сеансу передачі трафіку, що може бути критичним для додатків з низькими вимогами до затримок (так званий, нееластичний трафік). Оцінка часу реконфігурації для мереж різного масштабу покращила б роботу.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Череватенка Олексія Володимировича на тему «Спосіб побудови віртуальної комп'ютерної мережі на основі технології SDN» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Череватенко Олексій Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія.

### **Офіційний опонент:**

завідувач кафедри комп'ютерних  
інформаційних технологій,  
Державне некомерційне підприємство  
«Державний університет «Київський  
авіаційний інститут», д.т.н., проф.

 Аліна САВЧЕНКО

М.П.

«21» квітня 2023 року

  
*Підпис Аліни Савченко засвідчено*  
*Великий секретар Державного некомерційного підприємства*  
*«Державний університет «Київський авіаційний інститут»*  
