

## **ВІДГУК**

офіційного опонента 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.**

На сьогоднішній день регресійний аналіз вважається одним із найбільш поширених та універсальних інструментів для виявлення прихованих взаємозв'язків в даних. Дисертаційна робота присвячена розробці методів та відповідних програмних інструментів для побудови адекватної формальної статичної моделі об'єкта дослідження, який функціонує під впливом випадкових факторів. На сьогоднішній момент відсутній універсальний метод побудови багатовимірних лінійних чи нелінійних регресій, що домінував би над іншими методами (на основі теоретичного або експериментального обґрунтування). Таким чином, наукові та експериментальні дослідження в даній області залишаються актуальними та необхідними.

Особливо слід відзначити новизну постановки задач дослідження – створення програмного забезпечення на основі нового універсального методу побудови багатовимірної поліноміальної регресії заданої надлишковим описом. Цей метод має переваги як класичних, так і евристичних підходів. Сформульована наукова проблема, яка описана в дисертаційній роботі, є актуальною і має важливе значення як для теоретичного, так і для практичного аспектів вивчення регресійного аналізу.

**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 органічно поєднує риси класичного методу (теоретично обґрунтовані випадки, в яких оцінка коефіцієнтів при нелінійних членах

знаходиться з заданою точністю) з ефективністю евристичних методів (знаходження структури регресії з використанням перевіркою послідовності в модифікованому методі групового урахування аргументів, що входить в склад синтетичного методу), а також включає в себе метод побудови одновимірної поліноміальної регресії на основі довільного повторного активного експерименту з використанням лише одного набору нормованих ортогональних поліномів Форсайта, декомпозиційний метод оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії з наперед заданою точністю, що багатовимірну задачу зводить до послідовної побудови відповідних одновимірних поліноміальних регресій.

– **вперше** обґрунтовано можливість знаходження нормованих ортогональних поліномів Форсайта з наперед заданою точністю, яка досягається за рахунок представлення даних у вигляді раціональних дробів та застосування до них символьних обчислень, що дозволяє отримати оцінки коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії, значення яких відповідають теоретично виведеним умовам.

– **вперше** наведено теоретичне обґрунтування зменшення обчислювальної складності програмного забезпечення реалізації методу найменших квадратів на основі повторних експериментів, що полягає в заміні операцій з матрицями повного активного експерименту операціями з матрицями основного експерименту суттєво меншої розмірності.

– **вперше** запропоновано архітектуру кроссплатформної бібліотеки для реалізації синтетичного методу та його складових, яка дозволяє використовувати її компоненти, як окремо, так і в цілому при розробці програмного забезпечення, що використовує регресійні моделі.

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів у даній роботі ґрунтуються на строгих теоретичних положеннях, які були розроблені та доведені автором, а також на статистично достовірних результатах експериментальних досліджень. Автор вдало використовує принципи теорії ймовірностей, регресійного аналізу, теорії матриць, математичного моделювання у програмній інженерії, що вказує на професійний підхід та компетентне використання доступних методів та засобів.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання 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 третього (освітньо-наукового)



рівня зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми третього (освітньо-наукового) рівня «Інженерія програмного забезпечення».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача в науковий напрям «Створення нових ефективних методів побудови багатовимірної поліноміальної регресії і на їх основі обґрунтованого ефективного програмного забезпечення».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Головченка М.М. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

#### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана грамотною українською мовою, рукопис відповідає встановленим вимогам до оформлення та подання друкованих робіт наукового характеру. Окремо варто відзначити доступний для сприйняття стиль та логічну послідовність викладення тексту, а також коректне використання наукової термінології.

Дисертація складається з анотації, написаної українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 84 найменувань на дев'яти сторінках та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 185 сторінок, з яких 128 сторінок основного тексту, містить 23 рисунки та 24 таблиці.

У вступі автор обґрунтував актуальність проблеми наукового дослідження, сформулював мету і задачі дослідження, наукову новизну отриманих в дисертаційній роботі результатів та їх практичне значення.

