ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата фізико-математичних наук,

доцента кафедри загальноосвітніх, гуманітарних та природничих дисциплін,

секція вищої математики і математичного моделювання

Херсонського національного технічного університету

Астіоненка Ігоря Олександровича

на дисертацію Ярош Анастасії Олександрівни

«Нейромережеві методи розв'язання крайових задач»,

яку подано на здобуття наукового ступеня

доктора філософії зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Ступінь актуальності обраної теми. Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-технічної задачі розробки об'єктно-орієнтованої архітектури бібліотеки нейромережевих методів розв'язання крайових задач.

Крайові задачі відіграють важливу роль у різноманітних задачах науки та техніки. Багато фізичних та інженерних явищ можна математично описати диференціальними рівняннями, зазвичай, в частинних похідних. Але отримати точні аналітичні розв'язки у більшості випадків неможливо через математичну складність сформульованих проблем. Критично важливими в цьому випадку є чисельні методи наближеного розв'язання крайових задач. Особливої важливості чисельні методи набувають в комп'ютерному моделюванні та симуляції складних технічних систем та фізичних процесів. Класичні методи розв'язання диференціальних рівнянь (метод колокації, метод Гальоркіна, метод Рітца, метод скінченних елементів) потребують вибору базисних функцій, функцій форми для побудови наближеного розв'язку. Хибний вибір може призвести до некоректних результатів. Крім того, збільшення кількості базисних функцій для поліпшення точності може призвести до зростання обчислювальної складності, особливо для великих систем диференціальних рівнянь. Водночас використання нейронних мереж із фізичною інформацією для розв'язання крайових задач зводить задачу вибору функцій апроксимації до оптимізації параметрів нейромереж без необхідності суттєвих змін методу для різних рівнянь та граничних умов. Крім того, нейронні мережі ефективно адаптуються для сучасних графічних процесорів, що дає суттєвий приріст у швидкості обчислень порівняно з системами на основі центральних процесорів.

Отже, можна зробити висновок про те, що тема дисертаційної роботи є

актуальною і такою, що має суттєву значущість у галузі комп'ютерних наук, а саме, у розвитку нейромережевих обчислювальних методів і повністю відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Вступ детально обґрунтовує актуальність дослідження, визначає зв'язок роботи з науково-дослідними темами Запорізького національного університету, де виконувалася дисертація, формулює її мету та завдання, визначає об'єкт, предмет та методи дослідження, а також описує наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Крім того, у вступі наведено інформацію про практичне використання результатів роботи, визначається особистий внесок здобувача, містяться дані про апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у наукових публікаціях.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу стану проблеми за тематикою роботи. Він розпочинається з аналітичного огляду публікацій із застосування нейромережевих методів для розв'язання крайових задач. Також виконано огляд бібліотек та програмних засобів, що реалізують поширені нейромережеві обчислювальні методи.

У **другому розділі** розглянуто питання, пов'язані з проєктуванням та розробкою інтерпретатора предметно-орієнтованої мови PLang, що призначено для формального опису крайових задач. Описано синтаксис мови, наведено приклади використання. Виконано проєктування класів бібліотеки нейромережевих методів.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено теоретичному обґрунтуванню та практичному застосуванню нейронних мереж з фізичною інформацією. Розв'язано такі модельні задачі: згин балок та круглих пластини з різними умовами закріплення, згин балок в геометрично нелінійній постановці та згин балок на фізично нелінійній основі. Також розв'язано рівняння Бюргерса з різними початковими, граничними умовами та діапазонами параметрів.

У **четвертому розділі** розглянуто методи оптимізації гіперпараметрів нейронних мереж, які можуть застосовуватись для автоматизації процесу розв'язання крайових задач. Зокрема, наведено приклади програмної реалізації та застосування таких методів: генетичного алгоритму, рою часток та планування експериментів.

Висновки узагальнюють основні отримані в дисертаційному дослідженні результати.

Дисертація в цілому є структурно та змістовно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень є логічною і такою, що побудована у

відповідності з науковим методом.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність. Ступінь обґрунтованості та достовірності результатів дисертаційного дослідження не викликає сумнівів, оскільки вона забезпечується: коректністю обраної методології дослідження; аналізом сучасного стану досліджень в заявленій предметній області, комплексним застосуванням теоретичних та експериментальних методів дослідження; експериментальним доведенням ефективності запропонованої методики; адекватною добіркою використаних літературних джерел.

