

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

## РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, завідувачки кафедри інформаційних систем Навчально-наукового Інституту комп'ютерних систем Національного університету «Одеська політехніка», доктора технічних наук, професора АРСІРІЙ Олени Олександрівни на дисертацію КРИКУНА Валентина Андрійовича за темою: *«Метод та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів»* подану 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

Дисертаційну роботу КРИКУНА Валентина Андрійовича присвячено актуальній проблемі, а саме: дослідженню критично важливих (зокрема, в медицині, транспорті, фінансах тощо) процесів інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів. Нелінійні динамічні об'єкти широко поширені в природі й техніці та характеризуються складною, непередбачуваною поведінкою, що вимагає застосування передових методів моделювання та аналізу.

Сучасні досягнення в галузі машинного навчання і штучного інтелекту надають потужні інструменти для аналізу та передбачення поведінки означених об'єктів. Однак ці моделі часто є чорними скриньками, що ускладнює їхню інтерпретацію та ухвалення рішень на основі їхніх висновків. Здатність пояснити, як модель дійшла до певних висновків, є ключовим аспектом для довіри користувачів і прийняття обґрунтованих рішень. Таким чином, сформувався зростаючий тренд до регулювання застосування технологій машинного навчання, з акцентом на прозорість і пояснюваність рішень, що приймаються цими моделями.

Промислові додатки часто вимагають точного розуміння і контролю над поведінкою систем. Інтерпретовані моделі дають змогу інженерам краще інтегрувати рішення машинного навчання в наявні системи управління та діагностики, покращуючи їхню надійність та ефективність.

Таким чином, тема дисертації, присвячена розробці методів і програмних засобів для інтерпретації моделей машинного навчання

нелінійних динамічних об'єктів, є надзвичайно актуальною. Вона відповідає поточним науковим і практичним викликам, сприяючи підвищенню прозорості, надійності та ефективності застосування передових технологій машинного навчання в різних галузях.

Дисертантом, в ході аналізу, було зазначено, що брак розвинутої теоретичної бази та вичерпних практичних досліджень в напрямі інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів спонукає залучення нових моделей, методів та сучасних інструментальних засобів. Цій актуальній темі присвячено дисертаційну роботу КРИКУНА Валентина Андрійовича

Зміст дисертаційної роботи, її основні задачі, відповідають пп. 1.2.1.1, 1.2.1.2, 1.2.1.4 і 1.2.4.6 «Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2019–2023 роки» (постанова Президії НАН України від 30.01.2019 р. № 30).

Дисертаційна робота виконувалась у межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів», №ДР 0122U002161 (Національного університету «Одеська політехніка», 2021 — 2025 р.р.).

Таким чином, можна констатувати, що дисертаційна робота КРИКУНА Валентина Андрійовича є, безперечно, *актуальною*, яка має важливе науково-практичне значення.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Аналіз змісту дисертаційної роботи і наукових публікацій КРИКУНА Валентина Андрійовича дають змогу зробити висновок про те, що основні наукові положення, висновки і рекомендації, які сформульовано в дисертаційній роботі, відповідають темі досліджень, їх достовірність забезпечено коректністю визначення об'єкту та предмету дослідження, які узгоджено з метою і задачами наукового дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну, теоретичне і практичне значення одержаних результатів, визначено ступінь їх апробації та особистий внесок дисертанта. Кожен наступний розділ чи підрозділ органічно пов'язано з попереднім і гармонійно доповнює його.

Для дисертації характерна системність та ясність викладення матеріалу, чітка аргументація. Складність розв'язування задач щодо інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів зумовлено відсутністю апріорної інформації про об'єкт дослідження, його властивості та структуру, складною та непередбачуваною поведінкою, що вимагає застосування передових методів моделювання та аналізу. Тому, автором

послідовно та детально вирішено задачі побудови математичних моделей інтерпретації динамічних нейронних мереж, розробки методу інтерпретації моделей машинного навчання, створення засобів комп'ютерного моделювання для чисельного розв'язування прикладних задач.

