

Вченому секретареві
спеціалізованої вченої ради Д 35.052.05
у Національному університеті «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Яковини Віталія Степановича на тему «Методи та засоби аналізу надійності функціонування програмного забезпечення з урахуванням етапів життєвого циклу», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.03 — математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем

1. Актуальність теми дослідження

1.1. У останні десятиліття системи з інтенсивним використанням програмного забезпечення (ПЗ) або програмно-апаратні системи (ПАС) визначають рівень досконалості, технічні характеристики, зокрема, функціональність, надійність та безпеку комплексів для комерційних і критичних застосувань. Відмови таких ПАС можуть бути спричинені випадковими відмовами і збоями внаслідок: (а) фізичних та виробничих дефектів апаратних засобів; (б) проектних дефектів програмних засобів, які залишилися невиявленими після верифікації; (в) несанкціонованих втручань і атак на вразливості (так звані «м'які» дефекти або дефекти взаємодії) апаратних і програмних засобів. Це ускладнює аналіз надійності (гарантоздатності) ПАС, перш за все, внаслідок специфічної природи виникнення і прояву дефектів програмних засобів, і перетворює такий аналіз на вкрай складну задачу.

Дослідження показують, що у 1990–2000 роках кожен сотий пуск ракет-носіїв та виведення космічних апаратів закінчувався аварією внаслідок невиявлених дефектів програмних засобів, а 6 з 7 аварійних відмов бортових комп'ютерних систем космічного призначення були пов'язані з дефектами програмних засобів. За останні 5 років ця статистика стала ще більш вражаючою. Для зменшення ризиків відмов за загальною причиною (common cause failure) внаслідок дефектів програмних і програмованих засобів у інформаційно-керованих системах АЕС, системах централізації та блокування залізниць, автомобільних і авіаційних комп'ютерних системах міжнародні та національні стандарти вимагають застосування кількох версій програмного забезпечення. Це є ще одним свідченням актуальності аспектів надійності та безпеки програмних засобів, оскільки застосування принципу диверсності суттєво збільшує витрати на розроблення та супровід систем і потребує адекватних оцінок ризиків невиявлених дефектів, їх прояву та толерування.

1.2. Вартість виправлення дефектів ПЗ багатократно зростає на все більш пізніх етапах життєвого циклу. Наявні підходи для визначення показників надійності ПЗ, розроблені в Україні та за її межами, не забезпечують у повній мірі урахування специфічних особливостей програмних проектів та їх

архітектури, математичний опис, комплексування моделей та урахування факторів, які впливають на надійність на різних етапах. Все це і обумовлює **актуальність науково-прикладної проблеми**, сформульованої автором, а саме проблеми вдосконалення наявних і побудови нових математичних моделей надійності ПЗ, які враховували б його складність, архітектуру та етапи життєвого циклу, а також розроблення відповідних методів і засобів аналізу надійності функціонування ПЗ.

1.3. Слід зазначити, що дослідження виконувалась відповідно до університетських, галузевих і державних планів і програм наукових досліджень і розробок, а тематика дисертаційної роботи відповідає:

- пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки на період до 2020 р. (інформаційні та комунікаційні технології), відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», 11.07.2001, № 2623-III;
- пріоритетному напрямку наукових досліджень і науково-технічних розробок (технології та засоби розробки програмних продуктів і систем), відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 р.», 07.09.2011, № 942.

2. Оцінка змісту дисертації

2.1. Дисертаційна робота складається із вступу, основної частини, яка містить п'ять розділів, висновків, переліку літератури та чотирьох додатків. У першому розділі надано глибокий аналіз існуючих підходів, моделей і методів оцінювання надійності ПЗ, який базується на огляді класичної та сучасної україно-, російсько- та англійської науково-технічної літератури, стандартів з якості та надійності. Це надало змогу сформулювати висновки і обґрунтувати проблему і напрями досліджень.

Зауваження. При огляді стандартів автор проаналізував загальні національні стандарти (ДСТУ) і майже не надав уваги міжнародним стандартам, у яких описуються вимоги до оцінювання і забезпечення якості та надійності ПЗ для різних галузей (наприклад, атомної енергетики – стандарти ISO-IEC-IAEA, космічних систем – стандарти ESA і ДКАУ та інш.). Крім того, при аналізі існуючих класифікацій моделей надійності ПЗ не запропоновано узагальнену класифікаційну схему, яка б допомогла чіткіше визначити місце запропонованих моделей. Можливо, більш детального аналізу вимагали моделі життєвого циклу ПЗ в контексті сформульованої проблеми.

