

Проблематика оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення є об'єктом значної кількості досліджень, у яких поєднуються напрацювання у сферах програмної інженерії, управління якістю ПЗ, інтелектуального аналізу даних та інформаційних технологій. Сучасні наукові напрацювання охоплюють широкий спектр питань, зокрема формалізацію й стандартизацію тестового процесу, пошук показників і критеріїв його результативності, моделювання впливу організаційних та ресурсних чинників на якість тестових робіт, а також використання аналітичних і обчислювальних методів для підтримки планування, пріоритизації та контролю тестування.

У межах дисертаційного дослідження обґрунтовано та реалізовано підхід, спрямований на прогнозне оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення з урахуванням багатокритеріального впливу сукупності факторів тестового процесу. Запропоноване рішення спирається на поєднання засобів теорії моделювання, багатокритеріального аналізу та апарату нечітких множин і нечіткої логіки, а також на використання оптимізаційних моделей і методів інтелектуального аналізу даних для підтримки обґрунтованого планування й організації тестових робіт.

Отже, прогнозне оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення на основі розробленої інформаційної технології, що передбачає використання функціонального моделювання, багатофакторного аналізу, багатокритеріальної оптимізації, нечітких моделей, лінійного програмування та методів машинного і глибокого навчання, є актуальним науково-прикладним завданням.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Тематика дисертаційного дослідження узгоджується з положеннями Закону України «Про Національну програму інформатизації» (№ 2807-IX від 01.12.2022) та виконана в межах наукових і прикладних досліджень кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету та кафедри комп'ютерних технологій у видавничо-

поліграфічних процесах Національного університету «Львівська політехніка», що спрямовані на розроблення й удосконалення інформаційних технологій оцінювання якості інформаційних систем.

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Основні положення та результати теоретичних і експериментальних досліджень отримані здобувачем самостійно. Висновки та рекомендації, що становлять наукову новизну дисертації, розроблені автором самостійно. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, використано лише ті ідеї та положення, які одержано особисто здобувачем. У спільних роботах автору належать такі здобутки: реалізація та експериментальна перевірка окремих компонентів інтелектуальної системи класифікації цифрових зображень; підготовка обчислювальних результатів і візуалізацій моделювання процесу формування якості проєктування інтелектуальних систем; дослідження та реалізація підходу до пошуку й виявлення дублікатів у системах відстеження помилок із використанням методів машинного навчання; оптимізація окремих елементів моделі факторів якості програмного забезпечення та інтерпретації результатів; аналіз та узагальнення факторів ефективності методів розроблення програмного забезпечення; реалізація та експериментальна апробація багатокритеріального підходу до формування якості програмного забезпечення; формування вибору альтернативних варіантів процесу тестування програмного забезпечення; підготовка рукопису щодо моделі факторів якості тестування програмного забезпечення; підготовка складових нечіткої моделі прогнозування якості програмного забезпечення (визначення/опис параметрів лінгвістичних змінних і функцій належності); математичне обґрунтування та аналіз результатів у завданні балансування навантаження при плануванні тестових випадків; підготовка матеріалів апробації щодо методологій розроблення програмного забезпечення; порівняльний аналіз варіантів процесу розроблення програмного забезпечення; підготовка матеріалів щодо застосування штучного інтелекту для підвищення якості процесу тестування програмного забезпечення;

підготовка матеріалів щодо використання машинного навчання для пошуку дублікатів у системах відстеження помилок.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

У дисертаційній роботі застосовано комплексну методологію, що поєднує системний, процесно-орієнтований, семантичний, оптимізаційний та прикладний підходи до формування й оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення. Формалізований опис тестового процесу виконано із використанням засобів функціонального моделювання, що забезпечило структурування основних етапів, вхідних і вихідних даних, ресурсів та обмежень. Сукупність факторів, які визначають якість тестування, встановлено на основі експертного оцінювання, а їх пріоритетність визначено методами математичного моделювання ієрархій і ранжування. Обґрунтування вибору варіантів організації тестових робіт здійснено в межах багатокритеріального аналізу альтернатив із застосуванням узгодженого згортання критеріїв, що дозволило оцінювати множину можливих рішень за комплексом вимог. Прогнозний показник якості процесу тестування сформовано із використанням апарату нечітких множин і нечіткої логіки шляхом задання лінгвістичних змінних, побудови функцій належності та бази нечітких правил із подальшою дефазифікацією результатів. Задачі планування та розподілу тестових активностей за наявності ресурсних і часових обмежень розв'язано на основі моделей лінійного програмування, що забезпечують отримання оптимальних планів виконання робіт. Інтелектуальну підтримку прийняття рішень забезпечено методами машинного та глибокого навчання, застосованими насамперед для автоматизованого виявлення дублікатів дефектів в системах їх опрацювання на основі аналізу текстових описів і супровідних атрибутів звітів про помилки, що підвищує точність обробки інцидентів і ефективність організації тестових робіт. Запропоновані підходи реалізовано у вигляді програмних засобів із графічним інтерфейсом користувача, що забезпечують підтримку планування та організації тестових

