

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

**ДОВЖЕНКО Надії Михайлівни**, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка Київського столичного університету імені Бориса Грінченка, на дисертацію **ЦИРКАНІУК 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

Зростання кількості та інтенсивності кібератак на хмарні обчислювальні системи, що обслуговують критичну інфраструктуру, державні та комерційні сервіси, призводить до гострої необхідності удосконалення існуючих і розробки нових методів управління обчислювальними ресурсами з урахуванням безпекових ризиків. В умовах повномасштабної війни та глобальної цифровізації хмарні середовища дедалі частіше стають ціллю атак типу DDoS, EDoS і цілеспрямованих вторгнень, наслідком яких є деградація сервісів, перевантаження ресурсів і порушення доступності критично важливих інформаційних систем. За таких умов традиційні підходи до розподілу ресурсів, орієнтовані

переважно на продуктивність і вартість, виявляються недостатніми для забезпечення стійкого та безпечного функціонування хмарних систем.

З іншого боку, багатокористувацька природа хмарних обчислювальних систем, поширення гібридних і мультихмарних архітектур, а також зростання кількості автоматизованих і довготривалих обчислювальних задач ускладнюють процеси централізованого управління ресурсами. Помилки конфігурації, неузгоджені дії окремих компонентів системи та відсутність координації між суб'єктами захисту можуть призводити до неефективного використання ресурсів і створювати додаткові вектори загроз. У таких умовах управління ресурсами хмарних систем переходить у площину стратегічного завдання, що потребує врахування не лише технічних, а й безпекових та організаційних аспектів.

Перехід до використання хмарних технологій у критичних і комерційних інформаційних системах зумовлює необхідність гармонізації процесів управління ресурсами в традиційних і хмарних середовищах, а також впровадження адаптивних механізмів реагування на динамічні загрози. Використання кооперативних підходів та багатокритеріальної оптимізації дозволяє враховувати взаємозалежність між продуктивністю, вартістю та рівнем ризику, а також формувати узгоджені стратегії захисту шляхом координації дій між суб'єктами безпеки.

Таким чином, удосконалення методів розподілу обчислювальних ресурсів хмарних систем на основі кооперативно-еволюційних і ризик-орієнтованих підходів є вкрай актуальним і своєчасним напрямом наукових досліджень. Запропонований підхід створює передумови для побудови адаптивних, стійких та безпечних хмарних систем нового покоління, здатних ефективно функціонувати в умовах зростаючих кіберзагроз і обмежених обчислювальних ресурсів.

## **2. Наукова новизна результатів дисертації**

Новизна результатів дисертаційного дослідження **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** зумовлена тим, що вперше розроблено багатокритеріальну оптимізаційну модель пошуку компромісних рішень у хмарних середовищах із урахуванням чотирьох критеріїв ризику, продуктивності, вартості та коаліційної вигоди між захисниками хмарних систем, яка, на відміну від наявних підходів на основі алгоритмів NSGA-II та NSGA-III, забезпечує формування множини Парето-оптимальних рішень з урахуванням кооперативної взаємодії. У межах запропонованої моделі вперше враховано можливість співпраці між захисниками хмарних обчислювальних середовищ, що дозволило моделювати коаліційні сценарії протидії загрозам та введено поняття виграшу коаліції для оцінювання доцільності об'єднання та формування узгоджених стратегій захисту. Також вперше запропоновано метод кооперативно-еволюційного розподілу обчислювальних ресурсів у хмарних середовищах з урахуванням ризику (CoopEvo-CloudSec), який, на відміну від існуючих методів, поєднує алгоритми багатокритеріальної еволюційної оптимізації NSGA-II або NSGA-III (залежно від часових обмежень пошуку рішень) з кооперативною ігровою моделлю оцінювання ризиків у хмарних обчислювальних системах.

## **3. Теоретичне і практичне значення результатів дисертації**

Теоретичне значення дисертаційної роботи **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** полягає у подальшому розвитку наукових засад оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів хмарних систем з урахуванням ризиків кібербезпеки та кооперативної взаємодії суб'єктів захисту. У дисертації запропоновано підхід, який розширює класичні моделі оптимізації, що традиційно зосереджені на показниках продуктивності та вартості, шляхом інтеграції безпекових критеріїв і елементів теорії ігор, що відповідає

сучасним тенденціям розвитку хмарних обчислень і систем кіберзахисту.

Теоретична значущість отриманих результатів зумовлена необхідністю адекватного відображення змін у ландшафті кіберзагроз, зокрема зростанням інтенсивності та складності атак на хмарні інфраструктури, унаслідок чого статичні моделі управління ресурсами втрачають ефективність. Запропоновані в роботі адаптивні та ризик-орієнтовані підходи розширюють можливості формалізації таких процесів. Важливим є також урахування переходу хмарних систем до гібридних і мультихмарних архітектур, що потребує теоретичного осмислення механізмів координації та узгодження стратегій між різними суб'єктами безпеки.

