

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Національного університету «Львівська політехніка»  
д.т.н., професору Федасюку Дмитру Васильовичу

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

доктора технічних наук, доцента Пукаса Андрія Васильовича

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**

Надійність є важливою метрикою, яка відображає ступінь коректності програми. Прогноз надійності на ранній стадії процесу розробки пропонує багато досягнень, таких як підвищення якості, розподіл ресурсів для розробки та тестування та впевненість у якості програмного забезпечення (ПЗ).

Нині складність розробки програмного забезпечення та його розміри збільшуються у міру зростання потреб суспільства. З цієї причини сучасний технологічний процес інженерії програмного забезпечення перейшов до компонентної розробки та інших передових процесів, які забезпечують повторне використання коду, легке обслуговування та швидкий розвиток системи програмного забезпечення.

Зростання складності і масштабів використання програмних засобів зумовлює потребу у розробці нових та вдосконаленні існуючих методів і моделей прогнозування та аналізу надійності із високою точністю і достовірністю.

Зважаючи на це, актуальною є проблематика дисертаційної роботи Симця Івана Ігоровича, яка присвячена розв'язанню науково-практичного завдання

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

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

Дисертаційна робота пов'язана з тематикою науково-дослідних робіт кафедри програмного забезпечення Національного університету “Львівська політехніка”.

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.

## **3. Мета роботи, методи, предмет та об'єкт дослідження**

*Метою дослідження* є підвищення точності прогнозування та аналізу показників надійності програмних систем.

*Об'єктом дослідження* дисертаційної роботи є процес аналізу та прогнозування надійності ПЗ.

*Предметом дослідження* є моделі, методи та алгоритми прогнозування надійності ПЗ та визначення її показників.

*Методи дослідження.* У дисертаційній роботі використано: методи теорії надійності складних технічних систем; методи теорії графів - створення методу автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку; методи машинного навчання - визначення набору метрик коду, які найбільше впливають на його дефектність і для створення методу класифікації модулів ПЗ за дефектністю; методи обчислювальної математики - для побудови і розв'язання системи диференціальних рівнянь; комбінаторні методи - для

виведення формул визначення простору станів для графа станів і переходів; методи об'єктно-орієнтованої парадигми програмування та методи теорії алгоритмів.

#### **4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка розв'язує актуальне наукове завдання підвищення точності прогнозування та оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем шляхом удосконалення відповідних моделей надійності та розроблення методів і засобів автоматизації їх побудови.

Основними науковими здобутками дисертанта слід відзначити наступні:

*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;

- 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;

- 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;

- 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.

## **5. Загальні характеристики дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку літературних джерел та додатків, і є завершеною науковою працею.

**У першому розділі (23 ст.)** проведено огляд та аналіз літературних джерел відповідно до теми дисертаційного дослідження. Виконано аналіз і опис основних тверджень і критеріїв із теорії надійності. Представлено детальний опис моделей і методів аналізу і прогнозування показників надійності ПЗ і їх особливостей.

**У другому розділі (30 ст.)** описано метод автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку з додатковими віртуальними станами. Запропонований підхід дає змогу інтегрувати моделі надійності вищого порядку в програмні засоби для аналізу показників надійності складних технічних систем. Продемонстровано і протестовано використання методу автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку на прикладі оцінки надійності програмного забезпечення польотів наносупутників CubeSat.

У даному розділі описано метод автоматизованого визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності, який дозволяє зменшити імовірність внесення помилок в модель і підвищує точність моделі.

**У третьому розділі (34 ст.)** наведено опис дослідження, метою якого було удосконалення моделей прогнозування дефектності ПЗ шляхом використання методів машинного навчання для вибору метрик, що найбільше впливають на дефектність модулів ПЗ і розроблення методу класифікації дефектів ПЗ на основі використанням стекового ансамблю нейронних мереж.

**У четвертому розділі (30 ст.)** було описано програмне забезпечення для автоматизації процесу роботи методу подання Марковського процесу вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку з додатковими віртуальними

станами і методу визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності. Описано інструкцію користувача для розробленого ПЗ і протестовано програмне забезпечення на швидкодію.

## **6. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків, сформованих у дисертаційній роботі Симця І.І., впливають з адекватності застосованих методів дослідження, верифікації результатів шляхом обчислювальних експериментів та практичним випробуванням, отриманих дисертантом результатів, засвідчених відповідними актами випробувань, впровадженням результатів роботи в освітній процес кафедри програмного забезпечення Національного університету "Львівська політехніка", обґрунтуванням матеріалів дисертації на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях. Адекватність отриманих рішень та оцінка їхньої ефективності підтверджені результатами моделювання та дослідження запропонованих методів і моделей.

