

ВІДГУК

офіційного опонента

**доктора технічних наук, професора Єременко Олександри Сергіївни
на дисертаційну роботу Карташова Антона Димитровича**

**«Підхід щодо організації розподіленого зберігання та
доступу до cloud даних»,**

**представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка,
галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації**

Актуальність теми роботи

В умовах безперервного зростання обсягів даних і розвитку цифрової інфраструктури зберігання інформації особливої значущості набувають питання ефективного управління розподіленими сховищами в мультихмарних середовищах. На практиці дедалі частіше застосовуються комбінації різноманітних хмарних сервісів для підвищення надійності, гнучкості та доступності даних. Водночас різноманітність платформ і протоколів, а також необхідність урахування показників продуктивності, безпеки та вартості створюють складну науково-технічну проблему оптимізації процесів зберігання інформації та доступу до неї. Ефективне вирішення цих завдань потребує розробки нових та удосконалення існуючих моделей і методів багатокритеріальної оптимізації, адаптивного розміщення даних та інтелектуального управління ресурсами у динамічно змінюваних мультихмарних середовищах.

Науковий інтерес до цієї проблеми зумовлений необхідністю забезпечення високого рівня продуктивності, надійності, безпеки та стійкості систем розподіленого зберігання. Сучасні підходи не повною мірою враховують вимоги до комплексної оптимізації доступу до даних, адаптації алгоритмів до зміни навантаження та інтеграції різноманітних сервісів. Тому перспективним є створення методів, що поєднують елементи машинного навчання, еволюційних алгоритмів та оркестрації ресурсів для підвищення ефективності функціонування мультихмарних систем.

Виходячи з цього, є актуальною проблематика дисертаційної роботи Карташова Антона Димитровича, яка присвячена розв'язанню науково-практичної задачі розробки вдосконаленого підходу щодо підвищення ефективності розподіленого зберігання та доступу до даних у динамічно змінюваному мультихмарному середовищі.

Актуальність теми дисертації також підкріплена впровадженням отриманих дисертантом результатів у держбюджетних темах і міжнародному проєкті, а саме:

- 2218п «Гетерогенна мережа збору, передачі та обробки інформації для системи розподіленої генерації MicroGrid» (номер державної реєстрації 0119U001184);

- 2313п «Побудова інформаційно-аналітичної платформи для супроводження функціонування кіберфізичних систем» (номер державної реєстрації 0120U102298);
- «IDEA-East-Hub: International Innovation Hub for Data Science and renewable Energy», DAAD Program – HAW International Modul за співпрацею НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» та Анхальтським університетом прикладних наук Кьотен, Німеччина (номер договору 57603761);

які виконувались на кафедрі інформаційно-комунікаційних технологій та систем Навчально-наукового Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення

Дисертація складається з чотирьох розділів, в яких викладено отримані наукові результати. Структура дисертаційної роботи логічна та послідовна. Актуальність дисертації обґрунтована та повністю відповідає проблематиці сучасного стану досліджень в області оптимізації процесів розподіленого зберігання даних у мультимарних середовищах.

У *вступі* подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано всі процедурні положення, актуальність теми дисертації, показана її наукова і практична цінність, сформульовані мета і задачі дослідження, які необхідно вирішити для її досягнення, описано зв'язок дисертації з науковими планами та темами, приведена апробація дисертаційної роботи та публікації.

В *першому розділі* проведено аналіз проблеми ефективного розподіленого зберігання та доступу до даних у мультимарному середовищі. Розглянуто процес і архітектуру мультимарного зберігання, еволюцію хмарних технологій та ключові показники ефективності. Визначено недоліки існуючих підходів і сформульовано основні вимоги до підвищення ефективності зберігання та доступу до даних у динамічно змінюваному мультимарному середовищі.

У *другому розділі* роботи розроблено методи дослідження проблеми ефективного розподіленого зберігання та доступу до даних у мультимарному середовищі. Сформовано комплексний набір критеріїв оцінювання ефективності, що охоплює показники продуктивності, надійності, безпеки, економічної ефективності, інтероперабельності та екологічної сталості. Запропоновано онтологічну модель процесу зберігання даних, яка формалізує взаємозв'язки між сутностями системи та забезпечує концептуальне представлення взаємодії між даними, ресурсами та провайдерами. Розроблено математичну модель багатокритеріальної оптимізації, яка враховує статичні та динамічні параметри, обмеження й умови реального часу, що створює основу для подальшої оптимізації процесів зберігання та доступу до даних.

