

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Омельченка Віталія Вікторовича

на тему «Інформаційна технологія управління обчислювальними ресурсами в  
Kubernetes кластері»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

### **Актуальність теми дисертації.**

В умовах збільшення вартості використання обчислювальних ресурсів та з появою нових видів навантаження на сучасні IT-інфраструктури постає завдання створення нових та вдосконалення існуючих моделей і методів ефективного управління обчислювальними ресурсами.

Сучасні IT-інфраструктури, у тому числі хмарні, забезпечують функціонування великої кількості застосунків, кожен з яких має власну архітектуру, характеристики навантаження, кількість клієнтів та вимоги до обчислювальних ресурсів. Ефективне управління множиною застосунків з контейнерною віртуалізацією є критично важливим аспектом функціонування сучасних інформаційних систем. До сучасних застосунків на основі мікросервісних архітектур висуваються такі вимоги, як: допустима затримка, висока надійність, ресурсоемність та ін. Існуючі методи управління обчислювальними ресурсами в умовах змінних навантажень часто є неефективними або з точки зору забезпечення необхідного рівня QoS, або з точки зору обсягу використання обчислювальних ресурсів. Виникає потреба у виділенні достатнього мінімального обсягу обчислювальних ресурсів для контейнеризованих застосунків інформаційної системи при забезпеченні встановленого рівня якості послуг.

Одним із ключових технологічних зрушень останніх років є широке впровадження контейнерної віртуалізації та систем оркестрації контейнерів, зокрема Kubernetes, які забезпечують базові методи керування застосунками та розподілу обчислювальних ресурсів кластера. Сучасні системи управління контейнерами надають прості методи керування, в основному для сталих навантажень, які мало змінюються.



Використання контейнерної віртуалізації дозволяє швидко масштабувати горизонтально та вертикально окремі мікросервіси в умовах змінного навантаження, що надає можливість застосовувати проактивні та гібридні методи для управління ресурсами в IT-інфраструктурі. Отже, розроблення моделей і методів ефективного керування обчислювальними ресурсами контейнерної віртуалізації в умовах змінних навантажень є актуальною задачею.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у наступному:

1. Запропоновано метод проактивного вертикального та горизонтального масштабування обчислювальних ресурсів, який відрізняється здатністю працювати з робочими навантаженнями, які містять комплексні сезонності та тенденції, що дозволяє зменшити використання обчислювальних ресурсів при дотриманні встановленого рівня якості послуг;

2. Запропоновано метод проактивно-реактивного масштабування, який відрізняється перерозподілом управлінням обчислювальними ресурсами між компонентами вертикального та горизонтального масштабування, що дозволяє забезпечувати встановлений рівень якості послуг у разі відсутності історичних даних, недостатньої точності отриманих прогнозів або некоректної роботи проактивного компонента;

3. Запропоновано метод горизонтально-вертикального масштабування, який відрізняється наявністю координатора для узгодження керуючих дій між компонентами масштабування, що дозволяє зменшити збиткове резервування обчислювальних ресурсів при використанні горизонтального масштабування для проактивного та реактивного управління;

4. Набула подальшого розвитку інформаційна технологія управління обчислювальними ресурсами IT-інфраструктури, яка відрізняється наявністю проактивного та гібридного масштабування, що дозволяє надавати консистентний рівень якості послуг.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів дисертаційної роботи забезпечуються коректним використанням методів математичного



програмування, математичного моделювання, методів прогнозування, а також підтверджуються результатами обчислювальних експериментів.

Наукові дослідження виконані здобувачем на кафедрі інформаційних систем та технологій КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР «Інтелектуальні високопродуктивні технології управління технічними системами», державний реєстраційний номер 0121U110810, під керівництвом д.т.н., проф. Роліка Олександра Івановича.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання підвищення ефективності управління обчислювальними ресурсами для контейнеризованих застосунків виконано повністю, здобувач повною мірою опанував методологію наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Омельченка В. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інформаційні системи та технології».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям розробки та моделювання інформаційних систем з використанням контейнерної віртуалізації.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Омельченка Віталія Вікторовича 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. Виявлений відсоток співпадінь пояснюється стандартами оформлення дисертаційних робіт. Дисертація написана з дотриманням принципів академічної доброчесності.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.



Текст дисертації викладений логічно і послідовно, його оформлення відповідає чинним вимогам. Автор дотримується наукового стилю та використовує загальноприйняту термінологію.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 154 сторінки.

У вступі розглянуто актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, обґрунтовано необхідність розроблення моделей і методів управління обчислювальними ресурсами для контейнеризованих застосунків, визначено мету і задачі дослідження, наведено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано поточний стан методів, технологій та засобів управління IT-інфраструктурою. Сформульовано задачу оптимального керування обчислювальними ресурсами. Розроблено математичну модель кластеру для вибраної архітектури. Обрано та обґрунтовано метрики для моніторингу роботи кластеру. Визначено методи управління обчислювальними ресурсами з урахуванням якості послуг, на основі чого визначено вимоги та завдання для розроблення системи керування контейнеризованими застосунками.