Перший розділ містить опис відомих моделей регресійного аналізу, критичний аналіз відомих класичних та евристичних методів побудови багатовимірної поліноміальної регресії, порівняльний аналіз існуючих програмних продуктів, зокрема, програмних пакетів та програмних бібліотек. І на завершення автор обґрунтовує мету дослідження та перелік задач, що розв'язуються в дисертаційній роботі.

Другий розділ присвячений викладенню основних теоретичних положень запропонованого нового універсального синтетичного методу побудови багатовимірної поліноміальної регресії, заданої надлишковим описом. Метод поєднує в собі два окремих метода: модифікований метод групового урахування аргументів та декомпозиційний, що природньо поєднує в собі

побудову одновимірної поліноміальної регресії та використовуючи можливості активного експерименту, метод, що декомпозує багатовимірну регресію на послідовність одновимірних регресій та розв'язання лінійних невідроджених алгебраїчних систем, змінними яких є оцінки коефіцієнтів багатовимірної регресії.

Третій розділ містить елементи оптимізації програмної реалізації синтетичного методу, до яких в першу чергу треба віднести:

1) використання раціональних дробів та символічних обчислень для побудови з необхідною кількістю знаків після коми коефіцієнтів нормованих ортогональних поліномів Форсайта;

2) експериментально обґрунтовано доцільність використання розпаралелювання алгоритмів для виконання базових операцій над матрицями у основній формулі методу найменших квадратів;

3) отримані теоретичні результати властивостей повторних активних експериментів, що дозволили суттєво спростити обчислювальну складність програмної реалізації методу найменших квадратів та аналітично знайти дисперсію оцінок коефіцієнтів як функцію кількості повторів основного активного експерименту.

Четвертий розділ присвячений розробці кроссплатформної бібліотеки, яка реалізує запропоновані методи, що є складовими синтетичного методу. Детально описані складові, що входять до етапів життєвого циклу кроссплатформної бібліотеки, такі як: аналіз вимог, аналіз інструментів розробки, аналіз архітектур програмного забезпечення, опис програмного інтерфейсу, опис архітектури програмного забезпечення, конструювання програмного забезпечення, тестування програмного забезпечення, розгортання програмного забезпечення. Крім того виконані дослідження ефективності кроссплатформної бібліотеки реалізації синтетичного методу.

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; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.



Аналіз наведених публікацій показує, що в них повністю висвітлені основні результати дисертаційної роботи. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

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

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

1) При огляді аналогів програмного забезпечення не розглядаються програмні пакети загального призначення, що включають в себе алгоритми для розв'язання задач регресійного аналізу;

2) Критерій вибору шуканої структури багатовимірної регресії по перевірочним даним названий невірно: замість критерію регулярності у дисертації використовується термін «залишкова сума квадратів»;

3) В дисертації наведений ММГУА не був розповсюджений очевидним чином на випадок, коли БПР задана надлишкових описом, що є зваженою лінійною згортою довільних відомих скалярних нелінійних функції вхідних аргументів;

4) Статистичні дослідження ефективності модифікованого методу групового урахування аргументів не містить обґрунтовану емпіричну залежність відсотку знаходження правильних структур шуканої регресії як функція значень дисперсії випадкової величини  $E$ , при фіксованих значеннях інших параметрів моделювання;

5) У реалізації кроссплатформної бібліотеки присутні зайві параметри, а саме кількість вхідних змінних та кількість випробувань, у функціях програмного інтерфейсу;

6) В кроссплатформній бібліотеці недостатньо автоматизовано процес отримання коду для індивідуального алгоритму знаходження оцінок коефіцієнтів при нелінійних членах багатовимірної поліноміальної регресії з заданою точністю, що створюється підготовленим користувачем на основі теоретичних положень першого та другого підалгоритму декомпозиційного методу.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і 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

туальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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.

**Офіційний опонент:**

завідувач кафедри програмних систем  
і технологій факультету інформаційних  
технологій Київського Національного  
університету імені Тараса Шевченка,  
доктор технічних наук, професор



Олексій БИЧКОВ

М.П.

«26» січня 2024 року

Відомості про присудження  
ступеня доктора філософії  
Головченко М.В.  
2024 р.