Отримані результати мають теоретичну цінність і в контексті моделювання конфліктної взаємодії між атакуючими та захисними сторонами, врахування ризиків порушення цілісності даних і викривлення процесів розподілу ресурсів. Розширення ролі хмарних сервісів у зберіганні й обробці конфіденційної та критично важливої інформації зумовлює потребу в розвитку моделей ізоляції, адаптивного перерозподілу ресурсів і врахування регуляторних обмежень, що також відображено в теоретичних положеннях дисертації.

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 формують 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 дослідження зумовлена глибоким опрацюванням теоретичних джерел та їх аналізом. Наукові положення, висновки і результати, які представлено в дисертації **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни**, є теоретично і емпірично обґрунтованими та достовірними. Вони базуються на використанні загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, таких як: системного аналізу, теорії ризиків, теорії ймовірностей та математичної статистики, методи моделювання систем управління інформаційною безпекою. Загальні висновки дисертації логічні та переконливі. Вони повністю висвітлюють хід дослідження, поставлені завдання та результати проведеної роботи.

#### **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 рамках науково-дослідної роботи № 0122U200483 «Методи та моделі забезпечення кібербезпеки інформаційних систем переробки інформації та функціональної безпеки програмно-технічних комплексів управління критичної інфраструктури» (м. Київ). Отримані в дисертаційному дослідженні висновки та пропозиції мають практичну значущість, використані в межах зазначеної науково-дослідної роботи та прийняті до впровадження в діяльність Інституту програмних систем Національної академії наук України, що підтверджується відповідним актом від 09.12.2025 року.

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

Поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання виконано здобувачем на належному високому рівні. Мета дослідження сформульована чітко та логічно, визначені завдання є взаємопов'язаними й адекватними меті, а обрані методи дослідження є доцільними та достатніми для їх розв'язання. Зміст дисертаційної роботи засвідчує, що **ЦИРКАНЮК Діана Андріївна** ґрунтовно опанувала методологію наукової діяльності, вміло застосовує її у процесі проведення теоретичних та експериментальних досліджень, коректно формулює наукові положення та узагальнює одержані результати. Це свідчить про оволодіння здобувачем необхідними професійними та науково-дослідницькими компетентностями, що відповідають рівню доктора філософії

## **7. Апробація результатів дисертації**

Результати дисертаційного дослідження пройшли належну наукову апробацію та у повному обсязі відображені в опублікованих наукових працях здобувача відповідно до мети та поставлених завдань. Основні наукові результати дисертації висвітлено у 7 наукових публікаціях, з яких 5 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, затверджених МОН України, 1 публікація — у виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus, та 1 публікація — у матеріалах науково-практичної конференції. Ключові положення, висновки та результати дослідження були також представлені та обговорені під час участі здобувача у науково-практичних міжнародних конференціях, що підтверджує належний рівень апробації отриманих результатів. У публікаціях, виконаних у співавторстві, чітко визначено особистий внесок здобувача, що свідчить про самостійність виконання основних положень дисертаційного дослідження.

## **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» охоплює основні аспекти теми, відповідає меті та завданням дослідження. Робота містить анотацію, вступ, три розділи основної частини з підпунктами, висновки до розділів, загальні висновки, список використаних джерел з 156 найменувань списку використаних джерел та 4 додатків. Робота містить 31 таблицю та 22 рисунки. Обсяг основного тексту дисертації становить 149 сторінок друкованого тексту. Контекст дисертаційного дослідження вирізняється логічністю, індивідуальним і творчим авторським підходом до задуму дисертації, обізнаністю автора в методологічному інструментарії, підходах, методах, принципах, обґрунтованістю висновків, оригінальному баченні дискусійних проблем. У вступній частині авторкою обґрунтовано актуальність теми дослідження, її зв'язок із науковими програмами, планами, темами, сформульовано об'єкт, предмет, мету і завдання дослідження, інформаційну базу, методи дослідження, наукову новизну і практичне значення роботи, особистий внесок автора, дані про апробацію отриманих результатів та публікації за темою дисертації.

