

Голові разової спеціалізованої вченої ради
ДФ 100.122.2026
Одеського національного університету імені І.І. Мечникова
доктору технічних наук, професору
Гунченко Юрію Олександровичу

РЕЦЕНЗІЯ

завідувачки кафедри механіки, автоматизації та інформаційних технологій
Одеського національного університету імені І.І. Мечникова

кандидата фізико-математичних наук, доцента

Рачинської Алли Леонідівни

на дисертаційну роботу

Приходька Андрія Сергійовича

**«Математичні моделі для обробки інформації з метрик Web застосунків,
що розробляються з використанням PHP-фреймворків»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»,

галузь знань 12 «Інформаційні технології»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Достовірне оцінювання складності об'єктно-орієнтованого проектування (ООП), якості програмного забезпечення (ПЗ) та кількості рядків коду ПЗ безпосередньо пов'язано з ефективним створенням якісного ПЗ, що є одним із головних завдань індустрії його розробки. А це потребує, у тому числі, обробки інформації з різних програмних метрик із використанням відповідних математичних моделей. Web застосунки відіграють вирішальну роль у багатьох аспектах сучасного життя. В наш час саме для платформи Web створюється найбільша кількість програм, а мова PHP залишалася однією з популярних серед програмістів, які для розробки Web застосунків використовують різноманітні PHP-фреймворки.

З огляду на це, тема дисертаційної роботи здобувача є актуальною, оскільки спрямована на підвищення достовірності результатів обробки

інформації з програмних метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, за рахунок побудови певних математичних моделей для обробки відповідної інформації та створенню на їх основі інструментарію інформаційної технології (ІТ) обробки інформації з програмних метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Представлені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими за рахунок проведеного теоретичного аналізу, побудови математичних моделей та використаних емпіричних даних. Тема дисертації повністю відповідає її змісту. Результати дисертаційного дослідження чітко корелюються із заявленою темою.

Дисертаційна робота демонструє глибокий науковий підхід до вирішення складних прикладних задач з визначення складності ООП, якості розробки та кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

Особливістю роботи є цілісність дослідницької логіки: від глибокого аналізу сучасних підходів до обробки інформації з метрик ПЗ — до розробки нового інструментарію ІТ для рішення задач з визначення складності ООП, якості розробки та кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

Перевірка адекватності розроблених математичних моделей базується на загальноприйнятих показниках точності. Зроблені покращення в порівнянні з іншими моделями підтверджують достовірність отриманих результатів. Суттєвою перевагою є також перевірка адекватності розроблених математичних моделей на даних метрик реальних Web застосунків, які були розроблені з використанням різних PHP-фреймворків.

3. Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна одержаних автором результатів полягає у наступному:

1) Вперше побудовано дві математичні моделі для обробки інформації з двох груп програмних метрик (відповідно WMC, DIT і NOC та WMC, RFC і LCOM) Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, у вигляді тривимірних еліпсоїдів прогнозування і рівнянь регресії для зазначених нормалізованих метрик на основі тривимірного нормалізуючого перетворення Бокса – Кокса. Ці дві математичні моделі дозволяють підвищити достовірність результатів обробки інформації з двох груп метрик WMC, DIT і NOC та WMC, RFC і LCOM за рахунок врахування як кореляції між ними, так і відхилення тривимірних розподілів цих метрик від нормального, та здійснити на їх основі рішення задачі з визначення складності ООП на його першому та другому етапах (через ідентифікацію та семантику класів) за Бучем.

2) Удосконалено математичну модель для обробки інформації з програмних метрик RFC і CBO Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, у вигляді еліпсу прогнозування і рівнянь регресії для зазначених нормалізованих метрик на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Бокса – Кокса. Ця математична модель дозволяє підвищити достовірність результатів обробки інформації з метрик RFC і CBO за рахунок врахування як кореляції між ними, так і відхилення двовимірного розподілу цих метрик від нормального, та здійснити на їх основі рішення задачі з визначення складності ООП на його третьому етапі (через зв'язки між класами) за Бучем.

3) Удосконалено математичну модель для обробки інформації з трьох програмних метрик RFC, CBO і WMC Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, у вигляді тривимірного еліпсоїду прогнозування для зазначених нормалізованих метрик і рівнянь для визначення границь довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування трьох нелінійних регресій програмних метрик RFC, CBO і WMC на основі

тривимірного нормалізуючого перетворення Бокса – Кокса. Ця математична модель дозволяє підвищити достовірність результатів обробки інформації з метрик RFC, CBO і WMC за рахунок врахування як кореляції між ними, так і відхилення тривимірного розподілу цих метрик від нормального, та здійснити на їх основі рішення задачі з визначення якості Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