робіт і підвищують обґрунтованість управлінських рішень у межах процесу тестування.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

В результаті проведених досліджень вирішене науково-прикладне завдання формування та прогностичного оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення шляхом розроблення інформаційної технології, що поєднує функціональне моделювання, факторний аналіз із пріоритизацією, багатокритеріальний вибір альтернатив, методи нечіткої логіки, оптимізаційні моделі та інтелектуальний аналіз даних.

У межах дисертаційного дослідження сформульовано такі наукові результати:

вперше:

– розроблено багатокритеріальну модель вибору оптимального варіанту організації процесу тестування програмного забезпечення, що поєднує механізм лінійного згортання критеріїв, використання функцій корисності та концепції Парето для виділення доміантних факторів і обґрунтування оптимального рішення;

– розроблено модель оптимізації розподілу ресурсів і тестових завдань із використанням методів лінійного програмування з урахуванням часових обмежень, пріоритетності тестових сценаріїв, доступності виконавців і мінімізації тривалості тестового циклу;

– розроблено метод комбінованого пошуку та класифікації виявлення дублікатів у системах відстеження помилок з використанням машинного навчання для використання у процесі тестування програмного забезпечення;

– розроблено інформаційну технологію формування та оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення, що інтегрує процедури ідентифікації та формалізації факторів, їх пріоритизації, багатокритеріального вибору альтернатив, прогностичного оцінювання на основі нечіткої логіки, а також прикладної оптимізації й інтелектуального аналізу даних тестування;

удосконалено

– метод логічного виведення з урахуванням виділених груп лінгвістичних змінних – організаційної, технічної та аналітичної, що визначає послідовність процедур формування інтегрального показника якості процесу тестування програмного забезпечення;

набула подальшого розвитку

– прикладна реалізація запропонованих підходів у вигляді програмних засобів із графічним інтерфейсом користувача, призначених для підтримки прийняття рішень щодо планування та організації тестових робіт і підвищення обґрунтованості управлінських рішень у процесі тестування.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

За темою роботи опубліковано 14 наукових праць, а саме: 3 статті у виданнях, що індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science і 1 стаття належить до квартилю Q1, дві до Q4; 7 статей у наукових фахових виданнях України; 4 публікації у збірниках всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Статті у наукових виданнях, що індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science:

1. Alona Kudriashova, Iryna Pikh, Vsevolod Senkivskyu, Taras Oliyarnyk, Oleksii Bilyk. Designing an intelligent system for digital image classification // CEUR Workshop Proceedings. – 2025. – Vol. 3963: Proceedings of the 6th International workshop on intelligent information technologies & systems of information security IntellITSIS 2025, Khmelnytskyi, Ukraine, April 4, 2025. – P. 208–218. <https://ceur-ws.org/Vol-3963/paper17.pdf> (SciVerse SCOPUS, Q4).

2. Kudriashova A., Pikh I., Senkivskyu V., Levashenko V., Kadyliak M., Bilyk O. Modelling the process of forming the intelligent systems design quality // CEUR Workshop Proceedings. – 2025. – Vol. 4013 : Proceedings of the 2nd International workshop on intelligent & cyberphysical systems ICyberPhyS 2025, Khmelnytskyi,

Ukraine. July 4, 2025. – P. 47–61. <https://ceur-ws.org/Vol-4013/paper4.pdf> (SciVerse SCOPUS, Q4).

3. Pikh, I., Senkivskyu, V., Kudriashova, A., Bilyk, O., Sikora, L., Lysa, N. Detecting Duplicates in Bug Tracking Systems with Artificial Intelligence: A Combined Retrieval and Classification Approach. *Appl. Sci.* 2026, 16, 416. <https://doi.org/10.3390/app16010416> (SciVerse SCOPUS, Q1).

Статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

4. Піх І. В., Сеньківський В. М., Литовченко О. В., Кудряшова А. В., Білик О. З. Методологічні засади формування якості програмного забезпечення (частина 2: оптимізація моделі факторів якості програмного забезпечення) // Поліграфія і видавнича справа. – 2023. – № 1 (85). – С. 11–21. doi: 10.32403/0554-4866-2023-1-85-11-21 (індексована у наукометричній базі *Index Copernicus*).

