

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Жолткевича Григорія Миколайовича на дисертаційну роботу Булаха Віталія Анатолійовича «Інформаційна технологія класифікації впорядкованих масивів даних із фрактальними властивостями методами машинного навчання», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 — інформаційні технології

**Актуальність теми дисертації.** Складною проблемою для геометричного моделювання завжди була певна «категоричність» моделей, що базуються на класичних для геометрії уявленнях про співвідношення між елементами геометричної сцени. Проте ідея Б. Мандельброта про використання для геометричного моделювання фрактальних об'єктів, що була сформульована у 1977 році стала певним проривом, який «пом'якшив» цю проблему. Ідеї просторів з дробовою розмірністю, яка була сформульована в топології виявилися адекватними для опису певної «нечіткості» при побудові геометричних моделей. Ідея фрактальності виявилася плідною також у застосуванні до випадкових процесів. Тут слід зазначити роботи вітчизняних математиків М.В. Працьовитого і А.Ф. Турбіна.

Однак, наявність розвинутої теорії ще не є гарантією використання відповідних концепцій на практиці. Одним із принципових питань тут постає проблема ідентифікації моделей, що базуються на відповідній теорії. Ця проблема включає задачу класифікації.

Саме цій проблематиці присвячене дисертаційне дослідження Булаха Віталія Анатолійовича «Інформаційна технологія класифікації впорядкованих масивів даних із фрактальними властивостями методами машинного навчання», актуальність якого у визначеному контексті не викликає сумнівів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі прикладної математики Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) відповідно до завдань прикладної НДР (ДР № 01190U001405) «Автоматизована оптична

інформаційно-вимірювальна система для полігонних випробувань керованих та некерованих ракет, артилерійських і реактивних снарядів», в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

**Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Обґрунтованість викладених у дисертаційній роботі положень підтверджується коректним використанням математичного апарату машинного навчання; методів математичної статистики (для статистичного аналізу упорядкованих масивів даних, аналізу точності класифікації методами машинного навчання); методів теорії хаосу та фрактального аналізу (для обчислення фрактальних та рекурентних характеристик досліджуваних об'єктів).

**Оцінка змісту дисертації та її завершеність.** Матеріал дисертації викладено у традиційному для таких робіт стилі, викладення є логічним і завершеним. Дисертація включає анотацію українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел з 134 найменувань та 2 додатків. Вона містить 20 таблиць, 27 рисунків і має загальний обсяг 127 сторінок.

Структура дисертації є вдалою та логічно скомпонованою, оформлення роботи відповідає діючим вимогам.

Зміст і результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.13.06 — інформаційні технології.

Матеріали дисертації достатньо повно викладено у 24 наукових працях, три з яких — у наукових фахових виданнях України, 1 — у електронному фаховому виданні України, 4 у міжнародних зарубіжних періодичних виданнях (1 стаття входить до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science), 3 статті у зарубіжних колективних монографіях (3 статті входять до міжнародної наукометричної бази Scopus); 8 праць міжнародних IEEE конференцій (входять

до міжнародної наукометричної бази Scopus) та 5 тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях.

Автореферат точно відповідає змістові дисертації, причому його зміст дає повне уявлення про наукову цінність і практичну значущість дослідження.

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, а саме: актуальність теми та аналіз пов'язаних з темою робіт, предмет, мету і задачі дослідження, об'єкт дослідження, наукову новизна та практичне значення отриманих результатів, а також наведений список публікацій за темою дисертаційної роботи.

У **першому розділі** подана детальна характеристика стану досліджень у предметній області дисертації, обґрунтовано мету та задачі дослідження, актуальність дослідження в цілому.

**Другий розділ** присвячений розвитку методів генерації фрактальних упорядкованих масивів даних (УМД), які використовуються у подальшому як навчаючі вибірки методів машинного навчання. Цей підхід обґрунтовується тим, що у практичних задачах досить часто виникає проблема недостатнього обсягу даних для навчання моделі машинного навчання, що створює перешкоду для використання ефективних методів розв'язання задачі. У таких ситуаціях виникає необхідність використання математичного моделювання, що дозволяє згенерувати необхідну кількість навчаючих прикладів із заданими властивостями, зокрема для удосконалення методів генерації УМД з заданими фрактальними властивостями, яка є важливою в контексті дисертаційного дослідження.

У **третьому розділі** представлено опис та результати числових експериментів щодо класифікації УМД в залежності від типу, характеристик, обраних як параметри класифікації УМД, з використанням різних методів машинного навчання.

**Четвертий розділ** представляє методологію та ІТ класифікацію фрактальних упорядкованих масивів даних. Даний детальний опис цільової інформаційної технології.

**Нові наукові результати дисертаційної роботи.** У дисертаційній роботі отримані наступні нові наукові результати.

Вперше:

- розроблено комплексний метод класифікації фрактальних упорядкованих масивів даних, який заснована на поєднанні методів дерев рішень та нейронних мереж, враховує самоподібні та мультифрактальні властивості упорядкованих даних, що дозволяє збільшити точність класифікації;
- запропоновано метод оцінювання показника Херста за значеннями часового ряду, який засновано на застосуванні класифікаційних методів машинного навчання, що дозволяє суттєво зменшити довірчий інтервал оцінки;
- застосовані рекурентні характеристики часових рядів, як ознаки для класифікації часових рядів на основі їхніх фрактальних властивостей методами машинного навчання, дозволили збільшити точність класифікації.

