

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Гаврилюка Єгора Андрійовича
«Моделі, методи та інформаційна технологія гібридної еволюційно-роївої оптимізації в задачах покриття у територіально-розподілених системах»,

яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

1. Оцінка роботи здобувача у процесі підготовки дисертації і виконання індивідуального плану навчальної та наукової роботи

Здобувач Гаврилюк Єгор Андрійович виконав у повному обсязі Індивідуальний план виконання освітньо-наукової програми підготовки доктора філософії. Освітня програма в обсязі 60 кредитів ECTS виконана у повному об'ємі. Здобувач успішно склав заліки та іспити з наступних дисциплін: Філософські засади та методологія наукових досліджень; Іноземна мова для аспірантів; Основи інноваційного менеджменту; Теорія обчислень і програмування; Сучасний числовий аналіз; Концептуальні моделі, архітектури та технології проектування проблемно-орієнтованих інформаційних систем; Методи та технології обробки інформації в нейронних мережах великого розміру; Сучасні методи та засоби моделювання складних комп'ютеризованих систем; Експертні системи на нечіткій логіці для аналізу даних.

У процесі навчання здобувач набув усіх компетентностей, теоретичних знань, вмінь і навичок, визначених Стандартом вищої освіти третього науково-освітнього рівня за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Усі заплановані види робіт були виконані своєчасно. Здобувач плідно співпрацював з науковим керівником протягом усього терміну навчання в аспірантурі.

2. Обґрунтування вибору теми дослідження

Сучасний розвиток територіально-розподілених систем, таких як бездротові сенсорні мережі, системи моніторингу, логістичні платформи, мережі безпілотних літальних апаратів та служби екстреного реагування, висуває підвищені вимоги до ефективності просторового покриття. Оптимальне розміщення обмеженої кількості об'єктів із зонами обслуговування довільної форми на складних за геометрією територіях з урахуванням заборонених зон та регіональної неоднорідності попиту є задачею, що за своєю природою є NP-складною, високорозмірною та

мультимодальною.

Незважаючи на значний прогрес у галузі геометричних алгоритмів, напівнескінченної оптимізації та сучасних формулювань задач змішаного цілочисельного програмування, ефективне розв'язання неперервних задач максимального геометричного покриття залишається відкритою науковою проблемою. Класичні точні методи стають непрактичними зі зростанням розмірності, а стандартні метаевристики, забезпечуючи глобальний пошук, не гарантують достатньої точності у локальних околах оптимуму. Це зумовлює актуальність розроблення гібридних підходів, які поєднують глобальний стохастичний пошук ройових алгоритмів із локальними градієнтними методами оптимізації.

Розроблювана інформаційна технологія гібридної еволюційно-ройової оптимізації спрямована на розв'язання широкого класу прикладних задач покриття, зокрема:

- оптимальне розміщення сенсорів у бездротових сенсорних мережах для забезпечення максимального покриття та зв'язності з урахуванням обмежених енергетичних ресурсів;
- планування зон обслуговування в логістичних системах та системах екстреного реагування, де покриття інтерпретується як досяжність клієнтів або постраждалих із обмеженнями за часом;
- оптимізація розміщення базових станцій телекомунікаційних мереж та інфраструктурних об'єктів у територіально-розподілених системах;
- планування траєкторій та зон патрулювання безпілотних літальних апаратів для моніторингу територій, зокрема для виявлення лісових пожеж та екологічного контролю;
- вибір оптимальних локацій для комерційних та сервісних об'єктів з урахуванням просторового розподілу попиту та конкурентного оточення.

Поєднання складної геометрії, багатовимірних просторів параметрів та високої обчислювальної вартості цільової функції природно веде до застосування метаевристичних підходів, насамперед ройових та еволюційних алгоритмів. Зокрема, алгоритми рою частинок (Particle swarm optimization, далі – PSO), пошуку зграї риб (Fish school search, далі – FSS), світлячків (Firefly algorithm, далі – FA) та штучної бджолоїної колонії (Artificial bee colony, далі – ABC) добре пристосовані до глобального пошуку в нерегулярних просторах. Водночас їхня точність у локальних околах оптимуму часто є недостатньою, що зумовлює потребу в гібридизації з градієнтними методами локальної оптимізації. Паралельно активно розвиваються нейромережеві технології, які можуть виступати сурогатними моделями для наближення цільової функції, а також інструментами автоматичного налаштування штрафних функцій у задачах з обмеженнями, забезпечуючи істотне прискорення обчислень.