5. Сеньківський В. М., Білик О. З., Сеньківська Н. Є. Фактори ефективності методів розроблення програмного забезпечення // Наукові записки / Українська академії друкарства. – 2023. – № 1 (66). – С. 11–22. doi: 10.32403/1998-6912-2023-1-66-11-22 (індексована у наукометричній базі *Index Copernicus*).

6. Піх І. В., Білик О. З. Формування якості програмного забезпечення за методом багатокритеріальної оптимізації // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2024. – № 1. – С. 117–124. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-77-14>.

7. Піх І. В., Білик О. З., Сеньківський Н. Ю., Андріїв Р. Р., Браташ** С. П. Багатофакторний вибір альтернативних варіантів процесу тестування програмного забезпечення // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2024. – № 3 (174). – С. 78–85. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-174-3-78-85> (індексована у наукометричній базі *Index Copernicus*).

8. Піх І. В., Сеньківська Н. Є., Білик О. З., Сеньківський Н. Ю., Андріїв Т. Р., Андріїв Р. Р. Модель факторів якості тестування програмного

забезпечення // Комп'ютерні технології друкарства. – 2024. – № 1 (51). – С. 90–108. DOI 10.32403/2411-9210-2024-1-51-90-108 (індексована у наукометричній базі Index Copernicus).

9. Піх І. В., Сеньківський В. М., Сеньківська Н. Є., Калиній І. В., Білик О. З. Прогнозування якості програмного забезпечення на основі нечіткої логіки (Частина 1. Функції належності лінгвістичних змінних) // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2024. – № 4. – С. 7–17. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-80-1>.

10. Pikh I., Bilyk O. Workload balancing in the test case scheduling: a mathematical approach // Комп'ютерні системи та інформаційні технології. – 2025. – № 2. – Р. 81–86. <https://doi.org/10.31891/csit-2025-2-9> (індексована у наукометричній базі Index Copernicus).

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні завдання дисертаційної роботи та практичні напрацювання доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях та опубліковані в їх тезах і робочих матеріалах. Результати дисертаційного дослідження апробовано та обговорено на: науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства (Львів, 2023, 2024); XVII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і автоматизація» у Одеському національному технологічному університеті (Одеса, 2024); Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку” в Черкаському національній університет ім. Богдана Хмельницького (Черкаси, 2025).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Сеньківський В. М., Білик О. З., Андріїв Т. Р. Методології розроблення програмного забезпечення // Науково-технічна конференція професорсько-

викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (6-10 лютого 2023 р., Львів) : тези доповідей / Українська академія друкарства. – 2023. – С. 148.

2. Сеньківський В. М., Білик О. З. Дослідження варіантів процесу розроблення програмного забезпечення // Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (у режимі онлайн) (5–9 лютого 2024 р., Львів) : тези доповідей / Українська академія друкарства. – 2024. – С. 174.

3. Сеньківський В. М., Піх І. В., Білик О. З. Застосування штучного інтелекту для покращення якості процесу тестування програмного забезпечення // Інформаційні технології і автоматизація – 2024 : матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції, Одеса, 31 жовтня – 1 листопада 2024 р. – 2024. – С. 679–681.

4. Білик О. З. Використання машинного навчання для пошуку дублікатів в системах відстеження помилок // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (Черкаси, 17-21 березня 2025 р.). – 2025. – С. 205–207.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Результати дисертаційної роботи апробовано та використано в ТОВ «Н-ІКС ДЕЛІВЕРІ» (Львівська обл., с-ще Славсько) та навчальному процесі кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету (м. Київ) під час викладання дисциплін “Якість програмного забезпечення та тестування”, “Технології тестування та верифікації програмного забезпечення”.

