

## 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»*

### *Актуальність теми.*

Розроблення сучасних складних технічних систем ставить перед конструкторами нові та все складніші задачі. Більшість із сучасних технічних систем – є програмно-апаратними, багатокомпонентними, і відповідно, складними в проектуванні та розробленні. Однією з важливих задач при розробці, а, особливо, при проектуванні складних систем – є розрахунок їхньої надійності. Відповідно, надійніше проектування є одним з важливих етапів розробки технічних систем загалом та, особливо, складних технічних систем спеціального призначення. Широке використання складних систем в критичних, з точки зору відмов, застосуваннях підвищує вимоги до надійності та їх безпечності в цілому і, особливо програмної складової, зокрема. Для підвищення достовірності та точності оцінювання показників надійності сучасних складних технічних систем, необхідне використання моделей надійності з підвищеним ступенем адекватності. Практичне використання моделей технічних систем з великою кількістю станів – є ускладненим через відсутність практичних апробованих методів та алгоритмів обчислення вихідних характеристик. Тому, розроблення, практичне використання моделей і методів надійності програмних та програмно-апаратних систем з підвищеним ступенем адекватності – потребує розроблення відповідних методів і засобів автоматизації.

Усе це і зумовлює актуальність, наукову і практичну цінність дисертаційної роботи Симця І.І., яка присвячена розв'язанню наукової задачі підвищення точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем, шляхом удосконалення відповідних моделей надійності та розроблення методів і засобів автоматизації їх побудови.

### *Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.*

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетному тематичному напрямку Національного університету "Львівська політехніка" "Розробка математичних методів та систем моделювання об'єктів та процесів" та науковому напрямку кафедри програмного забезпечення "Програмне та математичне забезпечення автоматизованих систем".

Дисертація виконана в межах 3-х держбюджетних науково-дослідних робіт, а саме: «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).

***Ступінь обґрунтованості основних наукових положень і висновків сформульованих у дисертації.***

Наукові положення та висновки, які описані в дисертаційній роботі – є достатньо обґрунтованими. В процесі виконання дослідницької роботи, для отримання основних результатів, автор правильно використав теорію графів, методи машинного навчання, методи обчислювальної математики і комбінаторики та методи об'єктно-орієнтованого підходу в процесі програмування.

Висновки чітко висвітлюють результати проведених досліджень.

Достовірність отриманих результатів в ході виконання дисертаційної роботи – підтверджується експериментальними дослідженнями, дослідницькими випробовуваннями на підприємствах ТзОВ «Едвантіс» і ПП «Лінк Ап Студіо», впровадженням результатів роботи у навчальний процес кафедри Програмного забезпечення Національного університету «Львівська політехніка», використанням результатів роботи у процесі виконання держбюджетної науково-дослідної роботи (ДБ/Демодуляція), про що свідчать відповідні акти.

***Наукова новизна основних наукових положень, висновків, проведених наукових досліджень та одержаних результатів.***

Отримані наукові результати є важливими для підвищення точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем. Основними науково-обґрунтованими результатами є:

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.

### ***Практичне значення одержаних результатів.***

Практичне значення дисертаційної роботи полягають в розробленні алгоритмів реалізації запропонованих методів і моделей та розроблених програмних засобів, які дають змогу автоматизувати процес аналізу та прогнозування надійності програмно-апаратних складних систем та забезпечити підвищення точності прогнозування і визначення показників надійності.

### ***Повнота викладу основних наукових положень, висновків в опублікованих працях.***

Наукові положення та отримані результати достатньо повно представлені в опублікованих автором наукових працях та апробовані на науково-технічних конференціях.

Результати дисертації опубліковано у 13 наукових працях, з яких: 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому фаховому виданні України, що входить міжнародної наукометричної бази Web of Science, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав та 5 праць – у матеріалах і тезах конференцій.

### ***Структура дисертації.***

Дисертаційна робота Симця І.І. є завершеною науковою працею, яка складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел кількістю 114 найменувань, містить 73 рисунки, 29 таблиць та 7 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми та наведено об'єкт, предмет і мету дослідження, наукову новизну і практичну цінність дисертаційного дослідження; визначено основні методи дослідження; наведено список публікацій у яких висвітлено основні результати роботи.

*Перший розділ* присвячений детальному аналізу літературних джерел, висвітлено результати попередніх досліджень, визначено переваги і недоліки існуючих методів і моделей аналізу і прогнозування показників надійності програмних систем, які потребують подальших наукових досліджень для їх автоматизації і практичного використання.

У *другому розділі* розроблено 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. Розроблені методи дають змогу автоматизувати процес дослідження із використанням Марковських моделей надійності ПЗ і підвищити точність і достовірність оцінки показників надійності.