Наукова новизна отриманих результатів. При виконанні дисертаційної роботи отримано такі наукові результати:

вперше запропоновано об'єктно-орієнтовану архітектуру бібліотеки нейромережевих методів розв'язання крайових задач, яка, на відміну від існуючих бібліотек, реалізує мову опису крайових задач та методи покращення збіжності нейромереж*;*

отримали подальшого розвитку методи нейронних мереж з фізичною інформацією, які було адаптовано для розв'язання задач пружності*;*

вперше реалізовано предметно-орієнтовану мову для формального опису крайових задач та їх розв'язання засобами нейронних мереж*;*

вперше отримано чисельні розрахунки певних класів крайових задач методами нейромереж з фізичною інформацією.

Отримані нові результати, у сукупності, розв'язують актуальну науково-технічну проблему: запропонована архітектура бібліотеки нейромережевих обчислювальних методів дозволить підвищити продуктивність програмної реалізації відповідного програмного забезпечення та розширити застосування нейронних мереж для розв'язання крайових задач.

Значущість результатів дослідження для науки і практики та можливі шляхи їх використання. Наукова та практична значущість результатів дисертаційного дослідження підтверджується тим фактом, що розроблені підходи дозволяють значно підвищити ефективність програмної реалізації нейромережевих методів розв'язання крайових задач.

Розроблена бібліотека та програмні засоби, що її використовують можуть застосовуватись як складові у системах комп'ютерної алгебри та системах автоматизації проєктування.

Повнота викладу результатів дослідження у наукових публікаціях. За темою дисертації здобувачкою опубліковано 10 робіт. Серед них: 3 статті у наукових фахових виданнях України, які включені на дату опублікування до переліку наукових фахових видань за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки; 7

тез доповідей на науково-практичних конференціях. Усі публікації прямо пов’язані з тематикою дисертації Результати дисертаційного дослідження впроваджено у освітній процес Запорізького національного університету, що підтверджено відповідним актом про впровадження, що міститься у додатку Б.

Академічна доброчесність. Очевидних ознак порушення авторкою академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

Відповідність роботи вимогам, які ставляться до дисертації. За актуальністю та важливістю розв’язаних наукових задач, повнотою теоретичного обґрунтування, отриманими числовими результатами дисертаційна робота Ярош Анастасії Олександрівни відповідає вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р., “Положення про присудження наукового ступеня доктора філософії у Запорізькому національному університеті”, введеного в дію наказом №35 ректора ЗНУ від 31.01.2024, та вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації. Загалом позитивно оцінюючи наукове і практичне значення отриманих здобувачкою результатів, варто відзначити наступні дискусійні положення і зауваження до змісту дисертаційної роботи.

1. У підрозділі 3.2 не проаналізовано значення та розподіли функції помилок для задач пружності.
2. Граничні умови задачі 3.2.2 на стор. 64 містять неточність. Не вказано координату для другої умови.
3. Задачі у підрозділі 3.2 розглядаються відповідно для круглих пластин та балок з круговим перерізом. Доцільно було б дослідити, чи будуть відрізнятись результати застосування нейромережевих методів для інших форм об’єктів?
4. У підрозділі 3.4 досліджується діапазон застосування запропонованих методів для рівняння Бюргерса, було б доречно також розглянути і задачі пружності в цьому підрозділі.
5. При розв’язанні задачі 3.2.6 було використане тільки одне значення коефіцієнта нелінійності. Цікаво дослідити вплив коефіцієнта нелінійності на точність методу.

6. В тексті дисертації наявна певна кількість орфографічних та стилістичних помилок, яка, втім, не є критичною.

Загальний висновок. Зазначені зауваження та рекомендації не впливають на загальну позитивну оцінку представленого наукового дослідження.

Дисертаційна робота Ярош Анастасії Олександрівни на тему «Нейромережеві методи розв'язання крайових задач», представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки є завершеним науковим дослідженням, яке за актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю, науково-теоретичною та науково-практичною значущістю отриманих результатів 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 № 44 від 12 січня 2022 року, «Положення про присудження наукового ступеня доктора філософії у Запорізькому національному університеті», введеного в дію наказом №35 ректора ЗНУ від 31.01.2024, та вимогам до оформлення дисертації, а її авторка Ярош Анастасія Олександрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Кандидат фізико-математичних наук,

доцент кафедри загальноосвітніх, гуманітарних

та природничих дисциплін, секція

вищої математики і математичного моделювання

Херсонського національного

технічного університету _____ Ігор АСТІОНЕНКО