

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

Актуальність теми. Основною проблемою інженерії програмного забезпечення є подолання протиріччя між зростаючими вимогами щодо функціональності програмного забезпечення (ПЗ), забезпечення його якості та як наслідок цього - всезростаючою вартістю ПЗ. Саме це протиріччя ось уже понад сорок років є основним стимулом для розвитку методів та технологій інженерії програмного забезпечення.

У загальній вартості ПЗ, значна її частина розподіляється для забезпечення якості ПЗ, зокрема надійності. Разом з тим, програмне забезпечення функціонує в конкретному апаратному середовищі. За останні два десятиліття вартість розробки ПЗ та вартість його відмови стали займати все більшу частку вартості усєї програмно-апаратної системи. Відмови програмної складової, під управлінням якої працює уся система, можуть спричинити непередбачений стан чи поведінку системи, що може приводити до значних матеріальних збитків і навіть шкоди для здоров'я і життя людей. Кількісною мірою таких втрат є вартість ризику програмної відмови внаслідок наявних помилок в ПЗ. Оскільки програмні проекти стають усе більшими, кількість помилок в них зростає в геометричній прогресії, що підвищує актуальність проблеми забезпечення надійності ПЗ.

Одним із інструментів подолання суперечності між зростаючими вимогами щодо функціональності програмного забезпечення (ПЗ), його надійності та зростанням вартості ПЗ на їх забезпечення, є математичні моделі надійності, які дають можливість встановити достатність тестування. Дослідження в галузі інженерії надійності ПЗ, які ведуться протягом останніх чотирьох десятиліть, привели до створення значної кількості статистичних моделей оцінювання та прогнозування надійності ПЗ. Водночас більшість існуючих моделей засновані виключно на спостереженні за статистикою відмов ПЗ і, відповідно, вимагають значної вибірки емпіричних даних для отримання прогнозу надійності з достатньою точністю і достовірністю. Останнім часом все більше зацікавлення отримали моделі надійності ПЗ, які враховують розподіл відмов, покриття коду тестами та явища недосконалого відлагодження програмних засобів. Особливо актуальними для практики на теперішній час є задачі, пов'язані з дослідженнями зв'язку етапів та процесів життєвого циклу ПЗ, його складності та архітектури з надійністю.

Таким чином, **актуальною** є науково-прикладна проблема 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. Вирішення зазначеної проблеми дає можливість підвищити достовірність оцінювання показників надійності сучасного ПЗ, уточнити час достатності його тестування і на цій основі знизити вартість ПЗ на етапі тестування та вартість ризиків програмної відмови на етапах супроводження та експлуатації.

Основна ідея дисертаційного дослідження полягає в націленості на подолання суперечності між зростаючими вимогами щодо складності ПЗ, його надійності та зростанням вартості ПЗ на її забезпечення за рахунок підвищення ступеня адекватності математичних моделей надійності ПЗ на усіх етапах його життєвого циклу, разом з урахуванням впливу його архітектури та складності на процес оцінювання показників надійності і уточнення часу достатності його тестування. Важливою перевагою запропонованих методів аналізу надійності ПЗ є той факт, що на кожному етапі життєвого циклу використовується найбільш адекватна модель надійності ПЗ за рахунок уточнення та збільшення ступеня деталізації інформації про об'єкт дослідження.

Актуальність проблеми, важливість та перспективність отриманих результатів підтверджується також тим, що робота виконувалася відповідно до пріоритетного тематичного напрямку Національного університету "Львівська політехніка" "Нові інтелектуальні, комп'ютерні, радіоелектронні, інфокомунікаційні вимірювальні технології, системи, пристрої та бортові системи космічних апаратів" і наукового напрямку кафедри програмного забезпечення "Програмне та математичне забезпечення автоматизованих систем" в рамках наукового напрямку "Технології та засоби розробки програмних продуктів і систем", визначеного Кабінетом Міністрів України в переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року. Автор був відповідальним виконавцем низки науково-дослідних робіт, результати яких знайшли впровадження на виробництві та в науково-дослідних установах України, що підтверджено актами про впровадження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Основні наукові результати в дисертації в цілому обґрунтовані теоретично та підтверджені широким обсягом емпіричних результатів тестування програмних систем різного ступеня складності.