У першому розділі дисертаційної роботи «Аналіз методів і моделей оптимізації ресурсів хмарних систем для підвищення кібербезпеки» **ЦИРКАНЮК Діани Андріївни** здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану наукових досліджень у галузі оптимізації розподілу обчислювальних ресурсів хмарних систем з урахуванням вимог кібербезпеки. Автором виокремлено основні підходи до управління ресурсами у хмарних середовищах та визначено їх характерні обмеження, а також проаналізовано взаємозв'язок між показниками продуктивності, вартості та рівнем безпекових ризиків. Значну увагу приділено огляду сучасних моделей і

методів багатокритеріальної оптимізації, що застосовуються для вирішення задач розподілу ресурсів у хмарних обчислювальних системах. На підставі проведеного аналізу сформульовано актуальне наукове завдання, яке полягає у подальшому розвитку методів оптимізації ресурсів хмарних систем з урахуванням варіативних ризиків кібербезпеки та кооперативної взаємодії між суб'єктами захисту. Для розв'язання цього завдання в роботі визначено мету дослідження, що полягає у підвищенні ефективності функціонування хмарних обчислювальних систем шляхом розробки багатокритеріальних моделей і методів розподілу обчислювальних ресурсів з урахуванням показників продуктивності, вартості та рівня кібербезпеки.

У другому розділі «Метод кооперативно-еволюційного розподілу обчислювальних ресурсів у хмарному середовищі з урахуванням ризику» здобувачем проведено аналіз сучасних підходів до розподілу обчислювальних ресурсів у хмарних системах з урахуванням вимог кібербезпеки. Запропоновано багатокритеріальну оптимізаційну модель розподілу ресурсів, що враховує продуктивність, вартість, ризики безпеки та кооперативну взаємодію між суб'єктами захисту хмарного середовища. У межах розділу розроблено метод кооперативно-еволюційної оптимізації з використанням алгоритмів NSGA-II та NSGA-III, який дозволяє формувати множину Парето-оптимальних рішень для підвищення ефективності та безпеки функціонування хмарних обчислювальних систем.

Третій розділ дисертаційної роботи «Експериментальні дослідження методу кооперативно-еволюційного розподілу обчислювальних ресурсів у хмарному середовищі з урахуванням ризику» присвячено експериментальній перевірці ефективності запропонованих у роботі моделей і методів оптимізації обчислювальних ресурсів хмарних систем. У розділі наведено постановку експериментальних досліджень, визначено вхідні параметри, сценарії моделювання та критерії оцінювання, а також представлено результати багатокритеріальної оптимізації з використанням

алгоритмів NSGA-II та NSGA-III. Здійснено порівняльний аналіз отриманих рішень за показниками продуктивності, вартості та рівня безпекових ризиків, а також досліджено вплив кооперативної взаємодії між захисниками хмарного середовища на характер формування Парето-оптимальних рішень. Результати експериментальних досліджень підтверджують доцільність і ефективність застосування запропонованого методу кооперативно-еволюційного розподілу обчислювальних ресурсів для підвищення ефективності та безпеки функціонування хмарних обчислювальних систем в умовах динамічного ризикового середовища.

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

Аналіз тексту дисертаційного дослідження та публікацій дозволяє стверджувати, що **ЦИРКАНЮК Діана Андріївна** дотримувалася правил академічної доброчесності, в тексті не знайдено некоректного цитування, ознак плагіату, фабрикації чи фальсифікації. Дисертаційна робота є оригінальним завершеним науковим дослідженням, що відповідає вимогам, які висуваються Міністерством освіти і науки України до оформлення 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. У роботі не проаналізовано чутливість запропонованої моделі до вибору початкових параметрів еволюційної популяції, що могло б вплинути на стабільність отриманих результатів та значення метрик якості

оптимізації, зокрема HV та IGD.

2. Запропонований метод CoopEvo-CloudSec не враховує специфіку мульти-tenant хмарних середовищ із різними рівнями довіри між користувачами, де ізоляція обчислювальних ресурсів є критичною для запобігання витокам даних.

3. У дисертації не зазначено обмеження використання мови програмування Python та бібліотеки Pyomo для промислових застосувань, зокрема можливі проблеми продуктивності в режимі реального часу порівняно з реалізаціями на мовах нижчого рівня, таких як C++.

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

За результатами аналізу дисертаційної роботи можна зробити висновок, що **ЦИРКАНЮК Діана Андріївна** на високому рівні оволоділа методологією наукової діяльності та набула необхідних теоретичних знань, умінь, навичок і професійних компетентностей. Здобувач впевнено володіє матеріалом дослідження, здатна самостійно формулювати наукові завдання, обґрунтовувати обрані підходи та узагальнювати отримані результати, що свідчить про достатній рівень підготовки для здійснення подальшої науково-дослідної діяльності.

### **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 інформаційної  
та кібернетичної безпеки  
імені професора Володимира Бурячка  
Київського столичного університету  
імені Бориса Грінченка



Надія Довженко

