

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Головченка Максима Миколайовича

на тему «Методи та програмні засоби багатовимірної поліноміальної регресії

за надлишковим описом на основі побудови одновимірної регресії з

використанням ортогональних поліномів Форсайта»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Математичні моделі об'єктів, процесів і систем мають велике значення у сучасних розробках інформаційних технологій, оскільки їх використовують для вирішення задач управління, діагностики, прийняття рішень та прогнозування. Найявні методи регресійного аналізу мають обмежене застосування для складних систем через зменшення точності регресійних моделей при зростанні кількості змінних, що обумовлене присутністю в наборі даних, які, можливо, не мають впливу на результат. Методи самоорганізації моделей (або методи групового урахування аргументів) вирішують цю проблему повним або частковим перебором можливих варіантів моделі, що потребує значних обчислювальних витрат. Вибір множини варіантів моделі залишається проблематичним для дослідника і від цього вибору у значній мірі залежить успішність побудови моделі. Отже, розробка методу побудови регресійної моделі, що забезпечує підвищення точності моделі та, водночас, зменшення обчислювальних витрат є актуальним завданням. Не менш актуальним завданням є програмна реалізація такого методу, оскільки програмне забезпечення сучасних інформаційних технологій спирається при обробці даних на методи ідентифікації математичних моделей.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

– вперше розроблено синтетичний метод побудови багатовимірної поліноміальної регресії, заданої надлишковим описом, що відрізняється від існуючих тим, що поєднує підходи класичного методу (для оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах з заданою точністю) та евристичних методів (для визначення структури регресії з використанням перевіркої послідовності в модифікованому методі групового урахування аргументів), а також включає в

себе метод побудови одновимірної поліноміальної регресії на основі довільного повторного активного експерименту з використанням набору нормованих ортогональних поліномів Форсайта та декомпозиційний метод оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії з наперед заданою точністю, що зводить багатовимірну задачу до послідовної побудови відповідних одновимірних поліноміальних регресій;

- вперше обґрунтовано можливість знаходження нормованих ортогональних поліномів Форсайта з наперед заданою точністю, яка досягається за рахунок застосування символічних обчислень з раціональними дробами, що дає змогу отримати оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії у відповідності до теоретично виведених умов;

- вперше наведено теоретичне обґрунтування зменшення обчислювальної складності програмного забезпечення реалізації методу найменших квадратів на основі повторних експериментів, що полягає у заміні операцій з матрицями повного активного експерименту операціями з матрицями основного експерименту значно меншої розмірності;

- вперше запропоновано архітектуру кроссплатформної бібліотеки для реалізації синтетичного методу та його складових, яка дає змогу використовувати її компоненти, як окремо, так і в цілому, в розробці прикладного програмного забезпечення для побудови регресійних моделей.

Автор дисертації вдало поєднує переваги наявних методів ідентифікації математичної моделі та доповнює класичний регресійний аналіз елементами евристичного пошуку структури моделі. Основним науковим результатом здобувача є метод синтезу регресійної моделі на основі поліномів Форсайта, що забезпечує більшу точність у порівнянні з наявними методами, та його програмна реалізація, що забезпечує достатньо високу швидкість та зручність інтеграції з іншими компонентами програмного забезпечення. Достовірність та обґрунтованість отриманих наукових результатів забезпечується використанням методу математичного моделювання, теорії ймовірностей та математичної статистики, методу експериментального дослідження.

Наукове дослідження, виконане здобувачем, відповідає напряму «Інтелектуальні інтерактивні інформаційно-аналітичні системи» з переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання побудови достатньо точної багатовимірної поліноміальної регресії за рахунок створення набору нормованих ортогональних поліномів Форсайта та побудови



послідовності одновимірних поліноміальних регресій виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Головченка М.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямам досліджень освітньо-наукової програми третього (освітньо-наукового) рівня «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертація є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Методи ідентифікації математичної моделі».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Головченка Максима Миколайовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, копіяції, фабрикації, плагіату та запозичень. Виявлений відсоток співпадінь пояснюється помилкою знаходження джерела цитування через відсутність переліку джерел у файлі, який був поданий на перевірку, та використанням загальноприйнятої наукової термінології з математичного моделювання. У тексті дисертації, що подана на захист, джерела та посилання на них оформлені належним чином. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою, складається з анотації, написаної українською та англійською мовами, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 185 сторінок.

