

## **РЕЦЕНЗІЯ**

**рецензента, к.т.н., с.н.с. КЛЮШНІКОВА Ігоря Миколайовича**  
на дисертаційну роботу ВДОВІЧЕНКА Олександра Олександровича  
«Моделі, метод та засоби реконфігурації програмовних пристроїв безпілотних систем з  
керованою багаторівневою деградацією»,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
в галузі знань 12 Інформаційні технології  
за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

### **1. Актуальність теми дослідження**

Сучасні безпілотні апарати (БПА) та побудовані на їх основі безпілотні системи (БПС), незважаючи на їх стрімкий розвиток, все ще потребують прогресивних рішень завдань надійності та автономності. Особливо це стосується систем, які працюють у екстремальних умовах без технічного обслуговування, де необхідно реалізовувати механізми відновлення після часткових відмов і забезпечення встановленого терміну експлуатації. Використання класичних засобів підвищення надійності для таких умов може бути недоцільним через специфіку їх впровадження. Саме тому використання вбудованих інструментів програмно-апаратної реконфігурації потребує детального розгляду в рамках подібних задач. У якості платформи вважається доцільним використання програмованих пристроїв (ПП) у БПА через наявність природної реконфігурованості їх елементів. Ефективність ПП підтверджена застосуванням у критично важливих сферах, зокрема в атомній енергетиці, де сертифіковані ПП значно спрощують процес розроблення та тестування систем. Для контрольованого поступового зниження функціональних спроможностей обладнання, системи потребують інструменти керування багаторівневою деградацією (БРД). Тому, розроблення методів аналізу та підвищення стійкості ПП у БПА за рахунок інтеграції механізмів керованої БРД є актуальною задачею.

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

Під час роботи над дисертацією автор брав участь у якості виконавця у наступних науково-дослідних роботах, що виконувались на кафедрі комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»: «Методологічні засади та технології оцінювання та забезпечення безпеки (захисту) критичних інформаційних інфраструктур» (№ ДР 0119U100979, 2019–2021 рр.), «Розроблення науково-методичного апарату і засобів для оцінювання та забезпечення надійності та безпечності гарантоздатних ІТ-систем та інфраструктур» (№ ДР 0121U113842, 2021–2023 рр.), «Наукові засади і методи забезпечення гарантоздатності флотів БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних і військових об'єктів» (Д 503-1/2021-Ф, № Д/Р 0121U112172, 2021-2023 рр.), «Методи, програмно-апаратні засоби та технології забезпечення гарантоздатності інтелектуальних систем індустриального Інтернету речей» (Д 503-10/2022-П, № Д/Р 0122U001065, 2022-2023), «Методи та кейс-технології доказового оцінювання кібербезпеки програмованих

систем для забезпечення захисту критичної ІТ-інфраструктури» (Д 503-10/2023-П, № ДР 0123U102106, 2023-2024 рр.).

### **3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Дисертаційна робота здобувача Вдовіченка О.О. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел на 101 найменування та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 171 сторінку.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет і завдання дослідження, перелічено методи досліджень, які використовувались, висвітлено наукову новизну отриманих результатів, повноту їх опублікування та апробації, показано зв'язок дисертаційних досліджень з науковими програмами і темами.

Метою дослідження визначено підвищення надійності ПП БПА шляхом розроблення і впровадження методів і засобів її оцінювання та забезпечення в умовах накопичення відмов і багаторівневої деградації внутрішніх ресурсів.

Перший розділ містить результати аналізу та класифікацію програмовних пристроїв за архітектурними та модельними особливостями, та основні виклики, з якими доводиться стикатися під час застосування БПА в умовах експлуатації. Проведено аналіз існуючих методів та засобів оцінювання та забезпечення надійності програмовних пристроїв БПА. Описано задачу дисертаційного дослідження, яка реалізується у три етапи виконання часткових задач.

У другому розділі представлено розроблені моделі реконфігуропридатних програмовних пристроїв, відповідні моделям дефектів та процедур реконфігурації у вигляді структурних схем надійності. Також розроблено аналітичні моделі надійності та метод аналізу реконфігуропридатності програмовних пристроїв відповідно до метрик об'єму(потенційна та реалізована) та часу(інтервальні моментні показники). Розроблені моделі та метод було покладено в основу визначення етапів проведення оцінювання реконфігуропридатності, надійності та живучості безпілотних систем.

Третій розділ містить розроблений класифікатор моделей готовності програмовних пристроїв з багаторівневою деградацією з обґрунтуванням семи ознак та визначенням ключових сутностей та зв'язків між ними. Розроблено та досліджено однофрагментні та мультифрагментні моделі готовності програмовних пристроїв.

У четвертому розділі представлено архітектуру, основний функціонал та приклади застосування програмних засобів, які розроблені для впровадження та супроводу елементів керування багаторівневою деградацією шляхом реалізації потенційної реконфігуропридатності ПП БПА.

Висновки визначено сумарну оцінку результатів дослідження, їх значимість і практичну застосовність, а також запропоновані напрямки подальших досліджень.

Список використаних джерел містить достатньою для предмету досліджень кількість сучасних наукових праць вітчизняних та закордонних науковців, та пов'язаний з завданнями, які вирішуються в дисертаційній роботі.

У додатку А представлено копії актів впровадження наукових результатів, а у додатку Б - лістинги кодів розроблених програмних засобів.