У другому розділі розроблено проактивні методи масштабування з прогнозуванням при керуванні контейнеризованими застосунками. На основі результатів порівняльного аналізу сучасних методів і моделей прогнозування визначено їх можливості, особливості та обмеження. Бібліотеки і методи прогнозування Prophet, NeuralProphet та TBATS використано для розробки комбінованого методу прогнозування. Розроблено метод проактивного масштабування ресурсів контейнера, який відрізняється здатністю працювати з навантаженнями, що містять сезонності та тенденції. Проведено експериментальне дослідження методу проактивного масштабування ресурсу процесора.

У третьому розділі розроблено метод проактивно-реактивного масштабування, зокрема, комбінація проактивного та реактивного управління для підвищення стійкості до аномальних навантажень та використання в умовах повної або часткової відсутності даних. Розроблено метод горизонтально-вертикального масштабування на основі координатора, який для узгодження роботи горизонтального та вертикального компонентів



використовує принцип пріоритетності. Проведено експериментальне дослідження методів масштабування для ресурсів процесору та пам'яті.

У четвертому розділі запропоновано систему управління обчислювальними ресурсами для кластеру Kubernetes, яка використовує розроблені методи прогнозування і масштабування ресурсів. Розроблено структуру системи управління обчислювальними ресурсами та її модулів моніторингу, аналізу, прогнозування, планування та управління. Розроблено політики управління при перевищенні запиту на наявні обчислювальні ресурси, а також політики масштабування та балансування навантаження. Реалізовано систему управління обчислювальними ресурсами для кластера Kubernetes та наведено налаштування її окремих модулів.

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 3 наукових публікаціях здобувача, серед яких 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Представлені публікації належним чином відображають результати проведених досліджень у межах дисертаційної роботи і не містять жодних порушень академічної доброчесності. У кожному публікацію здобувач зробив 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.

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

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

1. У дисертації не наведено який саме внесок здобувач зробив у кожен її публікацію.

2. При формулюванні цільових критеріїв (1.1) передбачається порівняння фактичного і цільового значення  $Q_i$ , проте в роботі відсутній формальний опис



алгоритму, за яким метрики — зокрема, такі як середній час та варіація часу відповіді, частота відмов — зводяться до одного узагальненого показника  $Q_1$ .

3. Умова розміщення екземплярів застосунків, що описується формулою (1.2), не містить повної системи обмежень. Розміщення декількох екземплярів одного застосунку на одному вузлі не є бажаним з точки зору надійності системи, що в умові (1.2) не вказано.

4. Архітектура інформаційної системи, наведена у четвертому розділі, не містить чіткого опису інформаційних зв'язків між модулями. Зокрема, взаємодія між модулем прогнозування і модулем планування позначена умовно, без опису способів обміну даними чи частоти оновлення.

5. У роботі для запропонованого проактивного методу масштабування проводяться експериментальні дослідження для порівняння ефективності його роботи з існуючими методами. Для запропонованого в третьому розділі проактивно-реактивного підходу аналогічне дослідження не проводиться. Це обмежує можливість об'єктивної оцінки ефективності проактивно-реактивного методу в контексті існуючих підходів до масштабування.

6. Експериментальні дослідження запропонованих методів проводяться на синтетичному наборі даних з використанням кластеру, що включає один вузол. Такий підхід обмежує можливості оцінки поведінки системи в реальних умовах, зокрема при багатовузловій архітектурі, яка розповсюджена у сучасних ІТ-інфраструктурах.

7. Невірно використані терміни, наприклад: обрахунку, утилізація, історичні дані, функціонал. «Визначено функціонал кожного модуля і комунікацію між модулями та кластером.» с 15, 22, 39, 49 і т.д.

8. У новизні вказано, що «набула подальшого розвитку інформаційна технологія», але у вступі вказано «Створено інформаційну технологію управління обчислювальними ресурсами в кластері».

9. На рисунках 3.3, 3.4, 3.5 невірно показані блоки початку і кінця алгоритму.

10. У тексті зазначено, «На рис. 4.3 зображена функціональна схема системи управління ОР», але назва рисунку «Функціональна структура інформаційної технології».



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 Омельченка Віталія Вікторовича на тему «Інформаційна технологія управління обчислювальними ресурсами в Kubernetes кластері» 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 галузі знань 12 Інформаційні технології. 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 Омельченко Віталій Вікторович заслуговує присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології.

### **Рецензент:**

завідувач кафедри інформатики  
та програмної інженерії Національного  
технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
д.т.н., професор