2.2. В другому розділі побудовано та досліджено модель надійності ПЗ у вигляді неоднорідного пуассонового процесу з показником складності. Автором обрано такий варіант функції математичного сподівання, який дозволяє віднести модель з показником складності до класу узагальнених пуассонових моделей, яка в часткових випадках співпадає з відомими експоненційною та S-подібною моделями надійності ПЗ. Це дуже важливо, на наш погляд, і свідчить про безперечну новизну результату.

Дуже важливо те, що дослідження моделі супроводжується детальним аналізом основних припущень, що лежать в основі моделі та застосовності

моделі на різних етапах життєвого циклу ПЗ, а також те, що проведено верифікацію моделі з шляхом порівняння результатів опису і прогнозування процесу відмов з емпіричними даними тестування декількох програмних засобів, отриманими з літературних джерел.

Автор завершує розділ дослідженням впливу вибору моделі надійності ПЗ на результати оцінювання показників надійності відмовостійкої програмно-апаратної системи з версійної-структурною надмірністю. Це важлива частина розділу, оскільки демонструє, яким чином різні моделі надійності ПЗ можуть бути вбудовані в системні моделі складних ПАС

Зауваження. Розділ має назву «Оцінювання показників надійності програмного забезпечення на основі результатів тестування», але така назва не зовсім відповідає фактичному змісту, оскільки йдеться не тільки про тестування, але й застосування за призначенням. Крім того, автор не виокремлює тестування як один з методів верифікації ПЗ. Існують, як відомо, методи статичного аналізу, засівання дефектів, огляду проблем тощо, результати яких також впливають на оцінювання і забезпечення надійності ПЗ.

2.3. У третьому розділі розроблено моделі надійності програмних систем, які покликані усунути недоліки моделі надійності ПЗ з показником складності, дослідженої в попередньому розділі. Зокрема, для більш складних систем, для яких суттєвим стає урахування взаємозалежності виконання її модулів, дисертантом розроблено моделі надійності у вигляді ланцюгів Маркова вищого порядку з дискретним та неперервним часом, а також з урахуванням недосконалої інтеграції модулів системи.

Автор визначив шляхи оцінювання параметрів розроблених моделей на різних етапах життєвого циклу та запропонував модифікований процес аналізу вимог до ПЗ, який базується на методі аналізу ієрархій Т. Сааті. Дисертантом узагальнено метод аналізу надійності програмних систем з урахуванням їх складності та етапів життєвого циклу, який об'єднує розроблені в цьому та попередньому розділах моделі надійності ПЗ.

Що важливо, розділ завершується верифікацією розроблених моделей у вигляді ланцюгів Маркова вищого порядку та методу аналізу надійності програмних систем шляхом порівняння результатів оцінювання показників надійності тестових програмних систем визначеними з моделей надійності першого та вищого порядку, а також з емпіричних даних.

Зауваження. Не досить детально, на нашу думку, описано процедуру визначення параметрів для ланцюгів Маркова, зокрема, інтенсивності відмов модулів. Це ускладнює практичне використання запропонованих моделей. Крім того, схема узагальненого методу аналізу надійності (рис.3.3) недостатньо ураховує реальні моделі життєвого циклу (наприклад, V-модель).

2.4. Четвертий розділ присвячено моделям і методам підтримки прийняття рішень під час створення програмних систем для яких важливими є вимоги до надійності. Зокрема, автором описано та обґрунтовано критерій достатності тестування ПЗ, який базується на поведінці показника складності моделі надійності ПЗ у вигляді неоднорідного пуассонового процесу. Розроблений автором метод прогнозування кількості відмов програмного

забезпечення з використанням регресійного аналізу дає можливість зменшити тривалість процесу тестування на 30–40 % і при цьому мати можливість прогнозувати загальну кількість відмов програмного засобу з точністю не гіршою, ніж при використанні моделі надійності з показником складності на більш пізніх етапах тестування.