В *третьому розділі* розроблено комплексний підхід до підвищення ефективності розподіленого зберігання та доступу до даних у мультимарному середовищі. Створено гібридну структуру, що поєднує навчання з

підкріпленням і багатокритеріальну оптимізацію, формування простору станів і дій, визначення композитної функції винагороди та механізмів адаптації. Запропоновано механізм покращення політик навчання, що забезпечує пошук Парето-оптимальних рішень і баланс між конфліктними критеріями. Розроблено комплексний метод оптимізації розміщення та доступу до даних, який реалізує динамічну стратегію розміщення, адаптивне розпізнавання шаблонів доступу та механізми вирішення конфліктів.

У *четвертому розділі* виконано аналіз ефективності розробленого комплексного методу розподіленого зберігання та доступу до даних на основі інтелектуального оркестратора хмарних даних (Intelligent Cloud Data Orchestrator, ICDO). Описано архітектуру системи, рівні оркестрації, оптимізації та управління, що забезпечують узгоджену взаємодію між компонентами мултихмарного середовища. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили переваги підходу ICDO порівняно з існуючими методами, зокрема, підвищення продуктивності, надійності, безпеки й адаптивності системи. Отримані результати продемонстрували значне покращення ключових показників ефективності та зниження вартості зберігання даних у більшості практичних сценаріїв мултихмарних розгортань.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Карташова А.Д., впливають з достовірності отриманих дисертантом результатів, засвідчених відповідним актом впровадження, обговоренням матеріалів дисертації на міжнародних науково-технічній і трьох практичних конференціях, а також наукових семінарах, де отримали схвальну оцінку. Адекватність запропонованих рішень та оцінка їхньої ефективності підтверджені результатами експериментальних досліджень на інфраструктурі, яка складалася з мултихмарного середовища, що охоплювала трьох хмарних провайдерів, коли для кожного провайдера було забезпечено сервіси зберігання в кількох географічних регіонах для виконання тестування оптимізації локальності даних та затримки. Окрім хмарних ресурсів, було розгорнуто контрольну інфраструктуру для розміщення компонентів ICDO та координації експериментів.

Отже, розроблений комплексний метод розподіленого зберігання та доступу до даних на основі ICDO було апробовано під час експериментальних досліджень, що охоплювали встановлення базової лінії, тестування компонентів, інтегроване та порівняльне випробування з альтернативними підходами. Проведено також стрес- і довгострокові тести для оцінки

адаптивності, надійності та стабільності системи. Результати експериментів підтвердили високу ефективність і переваги запропонованого методу за основними показниками продуктивності.

Достовірність і новизна наукових положень, висновків і рекомендацій

У дисертаційній роботі Карташова А.Д. отримано такі наукові результати:

- *запропоновано* метод інтеграції алгоритмів навчання з підкріпленням і багатоцільових еволюційних алгоритмів з метою оптимізації процесу розподіленого зберігання даних, що дозволив підвищити ефективність прийняття рішень у мультихмарному середовищі;
- *запропоновано* онтологічну модель розподілу та зберігання даних за рахунок формалізації та систематизації взаємозв'язків між показниками ефективності та факторами впливу на розподіл і зберігання, що дозволила оптимізувати витрати та прискорити вибір хмарного провайдера на основі причинно-наслідкових зв'язків між параметрами системи;
- *удосконалено* математичну модель системи з динамічно змінюваними умовами зберігання даних у мультихмарних середовищах за рахунок інтеграції статичних і динамічних критеріїв, що дозволила автоматизовано враховувати зміни параметрів середовища в режимі реального часу.

Практична значимість результатів роботи

Отримані в дисертаційній роботі Карташова А.Д. наукові результати мають практичну цінність у зв'язку з тим, що можуть бути використані під час створення нових і вдосконалення існуючих моделей і методів оптимізації зберігання та доступу до даних у мультихмарних середовищах. Впровадження запропонованих моделей і методів дозволяє підвищити рівень ефективності розподіленого зберігання та доступу до даних у динамічно змінюваному мультихмарному середовищі за наступними показниками:

- покращення загальної продуктивності на 44,1% порівняно з традиційними підходами з однією хмарою та на 14,9% порівняно з найкращим альтернативним мультихмарним рішенням;
- зниження вартості зберігання на 28% у порівнянні з однохмарними підходами та на 16% – зі статичними мультихмарними системами;
- зменшення затримки читання на 50% і збільшення пропускну здатності на 71% відносно базових рішень;
- забезпечення стабільної роботи навіть за умов відмов із показником доступності 99,94%;
- досягнення високого рівня безпеки за рахунок 99,9% покриття шифруванням і рівня відповідності в межах 0,97–1,0;

- швидка конвергенція до оновлених оптимальних конфігурацій із середнім часом 7,8 хвилини, що на 42% швидше, ніж у найкращої альтернативи;
- досягнення показника рентабельності інвестицій 48,8% протягом одного року розгортання для обсягу 45 ГБ, що перевищує результати всіх порівнюваних підходів.

