

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету «Львівська політехніка»
доктору технічних наук, професору
Федасюку Д. В.

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора

Субботіна Сергія Олександровича

на дисертаційну роботу

Угриновського Богдана Володимировича

на тему «**Методи і засоби підвищення надійності програмного забезпечення з
урахуванням процесу його старіння**»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»
в галузі знань 12 «Інформаційні технології»

1. Актуальність теми дисертації

Забезпечення високого рівня надійності та продуктивності роботи програмного забезпечення є одними із найважливіших нефункціональних вимог до сучасних програмних систем та користувацьких застосунків, які часто відіграють критичну роль в бізнес-середовищі чи повсякденному житті людини. В свою чергу, явище старіння програмного забезпечення, яке досліджується в даній дисертаційній роботі, має значний негативний вплив на якість програмного забезпечення і може погіршувати його показники надійності та продуктивності. Популярними для користувачів і одночасно вразливими до старіння програмного забезпечення є мобільні операційні системи та пристрої, зокрема, Android. Таким чином, актуальними науково-прикладними задачами є вивчення процесу старіння в операційній системі Android та розроблення відповідних методів та засобів протидії цьому процесу, які дозволять покращити показники надійності.

З урахуванням вищезазначеного зумовлена актуальність і практична цінність дисертаційної роботи Угриновського Б. В., яка присвячена розв'язанню задачі підвищення рівня надійності програмного забезпечення мобільних систем шляхом визначення факторів, що впливають на процес його старіння, побудови математичних моделей старіння і омолодження програмного забезпечення та розроблення відповідних засобів.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (118 найменувань) і 6 додатків. Основний зміст викладено на 136 сторінках друкованого тексту, містить 45 рисунків, 11 таблиць. Загальний обсяг роботи – 194 сторінки.

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи, де обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дисертаційного дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, встановлено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення. Крім цього, вказано особистий внесок здобувача, апробацію положень дисертаційної роботи на наукових та науково-практичних конференціях, а також зазначено кількість наукових публікацій за темою дисертації та структуру і обсяг дисертаційної роботи.

У **першому** розділі подано визначення поняття старіння програмного забезпечення та його основних характеристик, виконано аналіз існуючих методів дослідження явища старіння та виконано аналіз математичних моделей старіння та омолодження. Описано процедуру виконання омолодження програмного забезпечення як ефективний інструмент для зменшення негативного впливу явища старіння на характеристики надійності. Подано оцінку актуальному стану досліджень явища старіння в мобільних системах в цілому та в операційній системі Android, зокрема. У висновку до розділу говориться про важливість розроблення методів та засобів протидії ефектам старіння з урахуванням особливостей мобільних пристроїв та їх використання.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячений математичним моделям старіння та омолодження на основі ланцюгів Маркова з неперервним часом розподілу. Попередньо в розділі описано існуючу модель старіння та омолодження, виконано її аналіз та визначено основні недоліки. Запропоновано три удосконалені моделі, а саме, модель з урахуванням різних рівнів старіння та стратегій виконання процедури омолодження, модель з урахуванням заряду батареї, а також, комплексну модель, яка враховує зміни попередніх двох моделей. Виконано ряд симуляцій процесу старіння та омолодження, які дозволили обґрунтувати доцільність використання запропонованих моделей. Зокрема, результати симуляцій процесу старіння та омолодження на основі моделі із урахуванням різних рівнів старіння свідчать про ефективність виконання омолодження в так званому стані «старіння», що дозволяє відтермінувати настання відмови старіння і, тим самим, зменшити негативний вплив явища старіння на працездатність мобільного пристрою. В свою чергу, симуляція старіння з урахуванням рівня заряду батареї свідчить про можливість прогнозування часу виконання

омолодження завчасно до переходу пристрою в критично низький рівень заряду батареї чи його повного вимкнення. Для запропонованої комплексної моделі старіння та омолодження визначено умови пошуку оптимального часу виконання омолодження з урахуванням наборів працездатних та непрацездатних станів системи, де непрацездатні стани включають як стани відмови, так і стани простою під час виконання омолодження. Розроблена в даній роботі комплексна модель старіння та омолодження є ефективним інструментом для проектування та вибору параметрів методу омолодження програмного забезпечення, що дає змогу формувати технічне завдання на його розроблення. Запропоновані моделі старіння та омолодження можуть бути застосовані для оцінки показників якості існуючого програмного забезпечення. Комплексна модель дозволяє отримувати вирази для показників ефективності омолодження програмного забезпечення.