У розділі також представлено апробацію розробленого методу подання Марковського процесу вищого порядку на прикладі оцінки надійності програмного забезпечення польотів наносупутників CubeSat. А також визначено, на основі тестування методу для визначення функції працездатності, формули, які дозволяють визначити максимальну і мінімальну кількість працездатних станів із загальної множини для системи із  $n$  елементів і  $r$  відновлень.

*Третій розділ* присвячено дослідженню і удосконаленню моделей прогнозування дефектності ПЗ шляхом використання методів машинного навчання. На основі результатів дослідження, побудовано модель дефектності ПЗ з використанням обмеженої множини метрик коду. Використання обмеженої кількості метрик (7 метрик) дає змогу покращити точність класифікації модулів на дефектні і без дефектів на 10-21% порівняно з використанням цілої множини метрик коду (21 метрика).

Для покращення точності класифікації модулів системи за дефектністю, автором було розроблено метод класифікації модулів ПЗ за дефектністю, на основі метрик коду з використанням стекового ансамблю нейронної мережі на основі радіально-базисних функцій, рекурентної нейронної мережі та мережі довгої короткочасної пам'яті, який дає високі результати точності.

У *четвертому розділі* описано розроблене програмне забезпечення, яке реалізує розроблені у даній дисертаційній роботі методи автоматизації. У розділі описано ПЗ для розрахунку надійнісних характеристик складних технічних систем, на основі функції працездатності, яке реалізовано за допомогою платформи .Net, мови програмування C# і технології WPF для платформи Windows. А також описано, Web-застосунок, який розроблено із використанням

мови програмування JavaScript і відкритої бібліотеки ReactJS для покрокового представлення Марковського процесу вищого порядку у вигляді еквівалентного процесу першого порядку з додатковими віртуальними станами.

Розроблене програмне забезпечення має гнучку структуру і зрозумілий інтерфейс користувача. В розділі також наведено тестові випробовування розробленого ПЗ, які показують позитивні результати.

*У висновках сформульовані основні результати дисертаційної роботи.*

### **Окремі дискусійні питання і зауваження.**

1. В анотації автор пише про “...науково-прикладну задачу...”, а в наступних частинах дисертаційного дослідження “...наукова задача...”.

2. В пункті 2.3 описано метод автоматизованого визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності ПЗ. Чи можна цей метод використовувати для інших моделей?

3. В дисертації слід було б більш детально описати на яких етапах життєвого циклу програмного забезпечення доцільно використовувати розроблені моделі і методи.

4. Автором розроблені моделі, але відсутні дані про області їх адекватності.

5. Автор вживає поняття «моделі дефектності», «дефектність», «дефект». На мою думку слід би було навести визначення цих понять і, зокрема, зазначити чим вони відрізняються від під понять «відмова» та «помилка». Використані словосполучення в дисертації потребують додаткових пояснень: “...проста точність...”, ст.97; “...істинних позитивів...”, ст.98; “...середня точність...”, ст.90; “Ассурасу (3.1) – точність є хорошим базовим показником для вимірювання продуктивності моделі”, ст.97; та ін.

6. Не витримані вимоги до оформлення алгоритмів у формі блок-схем рис.2.10, рис.2.12, рис. 2.14 та ін.

7. На рис.2.3 зображено “Архітектура ПЗ ...” . На мою думку, підпис під цим рисунком коректніше назвати схемою чи діаграмою.

## **ВИСНОВКИ**

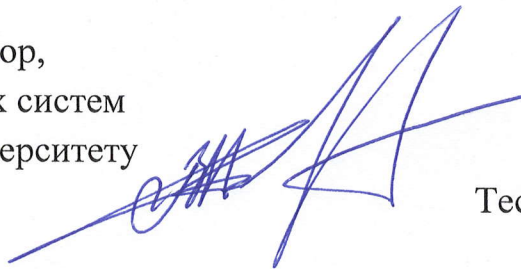
За результатами аналізу змісту дисертації вважаю, що дисертація Симець Івана Ігоровича є завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено важливу наукову задачу щодо підвищення точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем, шляхом удосконалення відповідних моделей надійності та розроблення методів і засобів автоматизації їх побудови.

Враховуючи актуальність, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, вважаю, що дисертація «Моделі і методи прогнозування

та аналізу надійності технічних систем з урахуванням процесу розробки ПЗ» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «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), а її автор Симець Іван Ігорович заслуговує присудження ступеня доктор філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

**Рецензент:**

Доктор технічних наук, професор,  
завідувач каф. автоматизованих систем  
управління Національного університету  
"Львівська політехніка"



Теслюк В.М.

Підпис д.т.н., професора Теслюка В.М.

**«ЗАСВІДЧУЮ»**

Вчений секретар Національного Університету  
«Львівська Політехніка»

“30” Травня 2022 р.



Брилинський Р.Б.