Автором коректно застосовано для теоретичного обґрунтування наукових положень та висновків дисертаційної роботи: методи теорії ймовірностей та математичної статистики – для побудови і аналізу моделей надійності функціонування ПЗ типу "чорної скриньки", методів автоматизованого формування сценаріїв тестування ПЗ, створення засобів підтримки прийняття рішень у процесі розроблення ПЗ; теорію марковських процесів – для побудови компонентних моделей надійності ПЗ; методи обчислювальної математики – для оцінювання показників надійності ПЗ та розв'язування систем диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена та системи нелінійних алгебричних рівнянь, отриманої за методом максимальної правдоподібності;

методи теорії графів – для створення методу подання марковського процесу вищого порядку у вигляді еквівалентного процесу першого порядку; **методи системного аналізу** – для розроблення засобів аналізу надійності функціонування ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу; **методи штучного інтелекту** – для створення засобів прогнозування відмов ПЗ на основі штучних нейронних мереж.

Обґрунтовані теоретичні результати зіставлені з відомими в літературних джерелах, відповідними результатами комп'ютерного моделювання та результатами числових розрахунків, які зіставлялися з експериментальними даними (результати тестування та дані про відмови як розроблених автором програмних засобів, так і програмних засобів з відкритим кодом). Результати впровадження теоретичних положень є достатніми для підтвердження наукових положень дисертаційної роботи.

В цілому наукові положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі є обґрунтованими теоретично та підтверджені дослідним випробуванням, практичним впровадженням на підприємствах зі створення та промислового виробництва програмних і програмно-апаратних систем.

Разом з тим, частина результатів щодо точності математичних моделей надійності та достовірності прогнозування на їх основі, носить емпіричний характер. Це стосується висновків п.п. 2, 4 та 8.

Також МНПС, яку запропоновано у другому розділі, містить внутрішнє протиріччя, оскільки ґрунтується на припущеннях, які справедливі для простих програмних систем із невеликою кількістю модулів та простою їх взаємодією. Саме для таких систем справедливе припущення про «незалежність виявлених помилок» в коді. Разом з тим, МНПС враховує динамічний показник складності ПЗ із великими значеннями.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність основних наукових положень і одержаних результатів забезпечується використанням обґрунтованих математичних моделей надійності ПЗ із зазначенням їх основних припущень, обмежень і області використання; підтверджується коректним використанням методів теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії марковських процесів, методів обчислювальної математики та теорії графів, а також відповідністю результатів, отриманих з використанням розроблених моделей надійності емпіричним даним тестування ПЗ. Частина результатів узгоджується з тими, що одержані при проведенні аналогічних досліджень і відомі з літературних джерел.

Разом з тим, окремі положення, які стосуються підтвердження достовірності результатів побудови МНПС, є дискусійними. Так в підрозділі 2.3.1 розглянуто два приклади верифікації МНПС на експериментальних даних. У першому прикладі розглянуто складний програмний продукт (9564 рядки коду), а в другому - простіший (3559 рядків коду). Проте, в результаті ідентифікації отримано: - у першому випадку МНПС з показником складності майже в два рази нижчим ніж МНПС у другому прикладі для простішого програмного продукту.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- побудовано модель надійності функціонування програмних систем у вигляді ланцюга Маркова вищого порядку з неперервним часом на основі подання марковського процесу вищого порядку у вигляді еквівалентного процесу першого порядку з віртуальними станами, в яких існує взаємозалежність виконання модулів, що забезпечило підвищення достовірності оцінювання показників надійності ПЗ і створило можливість застосувати наявні засоби автоматизованої побудови моделей надійності функціонування складних систем;
- на основі аналізу властивостей МНПС встановлено діапазони зміни показника складності для різних типів ПЗ, що дало можливість побудувати формальне правило вибору моделі для адекватного опису надійності ПЗ в залежності від його складності;
- розроблено метод прогнозування кількості відмов програмного забезпечення з використанням регресійної моделі у вигляді виразу Вейбулівського типу, який дає можливість підвищити точність прогнозування кількості невиявлених помилок в програмному забезпеченні, або ж зменшити тривалість процесу тестування та знизити вартість ПЗ;

Вдосконалено:

- метод аналізу надійності функціонування ПЗ, який, за рахунок врахування його складності, архітектури та етапів життєвого циклу у сукупності підвищує достовірність оцінювання показників надійності ПЗ та дає можливість уточнити час достатності тестування;
- процес 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;
- нейромережеві моделі прогнозування надійності функціонування ПЗ, зокрема, встановлено оптимальні конфігурації нейронної мережі Елмана та мережі на основі радіально-базисних функцій, що дає можливість підвищити точність прогнозування відмови ПЗ різного ступеня складності;

Отримали подальший розвиток:

- метод визначення порядку ланцюга Маркова з неперервним часом на основі ЛМВП з дискретним часом та критеріїв методу групового урахування аргументів, що забезпечило визначення необхідної кількості фіктивних станів для подання моделі надійності з неперервним часом еквівалентним ланцюгом першого порядку, що дало можливість застосовувати наявні засоби автоматизованої побудови моделей надійності функціонування складних систем;
- методи аналізу надійності програмно-апаратних систем, зокрема, встановлено, що 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.

Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає у розвитку методів та засобів аналізу надійності складних програмних систем, підвищення ступеня адекватності математичних моделей надійності ПЗ, що враховують процеси життєвого циклу програмного забезпечення, його архітектуру та складність, що, своєю чергою, дало змогу підвищити достовірність оцінювання показників надійності програмних систем, створити умови для зниження вартості ПЗ на етапі тестування та вартості ризиків відмови програмного продукту на етапах супроводження та експлуатації. Практичне використання розроблених теоретичних положень забезпечується розробленими методами підтримки прийняття рішень на етапах тестування та експлуатації ПЗ із урахуванням вимог до його надійності, а також методами автоматизованого формування сценаріїв тестування ПЗ та рекомендацій щодо вибору стратегії тестування, що у сукупності знижує вартість розробки, та супроводження програмних продуктів.

Практичне значення роботи. На основі отриманих теоретичних результатів та розроблених методів створено програмні засоби, які забезпечують достовірне оцінювання показників надійності програмних систем на різних етапах їх життєвого циклу:

1. Узагальнений метод аналізу надійності ПЗ дає змогу визначити шляхи використання розроблених моделей надійності в практиці програмної інженерії залежно від складності розроблюваних програмних засобів і характеристик процесів ЖЦ.
2. Розроблені моделі надійності ПЗ надають вхідні дані розробникам ПАС у вигляді відповідних показників надійності ПЗ, що дає змогу здійснювати надійнісне проектування сучасних ПАС, зокрема телекомунікаційних і радіоелектронних.
3. Розроблена модель надійності ПЗ з показником складності, а також метод оцінювання та прогнозування надійності на її основі придатні для використання на практиці для оцінювання показників надійності модулів складних програмних систем, або програмних засобів без урахування їх внутрішньої структури на основі результатів тестування.
4. Розроблені моделі надійності ПЗ на основі ланцюгів Маркова вищого порядку придатні для оцінювання показників надійності складних програмних систем на основі їх архітектури та показників надійності їх модулів.
5. Критерій достатності процесу тестування та метод прогнозування кількості невиявлених помилок ПЗ дають можливість керівникам програмних проектів підвищити ефективність процесу тестування ПЗ шляхом використання числових метрик для планування розподілу ресурсів протягом цього етапу ЖЦ, а також підвищити достовірність оцінювання показників надійності ПЗ.
6. Засоби автоматизованого формування сценаріїв тестування дають можливість підвищити ефективність процесу тестування ПЗ за рахунок рівномірного покриття коду програми тестами та обґрунтованого вибору стратегії тестування, що зменшує часові, фінансові та людські ресурси на етапі тестування ПЗ.

7. Розроблені програмні засоби для оцінювання показників надійності ПЗ та прогнозування його відмов використано в компаніях з розроблення та експлуатації ПЗ та ПАС відповідального призначення, що підтверджується відповідними актами.

Результати роботи використано в ДП НДІ "Система", ТзОВ "Сайпресс Семікондактор Україна", ТзОВ науково-виробнича фірма "Промтехносервіс Україна", ТзОВ "Логіка ЛТД", ТОВ "СЕА Електротехніка", ПП "Лінк Ап Студіо"; в навчальному процесі Національного університету "Львівська політехніка" при викладанні дисциплін "Якість програмного забезпечення та тестування", "Аналіз вимог до програмного забезпечення" та "Основи теорії надійності програмних систем".