Впровадження результатів роботи підтверджено відповідними актами.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

У дисертації розроблено та теоретично обґрунтовано інформаційну технологію прогнозного оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення, призначену для формування інтегрального показника на підставі комплексного узагальнення різнорідних за сутністю та способом подання факторів. Сформований показник доповнюється інтелектуальним аналізом даних тестування, який передбачає опрацювання накопиченої інформації, релевантної для уточнення прогнозних оцінок і їх інтерпретації. Запропонований підхід дозволяє за сукупністю вхідних параметрів визначати очікуваний рівень якості тестового процесу й підвищувати обґрунтованість управлінських рішень щодо планування та організації тестових робіт. Практичну цінність становлять такі результати: визначено послідовність і зміст ключових етапів тестування програмного забезпечення та вимоги до якості його виконання; побудовано функціональну модель тестового процесу; сформовано систему критеріїв і факторів якості процесу тестування та встановлено їх відносну вагомість із подальшим відображенням ієрархії впливів; розроблено підхід до обґрунтування організаційних альтернатив виконання тестових робіт на основі багатокритеріального аналізу та узгодженого згортання критеріїв; побудовано ієрархічну модель формування інтегрального показника якості тестового процесу та реалізовано його прогнозування засобами нечітких множин і нечіткої логіки через лінгвістичні змінні, функції належності й базу правил; реалізовано завдання планування і розподілу тестових активностей із використанням моделей лінійного програмування, а також застосовано методи машинного й глибокого навчання для автоматизованого виявлення дублікатів дефектів; розроблено структурно-функціональну модель запропонованої інформаційної технології та створено програмні засоби з графічним інтерфейсом користувача для підтримки планування й організації тестових робіт. Результати мають практичну цінність у галузі інформаційних технологій, зокрема у сфері інженерії програмного забезпечення та тестування, а також в розробленні інтелектуальних систем

прогностичного оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота має логічну структуру й складається з анотації (написаної українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 116 найменувань, двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 192 сторінки. Обсяг основного тексту — 169 сторінок. Дисертація містить 23 рисунки та 37 таблиць.

Оформлення роботи відповідає усім встановленим вимогам, зокрема Вимогам до оформлення дисертацій (Наказ МОН України № 40 від 02.01.2017 р.). Структура дисертаційної роботи є послідовною та логічно обґрунтованою. Кожен розділ змістовно пов'язаний із загальною метою та завданнями дослідження, забезпечуючи цілісність наукового викладу. Основні висновки обґрунтовано впливають із отриманих результатів, поданих у відповідних розділах, та узагальнюють ключові наукові положення роботи. Анотація повністю корелює зі змістом дисертації, відтворює основні її положення та всебічно відображає сутність проведеного дослідження і досягнуті здобувачем результати. Мова дисертації є науково виваженою, логічною та стилістично цілісною; стиль викладення відзначається чіткістю формулювань, послідовністю аргументації та відповідністю академічним вимогам щодо структурування наукового тексту.

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи

11. З урахуванням зазначеного, на науковому семінарі кафедри комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних процесах Навчально-наукового інституту поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка» ухвалили:

11.1. Дисертація здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії Білика Олексія Зіновійовича «Інформаційна технологія формування та оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення» є завершеною

науковою працею, у якій розв'язано важливе науково-прикладне завдання розроблення інформаційної технології формування та прогностичного оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення, що поєднує функціональне моделювання, факторний аналіз із пріоритизацією, багатокритеріальний вибір альтернатив, методи нечіткої логіки, оптимізаційні моделі та інтелектуальний аналіз даних, що дало змогу формалізувати процес прийняття рішень за умов невизначеності під час планування та виконання тестування програмного забезпечення, визначати очікуваний рівень якості процесу тестування та підвищити обґрунтованість управлінських рішень щодо організації тестових робіт, що має важливе значення для розвитку та впровадження інформаційних технологій.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. Основні результати дисертації повністю відображені у 14 наукових працях, а саме: 3 статті у виданні, що індексується у наукометричних базах даних Scopus та Web of Science і 1 стаття належить до квартилю Q1, дві - до Q4; 7 статей у наукових фахових виданнях України; 4 публікації у збірниках всеукраїнських та міжнародних конференцій.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії Білика Олексія Зіновійовича дисертація «Інформаційна технологія формування та оцінювання якості процесу тестування програмного забезпечення» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

за – 22 (двадцять два)

проти - немає

утримались - немає

Головуючий на науковому семінарі
кафедри комп'ютерних технологій
у видавничо-поліграфічних процесах
Інституту поліграфії та медійних технологій
Національного університету «Львівська політехніка»,
зав. кафедри комп'ютерних технологій
у видавничо-поліграфічних процесах,
доктор технічних наук, професор

Михайло ВЕРХОЛА

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
мультимедійних технологій

В'ячеслав РЕПЕТА

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
систем віртуальної реальності

Олександр ТИМЧЕНКО

Відповідальний
у Інституті поліграфії та медійних технологій
Національного університету «Львівська політехніка»
за атестацію PhD,
к.т.н., доцент

Валерій ЖИДЕЦЬКИЙ

«10» 03 2026 р.