

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради  
в Національному університеті  
«Одеська політехніка»  
доктору технічних наук, професору  
ПАВЛЕНКУ В. Д.

## РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, директора навчально-наукового інституту штучного інтелекту та робототехніки Національного університету «Одеська політехніка», кандидата технічних наук, доцента ЛОБАЧЕВА Михайла Вікторовича на дисертацію КРИКУНА Валентина Андрійовича за темою: «Метод та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів», яку подано до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного університету «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеню доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

### 1. АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Задачі математичного та комп'ютерного моделювання сучасних складних процесів і систем потребують розробки нових ефективних методів ідентифікації – побудови адекватних математичних моделей досліджуваних об'єктів. Поширеним підходом для вирішення цієї задачі є використання технологій машинного навчання і штучного інтелекту.

Моделі машинного навчання, особливо нейронні мережі (НМ), часто сприймаються як «чорні скриньки». Їхні передбачення можуть бути точними, але незрозумілими для людини. Інтерпретація моделей для таких систем допомагає зрозуміти які чинники впливають на їхню поведінку та стає ключовим завданням для забезпечення їх прозорості та довіри.

Так, актуальною науково-технічною задачею математичного моделювання є подальший розвиток методів та відповідних інструментальних алгоритмічних та програмних засобів інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів. Саме цій актуальній темі присвячено дисертаційну роботу КРИКУНА В. А.

### 2. СТУПІНЬ ОБГРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ, СФОРМУЛЬОВАНИХ У ДИСЕРТАЦІЇ

В дисертації автором проаналізовано розвиток методів ідентифікації нелінійних інерційних об'єктів, виходячи з чого визначені досягнення науки в даній області, вказані відомі розробки та їх недоліки, які спонукають до проведення подальших наукових досліджень. Здобувачем сформульовано

невирішені питання, які призводять до існування протиріччя між сталим ускладненням моделей машинного навчання при ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів, з одного боку, та зростанням труднощів інтерпретації цих моделей людиною — з іншого боку.

З метою усунення окресленого автором протиріччя здійснено коректну постановку наукової задачі, для розв'язання якої встановлена послідовність наукових задач. Ці задачі створюють логічно обґрунтовану послідовність, що відтворює системне бачення поставленої наукової задачі.

Для цього автором виділені основні етапи постановки та розв'язання конфліктних задач, а саме:

- Дослідити непараметричні динамічні моделі на основі інтегро-степеневих поліномів Вольтерри в якості сурогатних моделей для інтерпретації НМ.

- Встановити зв'язок між НМ та інтегро-степеневими поліномами Вольтерри.

- Розвинути метод інтерпретації НМ шляхом побудови сурогатних моделей у вигляді інтегро-степеневих поліномів Вольтерри для опису нелінійних динамічних об'єктів.

- Розробити інформаційну технологію інтерпретації та інструментальні засоби комп'ютерного моделювання для побудови НМ моделей нелінійних динамічних об'єктів та їх інтерпретаційних моделей.

Для розв'язання встановлених задач автором, в рамках сучасних наукових підходів, обрано та коректно використано адекватні методи у вигляді інтегро-степеневих поліномів Вольтерри, встановлено їхню придатність для розв'язування задач інтерпретації, межі застосування та застосовано комп'ютерний експеримент для підтвердження висунутих наукових положень. У дисертації зроблено обґрунтовані і правильні висновки за результатами досліджень, проведених в рамках встановлених наукових задач. Висновки містять обґрунтовані вказівки на умови задач, вибір методів їх рішення та способи застосування методів. Отже, комплексне застосування низки розроблених наукових методів дозволило забезпечити можливість розв'язання поставленої наукової задачі і розробити теоретичні основи створення високоефективного методу та інструментальних засобів інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів. Таким чином, головні наукові положення і висновки, які висунув КРИКУН В. А. у дисертації, є достатньо обґрунтованими.

### 3. НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку та поглибленні теорії і методології побудови сурогатних моделей машинного навчання та їх застосуванню в задачах ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів. В дисертації автором отримано нові, науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують важливу науково-технічну задачу інтерпретації НМ моделей неперервних нелінійних динамічних систем на основі моделей Вольтерри, призначених для використання в інформаційних системах

ідентифікації, що дають змогу підвищити точність таких систем.

Здобувачем в дисертаційній роботі використано положення теорій машинного навчання, теорії непараметричної ідентифікації на основі рядів Вольтерри. Експериментальні дослідження базуються на методах організації комп'ютерних засобів моделювання та обчислювального експерименту для чисельного розв'язування тестових задач та підтвердження одержаних теоретичних результатів; методах програмної інженерії для розробки інструментального забезпечення.

Автор у своїй роботі пропонує сурогатні математичні моделі у вигляді непараметричних динамічних моделей на основі інтегро-степеневих поліномів Вольтерри для інтерпретації НМ з часовими затримками. На основі запропонованих моделей розроблено метод інтерпретації моделей машинного навчання у вигляді НМ з часовими затримками шляхом побудови сурогатної моделі на основі непараметричних динамічних моделей у вигляді інтегро-степеневих поліномів Вольтерри. Це дозволяє підвищити точність сурогатних моделей при ідентифікації нелінійних динамічних об'єктів.

Здобувачем також удосконалено багатofакторну математичну модель оцінки якості програмного забезпечення інтерпретації моделей машинного навчання, яка враховує метрики функціональності та складності і дозволяє кількісно виразити здатність до інтерпретації для формального порівняння сурогатних моделей.

