

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 26.133.102
у Київському столичному університеті
імені Бориса Грінченка
доктору технічних наук, професору
професору кафедри інформаційної та
кібернетичної безпеки імені професора
Володимира Бурячка Факультету
інформаційних технологій та
математики Київського столичного
університету імені Бориса Грінченка
Коршун Наталії Володимирівні

РЕЦЕНЗІЯ

РЗАЄВОЇ Світлани Леонідівни,

кандидата технічних наук, доцента,

доцента кафедри комп'ютерних наук

Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,

на дисертацію **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни «Методи та моделі
оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів хмарних систем для
підвищення безпеки»** подану на здобуття ступеня доктора філософії за
спеціальністю 125 Кібербезпека.

1. Актуальність дисертаційного дослідження

Хмарні обчислювальні системи на сьогодні є базовою технологічною основою функціонування критичної інфраструктури, державних і комерційних інформаційних сервісів, що зумовлює підвищені вимоги не лише до їх продуктивності, але й до безпеки та стійкості роботи. У сучасному ризик-орієнтованому середовищі традиційні методи оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів, які здебільшого враховують часові та вартісні показники, не забезпечують достатнього рівня захищеності

хмарних систем від динамічних кіберзагроз. Багатокористувацька природа хмарних середовищ, варіативний характер навантаження, а також складна взаємодія між компонентами інфраструктури ускладнюють процеси централізованого управління ресурсами та підвищують ризики деградації сервісів у разі помилок планування або ігнорування безпекових факторів. За таких умов виникає об'єктивна потреба у розробці нових підходів до оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів, здатних враховувати конфліктність цілей, варіативність ризиків та необхідність узгодженої взаємодії між суб'єктами захисту. Тому дослідження кооперативно-еволюційних методів розподілу ресурсів хмарних систем з урахуванням ризиків кібербезпеки є актуальним і своєчасним напрямом наукових досліджень.

2. Наукова новизна результатів дисертації

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** полягає у тому, що вперше розроблено багатокритеріальну оптимізаційну модель пошуку компромісних рішень у хмарних обчислювальних середовищах з урахуванням чотирьох взаємно суперечливих критеріїв рівня ризику, продуктивності, вартості та коаліційної вигоди між захисниками хмарних систем. Запропонована модель, на відміну від відомих підходів на основі алгоритмів NSGA-II та NSGA-III, забезпечує формування множини Парето-оптимальних рішень з урахуванням кооперативної взаємодії суб'єктів захисту.

У межах цієї моделі вперше враховано можливість співпраці між захисниками хмарних обчислювальних середовищ, що дозволило моделювати коаліційні сценарії протидії кіберзагрозам, а також введено поняття виграшу коаліції для оцінювання доцільності об'єднання та формування узгоджених стратегій захисту. Крім того, вперше запропоновано метод кооперативно-еволюційного розподілу

обчислювальних ресурсів у хмарних середовищах з урахуванням ризиків кібербезпеки (CoopEvo-CloudSec), який, на відміну від існуючих методів, поєднує алгоритми багатокритеріальної еволюційної оптимізації NSGA-II або NSGA-III (залежно від часових обмежень пошуку рішень) із кооперативною ігровою моделлю оцінювання ризиків у хмарних обчислювальних системах.

3. Теоретичне і практичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення дисертаційної роботи **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** не викликає сумніву, оскільки в ній здійснено подальший розвиток теоретичних засад оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів хмарних систем з урахуванням ризиків кібербезпеки та кооперативної взаємодії суб'єктів захисту. Запропонований у роботі підхід базується на розширенні традиційних моделей оптимізації, орієнтованих переважно на продуктивність і вартість, шляхом інтеграції безпекових та ігрових компонентів, що відповідає сучасній парадигмі розвитку хмарних обчислень і кібербезпеки.

