

## ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. ректора Чорноморського  
національного університету імені  
Петра Могили, доктор технічних  
наук, професор

Леонід КЛИМЕНКО

2026 р.

## ВИСНОВОК

Чорноморського національного університету імені Петра Могили щодо дисертації Стрюка Олександра Сергійовича на тему «Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 — комп'ютерна інженерія (галузь знань 12 Інформаційні технології)

## ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 5

міжкафедрального наукового семінару кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили від 13 лютого 2026 р.

### ПРИСУТНІ:

1. Сіденко Євген Вікторович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
2. Кондратенко Юрій Пантелійович, д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем, Заслужений винахідник України;
3. Козлов Олексій Валерійович, д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
4. Журавська Ірина Миколаївна, д.т.н., професор, завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії;
5. Гожий Олександр Петрович, д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
6. Калініна Ірина Олександрівна, д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
7. Трунов Олександр Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій;

8. **Мещанинов Олександр Павлович**, д.п.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
9. **Кондратенко Галина Володимирівна**, к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
10. **Кулаковська Інесса Василівна**, к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
11. **Болюбаш Надія Миколаївна**, к.п.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
12. **Брагінець Оксана Вікторівна**, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
13. **Гожий Віктор Олександрович**, к.т.н., старший викладач кафедри інтелектуальних інформаційних систем;
14. **Крайник Ярослав Михайлович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії;
15. **Салютін Максим Олександрович**, викладач, аспірант;
16. **Димо Валерій Володимирович**, аспірант;
17. **Сова Іван Михайлович**, аспірант;
18. **Стрюк Олександр Сергійович**, аспірант;
19. **Щерук Анастасія Володимирівна**, провідний фахівець кафедри інтелектуальних інформаційних систем;

#### **ЗАПРОШЕНІ:**

20. **Жуков Юрій Даниїлович**, д.т.н., професор, Лауреат Державної премії України в області науки і техніки, Заслужений винахідник України, Засновник та Голова ТОВ «С-JOB Nikolayev» та ТОВ «АМІКО Діджитал», професор кафедри морського приладобудування, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова;
21. **Тимченко Віктор Леонідович**, д.т.н., професор, професор кафедри морського приладобудування, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова;
22. **Топалов Андрій Миколайович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова.

Головуючий: **Сіденко Євген Вікторович**, к.т.н., доцент, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем.

Секретар: **Щерук Анастасія Володимирівна**, провідний фахівець кафедри інтелектуальних інформаційних систем.

Присутні на засіданні 22 особи (з них 9 — доктори наук, 8 — кандидати наук).

**СЛУХАЛИ:**

Доповідь аспіранта Стрюка Олександра Сергійовича на тему «Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 — комп'ютерна інженерія (галузь знань 12 Інформаційні технології).

Тема дисертації Стрюка Олександра Сергійовича затверджена Вченою Радою Чорноморського національного університету імені Петра Могили протокол № 14 від 12 листопада 2020 р. Скориговану тему дисертації «Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень» затверджено Вченою Радою Чорноморського національного університету імені Петра Могили протокол № 9 від 26 жовтня 2023 р.

Науковий керівник — Кондратенко Юрій Пантелійович, д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем.

**ДОПОВІДЬ ЗДОБУВАЧА:**

Шановний голово, шановні учасники міжкафедрального наукового семінару кафедри інтелектуальних інформаційних систем! Дозвольте представити результати дисертаційної роботи на тему: «Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень». Робота виконана на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили під науковим керівництвом доктора технічних наук, професора Кондратенка Юрія Пантелійовича. На ваш розгляд буде представлено логіку дослідження, теоретичні та експериментальні результати, а також практичні рекомендації, спрямовані на оптимізацію генеративних змагальних нейронних мереж (ГЗМ) в умовах апаратно-параметричних обмежень (АПО) кордонних пристроїв.

**Актуальність теми дослідження**

Сучасний розвиток систем штучного інтелекту (ШІ) демонструє експоненціальне зростання параметрів штучних нейронних мереж (НМ) і їх залежність від хмарних обчислень. Проте для задач реального часу чи з забезпеченням конфіденційності даних необхідність постійного зв'язку з хмарним сервером є суттєвим недоліком. Тому реалізація систем штучного інтелекту безпосередньо на мікрокомп'ютерах та кордонних пристроях є актуальною необхідністю. Разом з тим, розгортання ресурсномістких генеративних архітектур в умовах апаратно-параметричних обмежень пов'язано з обчислювальною складністю та нестабільністю навчання НМ.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню практичної задачі розробки нових методів оптимізації генеративних змагальних нейронних мереж, як

систем штучного інтелекту, з їх реалізацією на кордонних пристроях та мікрокомп'ютерних платформах в умовах апаратно-параметричних обмежень.

Під час функціонування об'єктів критичної інформаційної та енергетичної інфраструктури можуть виникати загрози, пов'язані з порушенням надійної та безпечної експлуатації систем штучного інтелекту. Такі загрози зумовлені, зокрема, невизначеністю поведінки ШІ, що виникає через його навчання та тестування на обмежених наборах даних, а також можливими відмовами програмно-апаратної реалізації й кібератаками, спрямованими на вразливості систем. Це набуває особливої критичності у випадках використання засобів ШІ в системах, де навіть часткова або повна втрата працездатності має високу ціну. ГЗМ здатні доповнювати існуючі датасети з недостатньою кількістю реальних даних (зображення, сигнатури мережевого трафіку, різнотипні за природою сигнали та ін.) додатковими штучними зразками для ефективного навчання нейронних мереж, а також здатні підвищувати якість зображень з низькою роздільною здатністю, зашумленнями та візуальними артефактами. Спектр застосування ГЗМ охоплює критично важливі сфери: енергетичну безпеку, національну оборону, охорону здоров'я, економіку та ін. В основі ГЗМ лежить антагоністична взаємодія двох нейронних мереж (генератора ( $G$ ) і дискримінатора ( $D$ )), де  $G$  генерує нові зразки та мінімізує ймовірність їх  $D$ -виявлення, а  $D$  максимізує здатність розпізнавати згенеровані дані і відрізнити їх від реальних, що дозволяє ГЗМ ефективно навчатися генерації даних, максимально наближених до реальних. Проте ефективне використання ГЗМ у областях від медичної діагностики та обробки супутникових даних до тестування стійкості біометричних систем проти кібератак обмежується нестабільністю процесів навчання НМ та високими вимогами до системних характеристик обчислювальних комплексів.

Актуальною задачею залишається підвищення алгоритмічної ефективності ГЗМ для стійкої конвергенції змагальних архітектур та стабілізації процесів навчання. Особливої гостроти набуває необхідність адаптації ГЗМ до реалізації на кордонних пристроях та мікрокомп'ютерних платформах в умовах апаратно-параметричних обмежень, які зумовлені дефіцитом обчислювальної потужності, обмеженим обсягом оперативної та постійної пам'яті, але разом з тим мають перевагу в низькому енергоспоживанні при експлуатації. Це ускладнює застосування ГЗМ в системах реального часу без попередньої апаратно-алгоритмічної оптимізації. Дисертаційна робота спрямована на подолання зазначених недоліків ГЗМ, що підтверджує її актуальність та практичну цінність для розвитку сучасних систем штучного інтелекту.

**Об'єктом** дослідження є обчислювальні процеси навчання та функціонування ГЗМ у вбудованих комп'ютерних системах.

**Предметом** дослідження є методи, моделі та схемотехнічні рішення для оптимізації архітектур ГЗМ з реалізацією на кордонних пристроях в умовах їх апаратно-параметричних обмежень.

