

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

### **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

кандидата технічних наук, доцента Пухалевича Андрія Володимировича  
на дисертаційну роботу Приходька Андрія Сергійовича  
**«Математичні моделі для обробки інформації з метрик Web застосунків,  
що розробляються з використанням РНР-фреймворків»,**  
подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**  
за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»,  
галузь знань 12 «Інформаційні технології»

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

В наш час вебзастосунки відіграють вирішальну роль у багатьох аспектах повсякденного життя. У 2025 році саме для платформи Web створювалася найбільша кількість програм, а мова РНР залишалася однією з популярних серед програмістів, які для розробки вебзастосунків застосовують РНР-фреймворки.

Рішення деяких задач, які пов'язані з ефективною розробкою якісного програмного забезпечення (ПЗ), потребує, у тому числі, обробки інформації з певних програмних метрик із використанням відповідних математичних моделей. До таких задач можна віднести визначення якості ПЗ та складності його об'єктно-орієнтованого проєктування (ООП), оцінювання кількості рядків коду ПЗ. Зазначене також стосується і вебзастосунків, що розробляються з використанням РНР-фреймворків.

При цьому важливою особливістю є те, що розподіл програмних метрик відхиляється від нормального, що вимагає застосування методів та моделей, які враховують зазначене відхилення. Крім того, спостерігається кореляція між програмними метриками, яку також необхідно враховувати.

На сьогодні існують моделі, які дозволяють вести обробку інформації з програмних метрик, та вирішувати зазначені задачі для ПЗ, що створено

різними мовами, у тому числі і PHP. Але як показують дослідження, математичні моделі для обробки інформації з програмних метрик та рішення вказаних задач залежать не тільки від мови програмування, а і від технології та певних інструментів, зокрема фреймворків, які при цьому використовуються. Саме тому виникає потреба у створенні математичних моделей для обробки інформації з метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, та рішення за їх допомогою зазначених вище задач саме для вказаних Web застосунків.

Із сформульованого вище впливає актуальність теми цієї дисертаційної роботи.

### **Наукова новизна представлених теоретичних результатів проведених здобувачем досліджень, викладених у дисертації**

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 CVO 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 CVO 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.

### **Наукова обґрунтованість представлених теоретичних результатів проведених здобувачем досліджень та їх відповідність темі дисертації**

Представлені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими за рахунок проведеного теоретичного аналізу, використаних емпіричних даних, а також практичного виробничого досвіду автора дисертації в розробці програмного забезпечення. Тема дисертації повністю відповідає її змісту та проведеним дослідженням. Результати дисертаційного дослідження чітко відповідають заявленій темі.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення одержаних результатів полягає в першу чергу у створенні інструментарію інформаційної технології (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 створено відповідне ПЗ для рішення задач з визначення складності ООП, якості розробки та кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків, які розраховані на використання зазначеного ПЗ. 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 (№ державної реєстрації 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).

**Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності**

Аналіз наукових публікацій та особистого внеску здобувача у кожному 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. Одна з праць конференцій включена 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.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому 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](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.

### **Рівень оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності**

Результати дисертаційного дослідження мають високий рівень наукової обґрунтованості та чітко відповідають заявленій темі дослідження. У дисертаційній роботі 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 (як одновимірних так і багатовимірних), оцінювання параметрів нормалізуючих перетворень (як одновимірних так і багатовимірних), 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 (SVR) для оцінювання програмних метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків.

### **Аналіз форми та змісту дисертаційної роботи**

Рукопис дисертаційного дослідження є цілком логічно і послідовно структурованим та якісним за своїм змістовним наповненням.

Дисертаційна робота 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. Дисертаційна робота 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 нормалізуючих перетворень для нормалізації двовимірних, тривимірних та чотирирівимірних 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 нормалізуючого 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 нормалізуючого 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 нормалізуючого 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 чотирирівимірного нормалізуючого 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 РНР-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 РНР-фреймворків.

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

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

Загальне враження від дисертаційної роботи є позитивним. Проте, варто відзначити деякі недоліки та зауваження:

1. В роботі при виборі трьох незалежних змінних (факторів) регресійної моделі для оцінювання кількості рядків коду автор зазначає на с.99, «що вибір у якості факторів регресійної моделі саме зазначених трьох метрик (кількості класів, середньої кількості методів на клас та DIT) був обумовлений, відсутністю наявності мультиколінеарності між ними...» та тим, що для «даних обраних факторів значення VIFs знаходяться у межах від 1 до 5, тому мультиколінеарності немає». Було б доцільно навести чисельне підтвердження цього вибору для кожного фактору окремо.

2. В роботі «необхідність побудови окремих нелінійних регресійних моделей у формі (1.8) з урахуванням (3.14) для оцінювання кількості рядків коду Web застосунків, що розробляються з використанням конкретних РНР-фреймворків» (с.107) автор обґрунтовує тим, що для деяких наборів даних різних РНР-фреймворків ця загальна модель дає незадовільні результати. Було б доречно додатково обґрунтувати таку необхідність спираючись не тільки на ці незадовільні результати, а і на відмінності між різними РНР-фреймворками.

3. В тексті (зокрема на с.37, 124) зазначено, що для створення інструментарію інформаційної технології використовувалася мова

програмування Python, але не ясно, які саме Python-бібліотеки при цьому застосовувалися.

4. В тексті дисертації зустрічаються деякі стилістичні та орфографічні неточності.

Попри вказані недоліки, робота демонструє цілісність наукового підходу, а отримані результати є обґрунтованими та мають наукову і прикладну цінність. Викладені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

### **Загальні висновки**

Представлена дисертаційна робота Приходька Андрія Сергійовича «Математичні моделі для обробки інформації з метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків» є завершеною самостійною науковою працею. У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-практичну задачу в галузі інформаційних технологій – 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 ІТ обробки інформації з програмних метрик Web застосунків, що розробляються з використанням PHP-фреймворків. Одержані наукові та практичні результати дисертаційної роботи відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» (галузь знань 12 «Інформаційні технології»).

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».

Офіційний опонент,  
доцент кафедри програмного  
забезпечення автоматизованих систем  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова,  
кандидат технічних наук, доцент

Андрій ПУХАЛЕВИЧ

Проректор з наукової роботи  
Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова,  
доктор технічних наук, професор

Геннадій ПАВЛОВ