Для практичної реалізації зазначених підходів необхідна спеціалізована інформаційна технологія, здатна інтегрувати геометричні обчислення, оптимізаційні модулі, нейромережеві компоненти та інтерфейси до джерел просторових даних. Використання формальних підходів до проектування архітектури, зокрема UML-орієнтованого (Unified Modeling Language, далі – UML) моделювання, дає змогу побудувати модульну, масштабовану систему, у якій легко поєднувати різні методи оцінювання покриття та алгоритми оптимізації.

Для практичної реалізації зазначених підходів необхідна спеціалізована інформаційна технологія, здатна інтегрувати геометричні обчислення, оптимізаційні модулі, нейромережеві компоненти та інтерфейси до джерел просторових даних. Використання формальних підходів до проектування архітектури, зокрема UML-орієнтованого (Unified Modeling Language, далі – UML) моделювання, дає змогу побудувати модульну, масштабовану систему, у якій легко поєднувати різні методи оцінювання покриття та алгоритми оптимізації.

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

Дослідження дисертаційної роботи пов'язане з проектом № 3-41-26 «Оптимізація адаптивного геометричного покриття на основі нечіткої логіки, генеративних змагальних мереж і варіаційних автокодерів» за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України, в рамках якого також були зроблені відповідні публікації здобувача.

4. Особистий внесок дисертанта в отриманні наукових результатів

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

– *вперше* запропоновано методологію розв'язання неперервних задач максимального геометричного покриття, яка базується на інтеграції еволюційно-ройових алгоритмів, меметичних принципів та нейросурогатних моделей і, на відміну від традиційних підходів, забезпечує узгоджене поєднання глобального стохастичного пошуку з локальною градієнтною оптимізацією при зменшенні обчислювальних витрат;

– *вперше* розроблено універсальну алгоритмічну схему гібридизації популяційних методів оптимізації, яка забезпечує узгоджене керування глобальним стохастичним пошуком і локальним покращенням у просторі неперервних параметрів та є інваріантною до вибору базового метаевристичного алгоритму, що підтверджено експериментально;

– *набула подальшого розвитку* інформаційна технологія гібридної еволюційно-ройової оптимізації за рахунок створення UML-орієнтованої архітектурної моделі, яка формалізує структуру, поведінку та життєвий цикл оптимізаційної системи і забезпечує її масштабованість, відтворюваність та інтеграцію в прикладні програмні платформи територіально-розподілених систем;

– набули подальшого розвитку підходи до нейросурогатного моделювання та адаптивного керування обмеженнями шляхом інтеграції сурогатних нейронних моделей і нейронно-керованих штрафних механізмів у контур гібридної оптимізації покриття, що дозволило знизити обчислювальні витрати та підвищити стабільність пошуку;

– удосконалено методи обчислення критерію покриття за рахунок використання багаторівневої адаптивної схеми оцінювання з керованим перемиканням між наближеними та точними геометричними обчисленнями, що забезпечує баланс між швидкістю та точністю на різних етапах оптимізаційного процесу.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечуються коректним застосуванням загальновизнаного математичного апарату, що включає методи обчислювальної геометрії та теорію конфігураційних просторів геометричних об'єктів, методи математичної оптимізації (неперервної нелінійної та квазіньютонівські методи локального пошуку), теорію метаевристичних та популяційних алгоритмів ройового інтелекту, теорію штучних нейронних мереж, методи Монте-Карло та математичної статистики, методи багатокритеріального прийняття рішень (АНР, TOPSIS), а також несуперечливістю з фундаментальними положеннями системного аналізу, теорії алгоритмів та принципами об'єктно-орієнтованого проектування на основі UML.

Достовірність результатів підтверджується систематичним обчислювальним експериментом на тестових задачах максимального покриття областей геометричними об'єктами довільної форми з урахуванням просторових обмежень і заборонених зон, а також порівняльним аналізом запропонованих гібридних меметичних схем (PSO+BFGS, FSS+BFGS, FA+BFGS, ABC+BFGS) з базовими ройовими алгоритмами та існуючими підходами. Основні результати опубліковані в індексованих наукових фахових виданнях та доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях. У цілому наукові результати, отримані в дисертації, є достовірними, науково обґрунтованими та доказовими.