Підвищення ефективності процесу тестування та досягнення кращих значень метрик покриття коду тестами, що своєю чергою підвищує достовірність оцінювання показників надійності ПЗ на основі інформації про відмови, досягається шляхом використання засобів автоматизованого генерування сценаріїв тестування ПЗ, розроблених на основі моделі функціонування програмних систем, яка враховує архітектуру системи та змінні програмного коду. Описані в розділі моделі і методи верифіковані шляхом порівняння результатів, отриманих з їх використанням з експериментальними результатами та з відомими з літератури залежностями.

Зауваження. Назва розділу «Моделі і методи підтримки прийняття рішень в процесі розроблення програмних систем з урахуванням вимог до їх надійності» дещо ширша за зміст цього розділі. Фактично, йдеться про вибір методів тестування та визначення критеріїв щодо його завершення. Хоча це дійсно важливі речі, але існує значна низка задач, які вимагають підтримки прийняття рішень з урахуванням вартості процесів (вибір методів верифікації, сертифікаційні задачі тощо). Крім того, важливо було б проаналізувати інші обмеження при прийнятті рішень з урахуванням специфіки програмних систем.

2.5. У п'ятому розділі наведено опис розроблених програмних засобів, що реалізують наведені в попередніх розділах моделі і методи аналізу надійності програмних систем, а також проведено дослідження прогнозування відмов ПЗ засобами штучних нейронних мереж.

Зауваження. Автором розроблено низку програмних засобів оцінювання надійності ПЗ, але їх опис не є достатньо систематизованим. З одного боку, описуються деталі, які тяжіють до додатків, з іншого, - не вистачає архітектури інформаційної технології оцінювання і огляду результатів впровадження.

2.6. Структура дисертації логічна, відповідає меті та поставленим у роботі завданням. Наукова термінологія у роботі вжита коректно. Пояснення у тексті супроводжуються необхідною кількістю рисунків, таблиць та математичними викладками. На всі пронумеровані формули, рисунки, таблиці, додатки, а також літературні джерела, є посилання у тексті. Обсяг відповідає існуючим вимогам.

2.7. Наукові положення і результати, захищені у кандидатській дисертації Яковини В. С. на тему «Вплив індукованих лазерним випромінюванням ударних хвиль на стан дефектів у вузькощілинних твердих розчинах $Hg_{1-x}Cd_xTe$ та $Pb_{1-x}Sn_xTe$ » за спеціальністю 01.04.10 — Фізика напівпровідників і діелектриків, не використовуються в докторській дисертації.

3. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

3.1. Оскільки тематика дисертаційної роботи пов'язана із методами моделювання та аналізу надійності програмних систем, автор обґрунтував

необхідність розв'язання таких взаємопов'язаних задач в рамках вирішення сформульованої науково-прикладної проблеми:

- розроблення моделей і методів оцінювання показників надійності ПЗ за даними їх тестування з урахуванням складності ПЗ;
- розроблення моделей і методів оцінювання показників надійності складних програмних систем на основі даних про надійність їх складових з урахуванням взаємозалежності виконання модулів;
- побудова узагальненого методу аналізу надійності ПЗ з урахуванням його складності, архітектури та етапів життєвого циклу;
- розроблення засобів підтримки прийняття рішень на етапах тестування та введення в експлуатацію ПЗ із урахуванням вимог до надійності.

3.2. Для математичного опису моделей надійності ПЗ у роботі обрано неоднорідний пуассонів процес (для моделі типу "чорної скриньки") і марковський процес вищого порядку (для компонентних моделей). Їх вибір зроблено на основі аналізу найуживаніших моделей надійності, які застосовують в інженерній практиці та під час наукових досліджень. Для побудови і аналізу, методів автоматизованого формування сценаріїв тестування ПЗ, створення засобів підтримки прийняття рішень у процесі розроблення ПЗ у роботі застосовані методи теорії імовірностей і математичної статистики. Для створення методу подання марковського процесу вищого порядку у вигляді еквівалентного процесу першого порядку коректно використано методи теорії графів. Методи обчислювальної математики застосовувались для оцінювання показників надійності ПЗ та розв'язування систем рівнянь Колмогорова-Чепмена та системи рівнянь, отриманої за методом максимальної правдоподібності, методи штучного інтелекту були використано для створення засобів прогнозування відмов ПЗ на основі нейронних мереж.