**На слайді 4 представлені ключові завдання дисертаційної роботи, зокрема:**

1. Провести комплексний міждисциплінарний аналіз ГЗМ (як систем штучного інтелекту) з метою розширення області їх застосування при реалізації на кордонних пристроях і мікрокомп'ютерних платформах та визначення напрямків їх можливої оптимізації для розв'язання прикладних задач генерації штучних та аналізу і обробки реальних даних.
2. Висвітлити критичні недоліки алгоритмічно-організаційних процедур оптимізації ГЗМ та існуючих архітектурних варіацій ГЗМ (нестабільність градієнтів, колапс моди, висока чутливість до гіперпараметрів тощо), а також визначити шляхи подолання зазначених недоліків і подальшого вдосконалення реалізованих на кордонних пристроях ГЗМ.
3. Обґрунтувати необхідність уніфікованого підходу до проектування ГЗМ для різнотипних прикладних застосувань та формалізувати задачу оптимізації і стабілізації ГЗМ в умовах апаратно-параметричних обмежень для підвищення ефективності процесів їх навчання та генерації даних при розгортанні ГЗМ на кордонних пристроях.
4. Розробити каскадний і мультифазовий методи оптимізації та їх гібридне комбінування для підвищення ефективності навчання ГЗМ на кордонних пристроях.
5. Розробити реконфігуровану адаптивну архітектуру ГЗМ зі спеціалізованими реалізаціями для: а) синтезу біометричних даних, б) реалізації методів супер-роздільної здатності в мобільних платформах та системах комп'ютерного зору, в) виявлення аномалій з подоланням невизначеності інформації на основі застосування нечіткої логіки.
6. Розробити експериментальні зразки ГЗМ, провести експериментальні дослідження і створити фреймворк для навчання та інференсу ГЗМ на мікрокомп'ютерах (як на кордонних пристроях), зокрема на платформі Raspberry Pi 5.

В результаті аналізу сучасного стану розвитку ГЗМ встановлено, що врахування особливостей проектування ГЗМ на кордонних пристроях та їх апаратно-параметричних обмежень може здійснюватися шляхом (а) структурної реконфігурації архітектур ГЗМ, (б) розробки

нових і модифікованих методів оптимізації та механізмів їх гібридного комбінування для процесів нейромережевого навчання ГЗМ та (в) апаратно-орієнтованої адаптації компонентів обчислювальних процесів і кордонних пристроїв.

**Новизна наукових результатів дисертаційної роботи** полягає в наступному:

**Вперше** розроблено математичну модель каскадної оптимізації ГЗМ, яка, на відміну від існуючих, базується на ієрархічній декомпозиції простору гіперпараметрів та врахуванні адаптивної динаміки навчання, що дозволяє забезпечити необхідну точність та швидкодію функціонування ГЗМ в умовах апаратно-параметричних обмежень кордонних пристроїв.

**Вперше** розроблено мультифазовий метод оптимізації навчання ГЗМ, який, на відміну від існуючих, базується на багаторівневому механізмі адаптивної конвергенції, що дозволяє запобігати колапсу моди та зникненню градієнтів функцій втрат без підвищення обчислювальної складності процедури навчання.

**Удосконалено** механізм адаптації ГЗМ, який ґрунтується на гібридному комбінуванні каскадного та мультифазового методів в поєднанні з апаратом нечіткої логіки, що дозволяє комплексно підвищити ефективність навчання та якість генерації штучних даних в задачах виявлення аномалій, біометрії та комп'ютерного зору, зокрема знизити функцію втрат генератора у 3,5 рази, уникнути перенавчання дискримінатора (на рівні ~92%), прискорити збіжність ГЗМ в 7,6 разів, покращити метрику FID у 2,3 рази та досягти точності виявлення аномалій  $AUC = 0,92$  із забезпеченням повноти (Recall) на рівні 1,0.

**Набув подальшого розвитку** програмно-апаратний метод реалізації повного циклу функціонування ГЗМ на кордонних пристроях, який базується на інтеграції квантованого навчання та апаратно-орієнтованої каскадної оптимізації, що забезпечує реалізацію реконфігурованих архітектур ГЗМ з врахуванням апаратно-параметричних обмежень та їх функціонування в режимі реального часу зі зменшенням розміру імітаційної моделі в 3,9 рази та прискоренням процесу інференсу в 3,2 рази.

Для оцінки продуктивності ГЗМ у роботі застосовано методи кількісного аналізу із використанням комплексу сучасних метрик (FID, Loss Value, Accuracy, Epochs to Convergence, Inference Time, Latency, Model Size, AUC, Recall), що дозволило об'єктивно порівняти ефективність розроблених методів з існуючими технічними рішеннями. Практична значущість дослідження підтверджена впровадженням результатів у наукові проєкти з Саарландським університетом, ФРН та Інститутом проблем штучного інтелекту МОН і НАН України, а також в навчальний процес ЧНУ ім. П. Могили. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 8 міжнародних

науково-технічних конференціях (IDAACS'2023, DESSERT'2023, ATIT'2020, AICT'2021, CMIS'2025 та ін.) та 3 Всеукраїнських наукових конференціях та семінарах. Матеріали дисертаційної роботи висвітлено в 17 публікаціях, з яких 11 включені в науко-метричну базу Scopus.

### **ЗАПИТАННЯ:**

**Ю. Д. Жуков, д.т.н., професор.**

**Запитання 1.** Чи розглядалося використання запропонованих моделей для метрологічних аспектів, зокрема для обробки вимірювальних даних, калібрування та виявлення аномалій у метрологічних системах?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

У контексті метрології використання генеративно-змагальних мереж є цілком доцільним, зокрема для задач реконструкції метрологічних даних та виявлення в них аномалій. Ці моделі демонструють високу ефективність під час роботи з великими масивами неструктурованих даних, дозволяючи виявляти приховані закономірності, неочевидні для традиційного експертного аналізу. Застосування методології м'яких обчислень (soft computing) у цьому контексті дає змогу ефективно ідентифікувати приховані відхилення. Відповідно, інтеграція генеративно-змагальних мереж для аналізу таких типів даних може забезпечити нові дієві підходи в метрологічних дослідженнях. Однак, у межах даного дисертаційного дослідження не було фокусу на специфічних метрологічних даних чи даних мережевого трафіку. Для експериментальної перевірки використано датасет MNIST, розроблений Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST). На базі цього набору рукописних цифр (де цифра 1 виступала еталоном норми, а цифра 7 — аномалією) здійснювалося навчання моделі для перевірки коректності концепції (proof of concept). Це дозволило підтвердити її здатність успішно вирішувати прикладні задачі виявлення відхилень. Абстрагуючись від специфіки базового датасету, запропоновані та оптимізовані моделі можуть бути успішно адаптовані для обробки наборів метрологічних даних. Цей підхід є перспективним напрямом для майбутніх досліджень та експериментів щодо застосування розроблених моделей ГЗМ у цій предметній області.

**Запитання 2.** Чи могли б Ви після захисту дисертації підключитися до розв'язку наших реальних практичних задач з опрацювання великих масивів вимірювальних даних в контексті виявлення аномалій за допомогою ГЗМ, розроблених на основі запропонованих Вами каскадного і мультифазового методів?

**Відповідь.** Так, масштабування розроблених методів на реальні індустріальні та вимірювальні датасети є логічним вектором розвитку дисертаційного дослідження. Більше того, виявлення аномалій у великих

масивах даних для забезпечення надійності систем критичної інфраструктури є одним із пріоритетних напрямків. Застосування оптимізованих ГЗМ може забезпечити ефективне вирішення таких прикладних задач та отримання цінного експериментального матеріалу для подальшого вдосконалення ГЗМ-архітектур в реальних умовах експлуатації об'єктів критичної інфраструктури.

**В. Л. Тимченко, д.т.н., професор.**

**Запитання 1.** Який критерій застосовується в методі каскадної оптимізації (слайди 12-17), які складові в нього входять, що саме мінімізується та які параметри входять до нього?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Основна ідея полягає в ієрархічній реалізації каскадної оптимізації, де ключову роль відіграє критерій оптимізації, що мінімізується при послідовному переході між трьома рівнями ієрархії до наперед заданого порогового значення. Головним критерієм виступає відстань Фреше (Fréchet Inception Distance, FID). Для генеративно-змагальних мереж емпірично встановлено і доведено, що значення FID нижче 20 одиниць свідчить про високоякісну збіжність (конвергенцію), за якої модель генерує адекватні зразки. Відповідно, цей показник було обрано як критерій успішної фінальної валідації. Якщо на першому рівні досягається значення FID менше 20, то процес оптимізації вважається завершеним, оскільки така збіжність гарантує виконання генеративною моделлю поставленої задачі на цілком задовільному рівні. У випадку, якщо значення критерію на першому рівні перевищує 20, процес оптимізації продовжується на наступних каскадних рівнях.

**Запитання 2.** Чи порівнювали ви точність збіжності моделі з моделями інших розробників, зокрема щодо даних по дактилоскопії (слайди 20-21)?