Теоретична значущість отриманих результатів зумовлена такими ключовими факторами:

– зміна ландшафту кіберзагроз, що проявляється у зростанні інтенсивності та складності атак на хмарні інфраструктури (зокрема DDoS та EDoS), у зв'язку з чим традиційні статичні моделі розподілу ресурсів виявляються недостатньо ефективними, а запропоновані в дисертації адаптивні та ризик-орієнтовані підходи розширюють теоретичні можливості їх моделювання;

– перехід хмарних систем від локальних до гібридних і мультихмарних середовищ, що ускладнює процеси управління ресурсами та безпекою і потребує теоретичного осмислення механізмів координації, кооперації та узгодження стратегій між різними суб'єктами захисту;

- порушення цілісності даних і зовнішні загрози, пов'язані з компрометацією вузлів та викривленням розподілу ресурсів, що зумовлює необхідність теоретичного врахування ризиків і конфліктної взаємодії між атакуючими та захисними сторонами у моделях оптимізації;
- розширення ролі хмарних сервісів у зберіганні та обробці конфіденційних і критично важливих даних, що потребує розвитку теоретичних моделей ізоляції, координації та адаптивного перерозподілу ресурсів з урахуванням безпекових обмежень;
- вимоги відповідності та регуляторні обмеження, які зумовлюють необхідність теоретичного обґрунтування багатокритеріальних підходів до оптимізації, що дозволяють формалізувати компроміси між продуктивністю, вартістю та рівнем ризику;
- необхідність безперервного моніторингу та адаптивної безпеки, що вимагає розвитку теоретичних основ динамічної оптимізації ресурсів у режимі, наближеному до реального часу, з урахуванням змін середовища та поведінки загроз;
- реагування на інциденти та кооперативна протидія загрозам, що зумовлює потребу в теоретичному моделюванні коаліційної взаємодії між захисниками хмарних систем та оцінюванні доцільності такої взаємодії з позицій теорії ігор.

Таким чином, теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у розвитку наукових основ багатокритеріальної та кооперативно-еволюційної оптимізації обчислювальних ресурсів хмарних систем з урахуванням ризиків кібербезпеки. Отримані результати розширюють існуючі теоретичні уявлення про управління ресурсами в хмарних середовищах і створюють підґрунтя для подальших досліджень у сфері безпечних та адаптивних хмарних обчислень.

4. Наукова обґрунтованість результатів дослідження, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їхня достовірність

Наукова обґрунтованість результатів дисертаційного дослідження забезпечується ґрунтовним опрацюванням і критичним аналізом теоретичних та прикладних джерел з проблематики оптимізації ресурсів хмарних систем і кібербезпеки. Наукові положення, висновки та результати, представлені в дисертаційній роботі **ЦИРКАНІУК Діани Андріївни**, є теоретично та емпірично обґрунтованими і характеризуються належним рівнем достовірності.

Достовірність отриманих результатів зумовлена використанням комплексу загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, зокрема методів системного аналізу, теорії ризиків, теорії ймовірностей та математичної статистики, а також методів моделювання систем управління інформаційною безпекою. Застосування зазначеного методичного апарату дозволило коректно сформулювати наукові положення, отримати обґрунтовані результати та забезпечити їх логічну узгодженість.

Загальні висновки дисертаційної роботи є логічними, послідовними та переконливими, відображають хід проведеного дослідження, відповідають поставленим завданням і повною мірою підтверджують досягнення мети дисертаційного дослідження.

5. Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової та науково-технічної діяльності кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка факультету інформаційних технологій та математики Київського столичного університету імені Бориса Грінченка в межах науково-дослідної роботи № 0122U200483 «Методи та

моделі забезпечення кібербезпеки інформаційних систем переробки інформації та функціональної безпеки програмно-технічних комплексів управління критичної інфраструктури» (м. Київ). Висновки та пропозиції дисертаційного дослідження мають практичне значення та використані в межах зазначеної науково-дослідної роботи, а також прийняті до впровадження в діяльність Інституту програмних систем Національної академії наук України (акт від 09.12.2025 року).

