

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Скоробогатька Станіслава Віталійовича* на тему «Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

На засіданні кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій за участі:

Харченка Вячеслава Сергійовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Фесенка Германа Вікторовича, д.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Морозової Ольги Ігорівни, д.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Брежнева Євгена Віталійовича, д.т.н., професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Певнева Володимира Яковлевича, д.т.н., доцента, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Клюшнікова Ігоря Миколайовича, д.т.н., ст. наук. співр., доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Фурманова Клайда Костянтинівича, к.т.н., професора, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Орєхова Олександра Олександровича, к.т.н., доцента, професора кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Перепелицина Артема Євгеновича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Колісник Марини Олександрівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Піскачова Олександра Івановича, к.т.н., ст. наук. співр., доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Бабешка Євгена Васильовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Дужого В'ячеслава Ігоровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Тецького Артема Григоровича, к.т.н., доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Лейченка Кирила Миколайовича, д.ф., доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Землянка Георгія Андрійовича, д.ф., доцента кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;

Дужої Вікторії Вікторівни, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Холодної Зої Борисівни, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Желтухіна Олександра Васильовича, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Годунова Олександра Сергійовича, ст. викладача кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Демури Руслана Івановича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Неретіна Олексія Сергійовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Семенця Олександра Юрійовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Остапенка Леоніда Юрійовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Канарського Євгенія Олександровича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Міщука Вадима Валерійовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Юдіна Олеся Вікторовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Черепакіна Дмитра Анатолійовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Косаревського Богдана Валерійовича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Медведева Богдана Руслановича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»;
Лісних Олександра Ігоровича, аспіранта кафедри кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій «ХАІ»,

а також запрошених:

Туркіна Ігоря Борисовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри інженерії програмного забезпечення «ХАІ»;
Чухрая Андрія Григоровича, д.т.н., професора, професора кафедри інженерії програмного забезпечення «ХАІ»;
Соколової Євгенії Віталіївни, к.т.н., доцента, доцента кафедри інженерії програмного забезпечення «ХАІ»;
Малеевої Ольги Володимирівни, д.т.н., професора, професора кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій «ХАІ»;
Заславського Володимира Анатолійовича, д.т.н., професора, професора кафедри математичної інформатики Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Іванченка Олега Васильовича, д.т.н., доцента, професора кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного університету «Дніпровська політехніка»;

Шмельової Тетяни Федорівни, д.т.н., професора, професора кафедри аеронавігаційних систем Національного університету «Київський авіаційний інститут»;

Стрижака Олександра Євгенійовича, д.т.н., професора, головного наукового співробітника Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України;

Волочія Богдана Юрійовича, д.т.н., професора, професора кафедри програмно-апаратних систем інфокомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»;

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Скоробогатька Станіслава Віталійовича* на тему «**Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій**».

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення надійності та готовності систем моніторингу потенційно небезпечних територій, які працюють в умовах деградації мережі та обмеженості ресурсів. Особливо це стосується гібридних сенсорних мереж, що поєднують наземні та літаючі компоненти з використанням хмарних, граничних і туманних обчислень. Такі мережі є перспективною основою сучасних систем моніторингу, однак їх складна архітектура та неоднорідність компонентів істотно ускладнюють задачі оцінювання надійності. Існуючі підходи до моделювання безвідмовності та готовності сенсорних мереж не повною мірою враховують особливості гібридних систем, зокрема варіанти розміщення й взаємодії обчислювальних ресурсів, багаторівневу працездатність, вплив покриття контрольованої території, фатальні комбінації множинних відмов сенсорів, а також процеси відмов і відновлення мережевого обладнання за різних стратегій технічного обслуговування. У зв'язку з цим актуальним є розроблення структурних, аналітичних, імітаційних та марковських моделей оцінювання безвідмовності та готовності гібридних сенсорних мереж, які дозволяють враховувати особливості їх функціонування, прогнозувати показники надійності та обґрунтовувати рішення щодо розподілу ресурсів і забезпечення безперервності моніторингу.

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

Представлені в роботі результати дослідження застосовувались при виконанні науково-дослідних робіт:

1. «Наукові засади і методи забезпечення гарантоздатності флотів БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних і військових об'єктів» № Д/Р 0121U112172, 2021-2023 рр.);

2. «Методологія та інформаційні технології оцінювання та забезпечення безпеки цифрової інфраструктури малих модульних реакторів» (№ Д/Р 0122U000977, 2022-2024 рр.);

3. «Методи та засоби виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням багатофункційних інтелектуальних систем БПЛА» (№ Д/Р 0123U101992, 2023-2024 рр.);

4. «Методи, моделі та інформаційні технології підвищення надійності та безпечності складних IT-систем на етапах розроблення та впровадження» (№ Д/Р 0121U113842, 2021-2023 рр.);

5. «Методи, засоби та технології моделювання, розроблення, розгортання та забезпечення гарантоздатності мобільних інтелектуальних систем для об'єктів критичної інфраструктури» (№ Д/Р 0124U003250, 2024-теперішній час).