**Відповідь.** Так, таке порівняння здійснювалося. На момент нашої першої публікації в області ГЗМ у 2021 році у відкритому доступі була інформація лише про два релевантних дослідження, присвячених генерації штучних відбитків пальців. В роботі авторів S. Minaee та A. A. Abdolrashidi з США використовувалася архітектура регуляризованої глибокої згорткової ГЗМ, що забезпечило лише часткову реалістичність синтезованих зразків дактилограм при показнику FID у 70.5 (низький рівень точності генерації). В роботі S. Seidlitz та ін. з Німеччини було застосовано три варіації ГЗМ (ProgressiveGAN, StyleGAN, StyleGAN2), що робило такий підхід ресурсомістким та складним з точки зору архітектури. Наше завдання полягало в досягненні аналогічних або вищих результатів із використанням простіших архітектур, що потребують значно менших обчислювальних ресурсів. Точність збіжності оцінювалася за метрикою чіткого математичного критерію Фреше (FID): результат нижче 20 одиниць вважався задовільним. Додатково застосовувався метод експертної візуальної інспекції. Оскільки відбитки

пальців є специфічними графічними даними, критично важливо, щоб згенеровані зразки були інтерпретованими та візуально коректними для фахівця-експерта.

**Запитання 3.** Покажіть слайд 8 з математичною моделлю ГЗМ і поясніть її більш детально. Зокрема, який тип логарифмів тут використовується, це натуральний, десятковий логарифм чи логарифм з іншою основою? Якщо з іншою, то з якою?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

На слайді 8 наведено класичну мінімаксну цільову функцію ГЗМ. У цій цільовій функції використовується натуральний логарифм (з основою  $e$ ). В даному випадку застосовано загальноприйняте в літературі з машинного навчання позначення  $\log$ , яке математично представляє натуральний логарифм. Його використання зумовлене тим, що похідна  $\ln(x)$  дорівнює  $\frac{1}{x}$ , що максимально спрощує та прискорює обчислення градієнтів при зворотному поширенні помилки в тензорних обчисленнях. Сама ж формула описує оптимізаційну задачу: дискримінатор намагається максимізувати точність розпізнавання реальних даних та відхилення згенерованих, а генератор мінімізує цей функціонал, навчаючись створювати максимально реалістичні зразки.

**О. М. Трунов, д.т.н., професор.**

**Запитання 1.** Що означає рівень 20, якщо дискретно  $1/20$ , то це знову інженерні 5%?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Показник 20 — це абсолютне значення метрики відстані Фреше (FID), а не відносна величина, відсоток чи дискретний тип даних. Ця метрика математично обчислює відстань між статистичними розподілами ознак реальних та згенерованих зображень. Оскільки для генеративно-змагальних мереж ключовим є якість візуального контенту, FID виступає об'єктивним критерієм оцінки того, наскільки згенеровані зразки відповідають властивостям оригінальних даних. У області машинного навчання шляхом досліджень встановлено, що значення  $FID < 20$  є загальноприйнятим пороговим індикатором високої якості. Досягнення показника нижче цього порогу свідчить про успішну збіжність моделі, за якої згенеровані артефакти є статистично репрезентативними та розпізнаються як цілком реалістичні.

**Запитання 2.** Ваші ГЗМ забезпечують підвищення роздільної здатності зображень (слайди 22-25). Які перспективи застосування ГЗМ такого типу в сучасних робототехнічних системах?

**Відповідь.** Використання ГЗМ для підвищення роздільної здатності (Super-Resolution) є критично важливим для автономних роботів та систем

комп'ютерного зору, що працюють на базі кордонних пристроїв. Це дозволяє отримувати високодеталізовані зображення з недорогих або малогабаритних сенсорів, що суттєво економить апаратні ресурси. Зокрема, у спільних дослідженнях із Саарландським університетом розглянуто застосування таких методів для навігації мобільних роботів: це дозволяє системі точніше ідентифікувати дрібні об'єкти або дефекти поверхонь у реальному часі, не перевантажуючи канали зв'язку передачею «важких» відеоданих. Таким чином, ГЗМ стають ключовим елементом інтелектуальної контури IoT-платформ у робототехніці.

**О. П. Гожий, д.т.н., професор.**

**Запитання 1.** Яка головна наукова новизна роботи? Деталізуйте, будь ласка, загальну наукову новизну.

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Основні чотири пункти наукової новизни представлені на слайді 34. Головна наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у розробленні каскадного та мультифазового методів оптимізації, методу їх гібридного комбінування, а також у створенні відповідного програмно-алгоритмічного фреймворку для їх практичної імплементації. Ефективність запропонованих підходів було підтверджено під час вирішення комплексу прикладних задач: генерації біометричних зразків, підвищення роздільної здатності зображень (суперрезолюції) та виявлення аномалій. У подальшому, на основі аналізу отриманих експериментальних результатів, було здійснено вдосконалення процесів навчання та адаптацію розроблених моделей до нових класів завдань.

**Запитання 2.** Покажіть і порівняйте слайди 33 і 34. Підкресліть новизну отриманих результатів на основі представленої на цих слайдах інформації. Чому «наукова новизна» присутня в назвах обох цих слайдів?

**Відповідь.** Порівняння результатів на цих плакатах дозволяє наочно оцінити масштаб дослідження: слайд 33 демонструє наукову новизну результатів тільки 5-го розділу дисертації, а саме ефективність практичної реалізації каскадного методу для задач реального часу на кордонних пристроях. Водночас слайд 34 узагальнює наукову новизну всієї дисертації, підтверджуючи, що комплексне застосування розроблених методів забезпечило прискорення навчання у 7,6 рази, зменшення розміру моделей у 3,9 рази та стабільну роботу на мікрокомп'ютерних пристроях у реальному часі.

**Запитання 3.** Ви сфокусовано означили актуальність роботи, але чи не краще було б про це говорити перед окресленням основних завдань дисертаційного дослідження? Яка Ваша думка?

**Відповідь.** Дякую за зауваження. Часто використовуються обидва підходи і той, що було застосовано в даній доповіді, і той, що Ви пропонуєте.

Разом з тим, враховуючи новизну тематики дисертації в області штучного інтелекту, цілком погоджуюся, що логічна послідовність «від актуальності та проблемної ситуації — до формування конкретних завдань» зробить виклад матеріалу більш структурованим та переконливим.

**І. М. Журавська, д.т.н., професор.**

**Запитання 1.** Які критерії оптимізації визначено для мультифазового методу (слайд 17)? Поясніть, яка початкова інформація вводиться до блок-схеми та що формується на виході?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Для мультифазового методу зберігається той самий ключовий критерій — відстань Фреше (FID). Мультифазовий метод оптимізації навчання ГЗМ базується на багаторівневому механізмі адаптивної конвергенції, що дозволяє запобігати колапсу моди та зникненню градієнтів функцій втрат без підвищення обчислювальної складності процедури навчання. Крім того, застосування критерію Фреше зумовлено тим, що при гібридному комбінуванні мультифазовий метод концептуально інтегрується як внутрішній компонент каскадної оптимізації. Хоча каскадний та мультифазовий методи здатні функціонувати автономно, при гібридному комбінуванні мультифазовий метод виступає доповнюючою складовою каскадного методу. Нашою незмінною метою є досягнення збіжності моделі, за якої показник FID становить менше 20 одиниць. За таких умов модель генерує зразки, що високоточно відтворюють спектр характеристик реальних даних. При самостійному застосуванні мультифазового методу пороговий критерій оцінки  $FID < 20$  залишається незмінним, оскільки саме він є об'єктивною мірою реалістичності згенерованих артефактів. Щодо блок-схеми: вона насамперед відображає ієрархічні стадії оптимізації архітектури. В якості інформації, що поступає до входу блок-схеми, задаються відповідні до постановки задачі датасети для навчання ГЗМ, початкова структура та гіперпараметри ГЗМ (до оптимізації), яка підлягає подальшій оптимізації. Процес розпочинається з ініціалізації параметрів блоків та стохастичного формування архітектури мережі під конкретну задачу (подібно до того, як на вхід генератора в самій ГЗМ подається випадковий шум). Далі відбувається ітеративна оптимізація. Відповідно, на виході отримуємо оптимізовану модель та реалістичні згенеровані дані з показником  $FID < 20$ . Фінальним етапом є валідація: якщо результати задовольняють встановлений критерій, процес успішно завершується — цільова функція виконана. На виході блок-схеми формується оптимізована структура ГЗМ, набір налаштованих гіперпараметрів та штучно синтезовані зразки об'єктів дослідження.

