

Прийнято до
спеціалізованої вченої
ради Рк Д 10603
25.08.2025
Голова с.б.р. д.т.н. проф.
А.І. Гуді

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Українського державного університету
науки і технологій
д.т.н., проф. Гуді А.І.

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук,
професора **Кіріченко Людмили Олегівни**
на дисертаційну роботу **Чигіра Роберта Романовича**
«Конструктивно-продукційне моделювання фракталів»,
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»
(галузь знань 12 – «Інформаційні технології»)

1.Актуальність теми дисертаційного дослідження

Фрактальні структури широко використовуються в різних галузях — від комп'ютерної графіки до аналізу фізико-механічних характеристик матеріалів. Проте класичні методи побудови неометричних фракталів, які ґрунтуються на системах геометричних перетворень, мають обмеження: прості моделі важко використовувати у складних та мультиструктурних композиціях. Це створює потребу у нових підходах, які б дозволяли гнучко комбінувати різні елементні бази та багаторазово використовувати вже розроблені фрагменти моделей. Саме цим зумовлена актуальність дисертації, у якій запропоновано конструктивно-продукційний підхід до моделювання фракталів із використанням проміжних мультисимвольних послідовностей. Актуальність такого підходу підтверджується сучасними дослідженнями й потребами комп'ютерної графіки та симуляцій природних явищ.

Дисертаційне дослідження органічно вписується в контекст сучасних напрямів розвитку інформаційних технологій в Україні.

2.Ступінь обґрунтованості та достовірності основних наукових положень, висновків і рекомендацій, новизна отриманих результатів

У дисертації сформульовано та вирішено низку наукових завдань. До результатів, що визначають її новизну, належать:

- **Класифікація конструкторів і таксономія.** Виконано класифікацію конструкторів та запропоновано таксономію, яка поділяє їх за

функціональним призначенням і можливостями комбінування. Це створює теоретичне підґрунтя для систематичного аналізу та подальшого розвитку конструктивно-продукційних систем.

- **Моделі фракталів з різною елементною базою.** Розроблено конструктивно-продукційні моделі фракталів із бієктивним відображенням для різної елементної бази носія. Формування моделей виконується з урахуванням предметної області конструктору та потребує складніших форм представлення об'єктів.
- **Модель мультиконструктора.** Для формалізації зв'язків управління та даних між сукупністю конструкторів, що розв'язують єдину задачу, запропоновано модель мультиконструктора та її візуалізацію.
- **Бієктивні відображення та програмні засоби.** Запропоновано спосіб встановлення бієктивного відображення конструкцій із різною елементною базою носія.

Усі наукові положення базуються на опрацюванні значного кола джерел, використанні сучасних математичних методів (формальні граматики, L-системи, методи статистичного аналізу, рекурсивні й стохастичні алгоритми) та підтверджуються результатами експериментів. Достовірність висновків забезпечується коректним застосуванням статистичних методів і представленням експериментальних даних.

3. Теоретичне значення дисертаційної роботи

Теоретичні результати роботи розширюють засоби моделювання складних фрактальних структур. Запропонована конструктивно-продукційна парадигма містить узагальнене поняття конструктора, таксономію конструкторів та модель мультиконструктора. Такі концепції дозволяють створювати ієрархії моделей, встановлювати зв'язки між різними підходами (L-системи, ітеративні функціональні системи, стохастичні методи), а також описувати фрактальні структури з різною елементною базою через єдиний математико-алгоритмічний апарат. Удосконалення методів формування та розробки конструкторів фрактальних об'єктів сприяє розвитку теорії фракталів. Результати можуть бути застосовані в подальших дослідженнях з комп'ютерної графіки, теорії складних систем, процесів генеративного мистецтва та побудови формальних мов.

4. Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій

Практичне значення роботи полягає в розробці інструментарію для автоматизованого конструювання та дослідження фрактальних структур.

Запропоновані програмні засоби «Конструктор» забезпечують повний цикл створення, модифікації та візуалізації конструкторів, що дозволяє інженерам і дослідникам:

- моделювати фрактали із різними елементними базами для задач комп'ютерної графіки, дизайну та симуляції природних явищ;
- виконувати експериментальні дослідження залежностей фрактальної розмірності від параметрів генерації;
- формувати та порівнювати мультисимвольні послідовності для аналізу самоподібності;
- адаптувати конструктори до предметної області та комбінувати їх для створення мультифракталів;
- використовувати бієктивні відображення для зіставлення різних фрактальних структур та аналізу їхніх властивостей.

Результати дисертації опубліковано в 19 наукових працях, у тому числі 3 публікаціях у фахових та рекомендованих МОН України виданнях, 5 матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються Scopus, та 7 тезах доповідей міжнародних і всеукраїнських конференцій. Це свідчить про практичну апробацію та визнання результатів серед наукової спільноти.

5. Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення

Дисертаційна робота має логічну структуру, складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, що повністю відповідає вимогам до дисертаційних робіт. Загальний обсяг становить 156 сторінок, з яких 113 сторінки основної частини; робота містить 72 рисунки, 10 таблиць, три додатки та список використаних джерел із 135 найменувань. Матеріал викладено доступною науковою мовою, з достатньою кількістю ілюстрацій та прикладів.

З технічної точки зору, робота написана чіткою, лаконічною мовою, що відповідає стандартам наукового стилю. Матеріал викладено послідовно та логічно, що дозволяє читачеві прослідкувати хід думок автора. Графічний матеріал доречний та інформативний, він суттєво полегшує сприйняття складного технічного матеріалу.