Наукові положення, висновки та рекомендації, що виносяться до захисту, і які сформульовано в дисертації, відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України до подібних досліджень, що підтверджує їх коректність та аргументованість. Достовірність результатів не викликає сумнівів, оскільки вони мають строгі математичні доведення та експериментальне підтвердження. Ступінь обґрунтованості сформульованих автором наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються системним аналізом літературних джерел з досліджуваної теми, а також, не останньою чергою, забезпечено завдяки вдалому застосуванню комплексу загальнонаукових і спеціальних методів дослідження.

Висновки по дисертаційній роботі підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень. Вони цілком обґрунтовані, коректні та логічно випливають з викладеного матеріалу.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Ознайомлення з текстом дисертації дозволяє констатувати актуальність розроблення автором досліджуваної проблематики в цілому, виокремлення найбільш важливих задач у межах предмету проведеного дослідження, а також, обґрунтованість наявних наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у роботі.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація КРИКУНА Валентина Андрійовича є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, що присвячена розв'язанню актуальних науково-практичних задач зі створення моделей та методів інтерпретації нелінійної динаміки нейронних мереж, а також у розробці інструментальних програмно-алгоритмічних засобів моделювання, які забезпечують конструктивний розв'язок задач в практиці досліджень та інженерних розрахунків для широкого кола нелінійних динамічних об'єктів з неперервними характеристиками.

У дисертаційній роботі сформульовано і обґрунтовано низку теоретичних положень, пропозицій та висновків, які містять ознаки наукової новизни, а саме:

– запропоновано сурогатну модель у вигляді інтегро-степеневих поліномів Вольтерри для інтерпретації нейронних мереж з часовими затримками, яка, на відміну від відомих моделей, дозволяє підвищити точність ідентифікації, завдяки урахуванню нелінійних та динамічних властивостей;

– встановлено аналітичний зв'язок між нейронною мережею та інтегро-степеневим поліномом Вольтерри, що дозволяє підвищити точність

ідентифікації ядер Вольтерри; на основі встановленого аналітичного зв'язку розроблено метод інтерпретації моделей машинного навчання у вигляді нейронних мереж з часовими затримками, шляхом побудови сурогатної моделі на основі інтегро-степеневих поліномів Вольтерри, що дозволяє підвищити точність ідентифікації сурогатних моделей;

– удосконалено математичну модель оцінки якості програмного забезпечення інтерпретації моделей машинного навчання, яка відрізняється від існуючих одночасним врахуванням метрик функціональності та складності, що дозволяє кількісно виразити здатність до інтерпретації моделей, збудованих різними методами.

Таким чином, наукові положення представлені в дисертаційній роботі здобувача дозволяють розширити клас важливих для теорії та практики задач інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів.

#### **4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 12 публікаціях, з них: у 4-х статтях, які опубліковано у виданнях, включених до Переліку фахових видань України; у 7-ми працях та матеріалах Міжнародних наукових конференцій (матеріали 2-х з яких проіндексовано у наукометричній базі Scopus).

Основні напрямки дисертаційної роботи повністю викладено в опублікованих працях, а саме: сурогатні моделі на основі інтегро-степеневих поліномів Вольтерри для інтерпретації нейронних мереж з часовими затримками; методу оцінки ядер Вольтерри за допомогою нейронних мереж з часовими затримками; метод інтерпретації моделей машинного навчання у вигляді нейронних мереж з часовими затримками на основі інтегро-степеневих поліномів Вольтерри; багатофакторна математична модель оцінки якості програмного забезпечення.

Участь у наукових семінарах та конференціях додатково свідчить про ознайомлення наукової спільноти з результатами дисертаційного дослідження. Кількість опублікованих праць відповідає вимогам, що встановлені МОН України щодо дисертацій на здобуття ступеню доктора філософії.