Треба відмітити, що дисертант у своїй роботі узагальнює математичні моделі інтерпретації НМ, що дозволило поставити та розв'язати задачу пошуку методів реалізації сурогатних моделей нелінійних динамічних систем з неперервними характеристиками. Таким чином, результати роботи дозволяють розширити клас аналітичних сурогатних моделей для інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів з неперервними характеристиками.

#### 4. ПОВНОТА ВИКЛАДУ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації, викладено в 12 наукових публікаціях, в тому числі 2 статті опубліковано без співавторів, 4 статті опубліковано в наукових фахових виданнях України (категорія «Б»), а також у 7-ми працях Міжнародних наукових конференцій. Матеріали 2-х Міжнародних наукових конференцій проіндексовано у наукометричній базі Scopus.

Публікації обґрунтовано віддзеркалюють зміст отриманих автором нових наукових результатів. Обсяг та повнота публікацій відповідає існуючим вимогам щодо дисертацій доктора філософії в галузі технічних наук.

Аналіз публікацій та особистого внеску в них здобувача показує, що всі наукові положення та висновки, що містяться в дисертаційній роботі та виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно в період з 2022 р. по 2024р. і узагальнено при оформленні дисертації.

## 5. ЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ДЛЯ НАУКИ ТА ПРАКТИКИ

Найбільш істотне значення для науки і практики полягає у подальшому розвитку методу інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів та розробці програмно-алгоритмічних засобів програмно-алгоритмічних засобів ідентифікації неперервних об'єктів у складі інтелектуальних систем. Це дозволяє розширити клас важливих для практики задач інтерпретації нелінійних динамічних об'єктів, а також, розв'язування прикладних задач моделювання останніх.

Дисертація містить наукові положення, які можна оцінити як значущі внаслідок того, що результати дослідження визначають принципи застосування теоретичних положень на практиці та створюють нові перспективи для прикладних досліджень у галузі моделювання складних нелінійних динамічних об'єктів за допомогою нейронних мереж.

Крім цього, робота має потенціал для подальшого розвитку в галузі аналізу та синтезу інтелектуальних інформаційних систем на основі НМ. Дослідження також підкреслює важливість урахування нелінійних ефектів під час моделювання складних систем. Результати можуть бути застосовані в різних галузях, включно з фізикою, економікою та біологією.

Практичне впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується актом ТОВ «Дискрет» (м. Одеса), що прийняв до впровадження нові математичні моделі процесів тензометричного зважування транспортних засобів у русі та їх інтерпретації.

## 6. ВІДСУТНІСТЬ (НАЯВНІСТЬ) ПОРУШЕННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Дисертаційну роботу КРИКУНА В. А. перевірено на плагіат програмними засобами StrikePlagiarism. Виявлені співпадіння в тексті роботи відносяться до власних публікацій автора, загальноживаної термінології, посилань на бібліографічні джерела.

Під час знайомства з дисертацією та аналізом наукових публікацій дисертанта не виявлено ознак порушення академічної доброчесності, а саме плагіату та фальсифікації результатів дослідження. Таким чином, дисертаційна робота КРИКУНА В. А. визначається самостійною оригінальною працею, що не містить порушень академічної доброчесності та може бути допущеною до захисту.

## 7. ДИСКУСІЙНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота виконана грамотною технічною мовою, лаконічним і логічним твердженням, містить достатню кількість прикладів, що сприяє кращому розумінню матеріалу, акуратно оформлена.

Проте вважаю за необхідне вказати на окремі недоліки роботи.

1. У розділі 1 розглянуто обмежену кількість багатofакторних критеріїв

якості моделей, яку слід було би розширити, додавши поширені: сфокусований інформаційний критерій, інформаційний критерій Ханнана-Куінна тощо.

2. Автор не пояснює, як обиралися тестові послідовності вхідних сигналів для експериментальних досліджень в 2 та 3 розділах.

3. У параграфі 4.3 наведено таблиці 4.4 – 4.6, що містять порівняльний огляд технологій розробки та розгортання інструментальних програмних засобів, які було б доцільно винести у додатки.

4. В роботі розглядаються тестові об'єкти з безпервною слабкою нелінійністю та нелінійністю у вигляді зламів (посилувач з насиченням). У висновках та рекомендаціях не наведено інформації, чи можна узагальнити отримані результати на об'єкти з нелінійністю у вигляді розривів, мертвих зон, неоднозначностей (гістерезису)? Адже всі вони мають місце при експлуатації реальних систем.

5. Наведені в параграфі 4.4 дисертації лістинги малоінформативні.

Однак, ці зауваження не зменшують наукового рівня дисертації. Представлена робота характеризується єдністю змісту і засвідчує особистий внесок дисертанта до наукових знань у галузі інженерії програмного забезпечення.

## 8. ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ РОБОТИ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ

Дисертаційна робота КРИКУНА В. А. за темою: «Метод та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів» є цілісним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що вирішує важливу науково-прикладну задачу, має теоретичну і практичну цінність у галузі інформаційних технологій. На підставі вищезазначеного, можна констатувати, що дисертаційна робота КРИКУНА В. А. 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 від 12 січня 2022 року №44, із змінами, а її автор – КРИКУН Валентин Андрійович – заслуговує на присудження наукового ступеню доктора філософії у галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний рецензент:

директор навчально-наукового інституту

штучного інтелекту та робототехніки

Національного університету

«Одеська політехніка»,

кандидат технічних наук, доцент

Михайло ЛОБАЧЕВ