У вступі сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет дослідження та наведено дані щодо апробації та впровадження результатів. Кожний розділ завершується висновками, що підкреслює завершеність роботи. Оформлення відповідає вимогам стандартів: посилання на джерела коректні, список літератури охоплює вітчизняні та зарубіжні праці.

6. Зауваження до дисертаційної роботи

1. У дисертаційній роботі простежується недостатній рівень формалізації окремих ключових положень. Зокрема, низка базових понять вводяться у вигляді описових характеристик або через перелік властивостей, але не мають строгих математичних визначень, що призводить до термінологічної неоднорідності, а саме:

- Відсутнє формальне означення поняття «геометричний фрактальний об'єкт». Якщо для конструкторів автором використано формалізовані дефініції, то фрактали характеризуються переважно через їхні властивості. Введення математично коректного означення фрактального об'єкта сприяло б цілісності та узгодженості понятійного апарату.
- Відсутнє формальне означення фрактального часового ряду, таким чином часові ряди не відокремлені від геометричних об'єктів. Це має особливу вагу у випадку стохастичних фрактальних об'єктів і часових рядів, оскільки не наведено їхніх стохастичних характеристик та не розкрито вплив цих властивостей на побудову і функціонування конструкторів.
- Не подано визначення мультифрактала. З тексту випливає, що автор розглядає мультифрактал як об'єднання декількох фрактальних об'єктів, тоді як у класичній науковій літературі мультифрактал трактується як статистично неоднорідний фрактал. Чітке розмежування цих понять сприяло б уникненню термінологічних неточностей.
- Відсутнє означення поняття фрактальної розмірності, також не наведено алгоритму обчислення розмірності Міньковського. Представлення дефініції та відповідного алгоритму значно посилило б методологічний базис дослідження.

2. У роботі не подано опису чи алгоритмічного забезпечення побудови стохастичних фракталів. Доцільним було б представити хоча б один приклад формального алгоритму, який би демонстрував методику їхньої генерації.

3. Окремі підрозділи (зокрема, 4.5 «Застосування мультиконструкторів для конструювання мультифракталів») мають описовий характер і не містять поетапного алгоритмічного розгляду. Це знижує відтворюваність результатів. Доцільним було б подати покрокові описи з прикладами та ілюстраціями, що дозволило б чітко простежити методику побудови й аналізу.

4. У підрозділі 4.3 «Конструктивно-продукційні моделі фрактальних часових рядів», порівняння еталонного та модельного рядів блискавок здійснюється виключно візуально. З наукової точки зору більш коректним було б проведення кількісного порівняння їхніх фрактальних властивостей, серед яких ключовим числовим індикатором є фрактальна розмірність. Подібний підхід дозволив би забезпечити більш об'єктивне підтвердження висновків.

5. У контексті розгляду бієкції між графічним зображенням та часовим рядом, сформованим одним конструктором, перспективним виглядало б обчислення та порівняння фрактальних розмірностей відповідних структур. Такий підхід дозволив би зробити висновки про збереження чи трансформацію фрактальних властивостей у різних формах представлення фрактальних об'єктів.

6. Застосоване поняття варіативності фрактальної розмірності є недостатньо чітким в геометричному та статистичному сенсі. Оскільки відсутні алгоритми побудови стохастичних фракталів, неясно, як саме змінюється дисперсія довжини лінії. Для кращого розуміння цього питання доцільним було б навести додаткові пояснення і супроводити їх ілюстративним матеріалом.

7. Прикладні аспекти, зокрема пов'язані з моделюванням грозових фронтів, розробкою конструктора генетичного пошуку залишаються лише окресленими. Було б корисно винести їх в окремий підрозділ, доповнити розрахунками та порівняннями, що підкреслило б прикладну значущість отриманих результатів.

Зазначені зауваження, що стосуються насамперед рівня формалізації окремих понять і алгоритмів, не знижують загального рівня виконаної роботи та не ставлять під сумнів її наукову цінність.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки

Дисертаційна робота Чигіра Роберта Романовича є завершеним самостійним дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-прикладну задачу формального представлення, генерації та візуалізації фрактальних структур на основі конструктивно-продукційного підходу. Було обґрунтовано вибір об'єкта та предмета дослідження, чітко сформульовано мету й завдання, а також коректно застосовано сучасні методи математичного моделювання. Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів підтверджені апробацією на наукових

конференціях, публікаціями у фахових виданнях і впровадженням у вигляді програмних засобів.

Робота відповідає встановленим вимогам до дисертаційних досліджень, зокрема її зміст у цілому співпадає з галуззю знань 12 – «Інформаційні технології» та спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки». Вона відповідає вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 із змінами та доповненнями, внесеними постановою КМУ від 3 квітня 2019 року № 283.

Результати роботи узгоджуються з пунктами 6...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 року № 44 зі змінами.

Враховуючи актуальність теми, достатню обґрунтованість та достовірність отриманих результатів, їх теоретичну і практичну цінність, а також відповідність змісту дисертації спеціальності 122 – Комп'ютерні науки, вважаю, що дисертаційна робота Чигіра Роберта Романовича заслуговує позитивної оцінки, а її автор – присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки (галузь знань 12 – Інформаційні технології).

Професор кафедри
Штучного інтелекту
Харківського національного
університету радіоелектроніки,

д.т.н., професор



Людмила КІРІЧЕНКО

Підпис засвідчую

Д.т.н., проф., перший проректор ХНУРЕ



Андрій ЄРОХІН