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах.

Основні наукові результати дисертації відображені в 55 публікаціях, з них дві вітчизняних монографії у співавторстві, 23 публікації у фахових виданнях України, з яких 4 входять до переліку провідних міжнародних наукометричних баз, 2 публікації у міжнародних наукових журналах, 2 статті у періодичних виданнях України, що не віднесені до переліку фахових і 26 матеріалів міжнародних наукових конференцій.

В опублікованих працях викладено в повному обсязі основні положення дисертаційної роботи, які винесено на захист. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим. Рівень та кількість публікацій, рівень апробації відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертацій в Україні.

Структура та зміст дисертації.

Дисертацію викладено на 278 сторінках. Робота складається зі вступу, основного змісту, що включає п'ять розділів, висновків, списку використаних джерел з 283 найменувань та 4 додатків, де представлено акти впровадження. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 325 сторінок.

У першому розділі на основі аналізу існуючих публікацій досліджено сучасний стан розвитку теорії та практики оцінювання надійності ПЗ, наведено основні відмінності та порівняльну характеристику надійності програмного та апаратного забезпечення, проаналізовано увесь спектр моделей надійності ПЗ, визначено задачі, які вимагають вирішення та обґрунтовано підходи до вирішення цих задач. Частину розділу присвячено аналізу впливу точності та достовірності оцінювання надійності на вартість ПЗ на етапі тестування та на вартість ризиків відмови ПЗ на етапі експлуатації.

У другому розділі досліджено модель надійності ПЗ на основі неоднорідного пуассонового процесу, яка включає в якості параметра показник складності ПЗ. Зазначена модель надійності з показником складності (МНПС) ґрунтується наряді припущень та обмежень, які в значній мірі обмежують її застосування на практиці. Показано, що МНПС можна віднести до класу узагальнених пуассонових моделей. Ця модель використовується для оцінювання таких показників надійності ПЗ, як загальна кількість помилок в коді, параметр потоку відмов, інтенсивність відмов та імовірність безвідмовної роботи за результатами його тестування. Наведено результати дослідження

поведінки функції інтенсивності відмов МНПС в залежності від параметрів моделі. Надано вказівки, на яких етапах життєвого циклу ПЗ можливе використання зазначеної моделі.

Наведено результати верифікації даної моделі на основі отриманих з літературних джерел емпіричних даних тестування ПЗ та її порівняння з S-подібною моделлю та моделлю Goel–Okumoto, як найбільш поширеними моделями на основі неоднорідного пуассонового процесу. Показано, що модель надійності з показником складності, за рахунок уведення динамічного показника складності уточнює поведінку показників надійності порівняно з іншими відомими моделями. На основі МНПС розроблено метод оцінювання показників надійності ПЗ з урахуванням його складності на основі результатів тестування та проведено його верифікацію з використанням емпіричних даних тестування промислового програмного засобу.

Наведено результати впливу вибору моделі надійності ПЗ на оцінювання показників надійності відмовостійкої програмно-апаратної системи з версійно-структурним резервуванням, і показано на прикладах, що МНПС дає змогу підвищити точність оцінювання інтенсивності відмов ПЗ на три порядки, та підвищити точність оцінювання функції та коефіцієнта готовності програмно-апаратної системи.

До результатів цього розділу є найбільше зауважень і виникає ряд дискусійних питань. По-перше, щодо теоретичного обґрунтування результатів та їх достовірності, а запропонована МНПС, на мою думку, містить внутрішнє протиріччя. По-друге, доцільно було б чітко відділити результати дисертаційної роботи Сеніва М.М. «засоби прогнозування надійності програмного проекту із урахуванням показника складності», який є співавтором частини праць дисертанта.

У третьому розділі побудовано і досліджено моделі і методи аналізу складних програмних систем на основі математичного апарату марковських процесів вищого порядку, які дають змогу урахувати взаємозалежність виконання модулів програмної системи, і таким чином підвищити точність та достовірність оцінювання показників надійності програмної системи на основі даних про надійність її елементів (програмних модулів).

