

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Симця Івана Ігоровича**

«Моделі і методи прогнозування та аналізу надійності технічних систем з урахуванням процесу розробки ПЗ»,

подану до захисту на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**

з галузі знань 12 *«Інформаційні технології»*

та спеціальності 121 *«Інженерія програмного забезпечення»*

1. Актуальність теми роботи.

Зі стрімким розвитком програмної інженерії розміри програмних систем суттєво збільшуються, а їх структура ускладнюється. Разом з тим, розширюються галузі застосування та їх функціональність як в цілому, так і окремо для програмного забезпечення. Все більше уваги зосереджується на важливості безпеки та надійності програмного забезпечення. Таким чином, індустрія ставить перед розробниками вимоги високого ступеня надійності і, відповідно точнішого оцінювання показників надійності таких програмних засобів (ПЗ). Задачу оцінки та прогнозування надійності ПЗ розв'язують, зазвичай, з використанням відповідних моделей надійності. Використання таких моделей ускладнюється, через зростання складності програмних засобів, і відповідно, потребує складних обчислень при визначенні необхідних параметрів.

В класичних методах і підходах до розробки програмного забезпечення, поняття якості і надійності фігурують на завершальних етапах життєвого циклу програмного продукту. Це обумовлено тим, що можливість оцінки цих показників з'являється тільки після завершення його розробки. Тобто тоді, коли накопичуються реальні дані для проведення статистичного аналізу та одержання відповідних метрик. Тому зараз, з метою підвищення якості і надійності програмного забезпечення, зокрема на ранніх етапах розробки ПЗ, застосовуються методи прогнозування дефектності програмного забезпечення для виявлення потенційних помилок. Дані методи використовують для аналізу метрик програмного продукту і використовуються для класифікації потенційно

дефектних модулів або прогнозування приблизної кількості помилок у певному модулі системи. Як результат, методи прогнозування дефектності програмного забезпечення, можуть допомогти розробникам виявити дефекти на основі наявних програмних показників, використовуючи методи аналізу даних, і тим самим покращити якість програмного забезпечення. В кінцевому підсумку це призводить до зниження витрат на розробку програмного забезпечення на етапі розробки та обслуговування.

Тому актуальним науковим завданням є підвищення точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем шляхом удосконалення відповідних моделей надійності та розроблення методів і засобів автоматизації їх побудови.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 7-ми додатків. Загальний обсяг роботи складає 188 сторінок друкованого тексту: 127 сторінок основного тексту, 73 рисунки, 29 таблиць, списку використаних джерел із 114 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету і основні задачі дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів, описано методи, які були використані у дослідженнях і особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** проаналізовано основні напрямки і підходи для прогнозування і аналізу показників надійності програмних систем.

У **другому розділі** розроблено і апробовано методи для автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку з додатковими віртуальними станами та для визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності ПЗ.

Третій розділ спрямовано на удосконалення моделей прогнозування дефектності ПЗ шляхом використання методів машинного навчання. В роботі використано різні методи вибору ознак і на їх основі визначено обмежену

множину метрик, які найбільше впливають на дефектність модулів ПЗ. З використанням обмеженої множини метрик коду та статистичного регресійного методу побудовано модель дефектності ПЗ. Точність прогнозу з використанням цієї моделі становить 82,9%. Також, розроблено метод класифікації модулів ПЗ за дефектністю на основі метрик коду з використанням стекового ансамблю 3-х нейронних мереж, який дозволяє підвищити точність класифікації програмних модулів на дефектні і без дефектів з 79-86% до 92%.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи описано розроблене автором програмне забезпечення, яке дає можливість автоматизувати використання розроблених моделей і методів.

Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри програмного забезпечення Національного університету "Львівська політехніка" - програмне та математичне забезпечення автоматизованих систем. Дисертація виконана в межах держбюджетних науково-дослідних робіт:

- «Підвищення ефективності засобів бездротового зв'язку відповідального призначення та процедур моделювання і прогнозування їх характеристик» (номер держреєстрації 0118U000261);
- «Розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення методами машинного навчання» (номер держреєстрації 0121U109527);

- «Розроблення криптозахищеної системи високошвидкісного передавання даних у діапазонах УВЧ і НВЧ з підвищеними завадостійкістю та відмовостійкістю» (номер держреєстрації 0122U000960).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечено коректним використанням теорії штучних нейронних мереж та машинного навчання, методів теорії надійності технічних систем, застосуванням методів теорії графів та обчислювальної математики, об'єктно-орієнтованого підходу при проектуванні програмних засобів.

Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- результатами виконаних автором низки експериментальних досліджень;
- публікацією статей в провідних фахових виданнях України і за кордоном;
- апробацією отриманих наукових результатів на 5 міжнародних наукових конференціях;
- впровадженням отриманих результатів в навчальний процес кафедри програмного забезпечення Національного університету "Львівська політехніка";
- дослідними випробуваннями на підприємствах ТзОВ «Едвантіс» і ПП «Лінк Ап Студіо».