В **третьому розділі** представлено результати експериментальних досліджень нових метрик відображення кадрів в контексті старіння, а також, результати дослідження впливу таких факторів як сценарії використання мобільного пристрою та крос-платформові мобільні додатки на процеси старіння в системі Android. На основі результатів досліджених метрик та факторів старіння запропоновано модель факторів старіння, яка представлена множиною метрик старіння та множинами метрик для факторів активності використання мобільного пристрою та рівня заряду батареї. Запропоновано і описано метод омолодження програмного забезпечення для операційної системи Android, який використовує комплексну модель старіння та омолодження для прогнозування часу виконання процедури омолодження з урахуванням мінімізації впливу негативних ефектів старіння на характеристики надійності та максимізації часу працездатності системи. Разом з тим, урахування в методі таких факторів як активність користувача та заряд батареї, а також, можливість застосування механізмів «холодного» та «теплого» омолодження для різних умов старіння дозволяє покращити досвід користувача мобільного пристрою.

У **четвертому розділі** описано існуючу методологію дослідження явища старіння програмного забезпечення в операційній системі Android. В контексті цієї методології розроблено і описано фреймворк для виконання стресових тестів із подальшим аналітичним обробленням зібраних даних, які представлені у вигляді часових рядів вимірюваних метрик. Розроблено і описано структуру модулів програмного засобу омолодження програмного забезпечення в операційній системі Android, в межах якого можна імплементувати запропонований в попередньому розділі метод омолодження. Крім того, описано методи, які дозволять розробникам користувацьких застосунків враховувати стан старіння системи під час проектування та розроблення програмного забезпечення.

Висновки до дисертації включають узагальнені результати дослідження та рекомендації щодо їх практичного застосування.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, наданих в дисертації, їхня достовірність

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Угриновського Богдана Володимировича підтверджуються коректним використанням теоретичних та експериментальних методів досліджень, зокрема методів теорії імовірностей та математичної статистики, обчислювальної математики, теорії марківських процесів, аналізу часових рядів, системного аналізу, теорії алгоритмів, а також актами впровадження результатів дисертаційних досліджень.

4. Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

У дисертаційній роботі виконано дослідження процесу старіння та омолодження з метою вирішення науково-прикладної задачі розроблення методів та засобів покращення надійності програмного забезпечення. Основними науковими результатами є:

- Вперше побудовано модель факторів старіння програмного забезпечення для Android, яка відрізняється урахуванням метрик тривалості відображення кадру графічного інтерфейсу та частки пропущених кадрів графічного інтерфейсу, що дає змогу точніше виявляти ознаки процесу старіння програмного забезпечення;
- Вперше розроблено метод омолодження програмного забезпечення для операційної системи Android на основі комплексної моделі старіння та омолодження, який відрізняється врахуванням активності користувача, різних рівнів старіння програмного забезпечення та заряду батареї мобільного пристрою, що дає змогу визначити термін проведення омолодження програмного забезпечення з найменшим впливом на функцію готовності та досвід користувача мобільного пристрою;
- Отримали подальший розвиток моделі старіння та омолодження програмного забезпечення з урахуванням активності використання мобільного пристрою користувачем та різних рівнів старіння, які відрізняються урахуванням переходу із стану старіння в стан омолодження та відсутністю переходу із стану очікування в стан активності під час “холодного” омолодження, урахуванням фактору заряду батареї, а також працездатних та непрацездатних станів, що дає змогу точніше оцінити вплив процесів старіння на показники надійності

програмного забезпечення та виконувати проектування щодо вибору параметрів методу омолодження програмного забезпечення.

5. Повнота викладу наукових положень, висновків, рекомендацій в опублікованих працях

Повнота викладу результатів дисертаційного дослідження забезпечується публікацією результатів в рецензованих міжнародних та вітчизняних періодичних наукових виданнях, а також доповідями на наукових та науково-практичних фахових конференціях.

Угриновський Б. В. є автором 12 наукових праць, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття в науковому періодичному виданні, яке включено до міжнародної наукометричної бази Web of Science, 5 тез доповідей та матеріалів конференцій.

6. Відповідність теми дисертації профілю спеціальності

Напрямок досліджень та вирішена в дисертації науково-практична задача відповідає паспорту спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення.

