

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента

кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника

Дергачова Костянтина Юрійовича

на дисертаційну роботу Скоробогачка Станіслава Віталійовича

**«МОДЕЛІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ
ГІБРИДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ
ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність теми дослідження.

Стрімкий розвиток систем моніторингу критичної інфраструктури, екологічно небезпечних об'єктів та територій підвищеного ризику зумовлює необхідність створення високонадійних гібридних сенсорних мереж, здатних функціонувати в умовах просторової розподіленості та часткової деградації компонентів. Особливої *актуальності* ця проблема набуває в умовах застосування безпілотних літальних апаратів, периферійних обчислень і розподілених інформаційно-комунікаційних технологій, що формують складні системи моніторингу. Існуючі підходи до оцінювання надійності сенсорних мереж переважно орієнтовані на спрощені структури та не повною мірою враховують просторовий характер відмов, динамічну зміну конфігурації мережі, багаторівневу працездатність системи та особливості взаємодії наземних і літаючих компонентів. Унаслідок цього виникає потреба у розробленні нових моделей та програмних засобів, здатних забезпечити адекватне оцінювання безвідмовності й готовності сучасних гібридних сенсорних мереж.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності та новизни.

Наукові результати дисертаційної роботи є *достатньо обґрунтованими*, оскільки базуються на комплексному застосуванні сучасних методів математичного апарату теорії надійності, стохастичного аналізу, імітаційного моделювання та структурного аналізу розподілених систем. Автором послідовно виконано перехід від аналізу існуючих підходів до побудови власних моделей і програмних засобів, що забезпечує логічну цілісність та аргументованість отриманих результатів.

Достовірність результатів підтверджується використанням коректних математичних методів, узгодженістю результатів аналітичного та імітаційного моделювання, а також проведенням серії обчислювальних експериментів для різних сценаріїв функціонування гібридних сенсорних мереж. Отримані результати мають прикладний характер та підтверджуються програмною реалізацією розроблених моделей і засобів оцінювання надійності.

Наукова новизна дисертації полягає у комплексному підході до оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій із урахуванням особливостей взаємодії наземних і літаючих компонентів, багаторівневої працездатності системи та просторового характеру відмов сенсорних вузлів. Запропоновані підходи дозволяють більш адекватно моделювати процеси функціонування та деградації сенсорних мереж у реальних умовах експлуатації. Окремої уваги заслуговує розроблення програмних засобів, які забезпечують автоматизацію оцінювання показників надійності та підтримують дослідження різних сценаріїв функціонування систем моніторингу. Це підвищує практичну цінність отриманих результатів і створює підґрунтя для їх подальшого використання у наукових та прикладних дослідженнях.

Практична цінність отриманих результатів.

Практична цінність результатів дисертації підтверджується їх впровадженням у науково-дослідну та навчальну діяльність, а також в Українському ордена «Знак пошани» науково-дослідному інституті лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького Державного агентства лісових ресурсів України та Національної академії наук України.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання академічної доброчесності.

За **своїм змістом** дисертаційна робота Скоробогатка С. В. повністю відповідає спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Дисертаційна робота являє собою одноособово виконану кваліфікаційну наукову працю, яка містить сукупність наукових результатів, теоретичних положень і практичних розробок, має внутрішню логічну єдність та свідчить про особистий внесок автора у розвиток наукових підходів до оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій. Дослідження спрямовано на розроблення структурних, аналітичних, марковських та імітаційних моделей, а також програмних засобів оцінювання безвідмовності й готовності гібридних сенсорних мереж із використанням наземних сенсорів, безпілотних літальних апаратів та технологій хмарних, граничних і туманних обчислень.

Робота є *завершеним науковим дослідженням*, у якому послідовно вирішено поставлені задачі, починаючи від аналізу сучасного стану проблеми та існуючих методів оцінювання надійності сенсорних мереж до розроблення математичних моделей, програмних засобів і проведення експериментальних досліджень. Отримані результати характеризуються науковою обґрунтованістю, взаємопов'язаністю та практичною спрямованістю.

Структура дисертації є логічною та послідовною, а зміст розділів повною мірою відповідає поставленій меті та задачам дослідження. Результати дослідження можуть бути використані під час проєктування та експлуатації сучасних систем моніторингу, що використовують сенсорні мережі.

Подана дисертаційна робота виконана з *дотриманням принципів академічної доброчесності* та етичних норм проведення наукових досліджень. Аналіз змісту роботи, наукових публікацій автора та результатів перевірки тексту на наявність збігів свідчить про самостійний характер виконаного дослідження. У дисертації належним чином оформлено посилання на використані наукові джерела та результати досліджень інших авторів. Запозичені положення та наукові підходи супроводжуються коректними бібліографічними посиланнями відповідно до встановлених вимог. Виявлені текстові збіги мають допустимий характер і пояснюються використанням стандартизованої наукової термінології, описом загальновідомих методів моделювання, назвами моделей, а також використанням власних публікацій автора, присвячених тематиці дисертаційного дослідження. Таким чином, дисертаційна робота відповідає вимогам академічної доброчесності, а отримані результати можуть розглядатися як самостійний науковий доробок здобувача.

