

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

на тему «Методи та засоби забезпечення резильєнтності систем доповненої та віртуальної реальності»

(назва роботи)

здобувача наукового ступеня доктора філософії

Качура Артема Вячеславовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

з галузі знань 12 – Інформаційні технології

(шифр, назва галузі знань)

за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

(шифр, назва спеціальності)

Публічна презентація проведена на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

(назва)

«24 » серпня 2026 року, протокол № 1

1. Актуальність теми дослідження

Системи доповненої та віртуальної реальності дедалі ширше застосовуються в освіті, професійній підготовці, медицині та промисловості. Безперервність їх роботи залежить від узгодженої взаємодії апаратного забезпечення, програмних компонентів, даних і користувачів. Порушення цієї взаємодії спричиняє затримки відображення, втрату даних, погіршення точності відстеження та зниження безпеки користувача.

У процесі функціонування XR-систем одночасно змінюються стан мережі, умови навколишнього середовища, поведінка користувачів, обчислювальне навантаження й апаратні обмеження. Сукупний вплив цих чинників ускладнює своєчасне виявлення деградації та вибір заходів відновлення. Тому забезпечення резильєнтності потребує оцінювання стану всієї системи з урахуванням взаємозалежності її компонентів.

Відомі підходи до резервування, адаптації якості візуалізації та відновлення програмного забезпечення дають змогу усувати окремі прояви відмов. Водночас їх поєднання в XR-архітектурі потребує єдиної моделі впливів, узгодженого показника резильєнтності та засобів обґрунтованого вибору мітигаційних стратегій.

Особливість задачі полягає у необхідності одночасно враховувати надійність, доступність, відмовостійкість, цілісність даних, час відновлення, стабільність продуктивності та безпеку користувача. Поліпшення одного критерію може супроводжуватися додатковими ресурсними витратами або погіршенням іншого, що зумовлює потребу в багатокритеріальному синтезі архітектурних рішень.

Отже, розроблення методів і засобів оцінювання стану, локалізації критичних впливів та синтезу мітигаційних стратегій для систем доповненої та віртуальної реальності є актуальною науково-прикладною задачею. Дисертація спрямована на її розв'язання шляхом поєднання моделі взаємодій, інтегрального оцінювання та адаптації архітектури у замкненому контурі забезпечення резильєнтності.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційне дослідження виконано в межах держбюджетної науково-дослідної теми Хмельницького національного університету № 1Б-2026 «Система забезпечення резильєнтності до витоків конфіденційної інформації в корпоративних мережах в умовах впливів комп'ютерних атак» (номер державної реєстрації 0126U002082), у якій здобувач був виконавцем.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації одержані такі нові наукові результати:

вперше розроблено:

1) метод синтезу мітигаційних стратегій, який, на відміну від відомих методів, здійснює мультикритеріальний Парето-ефективний синтез шляхом одночасної оптимізації цільових функцій параметрів резильєнтності з калібрувальними коефіцієнтами, що дає змогу забезпечувати резильєнтність системи в умовах динамічно змінюваного зовнішнього середовища;

2) метод оцінювання стану VR-системи, який, на відміну від відомих методів, формує інтегральний показник резильєнтності на основі оцінки впливу факторів динамічно змінюваного середовища на компоненти системи та використовує систему вагових коефіцієнтів, отриману шляхом застосування нечіткої логіки;

набула подальшого розвитку:

3) архітектура VR-систем, яка, на відміну від відомих архітектур, інтегрує компоненти, пов'язані з програмно-апаратними засобами, методи оцінювання стану та синтезу мітигаційних стратегій у єдиний програмно-апаратний засіб для забезпечення резильєнтного функціонування систем;

удосконалено:

4) модель резильєнтного функціонування систем віртуальної та доповненої реальності, у якій, на відміну від відомих моделей, враховано вплив зміни стану мережі, поведінки користувачів, навантаження на систему, апаратних обмежень та умов навколишнього середовища на апаратне й програмне забезпечення, дані та користувачів.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення роботи полягає у формалізації взаємодії п'яти груп факторів із чотирма компонентами XR-системи у вигляді матриці з двадцяти оцінювальних функцій. Запропоноване подання поєднує нормалізовані та булеві оцінки впливів, їх зважене агрегування й визначення пріоритетних напрямів підвищення резильєнтності.