Подальший розвиток отримали:

- метод генерації фрактальних реалізацій на основі стохастичного мультиплікативного біноміального каскаду, який на відміну від існуючих використовує аналітичне визначення параметрів несиметричного бета-розподілу, що дозволяє генерувати упорядковані масиви даних із заданими мультифрактальними властивостями;
- методи бінарної класифікації часових рядів з фрактальними властивостями, що засновані на використанні дерев прийняття рішень та нейронних мереж, які на відміну від існуючих використовують як ознаки фрактальні та рекурентні характеристики, що дозволяє збільшити точність класифікації.

Зазначені результати лягли в основу інформаційної технології класифікації впорядкованих масивів даних із фрактальними властивостями методами машинного навчання.

**Практична цінність отриманих результатів.** полягає у тому, що в результаті виконаного дисертаційного дослідження створено комплекс методів,

алгоритмів і програм, які дозволяють вирішити завдання класифікації фрактальних упорядкованих масивів даних. Усі теоретичні розробки дисертації доведені автором до конкретних методів і покладені в основу функціонування інформаційної технології класифікації впорядкованих масивів даних із фрактальними властивостями методами машинного навчання.

Запропонований метод оцінювання показника Херста, який програмно реалізований, дозволяє покращити точність його оцінювання за упорядкованими даними, а саме: зменшує довірчий інтервал оцінки в декілька разів.

Практична цінність отриманих результатів підтверджується впровадженнями на підприємстві ПрАт «Фарлеп-Інвест» (м. Харків) для зменшення негативного впливу кібер-атак на інформаційні системи підприємства, на підприємстві КБ «ПриватБанк» (м. Харків) для виявлення вторгнень в інформаційні системи підприємства, а також використанням у освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки при викладанні дисципліни «Artificial Intelligence (Штучний інтелект)».

### **Зауваження щодо дисертаційної роботи.**

1. Доречно було б відзначити внесок вітчизняних учених (зокрема М.В. Працьовитого і А.Ф. Турбіна) у розвиток фрактальної теорії випадкових процесів або, хоча б проаналізувати роботи відділу динамічних систем та фрактального аналізу Інституту математики НАН України.
2. При формулюванні першого пункту наукової новизни слід розрізняти комплексний метод класифікації фрактальних упорядкованих масивів даних, що запропонований у дисертаційній роботі, і інформаційну технологію, яка реалізована на основі цього методу, зважаючи на те, що технологія є практичною реалізацією методу, а наукову цінність має саме метод.

3. В першому розділі автор вводить поняття упорядкованих масивів даних, але для них не наведено формального узагальнення самоподібних та мультифрактальних властивостей та характеристик.

4. У другому розділі представлені методи та алгоритми генерації упорядкованих масивів даних з фрактальними властивостями. Слід було б надати більше прикладів фізичних, технічних, інформаційних систем, яким притаманні відповідні фрактальні властивості. Також в роботі не наведено рекомендації щодо використання запропонованих методів генерування упорядкованих фрактальних даних.

5. У третьому розділі подано опис та результати чисельних експериментів класифікації, в тому числі запропоновано розбиття на класи за значеннями показника Херста. Однак не наведено обґрунтувань, чому було обрано саме такі діапазони значень показника і кроки розбиття. На мій погляд було б доцільно навести, як обґрунтування, приклади класифікації реальних даних з відповідними діапазонами фрактальних характеристик.

6. У третьому розділі проведено порівняння точності визначення показника Херста за допомогою методів машинного навчання з оцінюванням показника Херста методом мультифрактального детрендованого флуктуаційного аналізу. Слід було б застосувати для порівняння оцінки показника Херста, які були отримані різними методами у відповідних дослідницьких роботах інших авторів.

7. У четвертому розділі запропоновано інформаційну технологію класифікації упорядкованих фрактальних даних. Основна увага приділена опису блоку «Обробка інформації». На мій погляд, в недостатній мірі розкрито функціонування інших основних компонент розробленої інформаційної технології.

8. Робота також містить стилістично невдалі вирази, вузько професійний жаргон та друкарські помилки.


Однак ці зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

**Загальний висновок.** Дисертаційна робота Булаха Віталія Анатолійовича «Інформаційна технологія класифікації впорядкованих масивів даних із фрактальними властивостями методами машинного навчання» є завершеною науковою роботою, в якій вирішується актуальна науково-технічна задача підвищення точності класифікації упорядкованих масивів даних із фрактальними властивостями шляхом створення інформаційної технології класифікації методами машинного навчання.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 — інформаційні технології та всім вимогам до кандидатських дисертацій згідно з пп. 9, 11, 12, 13 Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого Постановою Кабінету міністрів України 24.07.2013 року № 567, а її автор Булах Віталій Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 — інформаційні технології.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
декан факультету математики і  
інформатики Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна



Григорій ЖОЛТКЕВИЧ  
“ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

Підпис професора Жолткевича Григорія Миколайовича засвідчую.

Начальник служби управління персоналом  
Харківського національного університету  
імені В.Н. Каразіна, доктор педагогічних наук,  
професор



Сергій КУЛІШ  
“ ” \_\_\_\_\_ 2021 року