6. Практичне значення одержаних результатів

Розроблена інформаційна технологія гібридної еволюційно-ройової оптимізації є інструментом для аналізу, проектування та оптимізації просторового

покриття в територіально-розподілених системах і може бути використана як основа для створення програмних систем підтримки прийняття рішень у задачах просторового планування.

Запропонована обчислювальна модель неперервної задачі максимального геометричного покриття та розроблена методологія гібридної оптимізації забезпечують можливість ефективного розв'язання задач великої розмірності зі складною геометрією області, наявністю обмежень і високою обчислювальною вартістю цільової функції. Їх використання дозволяє підвищити площу покриття на 12-25% порівняно з класичними метаевристичними підходами (з 65-77% до 89-90% за даними обчислювальних експериментів). При цьому оптимізація кількості ітерацій глобального пошуку у гібридному підході дозволяє скоротити час обчислень на 30-40% без втрати якості покриття. Застосування методу Монте-Карло з просторовою індексацією R-Tree як основного методу обчислення цільової функції в циклі оптимізації забезпечує похибку в межах 1-3% відносно точних обчислень бібліотекою Shapely при асимптотичній складності $O(N \log n)$ замість $O(nk \log(nk))$, що дозволяє ефективно масштабувати обчислення при зростанні кількості покриваючих об'єктів. Для задач із забороненими зонами гібридний підхід з нейронно-керованим адаптивним механізмом штрафних коефіцієнтів забезпечує площу покриття на рівні 85-88% при дотриманні всіх геометричних обмежень, а скорочення кількості ітерацій глобального пошуку з 500 до 200 зменшує час обчислень утричі (з 550 с до 150 с при $n = 80$) без втрати якості покриття.

Розроблена універсальна алгоритмічна схема гібридизації популяційних методів оптимізації може бути покладена в основу програмних реалізацій, адаптованих до різних класів метаевристик і прикладних задач, без необхідності суттєвої модифікації базових алгоритмів. Це забезпечує гнучкість, повторне використання компонентів та спрощує інтеграцію нових методів оптимізації.

Запропоновані нейросурогатні та нейронно-адаптивні механізми дозволяють зменшити обчислювальні витрати за рахунок апроксимації цільової функції та автоматизованого налаштування параметрів штрафних функцій, усуваючи необхідність ручного підбору параметрів для кожної конкретної задачі. Зокрема, нейронно-адаптивне керування штрафним коефіцієнтом та динамічне налаштування гіперпараметрів ройових алгоритмів на основі навчання з підкріпленням дозволяють автоматично формувати стратегію керування оптимізаційним процесом без потреби у попередньому зборі еталонних даних.

Розроблена UML-орієнтована архітектура інформаційної технології створює основу для побудови масштабованих, модульних і відтворюваних програмних систем, придатних до інтеграції з геоінформаційними сервісами, системами моніторингу та іншими прикладними платформами.

Практичне застосування отриманих результатів можливе у таких сферах: оптимізація розміщення сенсорів у бездротових сенсорних мережах; проектування телекомунікаційної інфраструктури та базових станцій; планування зон обслуговування в логістичних і сервісних системах; управління моніторингом територій із використанням безпілотних літальних апаратів; задачі просторового аналізу в геоінформаційних системах.

Результати роботи можуть бути використані також у навчальному процесі під час викладання дисциплін, пов'язаних із методами оптимізації, штучним інтелектом, інтелектуальними інформаційними системами та програмною інженерією, а також при розробленні курсових і кваліфікаційних робіт.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором

Основні положення дисертаційного дослідження висвітлено у 7 наукових працях, з яких 4 у наукових фахових виданнях України та 3 у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз.

Статті у наукових фахових виданнях України:

[1] Гаврилюк Є. А., Коробчинський К. П. UML-орієнтована інформаційна технологія для неперервних задач максимального покриття з об'єктами довільної форми. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». 2025. Вип. 67. С. 18–34. DOI: 10.26565/2304-6201-2025-67.

[2] Гаврилюк Є. А. Нейронно-керований гібридний метод для оптимального покриття території з обмеженням на розташування. Системи та технології. 2025. Т. 70, № 2. С. 112–118. DOI: 10.32782/2521-6643-2025-2-70.12.