Застосування нечіткого аналізу ієрархій для визначення вагових коефіцієнтів та багатокритеріальної оптимізації для синтезу мітигаційних стратегій створює основу для узгодженого оцінювання і вибору архітектурних рішень. Розроблена архітектура об'єднує оцінювання стану, локалізацію вузьких місць, синтез стратегій і повторне оцінювання системи.

Практичне значення полягає у реалізації програмного засобу VR Resilience з обчислювальним ядром на TypeScript, інтерфейсом React і середовищем Electron. Засіб забезпечує задання параметрів середовища, розрахунок показників, порівняння конфігурацій та візуалізацію деградації і відновлення в модельних сценаріях. Для динамічної верифікації використано MATLAB/Simulink.

У чотирьох детермінованих сценаріях отримано значення інтегрального показника резильєнтності від 0,184 до 0,944. Під час окремого порівняння мітигаційних конфігурацій агрегований критерій зріс із 0,664 до 0,873, тобто на 31,5 %. Розбіжність результатів десктопної реалізації та Simulink за узгоджених вхідних даних не перевищила 1,2 %. Ці результати характеризують модельну перевірку запропонованих рішень.

Результати можуть застосовуватися під час проектування й тестування XR-комплексів для навчання, тренування, промислової візуалізації та медичних симуляторів. Практична цінність полягає у можливості попереднього порівняння стратегій резервування, розподілу обчислень, кешування, адаптації деталізації сцен і використання контрольних точок до випробувань на цільовому обладнанні.

5. Використання результатів роботи

Результати дисертаційної роботи впроваджено у ПП «АВІВІ» (акт від 15.05.2026 р.) під час проектування та модельного тестування програмних компонентів XR-застосунків; у ТОВ «Хорайзен Дайнамікс» (акт від 18.05.2026 р.) для модельної перевірки мережевої та обчислювальної інфраструктури XR-сервісів і порівняння конфігурацій перед розгортанням; у навчальному процесі Хмельницького національного університету (акт від 13.05.2026 р.). Впровадження підтверджено актами, наведеними в додатку Б до дисертації. Результати також використано під час виконання держбюджетної теми № 1Б-2026 (ДР № 0126U002082).

6. Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі Качура А. В.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету.

Наукові керівники: Лисенко Сергій Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету; Корецька Людмила Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки Хмельницького національного університету.

Основні наукові результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. А. В. Качуром розроблено модель резильєнтного функціонування, метод оцінювання стану та метод синтезу мітигаційних стратегій, реалізовано програмний засіб і проведено модельні дослідження. Особистий внесок у спільні публікації наведено нижче.

Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, встановлено, що дисертаційна робота Качура Артема Вячеславовича

(прізвище, ініціали здобувача)

є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дисертація характеризується єдністю змісту: постановка задачі, запропоновані модель і методи, програмна реалізація та результати дослідження узгоджені з метою й основними положеннями роботи.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами дослідження опубліковано 10 наукових праць: 4 статті у фахових наукових журналах України та 6 праць у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій. За відомостями, наведеними в дисертації, 3 конференційні праці проіндексовано в наукометричній базі Scopus. Основні наукові результати та їх апробацію відображено в таких публікаціях.

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Лисенко С., Качур А. Виклики в технологіях віртуальної реальності: оптимізація архітектури систем віртуальної реальності. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. № 1 (77). С. 288–297. DOI: 10.31891/2219-9365-2024-77-39.

А. Качуром сформульовано основні виклики оптимізації архітектури VR-систем і розроблено концептуальну модель оцінювання їх функціонування; С. Лисенком та Л. Корецькою здійснено наукове консультування, критичний перегляд і редакційне опрацювання матеріалів.

2. Lysenko S., Kachur A. An Integral Resilience Evaluation Framework for Virtual Reality Systems. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. № 12 (43), ч. 1. С. 80–89. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.80-89.

А. Качуром розроблено інтегральний показник резильєнтності та спосіб агрегування індивідуальних функцій впливу з використанням вагових коефіцієнтів; С. Лисенком та Л. Корецькою здійснено методичне консультування, критичний аналіз результатів і редагування публікації.

3. Лисенко С., Качур А. Модель відмовостійкого функціонування систем віртуальної реальності в контексті впливу динамічно змінюваного середовища. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2025. № 3 (83). С. 499–510. DOI: 10.31891/2219-9365-2025-83-62.

А. Качуром розроблено математичну модель резильєнтного функціонування VR-системи з урахуванням впливу динамічно змінюваного середовища; С. Лисенком та Л. Корецькою здійснено наукове консультування, обговорення результатів і редагування рукопису.