Важливість для практики результатів дисертаційної роботи підтверджена актом їхнього впровадження в компанії «Tech-5 UG» (Німеччина) спільно з Національним технічним університетом України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» під час удосконалення хмарної інфраструктури клієнтських проєктів. У результаті впровадження досягнуто скорочення витрат на хмарну інфраструктуру в середньому на 9 % та зниження затримки доступу до даних на 25 % порівняно з попередніми підходами.

Повнота викладу основних результатів дисертації у фахових виданнях

Проведений аналіз показав, що здобувач має необхідний обсяг наукових публікацій та апробацій. Результати дисертаційної роботи висвітлено у 4 наукових працях, серед них 2 статті у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у міжнародному виданні, що індексується наукометричною базою Scopus. Дисертант доповідався на міжнародній науково-технічній і трьох практичних конференціях.

Опубліковані матеріали відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, в яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих працях. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження та недоліки

1. У першому розділі під час аналізу викликів безпеки мультимарного зберігання даних недостатньо розглянуто методи оцінювання ризиків і ймовірності виникнення загроз на рівні хмарного провайдера (формула (1.22)).

2. У другому розділі (п. 2.2.2) подано визначення надлишковості в процесі мультимарного зберігання та доступності мультимарної системи, однак бракує роз'яснення практичних обмежень формули (2.7) щодо залежності між

параметрами k та m і впливу структури мультимарного середовища на фактичну доступність. Акцентується увага переважно на теоретичному аспекті моделі системи без достатньої валідації чи прикладів застосування формули для різних конфігурацій провайдерів, що знижує практичну цінність наведеного математичного опису. Крім того, вираз для визначення надійності мультимарної системи в явному вигляді не представлено.

3. У другому розділі (п. 2.2.3) представлено критерії безпеки та відповідності щодо захисту даних від несанкціонованого доступу, пошкодження або втрати, а також дотримання нормативних актів і стандартів. Однак у представленому описі критеріїв безпеки не враховано сучасні методи оцінювання вразливостей, які використовуються у хмарних середовищах. Зокрема, відсутня деталізація щодо застосування відомих систем класифікації, як-от CVE (Common Vulnerabilities and Exposures) або CVSS (Common Vulnerability Scoring System), які дають змогу кількісно оцінювати ризики та порівнювати рівень захищеності різних провайдерів. Подані формули (2.18)-(2.22) характеризують загальні кількісні показники безпеки, проте не враховують динамічну природу хмарних загроз, їх контекстну залежність і специфіку вразливостей, що виникають при міжхмарній взаємодії. Відсутність інтеграції метрик CVSS або інших підходів (MITRE ATT&CK for Cloud, CSA CCM (Cloud Controls Matrix) тощо) у модель оцінювання знижує її придатність для практичного застосування у реальних сценаріях кібербезпеки мультимарних систем.

4. У четвертому розділі дисертаційної роботи (п. 4.2.2) не наведено пояснення принципів вибору вагових коефіцієнтів для окремих категорій у формулі (4.9). Відсутність детального обґрунтування коефіцієнтів може впливати на достовірність і збалансованість інтегрального показника продуктивності ICDO.

5. У четвертому розділі дисертаційної роботи (п. 4.2.2) таблиці 4.4 та 4.5 потребують додаткового пояснення та аналізу отриманих результатів.

Проте, вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертаційні дослідження є актуальними, мають наукову цінність та практичну значущість.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Карташова Антона Димитровича «Підхід щодо організації розподіленого зберігання та доступу до cloud даних» є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу розробки вдосконаленого підходу щодо підвищення ефективності розподіленого зберігання та доступу до даних у динамічно змінюваному мультимарному середовищі. За своєю формою, об'ємом і змістом робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Загалом здобувач Карташов Антон Дмитрович за рівнем своєї підготовки та кваліфікації заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент:

професор кафедри інфокомунікаційної
інженерії імені В. В. Поповського
Харківського національного університету
радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор



Олександра ЄРЕМЕНКО

Учений секретар

Харківського національного університету
радіоелектроніки
кандидат технічних наук, доцент



Ірина ЖАРІКОВА