Цей розділ можемо вважати центральним, оскільки в ньому удосконалено узагальнений метод аналізу надійності ПЗ, який включає використання побудованих в попередньому та цьому розділі моделей надійності (як на основі неоднорідного пуассонового процесу, так і на основі марковського процесу вищого порядку) в залежності від складності ПЗ на різних етапах життєвого циклу. Надано ряд рекомендацій щодо оцінювання параметрів моделей надійності ПС на етапах аналізу вимог та проектування ПЗ з використанням МАІ. Розкрито суть 1,2, та 3 пунктів наукової новизни, які сформульовано в дисертації. Наведено результати верифікації розроблених моделей та методів аналізу надійності ПЗ з використанням результатів тестування різних програмних систем. Показано, що використання ланцюгів Маркова вищого порядку з дискретним часом дає змогу збільшити точність оцінювання

показників надійності розглянутих у прикладах програмних систем на 6–10 %, а модель на основі процесу вищого порядку з неперервним часом – на 10–20%.

До результатів цього розділу є найбільше зауважень, щодо розкриття суті наукової новизни. Також частина результатів цього розділу, які не виносяться на захист, але перегукуються із результатами дисертації Нитребич О.О., мали б бути перенесені в оглядовий розділ.

У четвертому розділі розглянуто моделі і методи підтримки прийняття рішень під час розроблення програмного забезпечення із заданими вимогами до надійності. Для підвищення ефективності розробки ПЗ з урахуванням вимог до його надійності формалізовано та обґрунтовано критерій достатності процесу тестування та побудовано метод прогнозування кількості відмов ПЗ з використанням регресійного аналізу, які дають можливість на етапі тестування програмної системи більш обґрунтовано приймати рішення стосовно досягнення заданих показників надійності та розподілу ресурсів проекту з розробки ПЗ. На прикладах підтверджено підвищення прогностичних властивостей моделей.

Описано модель функціонування програмних систем, яка враховує архітектуру системи та змінні програмного коду, а також наведено методи автоматизованого формування сценаріїв тестування, які дають можливість підвищити ефективність процесу тестування програмних систем. Ця модель забезпечує підвищення достовірності оцінювання показників надійності програмних систем за рахунок більш повного покриття змінних коду та їх класів еквівалентності тестовими сценаріями. Наведено рекомендації стосовно вибору стратегії тестування при розробці ПЗ в залежності від його складності.

Основні зауваження. Частина результатів п.4.3 є оглядовими, а частина, які не винесені на захист і стосуються автоматизованого формування сценаріїв тестування програмної системи на основі моделі її функціонування, є матеріалами дисертації Нитребич О.О.

У п'ятому розділі представлено розроблені програмні засоби оцінювання та прогнозування показників надійності ПЗ, побудовані на основі запропонованих автором теоретичних моделей і методів, викладених в попередніх розділах дисертаційної роботи.

Спроековано та реалізовано програмний засіб попереднього опрацювання даних про відмови програмних систем, інтегрований з системою Atlassian JIRA, який є препроцесором для моделі надійності з показником складності. Описано програмний засіб для емпіричного оцінювання ймовірностей переходів між модулями програмних систем, написаних мовою Java, який базується на використанні аспектно-орієнтованого реєстратора виконання досліджуваної програмної системи. Отримані за допомогою цього засобу оцінки ймовірностей використання модулів програмної системи використовуються для оцінювання показників її надійності на основі компонентного підходу. Наведено опис структури та використання розробленого програмного засобу оцінювання показників надійності програмних систем на основі моделей надійності у вигляді ланцюгів Маркова вищого порядку.

Для забезпечення достовірності прогнозу кількості відмов ПЗ використано альтернативний метод прогнозування з використанням штучних нейронних мереж.

Основні зауваження. Наведено описи ПЗ, яке у меншій мірі стосується реалізації розроблених дисертантом методів, наприклад методу оцінювання та прогнозування надійності ПЗ із урахуванням усіх етапів ЖЦ, методам прогнозування надійності на основі МНПС та ЛМВП з неперервним часом.

У висновках сформульовано основні наукові результати і окреслено перспективу можливих подальших досліджень.

Автореферат відображає суть основних наукових положень, практичну значущість та висновки. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами, що ставляться до докторських дисертацій в Україні, хоча по тексту дисертації зустрічаються описки, невідповідність у посиланні на формули, стилістичні неточності, напівпорожні сторінки по тексту.

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень, на основі яких захищена кандидатська дисертація.

Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію «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, у 2002 році в спеціалізованій раді при Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича, не використовуються як наукові результати докторської дисертації здобувача і не виносяться на її захист.

Зауваження до роботи.

1. Логічним завершенням огляду існуючих математичних моделей надійності ПЗ є аналіз моделей вартості ПЗ із урахуванням ризиків його ненадійності. Зважаючи на це, а також на результати дисертаційних досліджень, які відображено у висновках п.7 та п. 8, цього розділу, складовою науково-прикладної проблеми повинно бути зниження вартості ПЗ на стадії тестування та супроводження.

2. У другому розділі доцільно було б чітко відділити результати дисертаційної роботи Сеніва М.М. «засоби прогнозування надійності програмного проекту із урахуванням показника складності», який є співавтором частини праць дисертанта.

3. МНПС у вигляді виразу (2.2) (функція кумулятивної кількості помилок) з параметром потоку відмов у вигляді виразу (2.1) містить внутрішні протиріччя. З одного боку – ґрунтується на припущеннях 1-9, зокрема, які справджуються для простих систем із невеликою кількістю модулів і простою їх взаємодією (наприклад, гіпотеза про незалежність виявлених помилок в коді), а іншого - враховує динамічний показник складності ПЗ із великими значеннями.

Дискусійною є також запропонована модель (2.1) ще з точки зору отриманої залежності нормованого максимального значення параметру потоку відмов від показника складності рис.2.2. Падіння максимального параметра

потоків для простих систем автор пояснює збільшенням часу тестування, а його зростання для складних систем – збільшенням кількості тестувальників. Насправді на практиці кількість тестувальників, задіяних до проекту, є пропорційною складності ПЗ. Тому Максимальна інтенсивність потоку відмов повинна зростати зі зростанням складності ПЗ, а крива 1 на рис. 2.1, яка відображає функцію потоку відмов не відповідає дійсності.

4. Незрозумілими і непотрібними є ускладнені перетворення на с. 81-83 для ідентифікації коефіцієнтів МНПС (функції кумулятивної кількості помилок), за рахунок яких автор отримує складну систему нелінійних алгебричних рівнянь, яка не має єдиного розв'язку і вимагає застосування складних обчислювальних методів для розв'язування. Взамін, достатньо було б розв'язати оптимізаційну задачу з менш складнішою цільовою функцією, отриманою на основі МНК, а ніж функція, яку отримано на основі ММП.

5. При порівнянні прогностичних властивостей моделі МНПС з відомими моделями (таблиця 2.1) для тестових прикладів, отримано тривіальні результати, оскільки МНПС є складнішою.

6. Окремі положення, які стосуються підтвердження достовірності результатів побудови МНПС, є дискусійними. Так в підрозділі 2.3.1 розглянуто два приклади верифікації МНПС на експериментальних даних. У першому прикладі розглянуто складний програмний продукт (9564 рядки коду), а в другому - простіший (3559 рядків коду). Проте, в результаті ідентифікації отримано: - у першому випадку МНПС з показником складності майже в два рази нижчим ніж МНПС у другому прикладі для простішого програмного продукту

7. Третій розділ дисертації присвячено розкриттю 1, 2 та 3 пунктів наукової новизни. Разом з тим, модель надійності ПС у вигляді ланцюгів Маркова вищих порядків (ЛМВП) з неперервним часом не є абсолютно новою (п.1 наукової новизни), ґрунтується на поданні ЛМВП у вигляді еквівалентного процесу першого порядку з віртуальними станами, який не претендує на новий метод (п.3 наукової новизни). Перетворені таким чином моделі широко використовуються в теорії надійності систем. Щодо п. 2 наукової новизни, то це скоріше не новий метод, а набір інструкцій для виконання добре відомого в інженерії програмного забезпечення переліку робіт на кожному етапі життєвого циклу ПЗ, з рекомендаціями автора щодо забезпечення надійності ПЗ.