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано структурні та надійнісні моделі гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, що базуються на наземних та літаючих компонентах хмарних, граничних та туманних обчислень, які, на відміну від відомих, ураховують різні варіанти розміщення та взаємодії обчислювальних інтелектуальних ресурсів, а також рівні працездатності компонентів залежно від повноти виконання функцій моніторингу, що дозволяє планувати розподіл ресурсів і забезпечити надійне функціонування системи в умовах деградації мережі.

2. Удосконалено аналітичні та імітаційні моделі оцінювання безвідмовності сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, які враховують особливості покриття сенсорами контрольованої території, їхні показники безвідмовності та фатальні комбінації множинних відмов сенсорів за різними критеріями, що дозволяє розраховувати та прогнозувати показники надійності мереж.

3. Отримали подальшого розвитку марковські моделі оцінювання готовності сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, які враховують відмови та варіанти відновлення сенсорів та мережевого обладнання, що дозволяє розраховувати функцію готовності мереж для різних стратегій їх технічного обслуговування.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Теоретичне значення результатів полягає у формуванні комплексного наукового підходу до моделювання надійності гібридних сенсорних мереж на основі інтеграції наземних і літаючих компонентів. Запропоновані структурні та надійнісні моделі розширюють теорію побудови систем моніторингу, враховуючи деградацію мережі та динаміку розподілу інтелектуальних

ресурсів, тоді як удосконалені аналітичні та імітаційні моделі поглиблюють математичний апарат оцінювання безвідмовності через аналіз фатальних комбінацій відмов і специфіку покриття територій. Розвиток марковських моделей забезпечує наукове обґрунтування оптимальних стратегій технічного обслуговування, що дозволяє прогнозувати функцію готовності систем у складних умовах експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні інструментарію для проектування та експлуатації високонадійних систем моніторингу потенційно небезпечних територій із використанням наземних і літаючих вузлів. Розроблені моделі та програмні засоби дають змогу автоматизувати процес планування розподілу обчислювальних ресурсів, що забезпечує стабільну роботу системи навіть у разі часткового виходу з ладу її компонентів. Впровадження вдосконалених алгоритмів оцінювання безвідмовності дозволяє точно прогнозувати терміни безаварійної роботи сенсорних мереж, ідентифікувати критичні точки відмов та оптимізувати покриття контрольованих зон. Крім того, використання марковських моделей надає можливість обґрунтувати найбільш економічно ефективні стратегії технічного обслуговування, мінімізуючи час простою обладнання та гарантуючи високий рівень готовності системи до реагування на надзвичайні ситуації. Результати можуть бути використані у галузях, де виникає необхідність у побудові систем оперативного моніторингу зон техногенних катастроф, пожеж або затоплень.

5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на:

- науково-технічному семінарі «Гарантоздатні Інформаційні Технології» (ГІТ) кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету «ХАІ» (Харків, 04 жовтня 2023 р.);
- 13-ій Міжнародній науково-технічній конференції “Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT’23)” (Афіни, Греція, 2023);
- 14-ій Міжнародній науково-технічній конференції “Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT’24)” (Афіни, Греція, 2024);
- 3-му Міжнародному воркшопі “Reliability Engineering and Computational Intelligence (RECI’2024)” (Жиліна, Словаччина, 2024).

Результати дисертаційного дослідження впроваджено:

- у навчальному процесі кібербезпеки та інтелектуальних інформаційних технологій ХАІ у вигляді лекційного матеріалу і практичних занять з використання моделей та засобів оцінювання та забезпечення надійності, зокрема, моделей гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій у навчальній дисципліні «Надійність та відмовостійкість комп'ютерних систем» (4 години);
- при виконанні науково-дослідних робіт, перелік яких надано у п. 2 цього висновку;

– 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.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація С. В. Скоробогатька є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

Наукові результати дисертації висвітлені у п'яти наукових публікаціях здобувача, у тому числі:

– дві статті в наукових виданнях України категорії «Б», затверджених як фахові за спеціальністю 123;

– дві статті у наукових фахових виданнях України категорії «А», проіндексованих в базі даних Scopus (квартиль Q3);

– одна стаття у закордонному періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus (квартиль Q1).

Крім того автор має три апробаційні публікації в працях міжнародних конференцій, дві з яких проіндексовано у базі даних Scopus.

Статті в наукових виданнях України категорії «Б», затверджених як фахові за спеціальністю 123:

1. Скоробогатько С. В., Фесенко Г. В. Перспективи використання літаючих хмарних, граничних та туманних обчислень компонентами системи моніторингу потенційно небезпечних об'єктів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. Вип. 4 (70). С. 145–152. DOI: 10.26906/SUNZ.2022.4.

