

## РЕЦЕНЗІЯ

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.

У сучасних умовах зростання кількості користувачів комп'ютерних мереж спостерігається суттєве підвищення навантаження на мережеву інфраструктуру. Це в першу чергу обумовлює підвищення ризиків, пов'язаних з перевантаженням каналів передавання даних, зниженням швидкості з'єднання та ймовірними відмовами як окремих вузлів так і функціонування мережі в цілому. Значний вплив людського фактору на конфігурування мережевих компонентів, а також необхідність ручного налаштування кожного окремого вузла знижують адаптивність та масштабованість традиційних мережевих рішень. Це в цілому обґрунтовує актуальність досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, які стосуються розробки нових підходів та методів до організації та керування комп'ютерними мережами.

Традиційним підходом для побудови високошвидкісних маршрутів є створення віртуальних каналів зв'язку. Однак із розвитком технологій та зростанням складності мереж нові виклики пов'язані з динамічною адаптацією комп'ютерних мереж до умов експлуатації, забезпеченням якості обслуговування (*QoS, Quality of Service*) та високою відмовостійкістю. В цьому контексті актуальним постає питання впровадження інтелектуальних методів та засобів побудови віртуальних каналів зв'язку, які здатні враховувати різноманітність мережевого трафіку, пріоритети його передавання, а також забезпечувати оперативну адаптацію до змін у мережевій топології.

Дисертаційне дослідження присвячене саме розробці нових підходів до організації та керування комп'ютерними мережами на основі концепції мереж, що програмно визначені (*SDN, Software-Defined Networking*). Запропонований в роботі підхід базується на поєднанні технологій побудови віртуальних

маршрутів і технології SDN, що дозволило розширити можливості традиційних технологій віртуальних каналів і подолати їх обмеження. З одного боку, віртуальні мережі, на відміну від фізичних, під час масштабування не потребують фізичного переміщення та підключення пристроїв. З іншого боку, використання спеціального централізованого контролера SDN для виконання функції управління мережею, забезпечує динамічну адаптацію до змін трафіку та спрощення процесів налаштування і масштабування, за рахунок глобального бачення мережі.

Одним із значних і актуальних наукових результатів роботи є забезпечення QoS в віртуальних мережах на основі технології SDN, який базуються на підтримці комплексного набору метрик на відміну від традиційних рішень з підтримкою окремих параметрів якості обслуговування. Інтеграція запропонованих засобів забезпечення QoS та врахування надійності вузлів каналів передачі даних в цілому дозволяють будувати відмовостійкі канали передачі даних в мережах SDN, зокрема й резервні канали передачі даних для забезпечення динамічної реконфігурації мережі у випадках відмов.

Отже, дослідження фокусуються на розробці комплексного способу, який передбачає поєднання методів та засобів для побудови комп'ютерної мережі шляхом інтеграції технологій віртуальних мереж і мереж SDN, що в цілому спрямовано на вдосконалення процесів передачі даних та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування. Виконані дослідження є актуальними у контексті підвищення ефективності, масштабованості та адаптивності сучасних комп'ютерних мереж.

### **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.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР «Високопродуктивні комп'ютерні системи та мережі: теорія, методи і засоби апаратної та програмної реалізації» під керівництвом професора кафедри обчислювальної техніки, д.т.н., проф. Кулакова Юрія Олексійовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання вдосконалення процесів передачі даних, а саме підвищення швидкості та надійності передачі даних, та забезпечення необхідного рівня якості обслуговування шляхом розробки комплексного способу побудови комп'ютерної мережі на основі інтеграції технологій віртуальних мереж і мереж *SDN* виконано повністю, здобувач 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 О.В. 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. Мета дисертаційного дослідження 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 мереж *SDN*. Визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів.