4) Удосконалено три математичні моделі для обробки інформації з чотирьох програмних метрик (кількості рядків коду, кількості класів, середньої кількості методів на клас і метрики DIT) у вигляді чотиривимірних еліпсоїдів прогнозування для зазначених нормалізованих метрик та трифакторних нелінійних регресійних моделей для оцінювання кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення Бокса – Кокса. Ці математичні моделі дозволяють підвищити достовірність результатів обробки інформації із зазначених метрик за рахунок врахування як кореляції між ними, так і відхилення чотиривимірного розподілу цих метрик від нормального, та здійснити на їх основі рішення задачі раннього оцінювання кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням таких відомих PHP-фреймворків як CakePHP, Codeigniter і Yii, за трьома метриками діаграми класів. Отримані трифакторні нелінійні регресійні моделі в порівнянні з іншими регресійними моделями мають більший відсоток прогнозованих значень PRED, менше значення середньої величини відносної похибки MMRE та менші ширини довірчого інтервалу та інтервалу прогнозування нелінійної регресії.

5) Удосконалено рівняння для визначення границь довірчого інтервалу та інтервалу прогнозування трифакторних нелінійних регресій кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням різних PHP-фреймворків, в залежності від кількості класів, середньої кількості методів на клас і метрики DIT на основі чотиривимірного нормалізуючого перетворення Бокса – Кокса. Рівняння для визначення нижньої та верхньої границь довірчого

інтервалу та інтервалу прогнозування дозволяють здійснювати оцінювання точності умовного вибіркового середнього та меж моделювання умовної випадкової величини кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням таких відомих PHP-фреймворків як CakePHP, Codeigniter і Yii.

4. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих публікаціях, зарахованих за темою дисертації, та академічна доброчесність.

Аналіз наукових публікацій та особистого внеску здобувача у кожен з них підтверджує, що всі результати роботи отримано самостійно, і вони повною мірою відображають основні положення та висновки дисертації. Ці результати були широко представлені у наукових публікаціях та на наукових конференціях.

Основні результати дисертації висвітлені у 5 статтях, з яких дві статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, дві статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, та одна стаття у виданні, віднесеному до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank. Ще 15 публікацій (1 стаття у міжнародному періодичному науковому виданні, 11 матеріалів і праць та 3 тези конференцій) засвідчують апробацію матеріалів дисертації. Одні праці конференції включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

Результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 14 науково-технічних конференціях, шість з яких міжнародні.

Усі публікації безпосередньо пов'язані з темою дисертації та розкривають її основні положення. Обсяг та кількість друкованих праць відповідають вимогам, установленим Міністерством освіти і науки України для здобуття ступеня доктора філософії.

У дисертаційній роботі академічного плагіату не виявлено. Про це свідчать результати перевірки дисертаційної роботи автоматизованим сервісом пошуку плагіату Strikeplagiarism.com. Інформація про це зазначена у Висновках міжкафедрального наукового семінару про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (https://onu.edu.ua/pub/bank/userfiles/files/science/razovi_spec_vcheni_rady/df1001222026/appendix_6_prykhodko_a.pdf). За результатами цієї перевірки дисертація Приходька Андрія Сергійовича «Математичні моделі для обробки інформації з метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків» визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів академічного плагіату.

5. Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в першу чергу у створенні інструментарію ІТ для рішення задач з визначення складності ООП, якості розробки та кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків. Для цього використовувалася мова програмування Python. Результати дисертаційної роботи, використовуються в наступних установах: ТОВ «АЙПІ РІШЕННЯ», ТОВ НВЦ «Діагностика та контроль», Комунальне підприємство «Міський інформаційно-обчислювальний центр» (м. Миколаїв), ФОП Білецький В.В. (підтверджено актами впровадження). Практична цінність результатів підтверджується також їх використанням під час виконання науково-дослідної роботи кафедри Математичного забезпечення комп'ютерних систем Одеського національного університету імені І.І. Мечникова (№ держреєстрації 0121U111663) та в навчальному процесі на кафедрах Комп'ютерних систем та технологій, Математичного забезпечення комп'ютерних систем Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (підтверджено актом впровадження).

6. Рівень оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Результати дисертаційного дослідження мають високий рівень наукової обґрунтованості та чітко відповідають темі дослідження. У дисертації послідовно викладено результати проведених досліджень.

Здобувач застосував такі методи дослідження: методи теорії ймовірності, математичної статистики, багатовимірного статистичного аналізу, регресійного аналізу, машинного навчання. Методи теорії ймовірності, математичної статистики та багатовимірного статистичного аналізу застосовано для знаходження оцінок характеристик випадкових величин, перевірки статистичних гіпотез щодо нормальності емпіричних розподілів даних, оцінювання параметрів нормалізуючих перетворень, побудови еліпсоїдів прогнозування для нормалізованих даних, пошуку викидів у даних. Методи регресійного аналізу використано для побудови нелінійних регресійних моделей, рівнянь для визначення границь довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування нелінійних регресій для оцінювання програмних метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків. Методи машинного навчання застосовано для побудови регресій опорних векторів для оцінювання програмних метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

7. Аналіз форми та змісту дисертаційної роботи.

