

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. ректора Національного
аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»

Заслужений працівник освіти

доктор юридичних наук
професор

Олексій ЛИТВИНОВ

2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника доцента кафедри комп'ютерних систем мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» **КЛЮШНІКОВА Ігоря Миколайовича** на тему «**Методологія, моделі та інформаційна технологія забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів**», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Призначені рішенням Вченої ради Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (протокол № 1 від 27.08.2025 р.) рецензенти, а саме:

- ДРУЖИНІН Євген Анатолійович, професор кафедри інформаційних технологій проектування, доктор технічних наук, професор;
- ЛУКІН Володимир Васильович, завідувач кафедри інформаційно - комунікаційних технологій ім. О.О. Зеленського, доктор технічних наук, професор;
- ШОСТАК Ігор Володимирович, професор кафедри інженерії програмного забезпечення, доктор технічних наук, професор,

розглянувши докторську дисертацію КЛЮШНІКОВА Ігоря Миколайовича «Методологія, моделі та інформаційна технологія забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів» (тема дисертаційного дослідження

затверджена рішенням Вченої ради Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» від 24 червня 2020 року, протокол № 12 та перезатверджена рішенням Вченої ради Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» від 19 лютого 2025 року, протокол № 6), що виконана самостійно з передбачуваним її захистом у Спеціалізованій вченій раді Д64.062.01, підготували висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації:

1. Дисертація є кваліфікаційною науковою працею, що виконана здобувачем самостійно та відповідає вимогам, передбаченими п. 7 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17.11.2021 року (із змінами).

2. Дисертація містить наукові положення та науково обґрунтовані результати в галузі інформаційних технологій, які мають практичну та теоретичну цінність.

До нових наукових обґрунтованих положень експертами віднесено:

1) вперше розроблено:

- методологію побудови гарантоздатних сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів (СОМС БПЛА), яка, на відміну від відомих, базується на концепції побудови гарантоздатних (надійних і безпечних) систем з недостатньо надійних і безпечних елементів та їх множин (апаратів та їх роїв) з врахуванням функційних і просторових обмежень, а також принципах мультиагентного представлення процесів використання СОМС БПЛА; функціонально-просторового підходу до оцінювання та підвищення надійності і гарантоздатності СОМС БПЛА; динамічного структурно-функціонального резервування та керованої деградації СОМС БПЛА, а також гарантованого обслуговування різноманітних запитів на виконання сервісів з визначеними вимогами в умовах відмов, кібератак та обмеженої автономності апаратів, що дозволяє обґрунтовувати загальну структуру та засоби забезпечення гарантоздатності СОМС БПЛА;

- аналітичні моделі для опису процесів розгортання та надійнісної поведінки СОМС БПЛА при виконанні типових завдань, які, на відміну від відомих, представлені залежностями, що враховують таксономію, яка описує сутності за ієрархією ознак «завдання – тип покриття – тип множини БПЛА – види працездатності – типи моделей», що дозволяє визначати кількісні показники СОМС БПЛА, та відповідність їх значень вимогам до сервісів;

- метод формування структури та складу СОМС БПЛА, який на відміну від відомих базується на визначенні зв'язків між завданнями, умовами виконання, технічними характеристиками елементів СОМС, а також на моделях їх функціонування та оцінювання гарантоздатності, що дозволяє визначати комплекс стаціонарних та мобільних компонентів для виконання завдань відповідно до вимог та параметрів середовища;

2) удосконалено:

- концептуальну модель СОМС БПЛА у вигляді мультиагентної системи, яка складається з холонів керування, виконання та забезпечення, і описує структуру системи, властивості та взаємозв'язки холонів-агентів, які формуються для виконання різноманітних завдань, що дозволяє формувати масштабовану структуру, на основі мобільних агентів, які представляють програмно-апаратні сутності, апаратна частина яких базується на БПЛА та наземних станціях обслуговування.

- моделі функційної надійності СОМС БПЛА, які враховують фрагментацію цільової області, варіанти формування маршрутів для її покриття в умовах можливих відмов БПЛА та підсистеми обслуговування, а також деградацію структури і характеристик апаратів та якості виконання завдань, що дозволяє підвищити точність оцінювання показників надійності та імовірності повного або часткового ненадання сервісів СОМС, а також обґрунтовувати вимоги до безвідмовності та живучості апаратів і систем;

3) отримали подальший розвиток:

- моделі систем масового обслуговування для дослідження функціонування та оцінювання гарантоздатності СОМС БПЛА, шляхом врахування можливості відмов внаслідок фізичних причин та кібератак, параметрів процесів відновлення та профілактичного обслуговування БПЛА, а також процесів некерованої та керованої деградації якості виконання завдань, що дозволяє підвищити точність оцінювання часткових/окремих показників гарантоздатності, обґрунтовувати склад СОМС БПЛА і комплекс засобів для забезпечення гарантоздатності надання сервісів.