#### **4. Наукова новизна одержаних результатів**

До найбільш суттєвих доробок дисертанта, що характеризуються науковою новизною, можна віднести наступні:

1) вперше запропоновано метод керованої багаторівневої деградації програмовних пристроїв, де ключовими особливостями виступають: формальний аналіз реконфігурації з використанням спеціальних метрик (об'єм, час) для оцінки можливостей архітектури адаптуватися до відмов, наявність адаптивних процедур реконфігурації з вибором та застосуванням конфігурацій залежно від типу дефектів, що підвищує надійність системи при відмовах апаратних компонентів. Застосування методу передбачає підвищення живучості системи та ефективне протидіяння накопиченню відмов;

2) удосконалено моделі програмовних пристроїв з керованою деградацією, де ключовою відмінністю від відомих виступає декомпозиція компонентів за ступенем впливу на працездатність і можливість реконфігурації, що надає змогу формувати вимоги до засобів керування частковим або повним відновленням та розраховувати показники безвідмовності при різних варіантах їх виконання;

3) удосконалено марковські моделі готовності програмовних пристроїв з керованою деградацією шляхом врахування впливу інтенсивності відмов окремих компонентів, можливості відновлення через реконфігурацію, часу та ймовірності успішної перебудови системи, наявності резервних елементів, роботу в режимі часткової працездатності. Розроблені марковські моделі дозволяють оцінювати рівень готовності системи, та її стійкість до поступової деградації.

#### **5. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується автором шляхом коректного застосування загальновідомих методів досліджень, зокрема методів системного аналізу, теорії графів, оптимізації, теорії надійності, математичного моделювання і заздалегідь розробленою схемою проведення досліджень. Достовірність результатів забезпечується критичним аналізом і корегуванням за результатами експертиз науково-дослідних проєктів, покроковою перевіркою на тотожність результатів вирішення одних і тих же завдань аналітичними розрахунками і імітаційним моделюванням, а також їх рецензуванням у наукових публікаціях в періодичних виданнях та виступах на наукових конференціях, що містять наукові результати дисертанта.

**6. Практична цінність отриманих результатів.** Практична цінність результатів дисертаційної роботи Вдовіченка О. О. полягає у тому, що розроблені метод та програмні засоби є основою для впровадження системи забезпечення та підтримки керованої багаторівневої деградації для програмовних пристроїв безпілотних апаратів як альтернативи класичним засобам підвищення надійності систем з обмеженим доступом до апаратного ресурсу. Значущість результатів дисертації підтверджується їх впровадженням у науково-дослідницьку та навчальну

діяльність кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

## **7. Оформлення дисертації, дотримання академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

За своїм змістом дисертаційна робота Вдовіченка О. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія третього освітньо-наукового рівня та наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертаційна робота являє собою одноособово написану кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність результатів та наукових положень, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора у науку. Дослідження спрямовано на розроблення методів та програмних засобів керування потенційною реконфігуропритатністю програмовних пристроїв безпілотних систем, та моделі оцінювання їх готовності під час керованої багаторівневої деградації. Дисертація виконана з дотриманням вимог академічної доброчесності, використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело у переліку джерел.

Наукові результати дисертації висвітлено у 5 наукових публікаціях серед яких: 2 статті у науковому виданні України категорії А (у різних номерах) за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до третього квартилю (Q3), 1 публікація у закордонному періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до четвертого квартилю (Q4), 2 статті у наукових виданнях України категорії Б за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, з двома співавторами у кожній (разом із здобувачем). Окрім цього, автор має: 2 публікації апробаційного характеру у матеріалах міжнародних наукових конференцій, які проіндексовані у базі даних Scopus, 1 публікацію апробаційного характеру у матеріалах національної науково-технічної конференції, 4 статті у наукових виданнях України категорії Б, які не покривають спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія.

## **8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Слід звернути увагу автора на наступні зауваження:

- потребує більш детального опису і аналізу процедури імплементації запропонованих методів і засобів в реальні типи безпілотних апаратів (літальні, наземні, надводні) для забезпечення прискорене впровадження результатів в реальному обладнанні і програмному забезпеченні;
- автором запропоновано метрики реконфігуропритатності і алгоритм її оцінювання, але цілком природнім було б запропонувати і оцінити метрики реконфігурованості на основі результатів аналізу «коефіцієнту корисної дії» окремих запропонованих процедур і в цілому;
- вибір процедур реконфігурації і керованої багаторівневої деградації має бути обумовлений особливостями і задачами різних типів БЛА, ключовим елементом обладнання яких є програмовні пристрої. Крім того, того керування деградацією може бути реалізовано на рівні бортових систем апаратів в цілому.

Зазначені недоліки та зауваження не зменшують наукової цінності дисертаційного дослідження та практичну значущість одержаних результатів.

### **9. Висновок про дисертаційну роботу**

Дисертаційна робота Вдовіченка Олександра Олександровича на тему «Моделі, метод та засоби реконфігурації програмовних пристроїв безпілотних систем з керованою багаторівневою деградацією» є завершеним науковим дослідженням, що не порушує принципів академічної доброчесності і за сукупністю теоретичних і практичних результатів розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Враховуючи актуальність теми, отримані результати, повноту їх опублікування та певну практичну значущість роботи вважаю, що дисертаційна робота Вдовіченка Олександра Олександровича на тему «Моделі, метод та засоби реконфігурації програмовних пристроїв безпілотних систем з керованою багаторівневою деградацією» відповідає вимогам пунктів 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р, а здобувач ВДОВІЧЕНКО Олександр Олександрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Рецензент:

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

Ігор КЛЮШНІКОВ

"30" квітня 2025 року