6. Рівень виконання поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Визначені в дисертації завдання здобувач виконав на високому рівні. Чітко сформульовано мету дослідження, точно сформульовано завдання та застосовано доцільні методи для її досягнення. Представлений текст дисертаційної роботи демонструє, що **ЦИРКАНЮК Діана Андріївна** опанувала методологію наукової діяльності, уміло застосовує її на практиці, а отже, оволодів необхідними для рівня доктора філософії компетенціями.

7. Апробація результатів дисертації

Повнота викладу основних результатів дисертації у наукових публікаціях. У наукових публікаціях у повному обсязі висвітлено наукові результати дисертації відповідно до мети та поставлених завдань. Наукові результати дисертації висвітлено у 7 наукових працях, з яких 5 статей — у наукових фахових виданнях України, 1 публікація — у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus, та 1 публікація — у матеріалах науково-практичної конференції. Основні положення, висновки і результати дослідження викладались і у процесі виступів і обговорень на науково-практичних міжнародних конференціях. В більшості робіт, опублікованих у співавторстві, зазначено особистий внесок здобувача.

8. Структура та зміст дисертації, її самостійність, завершеність, відповідність вимогам щодо оформлення й обсягу

Зміст дисертаційної роботи **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** «Методи та моделі оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів хмарних систем для підвищення безпеки» повною мірою відповідає обраній темі дослідження, його меті та поставленим завданням. Дисертація має логічно вибудовану структуру і складається з анотації, вступу, трьох розділів основної частини з відповідними підпунктами, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, що налічує **156 найменувань**, а також **4 додатків**. У роботі наведено **31 таблицю** та **22 рисунки**, а обсяг основного тексту дисертації становить **149 сторінок друкованого тексту**.

Виклад матеріалу характеризується послідовністю та логічністю, свідчить про цілісність авторського задуму й належний рівень володіння сучасним методологічним інструментарієм, підходами та методами наукового дослідження. У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації та її зв'язок із науковими програмами і планами, чітко визначено об'єкт, предмет, мету й завдання дослідження, наведено інформаційну базу та використані методи, розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, особистий внесок автора, а також подано відомості щодо апробації результатів і публікацій за темою дисертації.

У першому розділі «Аналіз методів і моделей оптимізації ресурсів хмарних систем для підвищення кібербезпеки» **ЦИРКАНЮК Діаної Андріївної** було проведено аналіз сучасного стану досліджень у сфері оптимізації обчислювальних ресурсів хмарних систем з урахуванням вимог кібербезпеки. Визначено основні підходи та обмеження існуючих методів розподілу ресурсів у хмарних середовищах, проаналізовано взаємозв'язок між продуктивністю, вартістю та ризиками безпеки, а також розглянуто сучасні моделі та методи багатокритеріальної оптимізації, що

застосовуються в хмарних обчислювальних системах. Сформульовано актуальне наукове завдання, яке полягає у подальшому розвитку методів оптимізації ресурсів хмарних систем із урахуванням безпекових ризиків та кооперативної взаємодії між суб'єктами захисту. Для розв'язання цього завдання визначено мету роботи підвищення ефективності функціонування хмарних обчислювальних систем шляхом розробки багатокритеріальних моделей і методів розподілу обчислювальних ресурсів з урахуванням продуктивності, вартості та рівня кібербезпеки.

У другому розділі дисертаційної роботи «Метод кооперативно-еволюційного розподілу обчислювальних ресурсів у хмарному середовищі з урахуванням ризику» здобувачем проаналізовано сучасні підходи до управління та розподілу обчислювальних ресурсів у хмарних системах з урахуванням вимог кібербезпеки. На основі проведеного аналізу запропоновано багатокритеріальну оптимізаційну модель розподілу ресурсів, яка враховує показники продуктивності, вартості, рівень ризиків безпеки, а також кооперативну взаємодію між суб'єктами захисту хмарного середовища. У межах цього розділу розроблено метод кооперативно-еволюційної оптимізації, що ґрунтується на використанні алгоритмів NSGA-II та NSGA-III, який забезпечує формування множини Парето-оптимальних рішень. Застосування запропонованого методу дозволяє підвищити ефективність розподілу обчислювальних ресурсів і рівень безпеки функціонування хмарних обчислювальних систем в умовах динамічного ризикового середовища.