Оформлення дисертації та її структура.

Оформлення дисертації здійснено з дотриманням вимог наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 177 сторінок.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет та задачі дослідження, наведено використані методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відображено їх апробацію та публікації автора, а також наведено зв'язок роботи з науковими програмами і тематикою наукових досліджень.

У *першому розділі* проведено аналіз сучасних підходів до побудови гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій із використанням наземних сенсорів, безпілотних літальних апаратів та технологій літаючих хмарних, граничних і туманних обчислень. Проаналізовано існуючі моделі оцінювання надійності сенсорних мереж, визначено їх переваги та обмеження, а також сформульовано задачі дослідження.

У *другому розділі* розроблено структури гібридних сенсорних мереж систем моніторингу та аналітичні моделі їх надійності. Розглянуто варіанти організації літаючих і наземних хмарних, граничних та туманних обчислень, запропоновано архітектуру гібридної сенсорної мережі з інтеграцією граничних обчислень та БПЛА, а також розроблено моделі оцінювання надійності з урахуванням багаторівневої працездатності й просторових кластерних відмов.

У *третьому розділі* розроблено марковські та імітаційні моделі оцінювання надійності сенсорних мереж систем моніторингу. Для дослідження процесів відмов і відновлення компонентів використано апарат дискретно-неперервних марковських ланцюгів. Розглянуто застосування методу Монте-Карло та алгоритмів графового аналізу для виявлення просторових кластерних відмов сенсорів і дослідження критичних сценаріїв функціонування мережі.

У *четвертому розділі* описано архітектуру, функціональні можливості та приклади застосування розроблених програмних засобів для оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій. Наведено результати обчислювальних експериментів та приклади практичного використання програмних засобів для аналізу показників надійності й готовності систем моніторингу.

У *висновках* наведено основні результати дисертаційного дослідження, визначено їх наукову та практичну значущість, а також окреслено перспективні напрями подальших досліджень.

Список використаних джерел містить сучасні наукові праці вітчизняних та закордонних дослідників, що відповідають тематиці дисертаційної роботи та забезпечують належний рівень теоретичного обґрунтування проведених досліджень.

У *додатках* наведено матеріали, що підтверджують практичне впровадження отриманих результатів, а також допоміжні матеріали, пов'язані з реалізацією розроблених програмних засобів і проведенням експериментальних досліджень.

Оприлюднення результатів роботи.

Наукові результати висвітлено у *восьми* наукових публікаціях:

– **одна** стаття у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б за спеціальністю 123 Комп’ютерна інженерія, з двома співавторами (разом із здобувачем), яка прирівнюється до **однієї** публікації;

– **одна** стаття у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії Б за спеціальністю 123 Комп’ютерна інженерія, з трьома співавторами (разом із здобувачем), яка прирівнюється до **0,5** публікації;

– **дві** статті у науковому виданні, включеному на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України категорії А за спеціальністю 123 Комп’ютерна інженерія, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до третього квартилю (**Q3**) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, у зв’язку з чим кожна зі статей прирівнюється до **двох** публікацій;

– **одна** публікація у закордонному періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus та віднесеному до першого квартилю (**Q1**) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, яка прирівнюється до **двох** публікацій;

– **три** публікації апробаційного характеру у матеріалах міжнародних конференцій, **дві** з яких проіндексованих у базі даних Scopus.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Основні **недоліки та зауваження до дисертаційної роботи** є такими:

- недостатньо уваги приділено питанням оптимізації топології гібридної сенсорної мережі залежно від типу контрольованої території та характеру потенційних загроз;
- під час побудови марковських моделей у третьому розділі варто було б більш детально описати припущення щодо інтенсивностей відмов і відновлення компонентів мережі та їх відповідність реальним умовам експлуатації;
- результати експериментальних досліджень, що представлені здобувачем у четвертому розділі, доцільно було б доповнити прикладами використання розроблених програмних засобів для різних типів потенційно небезпечних об’єктів;
- у роботі недостатньо висвітлено питання інтеграції запропонованих програмних засобів із сучасними системами підтримки прийняття

рішень та платформами ситуаційного моніторингу, що могло б підсилити практичну спрямованість дослідження.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота Скоробогатька Станіслава Віталійовича «Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій» не порушує принципів академічної доброчесності і є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних і практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю 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.

Здобувач Скоробогатько Станіслав Віталійович 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,
завідувач кафедри систем управління
літальними апаратами
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

Костянтин ДЕРГАЧОВ