## **7. Практична значимість результатів роботи**

Практична значимість дисертаційного дослідження полягає у розробленні і визначенні: методів автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку та автоматизованого визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності; формули для швидкої оцінки системи на максимальну і мінімальну можливу кількість станів системи із відомими значеннями елементів і відновлень; визначено обмежену множину метрик коду ПЗ, які найбільше впливають на його дефектність і дозволяє покращити точність класифікації модулів на дефектні і без дефектів на 10-21% порівняно з використанням більшої кількості метрик коду; метод класифікації модулів ПЗ за дефектністю на основі метрик коду з використанням стекового ансамблю нейронних мереж, який дає можливість підвищити точність класифікації програмних модулів на дефектні і без дефектів з 79-86% до 92%.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес кафедри програмного забезпечення Національного університету "Львівська політехніка" для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» у дисципліні «Теорія надійності програмних систем». Розроблені моделі і методи пройшли дослідницьке випробування на підприємствах ТзОВ «Едвантіс» і ПП «Лінк Ап Студіо».

## **8. Повнота викладу основних результатів досліджень в опублікованих працях**

Аналіз показав, що здобувач має необхідний обсяг наукових публікацій та апробацій. Результати дисертаційної роботи викладені у 13 наукових працях, з 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.

## **9. Зауваження до дисертації:**

1. Автор дуже широко окреслив предмет дисертаційного дослідження у назві роботи, а саме "надійність технічних систем". Проте, у роботі вже конкретизовано саме програмні системи, які входять як складова компонента до класу технічних систем.

2. Не досить чітко сформульовано третій пункт наукової новизни, а саме не зазначено особливості марковської моделі надійності, яка дає змогу визначати максимальну і мінімальну кількість працездатних станів.

3. Для автоматизованого використання, тестування і верифікації розроблених методів визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності та подання процесу Маркова вищого порядку еквівалентним процесом першого порядку з додатковими віртуальними станами було спроектовано та розроблено відповідне програмне забезпечення. Програмне забезпечення для автоматизації подання процесу Маркова вищого порядку розроблене як Web-аплікація із використанням мови програмування JavaScript і відкритої бібліотеки ReactJS для розробки користувацьких інтерфейсів. А

програмний засіб для розрахунку надійнісних характеристик складних технічних систем на основі функції працездатності із використанням мови програмування C# і технології WPF для платформи Windows. Чому програмне забезпечення виконано як два окремих застосунки і з використанням різних технологій?

4. На сторінках 3 і 35 сказано, що засоби “дозволяють розробникам виявити дефекти на основі наявних програмних показників”. Не зрозуміло що означає термін “програмні показники”.

5. У пункті 3.2 досить багато теоретичного матеріалу, який доцільно було б навести у першому розділі роботи.

6. У загальних висновках у 3 пункті (с.139) доцільно було б навести числові дані для підтвердження підвищення точності прогнозу розробленого методу автоматизованого визначення функції працездатності для Марковських моделей надійності.

7. У пункті 7 загальних висновків зазначається, що точність прогнозу з використанням визначеної множини метрик коду та статистичного регресійного методу становить 82,9%. Проте, не вказано на скільки відсотків покращились результати порівняно із іншими моделями.

8. У роботі зустрічаються деякі граматичні та орфографічні помилки, зокрема автор розв’язує науково-практичну задачу, а у висновках – наукову; на с.136 в останньому абзаці пункту 4.4. наведено одиниць загального часу; у додатку В роботи у формулі для розрахунку метрики  $v$  замість змінної  $mu1$  вказано  $mu2$  та ін.

#### **Загальні висновки.**

Наведені вище зауваження, в цілому, мають методичний характер і не знижують загалом наукову значущість і практичну цінність роботи та можуть швидше розглядатись як рекомендації до подальших наукових досліджень та впровадження отриманих результатів на практиці.

Дисертант продемонстрував високу кваліфікацію, вільне володіння сучасними технологіями проектування та програмування ПЗ. Дисертація та її оформлення, кількість публікації та повнота відображення результатів досліджень

відповідають вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та «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.

Дисертаційна робота «*Моделі і методи прогнозування та аналізу надійності технічних систем з урахуванням процесу розробки ПЗ*» відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, а її автор Симець Іван Ігорович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» (галузь знань 12 «Інформаційні технології»).

**Офіційний опонент:**

доктор технічних наук, доцент,

в.о. завідувача кафедри комп'ютерних наук

Західноукраїнського національного університету

Андрій ПУКАС



Підпис	<i>А. Пукас</i>
Завіряю:	
НАЧАЛЬНИК ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ	<i>І. Симець</i>