Третій розділ роботи «Експериментальні дослідження метода кооперативно-еволюційного розподілу ресурсів у хмарному середовищі з урахуванням ризику» присвячено експериментальній перевірці ефективності запропонованих моделей і методів оптимізації обчислювальних ресурсів хмарних систем. У розділі описано постановку експериментів, визначено вхідні параметри та критерії оцінювання, а також

наведено результати багатокритеріальної оптимізації з використанням алгоритмів NSGA-II та NSGA-III. Проведено порівняльний аналіз отриманих рішень за показниками продуктивності, вартості та рівня ризику безпеки, а також досліджено вплив кооперативної взаємодії між захисниками хмарного середовища на формування Парето-оптимальних рішень. За результатами експериментальних досліджень підтверджено доцільність застосування запропонованого методу кооперативно-еволюційного розподілу ресурсів для підвищення ефективності та безпеки функціонування хмарних обчислювальних систем.

9. Дотримання академічної доброчесності у дисертації та наукових публікаціях. Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації

Проведений аналіз тексту дисертаційної роботи та наукових публікацій засвідчує дотримання **ЦИРКАНЮК Діаною Андріївною** принципів академічної доброчесності. У дисертаційному дослідженні не виявлено випадків некоректного цитування, ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації результатів. Дисертаційна робота є оригінальним, завершеним науковим дослідженням, виконаним самостійно, та відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України щодо оформлення й змісту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

10. Дискусійні положення, недоліки та зауваження до дисертації

Принципових зауважень щодо структури, основних положень та концепції дисертації **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** немає. Оцінюючи загалом позитивно наукове і практичне значення отриманих дисертанткою

результатів, дозволю собі висловити зауваження і рекомендації до окремих положень дисертації.

1. В експериментальній частині роботи не наведено повного аналізу статистичної значущості для всіх використаних метрик оптимізації (зокрема Diversity та Spacing), обмежившись аналізом метрики HV та застосуванням тесту Тьюкі.

2. Теоретико-ігрова модель взаємодії «атакуючий – захисник» подана у спрощеному вигляді, оскільки не враховує сценарії неповної інформації та асиметрії знань між гравцями, що є характерним для реальних кіберінцидентів.

3. Архітектурна схема, наведена на рис. 3.6, має загальний характер та не деталізує інтеграцію запропонованих рішень з конкретними SIEM-системами (наприклад, Splunk або ELK Stack), що могло б підвищити практичну зрозумілість запропонованого підходу.

11. Загальний висновок про рівень набуття здобувачем теоретичних знань, відповідних умінь, навичок та компетентностей

ЦИРКАНЮК Діана Андріївна на високому рівні оволодів методологією наукової діяльності, набув теоретичних знань, умінь, навичок та компетентностей. Здобувач вільно володіє матеріалом дослідження та має достатній досвід для проведення самостійних дослідницьких робіт.

12. Загальна оцінка дисертації і наукових публікацій щодо їхнього наукового рівня з урахуванням дотримання академічної доброчесності та щодо відповідності вимогам

Дисертаційна робота **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** на тему «Методи та моделі оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів

хмарних систем для підвищення безпеки» є завершеним науковим дослідженням, яке за актуальністю, достовірністю отриманих результатів, їхньою науковою новизною і практичною цінністю відповідає вимогам «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 року №44, а її автор, **ЦИРКАНЮК Діана Андріївна**, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 125 Кібербезпека.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри комп'ютерних наук
Київського столичного університету
імені Бориса Грінченка

С.А

Світлана РЗАЄВА