#### **5. Значення роботи для науки та практики**

Наукові досягнення, які здобуто в дисертаційній роботі, підкреслено, зокрема, в емпіричній базі дисертаційної роботи, а саме: висновками, які отримано в результаті серії експериментальних досліджень ефективності запропонованих моделей та методів інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у застосуванні комплексу інструментальних програмно-алгоритмічних засобів, що забезпечує підвищення точності моделювання на 10% – 12% за рахунок врахування як

нелінійних так і динамічних складових об'єкту дослідження. Обґрунтованість результатів дисертаційної роботи засвідчується актами впровадження у практику на діючому виробництві.

Додатковим свідченням значущості результатів роботи є використання деяких теоретичних положень та програмно-апаратних засобів моделювання у навчальному процесі Національного університету «Одеська політехніка» при викладанні дисциплін «Інтелектуальні системи» та «Математичне моделювання нелінійних динамічних процесів» на кафедрі комп'ютеризованих систем та програмних технологій.

Таким чином, практична цінність дисертаційної роботи здобувача полягає в тому, що запропоновані математичні моделі та методи їх обчислювальної реалізації дозволяють розширити клас важливих для науки та практики задач інтерпретації моделей машинного навчання нелінійних динамічних об'єктів, а також створити інструментальні програмно-алгоритмічні засоби розв'язування прикладних задач моделювання зокрема, ідентифікації нелінійної динамічної моделі об'єкта за даними експерименту «вхід–вихід» за допомогою нейронної мережі та побудови сурогатної моделі у вигляді непараметричних динамічних моделей.

## **6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

В результаті вивчення дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності не виявлено. Всі запозичення, які є в роботі, мають посилання на відповідні джерела, інші – є загальноновживаними і не є плагіатом.

Публікації здобувачем результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із важливих підтверджень відсутності порушень академічної доброчесності.

## **7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації**

Дисертаційну роботу написано на високому науковому рівні, робота містить значну кількість прикладів, що сприяє кращому розумінню матеріалу.

*Проте є окремі зауваження:*

1. Із наведеної інформації в першому розділі залишається не зрозумілим, як здійснено перехід від безперервної моделі Вольтерри вираз (1.7) до дискретної, вираз (1.8). Тобто використовується дискретизація за часом, квантування за амплітудою тощо. Це є суттєвим далі по тексту дисертації

2. Метод інтерпретації моделей машинного навчання, який розвивається третьому розділі роботи, базується на використанні стимулів у вигляді ступінчастих впливів. При цьому автор не надає рекомендацій щодо вибору амплітуд стимулюючих сигналів для уникнення розходження системи, що моделюється.

3. На першому кроці алгоритму інтерпретації моделей машинного

навчання нелінійних динамічних об'єктів (параграф 3.1) встановлюється розмір пам'яті моделі  $M$ . Але не наведено способу вибору цього параметру, хоча в цілому це питання є дуже важливим і безпосередньо впливає на точність моделювання.

4. В розділі 4 не приділено достатньої уваги опису алгоритмів, що забезпечують високу обчислювальну потужність створених програмних засобів. Відсутній кількісний опис залежності обчислювальної потужності (оперативності) моделювання від обсягу первинної ідентифікаційної інформації.

5. З наведених експериментів в тому ж розділі залишається не зрозумілим, чи виконується попередня обробка вихідних сигналів, про яку ідеться в розробленому методі інтерпретації. Відсутні рекомендації, як треба поводитися з артефактами, які можуть виникнути в процесі вимірювання та передачі даних.

6. Четвертий розділ перенавантажений загальними характеристиками інструментальних та програмних засобів комп'ютерного моделювання

В цілому, вказані зауваження не впливають на високий науковий рівень роботи і самого проведеного дисертаційного дослідження.

## **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, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023 та № 507 від 03.05.2024, 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:**

завідувачка кафедри інформаційних систем Навчально-наукового Інституту комп'ютерних систем Національного університету «Одеська політехніка»,  
доктор технічних наук, професор

Олена АРСІРІЙ