

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, доктора технічних наук, професора **Леонова Сергія Юрійовича**  
на дисертаційну роботу **Петровської Інни Юріївни**  
**«Методи розподілу ресурсів в комп'ютерних системах**  
**при наданні хмарних інфраструктурних послуг»**  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 123 – комп'ютерна інженерія

### **Актуальність теми.**

Хмарне середовище містить у собі великий набір обчислювальних ресурсів: сервери, системи зберігання даних, мережні пристрої. При цьому вони можуть бути як однотипними, так і різними за продуктивністю, набором інструкцій, співвідношенням кількості процесорних ядер до обсягу оперативної пам'яті тощо. Це ускладнює проблему оптимального використання наявних ресурсів, призводячи до значного подорожчання, ускладнення управління або навіть повної неможливості використання хмарних обчислювальних середовищ, функціонуючих за технологією на базі моделі «Інфраструктура у якості сервісу» (IaaS), для вирішення різнорідних завдань на одному наборі обладнання. Робота спрямована на підвищення ефективності використання хмарних обчислювальних ресурсів при застосуванні технології, що базується на моделі «Інфраструктура у якості сервісу», шляхом розробки методів розподілу ресурсів у хмарному середовищі, тому можна відзначити що тема даної дисертаційної роботи «Методи розподілу ресурсів в комп'ютерних системах при наданні хмарних інфраструктурних послуг» є актуальною та має наукове та практичне значення

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

Дослідження виконані на кафедрі «Комп'ютерна інженерія та програмування» Національного технічного університету «Харківський

політехнічний інститут» в рамках науково-дослідної теми: «Моделі і методи обробки даних і розподілу мережних ресурсів в комп'ютерних системах» (ДР №0122U200527, компанія «LineUp», м. Харків), в якій здобувачка брала участь у якості виконавиці окремих розділів.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Петровською І. Ю. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, і якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано з використанням достатнього комплексу методів досліджень та математичного апарату. Отримані результати отримані з залученням апробованих алгоритмів та методів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

### **Аналіз змісту дисертації.**

Дисертаційна робота Петровської Інни Юріївни складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 2 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її наукову та практичну значимість, представлено мету і задачі дослідження, сформульовано об'єкт та предмет дослідження, описано зв'язок дисертації з науковими темами, наведено дані про апробацію дисертаційної роботи.

У першому розділі проведений аналіз методів розподілу ресурсів у хмарних середовищах. Зокрема, розглянуті особливості хмарних обчислювальних систем та розподілу ресурсів в них. Проаналізовані існуючі статичні і динамічні методи розподілу ресурсів у віртуальних середовищах. Проведений порівняльний аналіз підходів до розподілу ресурсів у хмарному

середовищі з різними моделями обслуговування. На основі проведеного аналізу сформульовані задачі дослідження.

У другому розділі основна увага приділена завданню базового виділення ресурсів хмарного середовища з моделлю обслуговування «Інфраструктура у якості сервісу». Для його вирішення проведена декомпозиція хмарного середовища, обґрунтований вибір методу для базового виділення хмарних ресурсів та запропонований метод базового виділення ресурсів хмарного середовища користувачу, орієнтованому на модель IaaS. Також наведений приклад базового завантаження віртуального хоста за допомогою запропонованого методу.

У третьому розділі розглянуті етапи запропонованого методу адаптивного розподілу хмарних ресурсів при використанні моделі обслуговування «Інфраструктура у якості сервісу». Зокрема, проведене узагальнення вимог до методу розподілу хмарних ресурсів при використанні моделі обслуговування «Інфраструктура у якості сервісу» та запропонована структура методу адаптивного розподілу хмарних ресурсів. В межах даної структури розроблені метод адаптивного прогнозування на основі тесту на послідовність серій, метод превентивного формування черг запитів на віртуальні машини хмарного середовища та модель багатоцільового розподілу ресурсів, які дали можливість реалізувати адаптивний розподіл хмарних ресурсів у випадку використання моделі обслуговування «Інфраструктура у якості сервісу».