У першому розділі виконано аналітичний огляд літературних джерел та аналіз відомих методів побудови віртуальних комп'ютерних мереж, зокрема з використанням технології *SDN*, та підставі чого визначена проблематика області наукових досліджень та виконано постановка завдань дисертаційного дослідження. На основі виконаного 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 розроблено теоретичне та математичне обґрунтування методів та засобів для реалізації комплексного способу побудови каналів зв'язку віртуальної мережі на основі технології *SDN*, а саме: наведена математична модель процесу побудови каналів зв'язку з урахуванням параметрів *QoS*; розроблено інтегральний критерій забезпечення *QoS* та описано метод побудови віртуальних каналів передачі даних з врахуванням цього критерію в комп'ютерній мережі на основі технології *SDN*; розроблено

математичне обґрунтування критерію надійності вузлів мережі на віртуальному маршруті передачі даних. В розділі запропоновано математична модель процесу розділення комп'ютерної мережі на підмережі на основі комбінаторного алгоритму багатошляхової маршрутизації, що дозволяє будувати на графі мережі маршрути що не перетинаються та досягти зменшення часової складності процесу побудови віртуальних маршрутів передачі даних у порівнянні з використанням базового алгоритму.

У третьому розділі удосконалено метод динамічної реконфігурації комп'ютерної мережі, побудованої на базі технології *SDN*, шляхом формування та використання відмовостійких резервних віртуальних каналів передачі даних. Реалізація удосконалених етапів методу динамічної реконфігурації базується на комплексному використанні запропонованих в дисертаційній роботі способу побудови каналів зв'язку, що не перетинаються, інтегрального критерію забезпечення якості обслуговування та врахування критерію надійності вузлів на віртуальному маршруті передачі даних.

У четвертому розділі описано підхід до програмної реалізації централізованого контролера мережі *SDN* на базі програмного забезпечення *Open Network Operating System (ONOS)*, описано модифікований застосунок *Intent Forwarding*, який виконує маршрутизацію між *OpenFlow*-комутаторами у мережі. В розділі представлено результати аналізу ефективності запропонованих методів та засобів, отримані шляхом моделювання способу побудови віртуальної мережі *SDN* на розробленому програмному забезпеченні, що в цілому представляє собою комплексне практичне рішення для побудови і експлуатації віртуальної мережі *SDN*. В розділі наведена оцінка швидкодії та об'єму передачі трафіку для топологій комп'ютерної мережі з різною зв'язністю при відключенні частини вузлів мережі.

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 кuartилів (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 кожному 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 визначенні практичної цінності означено, що автором запропоновано та реалізоване на практиці комплексне рішення для побудови віртуальної комп'ютерної мережі на основі технології *SDN*. Доцільно було б зазначити, що мова йдеться саме про комплексний спосіб побудови комп'ютерної мережі, що фігурує в назві теми і в меті дослідження, який саме є комплексним поєднанням методів та засобів, запропонованих та реалізованих в дисертаційній роботі.

2. У тексті роботи зустрічаються неузгоджені назви розроблених методів, тобто формулювання певним чином відрізняється в різних частинах роботи. Задля покращення розуміння сутності розроблених методів та засобів рекомендовано узгодити термінологію та забезпечити єдину назву для кожного методу, яка послідовно використовуватиметься в усій роботі. Зокрема зустрічається декілька варіантів назв методу динамічної реконфігурації віртуальної мережі на основі технології *SDN*.

3. Замість терміну «збереження швидкості» в науковій новизні краще було б використати термін «забезпечення стабільної швидкості».

4. Етапи методу динамічної реконфігурації, які представлені у вигляді блок-схеми, було б доцільно доповнити детальним текстовим описом. Водночас метод побудови віртуальних маршрутів, який доволі детально описаний словесно, було б доцільно підсумувати у вигляді послідовності етапів для кращої структуризації та сприйнятті матеріалу.

5. На представлених графіках (рис. 4.2 – рис. 4.4) використаний занадто малий масштаб, що значно ускладнює візуалізацію та оцінку результатів проведених експериментів. Було б доцільно збільшити масштаби графіків або обрати інший спосіб візуалізації, що дозволить краще відобразити результати та забезпечити їх наочність.

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.

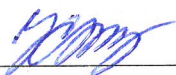
### **Висновок про дисертаційну роботу.**

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.

### **Рецензент:**

професор кафедри обчислювальної техніки,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
д.т.н., проф.

 Ірина КЛИМЕНКО

М.П.

« 29 » квітня 2025 року