- марковська модель готовності СОМС БПЛА з урахуванням кібератак на інформаційні активи, зокрема, навігаційних систем, сенсорного обладнання та каналів управління, що описує стани втрати працездатності внаслідок таких атак та аварійного закінчення місії та дозволяє обґрунтовувати вимоги до систем захисту та комплексу контрзаходів.

Дисертаційна робота виконана в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» на кафедрі комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки у 2020-2025 роках відповідно до планів:

1) науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України за держбюджетними темами: «Наукові засади і методи забезпечення гарантоздатності флотів БПЛА інтелектуальних систем моніторингу потенційно небезпечних і військових об'єктів» (д/р № 0222U001146, 2021-2023 рр.); «Методи, моделі та інформаційні технології підвищення надійності та безпечності складних ІТ-систем на етапах розроблення та впровадження» (д/р № 0222U002861, 2021-2023 рр.); «Методологія та інформаційні технології оцінювання та забезпечення безпеки цифрової інфраструктури малих модульних реакторів» (№ ДР 0122U000977, 2022–2024 рр.); «Методи та засоби виявлення вибухонебезпечних предметів з використанням багатофункційних інтелектуальних систем БПЛА» (№ ДР 0123U101992, 2023–2024 рр.); «Методи, засоби та технологія забезпечення гарантоздатності і резильєнтності інтелектуальних комплексів безпілотних літальних і безекіпажних апаратів з комбінованими стратегіями використання» (№ ДР 0124U000945, 2024 р. - по т.ч.); «Методи, інтелектуальні мобільні системи та засоби для забезпечення комунікацій і подолання небезпечних просторів» (№ ДР 0125U002056, 2025–по т.ч.) – в частині розроблення методів визначення завдань, складу та моделей групового застосування гетерогенних груп БПЛА;

2) міжнародних проєктів: Autodrone.UA (ФРН-Україна, 2024-2025 рр.); WILDfire preparedness and prevention framework for unmanned vehicle plATforms (“WILDCAT”) (Швеція-Естонія-Україна, Swedish Institute, 2024 – по т.ч).

3) науково-дослідних робіт та оперативних завдань на замовлення Командувача Повітряних Сил Збройних Сил України у 2012-2018 та 2022-2024 роках.

Практична цінність дисертації полягає в тому, що основні наукові положення доведено до практичної реалізації у вигляді інструментальних засобів планування застосування БПЛА для виконання завдань покриття множини визначених точок та забезпечення фізичної безпеки об'єктів критичної інфраструктури; IDEF0-діаграми, яка описує процес перетворення інформації під час підтримки прийняття рішень щодо забезпечення гарантоздатності COMC БПЛА та архітектури COMC БПЛА. Зазначені інструментальні засоби, IDEF0-діаграма та архітектура COMC БПЛА утворюють інформаційну технологію забезпечення підтримки прийняття рішень щодо забезпечення гарантоздатності COMC БПЛА.

Отримані результати впровадженні у навчальному процесі Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут»; у науково-дослідних роботах, які виконувалися у Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» та у міжнародних проектах, що виконувались Національним аерокосмічним університетом «Харківський авіаційний інститут» спільно з закордонними установами; у Командуванні Повітряних Сил Збройних Сил України при проведенні наукових досліджень з групового застосування; у наукових роботах, які виконувались у Харківському Національному університеті Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба при проведенні досліджень з застосування БПЛА при розгортанні системи багатопозиційної системи навігації; у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України, що підтверджується актами впровадження представленими в Додатку до дисертації.

3. Дисертація виконана за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології, яка відноситься до технічної галузі науки за Переліком наукових спеціальностей, затверджених наказом МОН України від 14.09.2011 № 1057.

4. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології, зокрема напрямам досліджень: «розроблення інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються»; «моделювання предметних галузей інформаційних систем (аналітичне, імітаційне, інфологічне, об'єктно-орієнтоване тощо) на підґрунті створення та застосування відповідних інформаційних технологій»; «розроблення та дослідження моделей і методів оцінювання якості та підвищення надійності, функціональної безпеки та живучості інформаційних та інформаційно-управляючих систем, а також інформаційних технологій для створення гарантоздатних автоматизованих систем переробки інформації й управління критичного застосування».

