

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації Літвінчук Юлії Анатоліївни на тему:
«Побудова самоадаптивних алгоритмів на основі нейронних
мереж» на здобуття ступення доктора філософії
за спеціальністю 113 – Прикладна
математика з галузі знань 11 –
Математика та статистика**

1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт Університету.

Методи еволюційних алгоритмів широко використовуються в сфері прикладної математики і вважають, що це майбутнє як комп'ютерного програмування загалом, так і штучного інтелекту. Еволюційні алгоритми сприяють ефективним інженерним рішенням, досліджуючи складні простори проектування. У математиці та багатьох суміжних областях еволюційні алгоритми застосовуються для кластеризації, мультимодальної оптимізації, а також задач розпаралелювання. У природничих науках дані алгоритми є корисними у таких задачах, як налаштування параметрів, підбір даних та оптимізація розв'язку. Еволюційні алгоритми сприяють науковим відкриттям, ефективно досліджуючи складні простори розв'язків та покращуючи моделі в таких галузях, як фізика, хімія, біологія, екологія, медицина, економіка, тощо.

При розгляді вищезгаданих проблем основну роль відіграє оптимізація, що дозволяє розв'язувати прикладні задачі, зокрема задачі штучного інтелекту, машинного навчання та налаштування гіперпараметрів нейронних мереж.

Основні класичні методи еволюційних алгоритмів були розроблені в 50-х роках, але їхній розвиток прискорився в 70-х роках. У цей період було реалізовано кілька основних типів еволюційних алгоритмів, включаючи генетичні алгоритми та еволюційні стратегії. Пізніше було розроблено ряд нових методів, таких як нейронні мережі.

Основну увагу у дослідженні еволюційних алгоритмів слід звернути на цикли робіт Nikolaus Hansen, Stephan Ostermeier, Andreas Auger, Konstantinos Varelas. Їхня робота сприяла тому, що методи еволюційних алгоритмів стали потужним інструментом для вирішення широкого спектру прикладних задач.

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Дослідження дисертаційної роботи було проведено під керівництвом доктора фізико-математичних наук, доцента Малика Ігоря Володимировича в рамках науково-дослідної теми кафедри «Математичне моделювання і числово-аналітичні методи дослідження динамічних та інформаційних процесів» (номер державної реєстрації 0102U006591).

Основна увага дисертаційної роботи присвячена побудові самоадаптивних алгоритмів за допомогою сумішей розподілів на основі розширеного алгоритму еволюційної стратегії з адаптацією коваріаційної матриці (СМА-ES) для оцінки параметрів складних систем. Даний алгоритм дозволяє знаходити швидше розв'язок оптимізаційної задачі $f(x) \rightarrow \text{extr}$, де функція $f: R^d \rightarrow R$, причому припускається що розглянута задача оптимізації є безумовною, тобто $x \in R^d$. А також у дослідженні було поставлено задачу розробки самоадаптивного алгоритму оптимізації розміру суміші для розширеного СМА-ES алгоритму. Розв'язання цієї задачі було здійснено на основі побудови самоадаптивного алгоритму на прикладі класичного СМА-ES.

Метою дисертаційного дослідження є побудова самоадаптивних алгоритмів та конструювання загального підходу для узагальнення класичних еволюційних алгоритмів. Додатковою метою дослідження є проведення порівняльного аналізу між класичними алгоритмами та запропонованого алгоритму на основі методу Монет Карло.

Методи дослідження. В основу дисертаційної роботи покладені методи еволюційних алгоритмів та методи інтелектуального аналізу даних, а саме: генетичні алгоритми; еволюційна стратегія, статистичні методи (обчислення

статистичних характеристик); теорія матриць (побудова стохастичних матриць та дослідження їх спектральних характеристик); методи кластерного аналізу; методи машинного навчання, метод Монте-Карло.

Об'єктом дослідження є оптимізаційна задача пошуку оптимальних параметрів на основі еволюційних алгоритмів, включаючи оптимізацію складних систем.

Предметом дослідження є оптимізація складних систем та визначення оптимальних гіперпараметрів нейронних мереж.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації

У дисертаційній роботі було поставлено завдання, що полягало в розробці та обґрунтуванні розширеного алгоритму еволюційної стратегії з адаптацією коваріаційної матриці для оцінки параметрів складних систем, самоадаптивного CMA-ES алгоритму, та їх застосування для конструювання оптимального керування в задачах синтезу оптимального керування для стохастичних диференціальних рівнянь із випадковими збуреннями.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна:

У дисертаційному дослідженні дисертанткою було розроблено та отримано такі нові і важливі результати:

- Проведено порівняльний аналіз метаевристичних та класичних еволюційних алгоритмів оптимізації оцінки параметрів складних систем.
- Запропоновано розширений алгоритм еволюційної стратегії з адаптацією коваріаційної матриці для оцінки параметрів складних систем, який використовує багатопікові моделі на основі суміші нормальних розподілів для оптимізаційної задачі $f(x) \rightarrow \text{extr}$, де функція $f: R^d \rightarrow R$.
- Розроблено самоадаптивний алгоритм оптимізації розмірності суміші для розширеного CMA-ES алгоритму, при якому мінімізується

кількість звернень до цільової функції і таким чином підтверджує ефективність запропонованого алгоритму.