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в публікаціях у фахових виданнях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано: 13 наукових праць, серед яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, що входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав та 5 праць – у матеріалах і тезах конференцій.

Дисертант отримав наступні наукові результати:

- *вперше* розроблено метод автоматизованого визначення функції працездатності, який ґрунтується на аналізі топології системи і, на відміну від існуючих підходів, дає змогу в автоматизованому режимі визначати складну логічну функцію, що зменшує ймовірність внесення похибок і підвищує точність моделювання надійності;
- *вперше* розроблено метод автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку з додатковими віртуальними станами із використанням якого є змога формувати еквівалентний процес для довільного порядку, не використовуючи розширеної матриці ймовірностей, у зв'язку із чим підвищується точність оцінки надійності складних програмних систем;
- *отримали подальший розвиток* Марковські моделі надійності програмно-апаратних систем, які, на відміну від існуючих, дають змогу визначати максимальну і мінімальну кількість працездатних станів;
- *отримали подальший розвиток* моделі дефектності ПЗ, які відрізняються від існуючих використанням обмеженої кількості метрик коду ПЗ, які найбільше впливають на дефектність, що дає змогу підвищити точність визначення показників надійності ПЗ на ранніх етапах його життєвого циклу;
- *отримав подальший розвиток* метод класифікації модулів ПЗ за дефектністю, який відрізняється стекінговим ансамблюванням нейронної мережі на основі радіально-базисних функцій, рекурентної нейронної мережі та мережі довгої короткочасної пам'яті та дає змогу підвищити точність прогнозування дефектності ПЗ

6. Практичне значення одержаних результатів.

Цінність наукових результатів роботи полягає у тому, що в ній запропоновано рішення важливого наукового завдання - підвищення точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем

шляхом удосконалення відповідних моделей надійності та розроблення методів і засобів автоматизації їх побудови.

Практична значення результатів роботи обумовлене тим, що здобувачем розроблено методи, моделі і програмне забезпечення, які дають змогу полегшити процес надійнісного проектування, знизити ймовірність внесення помилки на цьому етапі, а також надають рекомендації розробникам щодо підвищення якості програмних модулів на етапах проектування та кодування програмного забезпечення.

Розроблені моделі і методи пройшли дослідницьке випробування на підприємствах ТзОВ «Едвантіс» і ПП «Лінк Ап Студіо», де показали хороші результати. Результати роботи впроваджені у навчальний процес кафедри Програмного забезпечення для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» в лекційному курсі та практикумі дисципліни «Теорія надійності програмних систем».

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

8. Зауваження до дисертації.

1. У розділі 3, підрозділ 4 для покращення точності прогнозування було використано і реалізовано чотири нейронні мережі, а саме: багатошаровий перцептрон, нейронна мережа на основі радіально-базисних функцій, рекурентна нейронна мережа та мережа довгої короткочасної пам'яті. А для стекового ансамбля було використано тільки три нейронні мережі: нейронна мережа на основі радіально-базисних функцій, рекурентна нейронна мережа та мережа довгої короткочасної пам'яті. З роботи не

зрозуміло за яким критерієм обирали нейронні мережі для стекового ансамблю.

2. У пункті 2.2, для демонстрації практичного використання та перевірки розробленого методу автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку, його було реалізовано та апробовано на прикладі оцінки надійності програмного забезпечення польотів наносупутників CubeSat. Для отримання більш достовірних результатів варто було б виконати більше експериментів із різними типами програмного забезпечення.
3. У роботі зазначено, що модель логістичної регресії була створена за допомогою компонента `linear_model.LogisticRegression` (частина бібліотеки `sklearn`), а значення коефіцієнтів для рівняння логістичної регресії отримано за допомогою атрибута `coef_` моделі `LogisticRegression`. Але незрозуміло, яким саме методом отримувались дані коефіцієнти наведені у таблиці 3.10.

Висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Симця Івана Ігоровича *«Моделі і методи прогнозування та аналізу надійності технічних систем з урахуванням процесу розробки ПЗ»*, представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 *«Інженерія програмного забезпечення»* (галузь знань 12 *«Інформаційні технології»*) є актуальною, завершеною науковою працею, що виконана на належному науково-теоретичному рівні з логічно- та доступно-викладеним матеріалом.

У роботі вирішено важливе наукове завдання, що полягає у підвищенні точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем шляхом удосконалення відповідних моделей надійності та розроблення методів і засобів автоматизації їх побудови.

Здобувач Симець Іван Ігорович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 *«Інженерія програмного забезпечення»*.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,

доцента кафедри систем штучного інтелекту

Національного університету "Львівська політехніка"



Ізонін І. В.

Підпис к.т.н., доцента Ізоніна І. В.

«ЗАСВІДЧУЮ»

Вчений секретар Національного Університету

«Львівська Політехніка»

«30» травня 2022 р.



Брилинський Р.Б.