**Запитання 2.** Що таке завантаженість CPU на 150% на скріншоті порівняння CPU та GPU (слайд 22)?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Цей графік ілюструє метрики хмарного середовища Kaggle, де здійснювався початковий етап навчання моделі. Показник у 150% завантаженості відображає специфіку розподілу ресурсів при багатопотокових паралельних обчисленнях: центральний процесор (CPU) використовується на повну потужність (100%), а додаткове обчислювальне навантаження перерозподіляється на інші доступні ядра та графічний прискорювач (GPU). Оскільки архітектура нашої моделі вимагає інтенсивних паралельних обчислень, алгоритм хмарного сервісу динамічно керує ресурсами. У межах використаного середовища процес ініціюється на віртуальному CPU, а в моменти пікових навантажень або при вичерпанні базових потужностей система автоматично підключає ресурси GPU. Отже, зафіксований на скріншоті показник фактично демонструє момент масштабування обчислень та динамічний перехід до використання графічного процесора. Тому на наведеному скріншоті хмарного інтерфейсу показано завантаження CPU 100(CPU) + 50(GPU) = 150% (сумарний показник).

**Запитання 3.** На слайді 2 Ви навели завдання дослідження. Продемонструйте, будь ласка, де саме в презентації представлені результати виконання кожного з них?

**Відповідь.** Структура презентації відповідає логіці виконання восьми поставлених завдань: **1)** результати завдання 1–2 (аналіз та виявлення недоліків) представлені на слайдах 4–10. Проведено комплексний аналіз ГЗМ, виявлено обмеження їхньої алгоритмічної основи та критичні недоліки існуючих архітектур; **2)** завдання 3–4 (уніфікований підхід, формалізація та розробка методів) — це математичні моделі каскадного та мультифазового методів, а також механізму їх гібридного комбінування, які наведені на слайдах 11–17. Це теоретичне ядро роботи; **3)** завдання 5 (прикладні архітектури) — це результати створення моделей ГЗМ для реальних задач: генерації рукописних цифр, відбитків пальців, забезпечення супер-роздільної здатності та виявлення аномалій (показані на слайдах 18–26); **4)** на слайдах (27–33) представлені результати завдання 6 (експериментальні дослідження, алгоритмічно-апаратний фреймворк) у вигляді імплементації ГЗМ на кордонних пристроях (на базі Raspberry Pi 5) із застосуванням методів квантування INT8 та профілювання.

**Запитання 4.** Ви не акцентували у своїй доповіді розподіл публікацій по категоріям. Підкресліть, будь ласка, які саме публікації відносяться до основних, а які — до додаткових та апробаційного характеру?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Праці з основними результатами (5 публікацій): сюди входять 2 статті у міжнародних журналах (International Journal of Computing, Journal of Mobile

Multimedia), 1 розділ в монографії «Artificial Intelligence in Control and Decision-making Systems» (Springer, серія Studies in Computational Intelligence), що індексуються в Scopus, та 1 стаття у фаховому виданні України категорії «Б» (журнал «Штучний інтелект»). Праці апробаційного характеру (7 робіт): це матеріали доповідей на міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференціях (АІТІ, АІСТ, DESSERT, CMIS, «ІС» та «Могилянські читання»), з яких 4 включені в Scopus. До додаткових публікацій (5 робіт) віднесено 1 колективну монографію «Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні», 1 розділ у монографії видавництва River Publishers та матеріали доповідей, що відображають аспекти цифрової еволюції та впровадження ШІ в різних галузях людської діяльності.

**Запитання 5.** Який Ваш особистий вклад в опубліковані роботи?

**Відповідь.** Дякую за запитання.

Мій особистий внесок у представлених публікаціях полягає у повній математичній формалізації каскадного та мультифазового методів оптимізації навчання ГЗМ. Самостійно розробив програмну архітектуру моделей ADCGAN та EAWGAN, провів серію чисельних експериментів з різними наборами даних (MNIST, SOCOFing, Birds 400), а також виконав збір та аналіз статистичних метрик FID, AUC, Recall та інших. Крім того, мною було проведено повний цикл апаратної імплементації та оптимізації розроблених рішень для кордонних пристроїв на базі мікрокомп'ютерної платформи Raspberry Pi 5 із застосуванням методів квантування ваг та профілювання. Участь співавторів була сфокусована на а) спільному обговоренні ідей, концептуальних підходів, плану та послідовності досліджень при підготовці робіт до опублікування; б) загальному науковому консультуванні та науково-методичній підтримці під час проведення досліджень в рамках опублікованих робіт; в) редагуванні матеріалів публікацій.

**ОБГОВОРЕННЯ:**

**Ю. П. Кондратенко, д.т.н., професор (науковий керівник).**

Відзначено, що робота є актуальною, має наукову новизну, практичну значущість, є завершеною та виконаною самостійно. Перед учасниками семінару виступив висококваліфікований спеціаліст у своїй галузі, який уже тривалий час (понад 10 років) працює в сфері ІТ-індустрії. Здобувач є випускником Чорноморського національного університету імені Петра Могили не лише з аспірантури, магістерський диплом також отримано саме в цьому університеті. Підкреслено, що протягом усього періоду роботи в аспірантурі над дисертацією у здобувача спостерігався найвищий рівень дисциплінованості, найвищий рівень відповідальності та найвищий рівень компетентного підходу навіть до тих нових питань, які доводилося вперше розробляти чи поглиблювати. До всіх завдань він ставився надзвичайно

скрупульозно, практично всі заплановані етапи виконував крок за кроком у встановлені терміни. Результати роботи пройшли якісну апробацію на міжнародних конференціях та в наукових публікаціях. У базі Scopus наведено 11 його робіт, індекс Хірша становить 7. Відомо, що індекс Хірша залежить від кількості цитувань. У Scopus нараховано 155 цитувань з різних куточків світу саме на ці роботи, присвячені генеративно-змагальним мережам, найкращим випадкам їх застосування, аномаліям, нечіткій логіці та іншим суміжним темам. Усе це знайшло відображення в цих цитуваннях. Окремо відзначаю схильність Олександра до педагогічної роботи. Він брав активну участь у навчальному процесі нашого факультету: особисто проводив лекції та практичні роботи, розробив якісні матеріали для системи Moodle із чіткими критеріями оцінювання для курсу «Інтелектуальні технології в системах підтримки прийняття рішень». Олександр добре працює з аудиторією і здобув повагу як серед студентів, так і серед колег-викладачів. Підкреслено, що це людина серйозна, високопідготовлена та висококваліфікована. Вважається, що він повністю достойний присвоєння наукового ступеня доктора філософії.

**О. В. Козлов, д.т.н., професор (внутрішній рецензент).**

У своєму виступі зазначив, що детально ознайомився з представленою роботою та надав оцінку основним результатам відповідно до вимог дисертації рівня PhD. Характеризуючи актуальність обраної теми, наголошено на перспективності використання генеративних змагальних нейронних мереж для вирішення складних завдань у галузях медичної діагностики, біометрії, автоматизації та кібербезпеки. Запропоновані автором моделі та методи дозволяють забезпечувати ефективність нейромереж такого типу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, а також ефективно долати проблему нестабільності навчання та ефект колапсу моди. Аналізуючи наукову новизну представлених результатів, підкреслено, що сформульовані положення в сукупності вирішують нове наукове завдання, важливе для галузі знань 12 та спеціальності 123. Робота містить раніше незахищені наукові положення та нові обґрунтовані результати, серед яких особливої уваги заслуговують структурно-функціональна модель універсального ієрархічного фреймворку ГЗМ, каскадний і мультифазовий методи оптимізації навчання та моделі адаптації ГЗМ для задач біометрії, комп'ютерного зору та виявлення аномалій. Основні пункти наукової новини повною мірою відображені у публікаціях здобувача в наукових періодичних виданнях. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій оцінено як достатньо високий, що підтверджується коректним формулюванням мети, завдань дослідження, а також обґрунтованим вибором методів і моделей. Високий рівень виконання наукового завдання додатково підтверджується зв'язком дослідження з пріоритетними напрямками науково-дослідних робіт ЧНУ ім. Петра Могили та

Інституту проблем штучного інтелекту НАН і МОН України, зокрема в межах виконання держбюджетної тематики та міжнародного проекту DAAD-Ostpartnerschaftsprogramm із Саарландським університетом. Науковий доробок здобувача представлений у 17 працях, з яких 11 індексуються у базі Scopus, зокрема 3 статті у журналах другого квартиля (Q2), 2 розділи у монографіях та 6 матеріалів міжнародних конференцій. Високий рівень публікаційної активності та проходження ретельного рецензування свідчать про дотримання принципів академічної доброчесності. Результати роботи також впроваджені у навчальний процес при викладанні декількох дисциплін, в т.ч. «Нейромережеві методи обчислювального інтелекту». Поряд із загальною позитивною оцінкою було висловлено низку зауважень, зокрема щодо надмірного опису загальновідомих цільових функцій та методів навчання у другому розділі. У третьому розділі було рекомендовано представити розроблені методи у вигляді чіткої послідовності етапів та доповнити блок-схемами ті методи, для яких вони відсутні, наприклад для мультифазового методу. Також було вказано на відсутність достатнього обґрунтування використання нечіткого класифікаційного розподілу при виявленні аномалій у четвертому розділі та наявність окремих стилістичних неточностей і аббревіатур без розшифрування. В підсумку зазначено, що вказані зауваження не знижують високий науковий рівень, наукову та практичну цінність дисертації. Робота є завершеним самостійним дослідженням, що вирішує актуальну науково-технічну задачу. Висловлено повну підтримку дисертаційній роботі та закликано колег до аналогічного рішення.