7. Відсутність порушення академічної доброчесності

Підстав для сумнівів у науковій доброчесності здобувача під час детального ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено. Узгодженість тексту дисертації з науковими працями дисертанта свідчить про відсутність ознак фальсифікації. Проведений аналіз основних ідей та методів дотичних до тематики інших робіт містить відповідні посилання.

8. Важливість та практичне значення одержаних результатів

Практичне значення одержаних результатів полягає, насамперед, в розроблених програмних засобах експериментальних досліджень процесу старіння в операційній системі Android, які можуть бути використані для подальших досліджень та мати практичне застосування під час розроблення програмного забезпечення: засоби виконання стресових тестів в операційній системі Android; засоби оброблення системних даних та формування часових рядів; засоби аналізу часових рядів метрик старіння. З допомогою розроблених програмних засобів виконано ряд експериментальних досліджень факторів та процесів старіння в операційній системі Android, які дозволили обґрунтувати ефективність

використання нових метрик старіння (метрики відображення кадрів) в різних сценаріях використання мобільного пристрою користувачем, вразливість кросплатформових Flutter застосунків до ефектів старіння, а також, виявити вразливі до старіння системні процеси.

Практична цінність запропонованих в даній роботі моделей старіння та омолодження полягає у можливості їх використання для оцінки показників якості існуючого програмного забезпечення, для показників ефективності омолодження програмного забезпечення, а також для проектування та вибору параметрів методу омолодження програмного забезпечення, що дає змогу формувати технічне завдання на його розроблення.

Крім того, для запропонованого методу омолодження програмного забезпечення розроблено структуру модулів програмного засобу, визначено основні вимоги до модулів, а також, описано публічні методи цього програмного засобу, які можуть бути використані розробниками на етапі проектування та конструювання користувацьких застосунків для протидії і реагуванню на процеси старіння в системі.

Результати роботи впроваджені у навчальному процесі кафедри Програмного забезпечення Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» в лекційному курсі та практикумі дисципліни «Теорія надійності програмних систем». Дисертаційні дослідження у 2021–2022 рр. виконувалися в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення методами машинного навчання», номер держреєстрації 0121U109527. Також, результати дисертації пройшли дослідницьке випробування на підприємствах ТОВ «Українські Інформаційні Технології» і ПП «Лінк Ап Студіо».

9. Зауваження до дисертаційної роботи

- 1) Пояснення ефективності застосування моделі старіння та омолодження із різними рівнями старіння в розділі 2.2 ґрунтується на порівнянні симуляцій з виконанням омолодження та без його виконання. Однак, чи не доцільніше було б застосувати такі показники для виконаних симуляцій, які б дозволили порівняти ефективність омолодження різних моделей?
- 2) Тривалість виконання стресових тестів у виконаних дослідженнях не перевищує 4 години. Для покращення якості експериментів варто було б симулювати самі відмови внаслідок старіння, тобто, виконувати тест до того моменту, поки пристрій не увійде в стан відмови.
- 3) В розділі 4.3 описано функцію для отримання інформації про стан старіння в системі та функцію зворотнього виклику, яка викликається

системою на подію виявленого старіння. Ці функції описані в контексті їх використання в системі Android, однак є очевидно, що цей самий підхід може бути застосовано в будь якій іншій системі. Зокрема, чи існують подібні методи в інших системах?

- 4) Іноді виникає питання щодо дотримання ДСТУ. При наведенні схем варто було б уточнити у підписі, в якій нотації ця схема наведена.
- 5) Посилань на українських дослідників, автореферати та дисертації не побачив. Варто було б додати хоча б роботи по суміжних темах, якщо немає робіт безпосередньо пов'язаних із дослідженням старіння та омолодження програмного забезпечення.

Проте вказані зауваження не зменшують цінність дисертаційної роботи в цілому.

10. Загальні висновки

Вважаю, що дисертаційна робота Угриновського Б.В. є завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язана актуальна науково-прикладна задача підвищення рівня надійності програмного забезпечення мобільних систем шляхом визначення факторів, що впливають на процес його старіння, побудови математичних моделей старіння і омолодження програмного забезпечення та розроблення відповідних засобів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам до наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та КМ від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» з останніми змінами внесеними постановою КМ № 341 від 21.03.2022.

Здобувач Угриновський Богдан Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення, галузі знань 12 Інформаційні технології.

Офіційний опонент

завідувач кафедри програмних засобів

Національного університету «Запорізька політехніка»,

доктор технічних наук, професор

Підпис проф. С.О. Субботіна засвідчую.

Проректор з НР та МД



С.О. Субботін

В.В. Наумик