Рукопис дисертаційної роботи є цілком логічно і послідовно структурованим та якісним за своїм змістовним наповненням.

Дисертація складається з анотації (українською та англійською мовами), списку публікацій здобувача за темою дисертації, змісту, переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 138 найменувань і чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 207 сторінок, обсяг основного тексту складає 131 сторінку. Дисертація містить 14 рисунків і 35 таблиць. У додатках наведені документи про впровадження результатів роботи, зібраний автором набір даних з програмних метрик Web

застосунків, що розроблені з використанням PHP-фреймворків, та список публікацій здобувача за темою дисертації.

У **вступі** дисертації розкрита сутність науково-практичного завдання та його значущість, обґрунтовано необхідність проведення дослідження, подана загальна характеристика дисертації в такій послідовності: актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мета і завдання дослідження; наукова новизна та практичне значення одержаних результатів; особистий внесок здобувача; апробація результатів дисертації та публікації.

У **першому розділі** дисертації виконано аналіз задач, рішення яких, у тому числі, потребує обробки інформації з відповідних програмних метрик, і побудови певних математичних моделей; здійснено аналіз існуючих методів і моделей для обробки інформації з метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, обґрунтування необхідності проведення досліджень за обраною темою.

У **другому розділі** дисертації розглянуто існуючі взаємо-зворотні багатовимірні нормалізуючі перетворення та методи оцінювання їх параметрів, здійснено вибір багатовимірних перетворень для нормалізації двовимірних, тривимірних та чотиривимірних наборів даних з метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

У **третьому розділі** дисертації побудовано дві математичні моделі для обробки інформації з двох груп програмних метрик (відповідно WMC, DIT і NOC та WMC, RFC і LCOM) Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, у вигляді тривимірних еліпсоїдів прогнозування і рівнянь регресії для зазначених нормалізованих метрик на основі тривимірного перетворення Бокса – Кокса; удосконалено модель для обробки інформації з програмних метрик RFC і CBO Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, у вигляді еліпсу прогнозування і рівнянь регресії для зазначених нормалізованих метрик на основі двовимірного перетворення Бокса – Кокса; удосконалено математичну модель для обробки інформації з трьох програмних метрик RFC, CBO і WMC

Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, у вигляді тривимірного еліпсоїду прогнозування для зазначених нормалізованих метрик і рівнянь для визначення границь довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування трьох нелінійних регресій програмних метрик RFC, CBO і WMC на основі тривимірного перетворення Бокса – Кокса; удосконалено математичні моделі та рівняння для визначення границь довірчого інтервалу та інтервалу прогнозування трифакторних нелінійних регресії кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням різних PHP-фреймворків, в залежності від кількості класів, середньої кількості методів на клас і метрики DIT на основі чотиривимірного перетворення; здійснено порівняння результатів за різними моделями, у тому числі моделями машинного навчання.

У **четвертому розділі** дисертації на підставі розроблених математичних моделей створено інструментарій ІТ для рішення задач з визначення складності ООП, якості розробки та кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків. Для цього використовувалася мова програмування Python. Було розроблено відповідне ПЗ для рішення задач з визначення складності ООП, якості розробки та кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

У **висновках** сформульовано основні результати дисертаційної роботи, що повністю узгоджуються з метою та завданнями дослідження.

8. Зауваження та дискусійні положення до дисертації.

– у роботі використовується широкорозповсюджений термін «негаусівські дані» (с.49, 61), але його формальне визначення не подано. Оскільки це одне з ключових понять дослідження, було б доцільно навести його визначення;

– в роботі для перевірки відхилення розподілу багатовимірних даних від нормального використовуються багатовимірні показники асиметрії та

ексцесу. Оскільки у разі нормального багатовимірного розподілу кожна з окремих випадкових величин також повинна мати нормальний розподіл, бажано було б зазначити оцінки асиметрії та ексцесу їх одновимірних розподілів;

– для оцінювання параметрів перетворення Бокса – Кокса автор обирає метод максимальної правдоподібності без наведення відповідних пояснень. Доцільно було б обґрунтувати цей вибір.

– в таблиці 3.14 значення коефіцієнтів детермінації R^2 лінійних регресійних рівнянь для нормалізованих метрик RFC та CBO дорівнюють майже нулю, що бажано було б пояснити.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Приходька Андрія Сергійовича «Математичні моделі для обробки інформації з метрик Web застосунків, що розробляються з використанням РНР-фреймворків» є цілісним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що має науково-прикладне значення, тема і зміст якого відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

З огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації, їхньої наукової новизни, практичної цінності, повноти викладення в наукових публікаціях, оформлення, відсутності порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019) та Постанові Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової

установи про присудження ступеня доктора філософії» (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024), що висуваються до дисертації, поданої на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Приходько Андрій Сергійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент,
завідувачка кафедри
механіки, автоматизації та
інформаційних технологій
ОНУ імені І.І. Мечникова,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

Алла РАЧИНСЬКА