**Є. В. Сіденко, к.т.н, доцент (внутрішній рецензент).**

Виступив на підтримку дисертаційної роботи та зазначив, що дослідження спрямоване на розв'язання актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності генеративно-змагальних мереж (GAN/ГЗМ) в умовах жорстких апаратно-параметричних обмежень, таких як дефіцит обчислювальної потужності, обсягу пам'яті та енергобюджету, з орієнтацією на вбудовані та edge-платформи. У представлених матеріалах чітко витримано комп'ютерно-інженерний фокус, що охоплює апаратно-програмні обмеження, енергоефективність, продуктивність та надійність систем. Заявлена розробка універсального ієрархічного фреймворку з каскадною уніфікацією налаштувань має особливу цінність для інженерії, оскільки запропонований підхід орієнтований не на окремі набори даних чи моделі, а на забезпечення керованості процесу проектування в цілому. Експериментальні результати підтверджують ефективність запропонованих рішень, зокрема зафіксовано зниження втрат генератора у 3,5 рази, стабілізацію дискримінатора на рівні близько 92% (замість 100% при перенавчанні), а також суттєве прискорення збіжності процесів навчання ГЗМ зі скороченням кількості епох навчання з

1300 до 170. Важливим складником комп'ютерно-інженерного блоку роботи є практичне розгортання моделей на платформі Raspberry Pi 5 із застосуванням INT8-квантування, що дозволило зменшити розмір моделі з 2,14 МБ до 0,55 МБ та прискорити інференс у 3,2 рази — до 0,61 мс. Практичне значення результатів підкріплено можливостями їх застосування у біометрії для створення захищених даних, мобільному покращенні зображень, детекції аномалій у системах кібербезпеки та фінансового моніторингу, а також у навчанні та розгортанні систем на мікрокомп'ютерах. Робота пройшла належну апробацію на низці міжнародних конференцій IEEE та висвітлена у відповідних публікаціях. Разом з тим, було висловлено зауваження щодо моделі виявлення аномалій, де показник точності (precision) для аномальних зразків становить 0,12, що вказує на значну кількість хибнопозитивних спрацювань та складність розпізнавання нормальних даних. Це є суттєвим практичним обмеженням при позиціонуванні рішення для потреб кібербезпеки, тому рекомендовано провести порівняння із класичними baseline-детекторами, а не лише з підходами на основі ГЗМ. Також наголошено на необхідності доповнення порівняльного аналізу алгоритмів оптимізації відповідно до наведеної у роботі таблиці 8. Дисертаційна робота та рівень компетентності здобувача повністю відповідають стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія галузі знань 12 Інформаційні технології для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

**О. П. Гожий, д.т.н., професор.**

Гожий Олександр Петрович підтримав дисертаційну роботу. Він відзначив, що робота виконана якісно, йому сподобалася, хоча подача матеріалу дещо незвична, оскільки актуальність теми була розглянута після переліку основних завдань дисертації, але це легко в наступній доповіді на захисті дисертації скоригувати. Щодо зауважень – їх небагато, і вони не суттєві. Окремо зупинився на публікаціях: зараз надійшли пропозиції щодо опонування двох робіт з різних регіонів України, у різних університетах по-різному оформлюють списки опублікованих матеріалів, але це не принципове питання. Головне – публікації є, вони вагомі та суттєві. Вважає, що компроміс в представленні списку публікацій буде знайдено. Подякував за увагу, шановним колегам, і особисто Олександрю Стрюку за ґрунтовну доповідь.

**І. М. Журавська, д.т.н., професор.**

Журавська Ірина Миколаївна визнала, що робота повністю завершена, відповідає спеціальності 123 — комп'ютерна інженерія і є готовою до захисту. Для посилення відповідності спеціальності запропонувала додати до наукової новизни конкретні чисельні показники (як це зроблено в зразках інших робіт): в пунктах новизни мають міститись цифри, наприклад, на скільки відсотків чи разів підвищено ефективність, стабільність тощо. Зазначила, що в тексті

використано термін «методологія», але насправді в роботі представлено не методологію (яка характерна для докторських дисертацій), а розвиток певних методів та вперше запропоновані методи. Запропонувала переглянути формулювання, перейти від «методології» до «висунення методів» або «розвитку методів», щоб зберегти правильний баланс. Безперечно підтримує роботу і вважає, що її слід рекомендувати до захисту. Додатково в обговоренні було підкреслено необхідність чіткого формулювання об'єкта дослідження відповідно до стандарту PhD-123, щоб він корелював з об'єктами діяльності саме в галузі комп'ютерної інженерії. Запропоновано відкоригувати слайди та завдання, щоб вони відповідали одне одному, а кожне наукове завдання розкривалось відповідними слайдами. У блок-схемі рекомендовано додати овали початку та кінця, паралелограми для введення/виведення даних (згідно зі стандартом ISO 5807), зменшити розмір умовних операторів (ромбів), пронумерувати всі блоки. Щодо скріншота завантаженості CPU, запропоновано більш детально пояснити значення «150%», оскільки воно не відповідає традиційному підходу з максимальним 100%-значенням, і треба чітко акцентувати про перехід на GPU через недостатність потужності CPU. Перелік літератури та опублікованих праць слід розділити на три частини відповідно до наказу МОН № 40 (2017 р.): публікації, де викладено основні наукові результати; матеріали, що засвідчують апробацію (конференції тощо); додаткові публікації.

**Ю. Д. Жуков, д.т.н., професор.**

Жуков Юрій Данилович наголосив, що бачить у роботі велику перспективу та практичну цінність. Зазначив, що в реальних індустріальних умовах більшість замовників, яких цікавить підвищення точності, надійності та інтерпретації результатів вимірювань, з низки причин (комерційних, безпекових тощо) уникають або суттєво обмежують використання хмарних ресурсів. Саме тому з точки зору комп'ютерної інженерії особливо цікаво застосовувати вбудовані системи та локальні обчислювальні ресурси для створення систем контролю безпеки – технічної, економічної, промислової тощо. Такі системи дозволяють контролювати об'єкти за допомогою інструментальних засобів, забезпечуючи вищий рівень безпеки індустріальних об'єктів, контрольних моніторів та інших критичних елементів. Запропонував чіткіше підкреслити в доповіді об'єкти комп'ютерної інженерії, щоб посилити практичний аспект і практичну цінність. Вважає роботу завершеною, а Олександра Стрюка кваліфікованим здобувачем, який заслуговує вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Експертиза дисертації **Стрюка Олександра Сергійовича** та повноти публікації основних результатів дозволяє зробити такий

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК:

Дисертація Стрюка Олександра Сергійовича на тему «Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень», на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 — комп'ютерна інженерія (галузь знань 12 Інформаційні технології) є самостійним, завершеним, цілісним науковим дослідженням, що повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 — комп'ютерна інженерія. Обсяг основного тексту складає 5,2 авторських аркуші.