4. Лисенко С., Качур А., Корецька Л. Метод синтезу резильєнтних архітектур систем віртуальної та доданої реальності. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2026. № 13 (44). С. 59–72. DOI: 10.32515/2664-262X.2026.13(44).59-72.

Особистий внесок А. Качура полягає у розробленні та дослідженні методу синтезу резильєнтних архітектур на основі багатокритеріального вибору мітигаційних стратегій.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Lysenko S., Kachur A. Challenges Towards VR Technology: VR Architecture Optimization. 2023 IEEE 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, 13–15 October 2023. P. 1–9. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416538.

А. Качуром сформовано підхід до оптимізації архітектурних компонентів VR-систем в умовах ресурсних обмежень і проведено дослідження; С. Лисенком та Л. Корецькою здійснено наукове консультування, організаційний супровід та критичний перегляд результатів.

6. Kachur A., Lysenko S., Bodnaruk O., Gaj P. Methods of improving security and resilience of VR systems' architecture. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3675. P. 285–304. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3675/paper21.pdf>.

А. Качуром розроблено й апробовано методи підвищення безпеки та резильєнтності архітектури VR-систем у розподіленому середовищі; С. Лисенком здійснено наукове консультування, О. Боднаруком — аналіз предметної області та обговорення результатів, Р. Gaj — критичний перегляд і редакційно-організаційний супровід.

7. Lysenko S., Kachur A. A Resilience Assurance Process Model for Enhancing Virtual Reality Architectural Design. 2024 IEEE 14th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Athens, Greece, 11–13 October 2024. P. 1–9. DOI: 10.1109/DESSERT65323.2024.11122129.

А. Качуром розроблено процесну модель забезпечення резильєнтності та механізми адаптивного розподілу ресурсів; С. Лисенком здійснено методичне консультування, аналіз та обговорення результатів, редакційне опрацювання рукопису.

8. Качур А. В., Лисенко С. М. Виклики в технологіях віртуальної реальності. Актуальні проблеми комп'ютерних наук (АПКН-2023): матеріали XV Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Хмельницький, 17–18 листопада 2023 р. Хмельницький: ХНУ, 2023. С. 121–123.

А. Качуром виокремлено ключові напрями дослідження викликів VR-технологій та проведено їх аналітичний огляд; С. Лисенком здійснено наукове консультування, систематизацію висновків і редагування матеріалів.

9. Качур А. В., Лисенко С. М. Модель процесу забезпечення резильєнтності архітектури систем віртуальної реальності. Актуальні проблеми комп'ютерних наук (АПКН-2024): матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Хмельницький, 15–16 листопада 2024 р. Хмельницький: ХНУ, 2024. С. 340–342.

А. Качуром визначено структурні зв'язки між компонентами системи та їх роль у забезпеченні резильєнтності; С. Лисенком здійснено обговорення результатів, методичне консультування й редакційне опрацювання матеріалів.

10. Лисенко С. М., Качур А. В. Модель процесу забезпечення резильєнтності для оптимізації архітектури систем віртуальної реальності. Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2024): тези XXIV

Міжнародної науково-технічної конференції, 20–23 вересня 2024 р. 2024. С. 79–81.

А. Качуром розроблено та досліджено параметри оцінювання резильєнтності для підвищення точності й обчислювальної ефективності моделі; С. Лисенком здійснено критичний аналіз результатів, наукове консультування й організаційно-редакційний супровід.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Качура Артема Вячеславовича

(прізвище, ініціали здобувача)

«Методи та засоби забезпечення резильєнтності систем доповненої та віртуальної реальності»,

(назва)

яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за своїм науковим рівнем, теоретичним і практичним значенням є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну задачу забезпечення резильєнтності систем доповненої та віртуальної реальності. Зміст роботи відповідає напряду досліджень освітньо-наукової програми Хмельницького національного університету зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

РЕКОМЕНДУВАТИ:

Дисертаційну роботу «Методи та засоби забезпечення резильєнтності систем доповненої та віртуальної реальності»,

назва роботи

подану Качуром Артемом Вячеславовичем

прізвище, ім'я, по батькові

на здобуття ступеня доктора філософії, до захисту.

Головуюча публічної презентації:

доктор філософії, доцент

(науковий ступінь,

завідувач кафедри комп'ютерної інженерії

та інформаційних систем

вчене звання, посада)



Підпис дійсний
Відділ кадрів

підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ім'я ПРІЗВИЩЕ