Здобувачем розроблено структурні моделі гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, що базуються на наземних та літаючих компонентах хмарних, граничних та туманних обчислень.

2. Скоробогатько С., Фесенко Г., Харченко В. Послідовність і програмний засіб для симуляційного оцінювання ймовірності безвідмовної роботи бездротових сенсорних мереж за різних сценаріїв відмов. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2025. Вип. 4 (84). С. 68–80 DOI: 10.31891/2219-9365-2025-84-8.

Здобувачем розроблено програмний засіб для симуляційного оцінювання ймовірності безвідмовної роботи бездротових сенсорних мереж для різних сценаріїв відмов з використанням візуалізації розташування сенсорів та ділянок покриття мережі.

Статті у наукових фахових виданнях України категорії «А», проіндексованих в базі даних Scopus (квартиль Q3):

1. Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Yakovlev S. Architecture and Reliability Models of Hybrid Sensor Networks for Environmental and Emergency Monitoring Systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2024. Vol. 60, no. 2. P. 293–304. DOI: 10.1007/s10559-024-00670-x.

Здобувачем представлено аналітичні моделі оцінювання безвідмовності сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, які враховують особливості покриття сенсорами контрольованої території та їхні показники безвідмовності.

2. Leichenko K., Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Yakovlev S. Assessment of the Reliability of Wireless Sensor Networks for Forest Fire Monitoring Systems Considering Fatal Combinations of Multiple Sensor Failures. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2025. Vol. 61, no. 1. P. 137–147. DOI: 10.1007/s10559-025-00753-3.

Здобувачем розроблено імітаційну модель оцінювання безвідмовності сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, яка враховує особливості покриття сенсорами контрольованої території та фатальні комбінації множинних відмов сенсорів за різними критеріями.

Стаття у закордонному періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus (квартиль Q1):

1. Fesenko H., Illiashenko O., Kharchenko V., Kliushnikov I., Morozova O., Sachenko A., Skorobohatko S. Flying Sensor and Edge Network-Based Advanced Air Mobility Systems: Reliability Analysis and Applications for Urban Monitoring. *Drones*. 2023. Vol. 7, no. 7, article no. 409. P. 1–27. DOI: 10.3390/drones7070409.

Здобувачем розроблено надійнісні моделі гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій, що базуються на наземних та літаючих компонентах хмарних, граничних та туманних обчислень та враховують різні варіанти розміщення та взаємодії обчислювальних інтелектуальних ресурсів, а також рівні працездатності компонентів залежно від повноти виконання функцій моніторингу. Крім того, здобувачем розроблено програмний засіб для оцінювання надійності системи моніторингу на основі гібридної сенсорної мережі.

Апробаційні публікації в працях міжнародних конференцій:

1. Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Yakovlev S. Edge-based Sensors Network for Critical Object Monitoring: Reliability Models Considering the Location of Failed Sensors. *Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2023)* : Proc. 13th IEEE Int. Conf., Athens, Greece, Oct. 13–15, 2023. P. 1–7. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416471 (Scopus).

Здобувачем розроблено програмний засіб, моделі та методи надійності з урахуванням розташування несправних сенсорів.

2. Leichenko K., Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Yakovlev S. Reliability of Sensor Network-Based Systems for Arbitrary Shape Plot Monitoring Considering Multiple Failures. *Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2024)* : Proc. 14th IEEE Int. Conf., Athens, Greece, Oct. 11–13, 2024. DOI: 10.1109/DESSERT65323.2024.11122204 (Scopus).

Здобувачем розроблено методи оцінювання надійності бездротових сенсорних мереж систем моніторингу з урахуванням фатальних комбінацій множинних відмов сенсорів.

3. Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Volochiy B. Availability Models of a Recoverable Wireless Sensor Network for Forest Fire Monitoring System. *Reliability Engineering and Computational Intelligence (RECI'2024)* : Proc. 3rd Int. Workshop, Žilina, Slovakia, Nov. 6–8, 2024. P. 13. URL: <https://reci.fri.uniza.sk/wp-content/uploads/2024/11/Abstracts-of-RECI-2024-v.5.pdf>.

Здобувачем розроблено марковські моделі готовності відновлюваної бездротової сенсорної мережі для системи моніторингу лісових пожеж.

7. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Скоробогатьком Станіславом Віталійовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Скоробогатько Станіслав Віталійович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Отже, вважаємо, що дисертаційна Скоробогатька Станіслава Віталійовича «Моделі та програмні засоби оцінювання надійності гібридних сенсорних мереж систем моніторингу потенційно небезпечних територій», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Головуючий на засіданні
член-кореспондент Національної академії наук України,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри кібербезпеки та
інтелектуальних інформаційних технологій
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»
03.04.2026 р.



Вячеслав ХАРЧЕНКО