### **Актуальність теми та її зв'язок із планами наукових робіт установи.**

Сучасний розвиток систем штучного інтелекту (в т.ч. генеративних змагальних мереж, систем розпізнавання, класифікації, сегментації, обробки природної мови та ін.) демонструє експоненціальне зростання параметрів штучних нейронних мереж і залежність їх від хмарних обчислень при застосуванні у критично важливих сферах. Проте для розв'язання задач в реальному часі (автономна навігація тощо) або задач з забезпеченням конфіденційності даних (медицина, оборона) необхідність постійного зв'язку з хмарним сервером є суттєвим недоліком. Тому реалізація інтелектуальних систем безпосередньо на мікрокомп'ютерах та мікропроцесорних і кордонних пристроях (Edge AI) є актуальною необхідністю. Разом з тим, таке розгортання ресурсномістких генеративних архітектур в умовах апаратно-параметричних обмежень вбудованих та мобільних пристроїв наштовхується на проблеми обчислювальної складності та нестабільності нейромережевого навчання. Подолання цих проблем вимагає розробки та удосконалення ресурсоефективних методів оптимізації, що забезпечують адаптацію до динаміки навчання, архітектур нейронних мереж та параметрів CPU-орієнтованих платформ. Дисертаційна робота присвячена вирішенню практичної задачі розробки та впровадження нових моделей і методів проектування та оптимізації генеративних змагальних нейронних мереж (ГЗМ), як систем штучного інтелекту, з урахуванням апаратно-програмних обмежень, енергоефективного використання обчислювальних ресурсів, підтримки продуктивності та надійності кордонних систем. ГЗМ забезпечують доповнення існуючих наборів даних (датасетів) додатковими штучними зразками для ефективного навчання нейронних мереж в умовах недостатньої кількості реальних даних та підвищення якості існуючих зображень з низькою роздільною здатністю, зашумленнями та візуальними артефактами. Спектр застосування ГЗМ охоплює критично важливі сфери: енергетичну безпеку, національну оборону, охорону здоров'я, економіку та ін. В основі ГЗМ лежить антагоністична взаємодія двох нейронних мереж (генератора і

дискримінатора), де генератор створює нові зразки та мінімізує ймовірність виявлення цих штучних даних дискримінатором, а дискримінатор максимізує здатність розпізнавати згенеровані штучні дані і відрізнити їх від реальних зразків, що дозволяє ГЗМ автоматично навчатися генерації даних, максимально наближених до реальних. При цьому, ГЗМ забезпечують високоточне формування статистичного розподілу даних, що є критично важливим для генерації реалістичних зразків у доменах з обмеженими вибірками (англ. low-data regimes), зокрема, при розв'язанні прикладних задач у областях від медичної діагностики та обробки супутникових даних до тестування стійкості біометричних систем проти кібератак, де отримання реальних даних є ускладненим або неможливим. Проте ефективне використання ГЗМ у цих галузях обмежується нестабільністю навчання та високими вимогами до системних характеристик обчислювальних комплексів. Актуальною задачею також залишається вирішення проблем підвищення алгоритмічної ефективності ГЗМ для забезпечення стійкої конвергенції змагальних архітектур та стабілізації динамічних процесів навчання. Особливої гостроти набуває необхідність адаптації ГЗМ до реалізації в умовах апаратно-параметричних обмежень, які зумовлені дефіцитом обчислювальної потужності, обмеженим обсягом оперативної та постійної пам'яті, а також специфікою енергоспоживання кордонних пристроїв, мікрокомп'ютерних платформ та вбудованих інтелектуальних систем. Це ускладнює пряме застосування ГЗМ в системах управління та підтримки прийняття рішень у реальному часі без попередньої апаратно-параметричної оптимізації та удосконалення спеціалізованих методів обчислень. Дисертаційна робота спрямована на подолання зазначених недоліків ГЗМ, що підтверджує її актуальність та практичну цінність для розвитку сучасних інтелектуальних систем.

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

Дисертаційне дослідження виконано в рамках наукових програм, спрямованих на розвиток та підвищення ефективності систем штучного інтелекту (ШІ) та їх застосування в різних галузях. Зокрема, робота відповідає програмам, що стосуються розробки інноваційних методів машинного навчання (МН) і глибокого навчання (ГН) для обробки великих даних та забезпечення інформаційної безпеки. Основні результати роботи апробовані на вітчизняних та міжнародних конференціях, що підтверджує її відповідність актуальним науковим напрямам. Дисертаційні дослідження проводились: (а) відповідно до пріоритетних напрямків науково-дослідних робіт Чорноморського національного університету імені Петра Могили (наукові ініціативні кафедральні теми: «Системи і методи прийняття рішень в умовах нечіткості та невизначеності даних», 01.01.2022 - 01.01.2025; «Моделі та

методи розв'язання задач штучного інтелекту, машинного навчання, систем керування та прийняття рішень», 01.01.2025 - 01.01.2028); в рамках (б) державного науково-дослідницького проєкту Інституту проблем штучного інтелекту (ІПШІ) Національної академії наук України і Міністерства освіти і науки України (МОН) України «Створення стратегії розвитку штучного інтелекту в Україні» (2020-2022 рр.) на замовлення МОН України (№ ДР 0120U102299) та (в) міжнародного проєкту DAAD-Ostpartnerschaftsprogramm з Саарландським університетом, Саарбрюккен, Німеччина (2018-2020 рр.), спрямованого на розробку інтелектуальних мобільних роботів.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються.**

Обґрунтованість дисертаційного дослідження забезпечується використанням теоретичних і методологічних основ, фундаментальних положень та принципів комп'ютерної інженерії, праць вітчизняних та зарубіжних учених.

Формулювання наукових завдань, нове вирішення яких представлено в дисертації, підтверджується теоретико-експериментальним обґрунтуванням результатів дослідження; використанням при проведенні дослідження великої кількості аналітичних матеріалів і різнотипних методів дослідження; апробацією результатів дослідження на практичних конференціях різних рівнів і семінарах.

У дисертації наведено теоретичне обґрунтування й вперше розроблені методи щодо удосконалення існуючих підходів до оптимізації ГЗМ на кордонних пристроях в умовах їх апаратно-параметричних обмежень .

Наукові положення розроблені особисто здобувачем, їх новизна визначається особистим внеском у вирішення актуальної практичної задачі в галузі комп'ютерної інженерії, що полягає в узагальненні та розробці практичних методів та рекомендацій щодо удосконалення процесів оптимізації ГЗМ в умовах апаратно-параметричних обмежень кордонних пристроїв.

У дослідженні використано комплекс методів наукових досліджень, зокрема: методи машинного та глибокого навчання для розробки і тренування генеративних змагальних мереж; методи обробки зображень для аналізу і покращення якості штучно синтезованих зображень; методи теорії нечітких множин та нечіткої логіки для оцінки та інтерпретації результатів виявлення аномалій; різнотипні алгоритми оптимізації для розробки каскадного і мультифазового методів оптимізації процесу навчання ГЗМ; методи квантованого навчання та тестування моделей на базі MNIST для інтеграції та узгодження алгоритмів ГЗМ з апаратними обмеженнями кордонних пристроїв; а також методи структурної організації та синтезу IoT-систем та вбудованих систем.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці та впровадженні каскадного, мультифазового фазового та гібридного методів оптимізації ГЗМ, розробці вдосконаленої архітектури адаптивної глибокої згорткової ГЗМ, а також у розробці нових підходів до покращення якості зображень, виявлення аномалій на основі ГЗМ, впровадженні моделей та методів навчання та розгортання ГЗМ на кордонних пристроях. Роботи опубліковано здобувачем як самостійно, так і у співавторстві; здобувачем проведено аналіз сучасних систем штучного інтелекту, зокрема генеративних моделей, та запропоновані підходи до підвищення їх ефективності; розглянуто структуру та основні програмні компоненти генеративних змагальних мереж при виконанні практичних задач з генерування реалістичних зразків рукописних символів, підвищення роздільної здатності, синтезування штучних відбитків пальців, виявлення аномалій у багатокритеріальних даних; наведено методи та узагальнену стратегію апаратно-параметричної оптимізації ГЗМ для мультимодального спектра застосування на кордонних пристроях в умовах їх апаратно-параметричних обмежень; розроблено програмні засоби керованого навчання та синтезу зразків за допомогою генеративних моделей безпосередньо на кордонних пристроях.

Результати дисертаційної роботи впроваджені при виконанні наукового проекту ІПШІ МОН і НАН України (№ ДР 0120U102299), міжнародного DAAD-Ostpartnerschaftsprogramm проекту в рамках академічної співпраці «ЧНУ, Україна - Саарландський університет, ФРН» та в навчальний процес ЧНУ ім. Петра Могили.

**Наукове значення роботи.** Наукове значення роботи полягає в розв'язанні актуального наукового завдання у галузі комп'ютерної інженерії, що базується на обґрунтуванні теоретико-методологічних положень та розробці практичних методів і рекомендацій щодо оптимізації ГЗМ в умовах апаратно-параметричних обмежень кордонних пристроїв.