[3] Гаврилюк Є. А. Гібридні ройові метаевристики для неперервних задач максимального покриття зі складними формами об'єктів. Проблеми керування та інформатики. 2026. № 1. С. 14–33. DOI: 10.34229/1028-0979-2026-1-2.

[4] Гаврилюк Є. А., Струков В. М., Узлов Д. Ю. Інтегрований фреймворк на основі методів штучного інтелекту для задач неперервного покриття з геометричними обмеженнями. Системні технології. 2026. Т. 1, № 162. С. 160–176. DOI: 10.34185/1562-9945-5-162-2026-18.

Публікації у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз:

[5] Uzlov D., Havryliuk Y., Hushchyn I., Strukov V., Yakovlev S. Handling outliers in swarm algorithms: a review. CEUR Workshop Proceedings. 2024. Vol. 3777. P. 430-437. Proceedings of the 4th International Workshop of IT-Professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2024), Cambridge, MA, USA, September 25–27, 2024). URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3777/short13.pdf> (Scopus).

[6] Pichugina O., Kirichenko L., Koliechkina L., Skob Yu., Havryliuk Ye. Exploring one linear permutation-based stochastic optimization problem with

applications. Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2025), Gliwice, Poland, 4-6 September 2025. DOI: 10.1109/IDAACS68557.2025.11322262 (Scopus).

[7] Yakovlev S., Havryliuk Y., Matsyi O., Hulianytskyi A., Kirpich A. A neural network-driven adaptive approach for maximum coverage location with restricted zones. CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol. 4164. P. 312-322. Proceedings of the 5th International Workshop of IT-Professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2025), Liverpool, UK, October 15–17, 2025). URL: <https://ceur-ws.org/Vol-4164/paper20.pdf> (Scopus).

8. Апробація матеріалів дисертації

Основні теоретичні положення, висновки і пропозиції, які містяться в дисертації, обговорювалися та були схвалені на засіданнях кафедри математичного моделювання та аналізу даних ННІ комп'ютерних наук Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Ключові положення дослідження оприлюднені у доповідях на науково-технічних конференціях всеукраїнського та міжнародного рівнів (2021–2025 роки), зокрема на:

- 4th International Workshop of IT-Professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2024), Cambridge, MA, USA, September 25–27, 2024;
- 13th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2025), Gliwice, Poland, 4-6 September 2025;
- 5th International Workshop of IT-Professionals on Artificial Intelligence (ProfIT AI 2025), Liverpool, UK, October 15–17, 2025).

9. Оцінка структури, мови та стилю дисертації

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності та доступно для сприйняття. Дисертація написана науковим стилем мовлення, структура дисертації відповідає алгоритму здійсненого автором дослідження. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Гаврилюка Єгора Андрійовича «Моделі, методи

та інформаційна технологія гібридної еволюційно-ройової оптимізації в задачах покриття у територіально-розподілених системах» та відповідає паспорту спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки». Здобувачем повністю виконано освітню та наукову складову третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

11. Дотримання академічної доброчесності

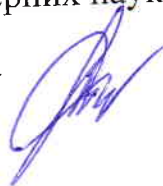
На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

12. Результати обговорення та проведення презентації. Рекомендація дисертації до захисту

Здобувач представив основні результати своєї дисертаційної роботи на розширеному засіданні кафедри комп'ютерних систем та робототехніки Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук та штучного інтелекту Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна щодо попередньої експертизи дисертації (Витяг з протоколу № 11 розширеного засідання кафедри математичного моделювання та аналізу даних від 29.04.2026 року) у формі презентації та наукової дискусії після її завершення.

У рамках цього розширеного засідання було ухвалено одногolosно рекомендувати роботу здобувача Гаврилюка Є.А. «Моделі, методи та інформаційна технологія гібридної еволюційно-ройової оптимізації в задачах покриття у територіально-розподілених системах» до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Головуючий на розширеному засіданні
кафедри математичного моделювання та
аналізу даних,
кандидат технічних наук,
доцент, завідувач кафедри математичного моделювання та аналізу даних
Навчально-наукового інституту комп'ютерних наук
та штучного інтелекту
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна



Володимир СТРУКОВ