8. Матеріал та результати підрозділу 3.1.1, щодо розробки моделі надійності ПС на основі ЛМВП з дискретним часом, співпадають з результатами дисертаційної роботи Нитребич О.О. Те саме стосується частини підрозділу 3.4, щодо результатів верифікації зазначеної моделі. Аналогічне стосується підрозділу 3.2, де розглянуто математичні методи та засоби визначення порядку ланцюга Маркова. Доцільно було б матеріал та результати цих підрозділів винести в оглядову частину. Також натомість, доцільно було б при підтвердженні теоретичних результатів, щодо прогностичних властивостей моделей надійності на основі ЛМВП в п.3.4 використати не абстрактні приклади, а надати короткий опис ПС, про які йде мова, конкретну схему отримання матриці оцінок ймовірностей, інтенсивностей відмов окремих

модулів, обґрунтувати однорідність вибірки даних.

9. Частина результатів п.4.3 є оглядовими, а частина які (не винесені на захист) стосуються автоматизованого формування сценаріїв тестування програмної системи на основі моделі її функціонування, є матеріалами дисертації Нитребич О.О. Зокрема, результати наведені на рис. 4.14- 4.21. Взамін, доцільно було б розширити опис програмних продуктів, на прикладах яких досліджувалися показники надійності в залежності від параметрів моделі функціонування ПС, для цих прикладів навести детальний опис реалізації процедур автоматизованого формування тестових сценаріїв.

10. У п'ятому розділі дисертації основна увага приділена програмним засобам опрацювання даних про відмови, засобам побудови моделі функціонування ПС та засобам прогнозування надійності на основі ЛМВП з дискретним часом, які не стосуються реалізації розроблених дисертантом методів: аналізу та прогнозування надійності ПЗ із урахуванням усіх етапів ЖЦ; прогнозування надійності на основі МНПС та ЛМВП з неперервним часом.

11. Результати застосування нейронних мереж для дослідження функції кумулятивної кількості помилок (дефектів) ПЗ є непереконаливими. По-перше, обрано просту ділянку цієї функції, яка відображає майже лінійне зростання кількості виявлених помилок. По-друге, досліджено тільки апроксимаційні властивості мереж для цієї задачі, взамін прогностичних. По-третє, при використанні мереж з РБФ необхідно використовувати складні процедури ідентифікації не тільки синаптичних ваг, а й структуру РБФ з параметрами «центру» та «радіусу», які суттєво залежать від неоднорідності вибірки даних.

12. Доцільно було б навести приклади промислового впровадження розроблених теоретичних положень та програмного забезпечення з підтвердженням досягнутих результатів щодо прогностичних властивостей розроблених моделей надійності ПЗ.

13. Частина результатів щодо точності математичних моделей надійності та достовірності прогнозування на їх основі, не має теоретичного обґрунтування і підтверджена тільки для конкретних прикладів. Проте, у висновках автор вказує на всезагальний характер досягнутих прогностичних властивостей математичних моделей надійності ПС. Це стосується висновків п.п. 2, 4 та 8.

14. При оформленні дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні неточності, а також певна кількість на третину чи напівпорожніх сторінок:ст. 102, 104, 165, 206, 209-211, 230, 233, 236, 239, 246, 262, 263, 266, 267.

Загальні висновки.

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертаційна робота Яковини Віталія Степановича на тему «Методи та засоби аналізу надійності функціонування програмного забезпечення з урахуванням етапів життєвого циклу» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові, науково обґрунтовані та практично важливі результати, що у сукупності вирішують науково-прикладну проблему вдосконалення наявних і побудови нових

математичних моделей надійності ПЗ та методів і засобів аналізу надійності функціонування ПЗ, які враховують його складність, архітектуру та частину етапів життєвого циклу. Вирішення зазначеної проблеми створило умови для підвищення достовірності оцінювання показників надійності сучасного ПЗ, уточнення часу достатності його тестування і на цій основі зниження вартості ПЗ на етапі тестування та вартості ризиків програмної відмови на етапах супроводження.

Основні результати дисертації відповідають вимогам паспорту наукової спеціальності 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем, зокрема наступним пунктам розділу II: методи оцінки якості, уніфікації та стандартизації програмних систем різного призначення; методи дослідження функціонування комп'ютерних і програмних систем; методи і засоби аналізу та проектування програмних систем; програмна інженерія та інженерія програмних систем.

Дисертаційна робота за своїм змістом загалом відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а її автор – Яковина Віталій Степанович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Декан факультету комп'ютерних
інформаційних технологій
Тернопільського національного
економічного університету,
д.т.н., професор

Дивак М. П.

Підпис	
Завіряю:	
Зав. загальним відділом	