**Наукова новизна отриманих результатів** визначається особистим внеском автора у вирішення актуального наукового завдання галузі знань 12 Інформаційні технології, яке полягає в структурній реконфігурації архітектур ГЗМ, розробці методів оптимізації та механізмів їх гібридного комбінування для процесів навчання ГЗМ та апаратно-орієнтованій адаптації кордонних пристроїв та мікрокомп'ютерних компонентів.

Найбільш значущими результатами дослідження, що становлять наукову новизну, розкривають суть роботи та виносяться на захист, є такі:

**Вперше** розроблено математичну модель каскадної оптимізації ГЗМ, яка, на відміну від існуючих, базується на ієрархічній декомпозиції простору гіперпараметрів та врахуванні адаптивної динаміки навчання, що дозволяє

забезпечити необхідну точність та швидкодію функціонування ГЗМ в умовах апаратно-параметричних обмежень кордонних пристроїв.

**Вперше** розроблено мультифазовий метод оптимізації навчання ГЗМ, який, на відміну від існуючих, базується на багаторівневому механізмі адаптивної конвергенції, що дозволяє запобігати колапсу моди та зникненню градієнтів функцій втрат без підвищення обчислювальної складності процедури навчання.

**Удосконалено** механізм адаптації ГЗМ, який ґрунтується на гібридному комбінуванні каскадного та мультифазового методів в поєднанні з апаратом нечіткої логіки, що дозволяє комплексно підвищити ефективність навчання та якість генерації штучних даних в задачах виявлення аномалій, біометрії та комп'ютерного зору, зокрема знизити функцію втрат генератора у 3,5 рази, уникнути перенавчання дискримінатора (на рівні ~92%), прискорити збіжність ГЗМ в 7,6 разів, покращити метрику FID у 2,3 рази та досягти точності виявлення аномалій  $AUC = 0,92$  із забезпеченням повноти (Recall) на рівні 1,0.

**Набув подальшого розвитку** програмно-апаратний метод реалізації повного циклу функціонування ГЗМ на кордонних пристроях, який базується на інтеграції квантованого навчання та апаратно-орієнтованої каскадної оптимізації, що забезпечує реалізацію реконфігурованих архітектур ГЗМ з врахуванням апаратно-параметричних обмежень та їх функціонування в режимі реального часу зі зменшенням розміру імітаційної моделі в 3,9 рази та прискоренням процесу інференсу в 3,2 рази.

Для оцінки продуктивності ГЗМ у роботі застосовано методи кількісного аналізу із використанням комплексу сучасних метрик (FID, Loss Value, Accuracy, Epochs to Convergence, Inference Time, Latency, Model Size, AUC, Recall), що дозволило об'єктивно порівняти ефективність розроблених методів із базовими підходами. Практична значущість дослідження підтверджена впровадженням результатів у наукові проекти з Саарландським університетом ФРН та Інститутом проблем штучного інтелекту МОН і НАН України, а також в навчальний процес ЧНУ ім. П. Могили. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 8 міжнародних науково-технічних конференціях (IDAACS'2023, DESSERT'2023, ATIT'2020, AICT'2021, CMIS'2025 та ін.) та 3 Всеукраїнських наукових конференціях та семінарах, опубліковані в 17 наукових працях.

**Практичне значення та використання результатів роботи.** Положення роботи є актуальними для використання у галузі знань 12 Інформаційні технології, а також мають прикладний характер, що робить їх цінними для практичного впровадження в реальних IoT-системах та вбудованих компонентах систем контролю, управління та прийняття рішень, а також при застосуванні у навчально-освітньому процесі. Практична

значущість дослідження полягає у розробці алгоритмічно-апаратного фреймворку для навчання та розгортання ГЗМ на кордонних пристроях з врахуванням їх обчислювальних та архітектурних обмежень. Завдяки застосуванню методів квантування ваг (INT8) та профілювання обчислювальних графів доведено можливість стійкого функціонування ГЗМ у режимі реального часу на базі мікрокомп'ютерної платформи Raspberry Pi 5. Це дозволяє інтегрувати розроблені моделі ГЗМ як базовий елемент інтелектуального контуру автономних IoT-платформ, що мінімізує локальне апаратне навантаження та усуває критичну залежність інфраструктури від хмарних обчислень. Теоретичні положення та практичні рекомендації, які обґрунтовано в дисертаційній роботі, впроваджені в науково-технічні розробки ЧНУ ім. Петра Могили, Саарландського університету, ФРН та ІПШІ НАН і МОН України, а також в навчальний процес ЧНУ ім. Петра Могили у ході підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційними рівнями «бакалавр» та «магістр», зокрема використовуються при викладанні дисциплін «Проектування інтелектуальних СППР», «Нейромеревеві методи обчислювального інтелекту» та «Fuzzy models and methods for computational intelligence», а також у дипломному проектуванні для спеціальностей 123 — комп'ютерна інженерія та 122 — комп'ютерні науки. Результати даної роботи щодо генеративних змагальних мереж увійшли до проекту «Стратегії розвитку штучного інтелекту в Україні», що відображено в колективній монографії.

**Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.** Загальні положення дослідження висвітлено в 17 наукових публікаціях, з них: 3 статті в міжнародних фахових журналах, 2 статті у наукових фахових виданнях України (які входять до переліку МОН України), 2 розділи в англійськомовних монографіях, 1 колективна монографія, 6 матеріалів доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях (IDAACS'2023, DESSERT'2023, АТІТ'2020, АІСТ'2021, СМІС'2025 та ін.), 3 тез доповідей на Всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Основні ідеї та розробки, здійснені в рамках дисертаційного дослідження, у тому числі ті, що характеризують наукову новизну і практичне значення результатів, сформульовані і отримані здобувачем особисто.

Внесок автора конкретизовано у переліку опублікованих праць.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Стрюк О. С., Кондратенко Ю. П. Методи прикладного застосування генеративних змагальних мереж при обробці графічних даних. *Штучний інтелект*, 2023. № 3. С. 154–161. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2023.03.154>. (ISSN 2710–1673) (Категорія Б)

(Особистий внесок: результати порівняльного аналізу методів прикладного застосування генеративних змагальних мереж при обробці графічних даних на основі проведених особисто експериментальних досліджень.)

URL: [https://jai.in.ua/index.php/apxiv?paper\\_num=1606](https://jai.in.ua/index.php/apxiv?paper_num=1606).

2. *Striuk O.*, Kondratenko Y. Generative Adversarial Neural Networks and Deep Learning: Successful Cases and Advanced Approaches. *International Journal of Computing*, 2021. Vol. 20, No. 3. P. 339–349. DOI: <https://doi.org/10.47839/ijc.20.3.2278>. (ISSN 1727–6209) (Scopus)

URL: <https://computingonline.net/computing/article/view/2278>.

3. *Striuk O. S.*, Kondratenko Y. P. Generative Adversarial Networks in Cybersecurity: Analysis and Response. *Artificial Intelligence in Control and Decision-making Systems. Studies in Computational Intelligence*. Cham: Springer, 2023. Vol. 1087. P. 373–388. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25759-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25759-9_18). (Scopus)

URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-25759-9\\_18](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-25759-9_18).

4. *Striuk O.*, Kondratenko Y. Implementation of Generative Adversarial Networks in Mobile Applications for Image Data Enhancement. *Journal of Mobile Multimedia*, 2023. Vol. 19, No. 03. P. 823–838. DOI: <https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.1938>. (ISSN 1550–4646) (Scopus)

URL: <https://journals.riverpublishers.com/index.php/JMM/article/view/15053>.

5. *Striuk O.*, Kondratenko Y. Optimization Strategy for Generative Adversarial Networks Design. *International Journal of Computing*, 2023. Vol. 22, No. 3. P. 292–301. DOI: [doi.org/10.47839/ijc.22.3.3223](https://doi.org/10.47839/ijc.22.3.3223). (ISSN 1727–6209) (Scopus)

URL: <https://computingonline.net/computing/article/view/3223>.

#### Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Generative Adversarial Neural Network for Creating Photorealistic Images / *Striuk O.*, Kondratenko Y., Sidenko I., Vorobyova A. *Information Control Systems & Technologies (ATIT 2020)*: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, Kyiv, 25–27 November, 2020. Kyiv, 2020. P. 368–371. DOI: [10.1109/ATIT50783.2020.9349326](https://doi.org/10.1109/ATIT50783.2020.9349326). (Scopus)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349326/>.