У четвертому розділі проведені дослідження запропонованих методів розподілу ресурсів в комп'ютерних системах при наданні хмарних інфраструктурних послуг. Зокрема, досліджені на імітаційній моделі методи прогнозування запитів на ресурси на основі тесту на послідовність серій та адаптивного розподілу хмарних ресурсів. Наведені практичні рекомендації по використанню адаптивного методу розподілу хмарних ресурсів.

Висновки до розділів та результати дисертаційного дослідження сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

До основних нових наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести наступне:

1) отримав подальший розвиток метод базового виділення ресурсів хмарного середовища користувачу, орієнтованому на модель «Інфраструктура у якості сервісу», шляхом попередньої декомпозиції множини доступних ресурсів на зони за допомогою введення нерівномірних шкал та використання методу аналізу ієрархій, що дозволяє підвищити рівень балансування завантаження хмарних ресурсів;

2) вперше розроблено метод превентивного формування черг запитів на віртуальні машини хмарного середовища при використанні технології, орієнтованої на модель «Інфраструктура у якості сервісу», який враховує результати аналізу попередніх даних та базується на моделі багатоцільового розподілу хмарних ресурсів, що дозволяє завчасно провести прогнозування завантаженості фізичних пристроїв хмарного середовища та запобігти втратам обчислювального ресурсу;

3) удосконалено метод адаптивного розподілу ресурсів хмарного середовища, який відрізняється від відомих використанням тестування на послідовність серій, математичного апарату удосконаленого генетичного алгоритму NSGA-II та результатами прогнозу запитів на віртуальні машини, що дозволяє підвищити ефективність використання хмарних обчислювальних ресурсів за рахунок реалізації балансу між ресурсами центрального процесора та оперативної пам'яті та зменшення затримки в обслуговуванні хмарних ресурсів.

### **Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність отриманих результатів зумовлено поставленими метою та завданнями, а також використанням відповідної методології дослідження. Крім того, достовірність заявлених положень обґрунтовується комплексним

підходом у вивченні визначеного об'єкта, що також обґрунтовує використання методів дослідження.

### **Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Практична цінність отриманих результатів полягає в успішному впровадженні результатів дослідження в діяльності компанії «Лайнап тех», а також у навчальному процесі Національного технічного університету «ХПІ».

Розроблений метод базового виділення ресурсів хмарного середовища користувачу, орієнтованому на модель «Інфраструктура у якості сервісу»; в межах методу запропонований підхід до проведення декомпозиції хмарного середовища на зони, виходячи з визначальних особливостей ресурсів, що надаються в кожній зоні; обґрунтований вибір методу аналізу ієрархій для базового виділення хмарних ресурсів; в результаті отримав подальший розвиток метод базового виділення ресурсів хмарного середовища шляхом попередньої декомпозиції множини доступних ресурсів на зони за допомогою введення нерівномірних шкал та використання методу аналізу ієрархій, що дозволило підвищити рівень балансування завантаження хмарних ресурсів; запропонований метод дозволив підвищити рівень балансування завантаження обчислювальних ресурсів хмарного середовища при використанні технології, орієнтованої на модель «Інфраструктура у якості сервісу», за показником середнього квадратичного відхилення до 8%.

Розроблений метод превентивного формування черг запитів на віртуальні машини хмарного середовища при використанні технології, орієнтованої на модель IaaS, який декомпозований на такі послідовні етапи: прогнозування майбутніх запитів на віртуальні машини; визначення необхідності заздалегідь виділяти ресурси; встановлення послідовності запитів на віртуальні машини; даний метод враховує результати аналізу попередніх даних, що дозволяє завчасно провести прогнозування завантаженості фізичних пристроїв хмарного середовища та запобігти

втратам обчислювального ресурсу; його використання дозволило сформувати можливі черги запитів на найбільш витратний за часом формування хмарний ресурс – віртуальні машини, з відхиленням від реальних запитів не більше 15%; крім того, підхід до адаптивного прогнозування завантаженості хмарних ресурсів на основі тесту на послідовність серій дозволив адаптивно вибрати найбільш відповідний метод прогнозування залежно від характеру даних та їхньої змінюваності, з урахуванням особливостей запитів до ресурсів, за рахунок такої додаткової процедури зменшується час прогнозування до 20%.