3.3. Достовірність наукових положень і висновків підтверджується таким:

- по-перше, одержані у роботі результати відповідають емпіричним даним тестування ПЗ (отриманим як з наукової літератури, загальнодоступних джерел даних про ПЗ з відкритим кодом, так і безпосередньо з процесу тестування розроблених тестових програмних систем), а результати моделювання процесу тестування з використанням розроблених методів відповідають відомим експериментальним даним;

- по-друге, частка запропонованих моделей, зокрема, з урахуванням складності ПЗ може бути зведена до відомих при граничних значеннях відповідного параметру;

- по-третє, наукові результати пройшли дослідне випробування і використовуються у промисловості та мають позитивний досвід використання.

Таким чином, слід зробити висновок, що наукові положення, висновки та рекомендації дисертації, які виносяться на захист, є достатньо обґрунтованими та достовірними.

4. Новизна наукових положень дисертації

4.1. До нових, найбільш вагомих, наукових результатів слід віднести, на нашу думку, такі. Автором вперше:

- побудовано модель надійності функціонування програмних систем у вигляді ланцюга Маркова вищого порядку з неперервним часом та модель з урахуванням недосконалої інтеграції модулів програмної системи та взаємозалежності їх виконання, які дають можливість більш достовірно оцінювати показники надійності ПЗ;

- розроблено метод подання марковського процесу вищого порядку у вигляді еквівалентного процесу першого порядку з віртуальними станами, що дає можливість застосувати наявні засоби автоматизованої побудови моделей надійності функціонування складних програмних систем;

- розроблено метод прогнозування кількості відмов ПЗ з використанням регресійного аналізу, який дає можливість підвищити точність прогнозування кількості невиявлених помилок в ПЗ, або ж зменшити тривалість процесу його тестування зі збереженням точності прогнозу.

Крім того, автором удосконалено:

- метод аналізу надійності функціонування ПЗ, який враховує його складність, архітектуру та етапи життєвого циклу, що підвищує достовірність оцінювання показників надійності ПЗ;

- процедуру аналізу вимог до ПЗ, який за рахунок використання методу аналізу ієрархій дає можливість отримати оцінки параметрів моделей надійності функціонування ПЗ на ранніх етапах його життєвого циклу;

- нейромережні моделі прогнозування надійності функціонування ПЗ, зокрема, встановлено оптимальні конфігурації нейронної мережі Елмана та мережі на основі радіально-базисних функцій, що дає можливість прогнозувати відмови ПЗ різного ступеня складності з високою точністю;

- модель надійності функціонування ПЗ з показником складності, зокрема, встановлено зв'язок значень цього показника з його складністю, що підвищує достовірність оцінювання показників надійності ПЗ;

- метод аналізу надійності програмно-апаратних систем шляхом введення в модель надійності функціонування ПЗ показника його складності, за рахунок узагальненого характеру моделі та урахування складності ПЗ, підвищує достовірність оцінювання показників надійності програмно-апаратних систем.

Примітка. Формулювання наукової новизни майже збігається з авторським. Змінено (симетрично) ступінь новизни двох результатів. Взагалі, хотілося б мати більш детальне розкриття ступеня новизни у результатах сформульованих як «вперше».

4.2. Наукове значення результатів роботи полягає у тому, що запропоновані моделі і методи аналізу надійності функціонування ПЗ, є внеском у теорію надійності програмного забезпечення, оскільки вперше систематизовано враховують вплив його структури і складності, а також етапів її життєвого циклу на визначення відповідних показників надійності.

5. Практичне значення отриманих результатів та можливі шляхи використання результатів дослідження

5.1. Практичне значення результатів полягає у тому, що запропоновані моделі і методи реалізовані у вигляді програмних засобів, які інтегруються з

популярними засобами розроблення ПЗ та підвищують достовірність оцінки показників надійності програмних систем на різних етапах життєвого циклу. Їх практичне впровадження в промисловості, бюджетних НДР та навчальному процесі підтверджено відповідними актами.