7. Adaptive Deep Convolutional GAN for Fingerprint Sample Synthesis / *Striuk O.*, Kondratenko Y. *Information Control Systems & Technologies (AICT 2021)*: Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, Lviv, 21–24 September, 2021. Lviv, 2021. P. 193–196. DOI: [10.1109/AICT52120.2021.9628978](https://doi.org/10.1109/AICT52120.2021.9628978). (Scopus)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9628978>.

8. Cross-Domain Reconfigurable GAN with Fuzzy Components for Anomaly Detection / *Striuk O., Kondratenko Y. Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2023)*: Proceedings of the 13th International Conference, Athens, 13–15 October, 2023. Athens, 2023. P. 1–5. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416521. **(Scopus)**  
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10416521>.
9. Gradient-Penalty GAN Framework for High-Fidelity Fingerprint Synthesis / *Striuk O., Kondratenko Y. Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS 2025)*: Proceedings of the 8th International Workshop, Zaporizhzhia, 5 May, 2025. Zaporizhzhia, 2025. P. 175–188. **(ISSN 1613–0073) (Scopus)**  
URL: <https://ceur-ws.org/Vol-CMIS2025/paper.pdf>.
10. Математична модель генеративно-змагальної мережі / Воробйова А. І., Стрюк О. С. *Могілянські читання – 2020: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти: матеріали XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Миколаїв, 16–20 листопада 2020 р., Миколаїв, 2020. С. 134–137.  
URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/405>.
11. Прикладна цінність ГЗМ як систем штучного інтелекту / *Стрюк О. С. Інтелектуальні інформаційні системи: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів*, м. Миколаїв, 28–31 січня 2020 р., Миколаїв, 2020. С. 35–38.  
URL: <http://bit.ly/4rjb0YQ>.
12. Розгортання та інженерна оптимізація генеративних змагальних мереж на кордонних системах / *Стрюк О. С. Інтелектуальні інформаційні системи: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів*, м. Миколаїв, 4–5 грудня 2025 р., Миколаїв, 2025. С. 104–106.  
URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/3054>.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

13. Шевченко А. І., Барановський С. В., Білокобильський О. В., Кондратенко Ю. П., Козлов О. В., Сіденко Є. В., *Стрюк О. С.* та ін. *Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: монографія* / за заг. ред. А. І. Шевченка. Київ: ІПШІ, 2023. С. 1-307. DOI: 10.15407/development\_strategy\_2023.  
(*Особистий внесок: підготовлені доповнення до розділів 1 «Парадигма», 3 «Мета і завдання», 8 «Наукове, кадрове та матеріальне забезпечення національної екосистеми ШІ», 10 «Прикінцеві положення»; підрозділів: 2.2 «Основні напрями досліджень ШІ» розділу 2, 7.1 «ШІ у сфері безпеки та оборони України», 7.4 «ШІ в промисловості та енергетиці», 7.7 «ШІ у сільському господарстві» розділу 7.*)

URL: [https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper\\_num=1545](https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper_num=1545).

14. Tendencies and Challenges of Artificial Intelligence Development and Implementation / Kondratenko Y., Shevchenko A., Zhukov Y., Kondratenko G., Striuk O. *Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2023)*: proceedings of the 12th IEEE International Conference, Dortmund, 7–9 September, 2023. Dortmund, 2023. P. 221–226. DOI: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348800. (Scopus)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10348800>.

15. Analysis of the Priorities and Perspectives in Artificial Intelligence Implementation / Kondratenko Y., Shevchenko A., Zhukov Y., Kondratenko G., Striuk O. *Systems, Services and Technologies (DESSERT 2023)*: Proceedings of the 13th International Conference, Athens, 13–15 October, 2023. Athens, 2023. P. 1–8. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416432. (Scopus)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10416432>.

16. Kondratenko Y. P., Zhukov Y. D., Shevchenko A. I., Zhukova O. Y., Striuk O. S. AI and Digital Evolution in the Education System of Ukraine. *AI in Education Systems: Successful Cases and Perspectives*. River Publishers, 2026. P. 47–74. (Scopus)

URL: [https://www.riverpublishers.com/book\\_details.php?book\\_id=1054](https://www.riverpublishers.com/book_details.php?book_id=1054).

17. Shevchenko A. I., Lande D. V., Bilokobylsky O. V., Kondratenko Y. P., Kozlov O. V., Sidenko I. V., Striuk O. S. et al. Regarding the Draft Strategy Development of Artificial Intelligence in Ukraine. *Artificial Intelligence (Штучний інтелект)*, 2022. № 1. P. 8–157. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2022.01.008>. (ISSN 2710–1673) (Категорія Б)

(Особистий внесок: підготовлено матеріали щодо ключових напрямів досліджень ШІ у сфері безпеки та оборони, промисловості, енергетиці та сільському господарстві України.)

URL: [https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper\\_num=1492](https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper_num=1492).

**Структура та обсяг дисертації** визначається метою, завданнями та предметом дослідження і композиційно складається із вступу, п'ятих розділів, що містять у собі висновки, загального списку використаних джерел та додатків.

**Оцінка мови та стилю дисертації.** Текст дисертації викладено грамотною мовою, логічно та послідовно. Матеріали дослідження викладені з дотриманням вимог наукового стилю. Дисертація оформлена згідно з вимогами Міністерства освіти і науки України.

**Характеристика особистості здобувача.** Під час навчання в аспірантурі Стрюк Олександр Сергійович брав участь у виконанні науково-дослідних робіт, що проводились кафедрою інтелектуальних інформаційних систем, ним

була успішно виконана академічна частина програми навчання, не порушувались терміни виконання запланованих індивідуальним планом заходів, показав високий рівень теоретичної підготовки, здатність ставити й творчо підходити до вирішення складних практичних завдань, самостійно вести науковий пошук та проводити дослідження. Поряд із науковим потенціалом, Стрюк О. С. має виражені здібності до педагогічної роботи. Він брав активну участь у навчальному процесі факультету комп'ютерних наук. Здобувачем проведено цикли лекційних та практичних занять, а також розроблено навчально-методичне забезпечення для системи Moodle (із чіткими критеріями оцінювання) для дисципліни «Інтелектуальні технології в системах підтримки прийняття рішень». Завдяки професіоналізму користується заслуженою повагою серед студентів та науково-педагогічного колективу.

Особистими якостями **Стрюка Олександра Сергійовича** є високий рівень інтелекту, цілеспрямованість та наполегливість в оволодінні новими знаннями, порядність, висока організованість та відповідальне ставлення до роботи.

#### **УХВАЛИЛИ:**

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації **Стрюка Олександра Сергійовича** на тему **«Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень»**.

Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Стрюка Олександра Сергійовича повністю відповідає спеціальності 123 «комп'ютерна інженерія» та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (Із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 283 від 03.04.2019 р., № 502 від 19.05.2023 р., № 507 від 03.05.2024 р.). Також 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 № 44 від 12.01.2022 р. (Із змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 341 від 21.03.2022 р. № 502 від 19.05.2023 р. № 507 від 03.05.2024 р.).

2. Рекомендувати дисертаційну роботу **Стрюка Олександра Сергійовича** на тему «**Оптимізація генеративних змагальних нейронних мереж в умовах апаратно-параметричних обмежень**», подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

3. Пропонувати Вченій раді Чорноморського національного університету імені Петра Могили клопотати про призначення складу разової спеціалізованої вченої ради у такому складі:

**Голова:**

**Гожий Олександр Петрович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.

**Рецензент:**

**Журавська Ірина Миколаївна**, доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.

**Рецензент:**

**Трунов Олександр Миколайович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна.

**Офіційний опонент:**

**Бодяньський Євгеній Володимирович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, Україна.

**Офіційний опонент:**

**Опанасенко Володимир Миколайович**, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу мікропроцесорної техніки № 205 Інституту кібернетики Національної академії наук України, м. Київ, Україна.

Результати голосування присутніх на засіданні докторів наук та кандидатів наук:

всього: «ЗА» — 17, «ПРОТИ» — 0, «УТРИМАЛОСЯ» — 0.

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор



Козлов О. В.

кандидат технічних наук, доцент



Сіденко Є. В.

**Головуючий на засіданні:**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри інтелектуальних  
інформаційних систем



Сіденко Є. В.

**Секретар засідання:**

провідний фахівець кафедри  
інтелектуальних інформаційних систем



Щерук А. В.