- Перевірено складність розширеного СМА-ES алгоритму на основі методу Монте-Карло та проведено порівняння отриманих результатів із відповідними результатами для класичних еволюційних алгоритмів.
- Використано розширений СМА-ES алгоритм для конструювання оптимального керування в задачах синтезу оптимального керування для стохастичних диференціальних рівнянь із випадковими збуреннями.

На всіх етапах досліджень нових задач і розробки нових методів дисертантка брала активну участь. Нею здійснено ґрунтовний аналіз отриманих результатів та сформовано висновки до кожного розділу дисертації.

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

Достовірність наукових положень та висновків обґрунтовані тим, що побудовані розширений СМА-ES та самоадаптивний розширений СМА-ES алгоритми при перевірці на продуктивність, у порівнянні з класичними еволюційними алгоритмами, показали кращі результати; отримані розв'язки оптимізаційної задачі не суперечать загальноприйнятим міркуванням і принципам, а запропоновані дисертанткою алгоритми перевірені та добре корелюють із класичними методами визначення оптимального значення оптимізаційної задачі.

Дисертація складається із вступу, трьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків та переліку використаних джерел. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею, має теоретичне та прикладне значення. Усі висновки, рекомендації та положення, що характеризують наукову новизну дослідження, сформульовані особисто авторкою дисертації.

Публікації (одна стаття у виданні, що індексується у наукометричній

базі даних SCOPUS, три статті у наукових фахових виданнях України) у наукових журналах за темою дисертації висвітлюють проблематику та основні положення наукової роботи. Апробація основних наукових результатів відбулася у формі доповідей на 5 Всеукраїнських та Міжнародних науково-практичних конференціях.

5. Рівень теоретичної підготовки дисертантки та рівень її обізнаності з результатами наукових досліджень інших науковців.

Дисертантка продемонструвала високий рівень теоретичної підготовки та обізнаності з результатами наукових досліджень пов'язаних з тематикою дисертації. Це впливає з великої кількості літературних джерел, використаних для огляду наукових джерел, так і з доповіді матеріалів дисертації.

Особистий внесок дисертантки у розв'язанні конкретних наукових завдань також досить високий. Зокрема:

- дисертантка брала участь в обговоренні постановки задачі, визначенні мети роботи, виборі методів досліджень та у підготовці матеріалів до публікації у наукових журналах, представленні на наукових конференціях із доповіддю отриманих результатів;
- запропонувала нову ідею модифікації класичного CMA-ES алгоритму, який має ряд переваг над класичними еволюційними алгоритмами пошуку рішення оптимізаційної задачі;
- показала, що запропонований алгоритм швидше збігається до оптимального значення у порівнянні з іншими генетичними алгоритмами;
- встановила з використанням модуля *cta* для мови Python, що з ростом кількості піків для розширеного CMA-ES алгоритму кількість звернень до цільової функції спадає у порівнянні з класичними еволюційними алгоритмами;
- запропонувала новий покращений самоадаптивний алгоритм CMA-ES, з акцентом на параметр, що визначає розмірність суміші

- нормальних розподілів;
- використовуючи метод Монте-Карло, показала, що запропонований алгоритм пошуку оптимального значення цільової функції дає кращі результати для визначення у порівнянні з рядом класичних методів;
 - встановила, що розроблений розширений СМА-ES алгоритм знаходження оптимального розв'язку добре працює для конструювання оптимального керування в задачах синтезу оптимального керування для системи диференціальних рівнянь із випадковими збуреннями.

6. Наукове та практичне значення роботи.

Результати дисертаційної роботи є вагомим внеском у розвиток теорії еволюційних алгоритмів. Розроблені та апробовані запропоновані алгоритми, можуть використовуватися для подальших досліджень у цій галузі, адже на сьогодні немає універсального способу проведення оптимізації складних мереж, зокрема нейронних. Цю проблему вирішує дисертантка, яка показала, що розроблений новий алгоритм пошуку оптимального розв'язку дає кращі результати порівняно з існуючими класичними еволюційними алгоритмами.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблений авторкою самоадаптивний розширений СМА-ES алгоритм визначення оптимального значення оптимізаційної задачі можна надалі використовувати для подальшого вивчення складних мереж та налаштування гіперпараметрів нейронних мереж.

7. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий

внесок дисертантки в публікації.

Особистий внесок дисертантки в публікації такий, який вказаний у пункті 5 цього висновку.

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи UNICHECK показав на 1,97% схожості з

джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Основні положення і висновки дисертаційної роботи викладені у 4 наукових працях. Зокрема, одна з них індексована у наукометричній базі Scopus, 3 наукові праці – у виданнях, що включені до переліку наукових фахових видань України. Матеріали дисертації доповідалися і опубліковані у 5 тезах доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Результати дисертації повною мірою викладені в зазначених публікаціях.

Наукові праці у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus:

1. Lukashiv T., Litvinchuk Y., Malyk I., Golebiewska A., Nazarov P. Stabilization of Stochastic Dynamical Systems of a Random Structure with Markov Switches and Poisson Perturbations. Mathematics. 2023. Vol. 11. Iss. 3. P. 1-22. (Scopus).

Наукові праці у виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

2. Літвінчук Ю.А., Малик І.В. Розширений алгоритм стратегії еволюції адаптації коваріаційної матриці. Буковинський математичний журнал. 2022. 10 (2). С. 137–143.
3. Літвінчук Ю. А. Про одне узагальнення еволюційних алгоритмів. International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics". 2023. 68(6), с. 64–75.
4. Малик І.В., Літвінчук Ю.А. Про один підхід побудови самоадаптивних алгоритмів на основі сумішей розподілу. Буковинський математичний журнал. 2023. 11 (2). С. 183-189.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Малик І.В., Літвінчук Ю.А. Адаптивний метод навчання обмеженої машини Больцмана з алгоритмом генерації та знищення нейронів.

Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVIII Міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2020. Ч. IV. Харків. 2020. С. 174.

6. Малик І. В., Літвінчук Ю. А. Побудова еволюційної стратегії на основі сумішей. Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 70): матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції, 22-23 вересня 2022 р. Тернопіль, Україна, Переворськ, Польща. 7. Літвінчук Ю. А. Порівняльний аналіз оптимізації гіперпараметрів нейронних мереж. Прикладна математика та інформаційні технології. Міжнар. наук. конф. присвяченої 60-річчю кафедри прикладної математики та інформаційних технологій (м. Чернівці, 22-24 вересня 2022 р.): Чернівецький нац. ун-т, 2022. С. 181-183.

8. Малик І. В., Літвінчук Ю. А. Алгоритм CMA-ES для оптимізації гіперпараметрів нейронної мережі. Молодіжна наука заради миру та розвитку. Міжнар. наук.-практ. конф. присвячена Всесвітньому дню науки 9–11 листопада 2022 р. Чернівці, Україна. 2022. С. 647-649.

9. Малик І. В., Літвінчук Ю. А. Моделювання розширеного алгоритму CMA-ES на базі сумішей нормальних розподілів. Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 80). Матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції, 19 вересня 2023 р. Тернопіль, Україна, Переворськ, Польща.

8. Апробація результатів.

Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях:

1. XXVIII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD)», MicroCAD-2020, м. Харків, 28–30 жовтня 2020 року;

2. Міжнародна наукова інтернет-конференція, м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 22-23 вересня 2022 р.
3. Міжнародна наукова конференція «Прикладна математика та інформаційні технології», присвяченої 60-річчю кафедри прикладної математики та інформаційних технологій (22-24 вересня 2022 р., Чернівці);
4. Міжнародна науково-практична конференція «Молодіжна наука заради миру та розвитку», м. Чернівці, 9-11 листопада 2022 р;
5. Міжнародна наукова інтернет-конференція, м. Тернопіль, Україна – м. Переворськ, Польща, 19-20 вересня 2023 р.

9. Оцінка мови і стилю дисертації.

Мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до праць такого рівня.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» галузі знань 11 «Математика та статистика», спеціальності 113 «Прикладна математика».

11. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

12. Рекомендації дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Літвінчук Юлії Анатоліївни «Побудова самоадаптивних алгоритмів на основі нейронних мереж», подана на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 11 – Математика та статистика за

спеціальністю 113 – Прикладна математика, за її актуальністю, науково-технічним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблем, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 (із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №341 від 21.03.2022 р. та №502 від 19.05.2023); за результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на засіданні кафедри прикладної математики та інформаційних технологій факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича 12 січня 2024 року дисертацію Літвінчук Юлії Анатоліївни рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії.

Голова засідання,
Завідувач кафедри прикладної
математики та інформаційних технологій
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича,
доктор фізико-математичних наук, професор

Ярослав БІГУН