Текст дисертації викладений логічно та послідовно, має належну редакторську якість та відповідає чинним вимогам до оформлення дисертацій, автор дотримується наукового стилю та використовує загальноприйняту термінологію.

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційного дослідження, наведені його мета і завдання, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну результатів дисертаційного дослідження та їх практичне значення, вказано апробацію та публікації.

У першому розділі наведено огляд та порівняльний аналіз методів побудови багатовимірних регресій та наявних пакетів прикладних програм, що їх реалізують.

У другому розділі наведений синтетичний метод побудови багатовимірних поліноміальних регресій, заданих надлишковим описом, що поєднує модифікований метод групового урахування аргументів, метод побудови одновимірної поліноміальної регресії, декомпозиційний метод знаходження оцінок коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії з заданою точністю. Модифікація методу групового урахування аргументів полягає в можливості ефективної побудови множини часткових описів багатовимірної регресії за рахунок процедури розбиття множини коефіцієнтів регресії на два класи. Метод побудови одновимірної поліноміальної регресії використовує для побудови моделі набір нормованих ортогональних поліномів Форсайта. Показано, що використання активного експерименту дає змогу декомпонувати багатовимірну задачу на послідовність одновимірних задач. Наведено теоретичне дослідження властивостей компонент синтетичного методу побудови багатовимірної поліноміальної регресії.

У третьому розділі наведено дослідження обчислювальних аспектів синтетичного методу, елементи оптимізації їх програмної реалізації. Необхідно відмітити теоретичне дослідження, що дозволяє оптимізувати програмне забезпечення методу найменших квадратів при повторних експериментах.

Четвертий розділ містить опис розробки кроссплатформної бібліотеки, що реалізує як окремі алгоритмічні компоненти, так і реалізацію методу синтезу моделі багатовимірної поліноміальної регресії в цілому. Проведено дослідження ефективності кроссплатформної бібліотеки, наведені вимоги до користування програмним засобом, вимоги до користувача з базовими та розширеними навичками.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, та 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus та віднесених до квартилю Q4 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.



Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

У наведених публікаціях достатньо повно представлено результати дисертаційної роботи. Порушення академічної доброчесності в них не виявлено. Особистий внесок здобувача у публікаціях, зазначений у дисертації, свідчить про його авторство у відповідних наукових досягненнях.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Наведений аналіз наявних алгоритмів, що реалізують метод групового урахування аргументів (МГУА), є неповним. Зокрема, відсутній огляд багаторядного (селекційного) алгоритму МГУА та множини зовнішніх критеріїв, що використовують алгоритми МГУА.

2. Визначення надлишкового опису, наведене у підрозділі 1.1, не пояснює, який з описів багатовимірної поліноміальної регресії є надлишковим, а який ні.

3. У розробленому модифікованому МГУА (ММГУА) автор використовує для перевіркової послідовності критеріїв регулярності не обґрунтовано, оскільки порівняння ефективності синтезу моделі з використанням інших критеріїв не наведено.

4. Не вказані вимоги до таблиці даних, за якою виконується синтез багатовимірної поліноміальної регресії. Наприклад, вимоги щодо нормалізації даних та їх кількості.

5. Для організації паралельних обчислень автор зосереджує увагу на розпаралелюванні матричних операцій та розрахунку окремих часткових описів одночасно. Проте може виявитись, що більш простий спосіб розпаралелювання з розрахунком окремих часткових описів багатовимірної поліноміальної регресії в окремому процесі без розпаралелювання матричних операцій є більш ефективним.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Головченка Максима Миколайовича на тему «Методи та програмні засоби багатовимірної поліноміальної регресії за надлишковим описом на основі побудови одновимірної регресії з використанням ортогональних поліномів Форсайта» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів

академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп.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 р. № 44.

Здобувач Головченко Максим Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

**Рецензент:**

професор кафедри  
інформатики та програмної інженерії  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
доктор технічних наук, професор



« 15 » 01