Розроблений метод адаптивного розподілу ресурсів хмарного середовища; розглянута модель багатоцільового розподілу ресурсів, котра використовується як при превентивному формуванні черг запитів на віртуальні машини хмарного середовища, так і при адаптивному розподілі хмарних ресурсів, та послідовно розглядає мінімізацію загальної кількості використовуваних фізичних машин та загальної відстані між ресурсами віртуальних машин та фізичних машин, а також формалізацію та кодування даних в рамках генетичного алгоритму для балансування навантаження ресурсів; метод адаптивного розподілу відрізняється від відомих використанням тестування на послідовність серій, математичного апарату удосконаленого генетичного алгоритму NSGA-II та результатами прогнозу запитів на віртуальні машини, що дозволило підвищити ефективність використання хмарних обчислювальних ресурсів за рахунок реалізації балансу між ресурсами центрального процесора та оперативної пам'яті та зменшення затримки в обслуговуванні хмарних ресурсів; комплексне використання запропонованих методів дозволило зменшити затримку в обслуговуванні обчислювальних ресурсів в процесі функціонування наданої замовнику віртуальної інфраструктури до 5% за рахунок підвищення рівня балансування завантаження обчислювальних ресурсів хмарного середовища.

Також здобувачкою були сформульовані практичні рекомендації щодо застосування розроблених методів відповідно до характеристик вхідних навчальних наборів даних.

### **Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Дисертація була виконана відповідно до наукових стандартів та академічної доброчесності. Отримані результати підтверджують оригінальність дослідження. У тексті присутні авторські ідеї, і не виявлено використання концепцій інших вчених без належних посилань.

Основні ідеї автора та результати дослідження були опубліковані у 15 наукових працях, серед яких 5 фахових статей та 10 наукових праць апробаційного характеру (із яких 2 праці проіндексовані в наукометричній базі даних Scopus). У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

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

1. В другому розділі дисертаційної роботи при використанні метода попарних порівнянь потрібно було б привести формули, за допомогою яких перевірялась узгодженість даних.

2. У третьому розділі дисертаційної роботи при проведенні прогнозування шляхом адаптивного вибору методу EEMD-ARIMA або методу EEMD-RT-ARIMA, що базуються на відповідних гібридних моделях (підрозділ 3.3), доцільно було б навести формули, що визначають ансамблеву емпіричну декомпозицію ряду та авторегресійну інтегровану рухому середню.

3. У третьому розділі при описі методу адаптивного прогнозування на основі тесту на послідовність серій (підрозділ 3.4) потрібно було б провести

обґрунтування вибору порогу передбачуваної кількості запитів на віртуальні машини.

4. В четвертому розділі не вистачає детального опису, яким чином, використовуючи метод міжквартильного розмаху, отримано передбачені послідовності.

Вищенаведені недоліки не впливають на позитивне рішення та мають рекомендаційний характер для подальших досліджень здобувачки за тематикою дисертаційної роботи.

### ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Петровської Інни Юріївни є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає спеціальності 123 – комп'ютерна інженерія.

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Петровської Інни Юріївни «Методи розподілу ресурсів в комп'ютерних системах при наданні хмарних інфраструктурних послуг» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а здобувачка, Петровська Інна Юріївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 123 – комп'ютерна інженерія.

Рецензент – професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування  
Национального технічного університету «Харківський політехнічний інститут»  
доктор технічних наук, професор



Підпис *Сергій Леонов*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНОЇ РАДИ  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
" *Сергій Леонов* " 20\_\_ р.

Сергій ЛЕОНОВ  
23.11.2023р.