5.2. Можливими шляхами використання результатів є розроблення окремих положень нормативних документів, обґрунтування вимог до програмного забезпечення для різних ПАС, створення засобів автоматизованого оцінювання та верифікації. Низку наукових і практичних результатів доцільно використовувати у подальшому на підприємствах, що займаються розробкою та впровадженням програмних і програмно-апаратних (в т.ч. інформаційно-управляючих) систем, таких як ДП НДІ "Система" (м. Львів), ТЗОВ науково-виробнича фірма "Промтехносервіс Україна" (м. Київ), ТЗОВ "Логіка ЛТД" (м. Львів), ТОВ "СЕА Електротехніка" (м. Київ), Сертцентр АСУ (м. Харків) та ін., а також у навчальному процесі ІТ-кафедр університетів.

6. Повнота опублікування положень дисертації. Аналіз автореферату

6.1. Основні положення та результати роботи повною мірою висвітлені в 55 наукових публікаціях, із них 2 монографії у співавторстві та 25 статей у періодичних фахових виданнях, у тому числі закордонних та журналах України, які занесені до наукометричних баз даних. Із наведених публікацій 7 написано без співавторів.

6.2. Основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи ідентичні наведеним у авторефераті. Автореферат також підготовлений відповідно до діючих вимог.

6.3. Отримані наукові положення і дисертація в цілому відповідає паспорту спеціальності 01.05.03 – Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем, зокрема, п.п.:

- методи оцінки якості, уніфікації та стандартизації програмних систем різного призначення;
- методи і засоби аналізу та проектування програмних систем.

7. Зауваження до дисертації

7.1. Частка зауважень до дисертації описана у п.п. 2.1-2.5. Крім того, слід відзначити, що:

- автором запропоновано комплекс нових і удосконалених моделей і методів, а також засобів для оцінювання надійності програмного забезпечення, але, на наш погляд, доцільно було б більш ретельно вибудувати елементи загальної методології, які б поєднали ці моделі і методи як теоретичний базис, з одного боку, а з іншого, - зробили більш системним технологічну складову;

- метою досліджень є підвищення достовірності оцінювання; у дисертації та авторефераті надаються кількісні дані отриманого виграшу для окремих результатів, але не визначено узагальнені показники підвищення достовірності і не отримано узагальнені значення такого виграшу;

- більш ретельного опрацювання потребує вбудовування запропонованого інструментарію (методів та програмних засобів) у індустріальні процеси

розроблення та супроводу програмного забезпечення; такий підхід набирає ходи в інженерії надійності ПЗ;

- є певна неузгодженість у використанні окремих термінів, які іноді не обґрунтовано синонімізуються (помилка, дефект,..; надійність, безвідмовність,...);

- автор досить коректно і повно описує припущення для моделей надійності, що аналізуються та пропонуються. Але все ж таки ця частина процесу оцінювання є надто важливою і, на нашу думку, повинна бути першим кроком для опрацювання моделей (вибору і верифікації). Відомо, якщо припущення не є адекватними проекту, то навіть хороше наближення аналітичної моделі до тренду дефектів не може слугувати абсолютним доказом її застосування. Доцільно було б також більш конкретно адресувати запропоновані моделі до відповідних доменів (застосувань).

7.2. Означені зауваження та недоліки не є принциповими і не впливають на кінцеві висновки. Частина зауважень може бути віднесена до напрямів подальших досліджень.

8. Висновки

8.1. У дисертаційній роботі Яковини В. С. вирішено важливу науково-прикладну проблему вдосконалення наявних і побудови нових математичних моделей надійності ПЗ, які враховували б його складність, архітектуру та етапи життєвого циклу, разом з розробленням відповідних методів і засобів аналізу надійності функціонування ПЗ.

8.2. Дисертаційна робота Яковини В. С. на тему «Методи та засоби аналізу надійності функціонування програмного забезпечення з урахуванням етапів життєвого циклу», подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.03 — Математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем, відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а здобувач заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного аерокосмічного університету
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
заслужений винахідник України
доктор технічних наук, професор

Харченко В. С.

26 лютого 2016 р.

Підпис професора Харченка В'ячеслава Сергійовича засвідчую.

Вчений секретар Вченої ради

Національного аерокосмічного університету

ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

кандидат технічних наук, професор

Цепляева Т. П.