5. Наведені в дисертації висновки обґрунтовані і базуються на одержаних і наведених результатах. Їх достовірність підтверджена математичним та імітаційним моделюванням. Основними з них рецензенти вважають:

- методологію побудови гарантоздатних сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів (COMC

БПЛА), яка, базується на концепції побудови гарантоздатних (надійних і безпечних) систем з недостатньо надійних і безпечних елементів та їх множин (апаратів та їх роїв) з врахуванням функційних і просторових обмежень, а також принципах мультиагентного представлення процесів використання СОМС БПЛА; функціонально-просторового підходу до оцінювання та підвищення надійності і гарантоздатності СОМС БПЛА; динамічного структурно-функціонального резервування та керованої деградації СОМС БПЛА, а також гарантованого обслуговування різноманітних запитів на виконання сервісів з визначеними вимогами в умовах відмов, кібератак та обмеженої автономності апаратів, що дозволяє обґрунтовувати загальну структуру та засоби забезпечення гарантоздатності СОМС БПЛА;

- аналітичні моделі для опису процесів розгортання та надійнісної поведінки СОМС БПЛА при виконанні типових завдань, які, на відміну від відомих, представлені залежностями, що враховують таксономію, яка описує сутності за ієрархією ознак «завдання – тип покриття – тип множини БПЛА – види працездатності – типи моделей», що дозволяє визначати кількісні показники СОМС БПЛА, та відповідність їх значень вимогам до сервісів;

- моделі функційної надійності СОМС БПЛА, які враховують фрагментацію цільової області, варіанти формування маршрутів для її покриття в умовах можливих відмов БПЛА та підсистеми обслуговування, а також деградацію структури і характеристик апаратів та якості виконання завдань, що дозволяє підвищити точність оцінювання показників надійності та імовірності повного або часткового ненадання сервісів СОМС, а також обґрунтовувати вимоги до безвідмовності та живучості апаратів і систем.

6. Дисертація викладена логічно, легко читається, з чітко поставленими цілями і засобами їх досягнення.

7. В дисертації автором особисто сформульовано й вирішено актуальну науково-прикладну проблему забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів шляхом розроблення науково-обґрунтованої методології та інформаційної технології, обумовленої існуванням об'єктивного протиріччя між жорсткими вимогами до надійності та безпечності СОМС БПЛА при виконанні різноманітних послуг та функцій та відсутністю

концептуальних та математичних моделей, методів та засобів для оцінювання та забезпечення гарантоздатності таких систем.

8. Експертами не виявлено порушень принципів академічної доброчесності.

9. Основні положення кандидатської дисертації не є складовими положень докторської дисертації автора.

10. Кількість та якість наукових праць, опублікованих за матеріалами дисертації, відповідають постанові Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року «Деякі питання присудження (позбавлення) наукових ступенів», що затверджує «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук». Основні наукові результати дисертації опубліковано в 24 наукових працях, у тому числі: 3 розділи в колективних зарубіжних монографіях (всі проіндексовані у наукометричній базі даних Scopus), 1 розділ в колективній вітчизняній монографії, 15 статей у періодичних наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (2 з яких у наукових виданнях категорії А, 4 – у виданнях, що проіндексовані у наукометричній базі даних Scopus, з яких 2 – у віднесених відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank до третього квартиля (Q3)); 5 статей в наукових періодичних виданнях інших держав із напрямку, з якого підготовлено дисертацію, з них 4 у наукових виданнях, проіндексованих у наукометричних базах даних Scopus та віднесених відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank до першого та другого квартиля (Q1, Q2), 1– до третього квартиля (Q3)). Крім того, 11 праць додатково відображають результати дисертації, у тому числі результати, що захищені 1 патентом України на винахід, 2 патентами на корисну модель та 2 договори про передачу права на використання твору; 19 праць засвідчують апробацію матеріалів дисертації, 7 з яких у наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus.

11. Результати дисертаційних досліджень пройшли апробацію на численних семінарах і конференціях в Україні (10 конференцій) і за її межами (7 конференцій).

З урахуванням актуальності теми дослідження, наукової новизни, теоретичного та практичного значення одержаних результатів,

впровадження їх у практику, обґрунтованості висновків на основі одержаних достовірних результатів, особистого внеску здобувача у розв'язання важливої науково-технічної проблеми, достатньої повноти викладення матеріалів дисертації, що характеризується єдністю змісту, відповідності принципам академічної доброчесності, а також, беручи до уваги наукову зрілість та професійні якості **Клюшнікова Ігоря Миколайовича**, рекомендувати дисертацію **«Методологія, моделі та інформаційна технологія забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів»** для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Результати дисертації обговорювались на засіданні кафедри, де були присутні 20 осіб.

Результати голосування учасників засідання кафедри:

«За» – 20 осіб.

«Проти» – - осіб.

«Утримались» – - осіб.

Заступник завідувача кафедри комп'ютерних систем мереж і кібербезпеки
кандидат техн. наук, професор  **Клайд ФУРМАНОВ**

Секретар кафедри комп'ютерних систем мереж і кібербезпеки

 **Зоя ХОЛОДНА**

Рецензенти:

Професор кафедри інформаційних технологій проектування

доктор технічних наук, професор

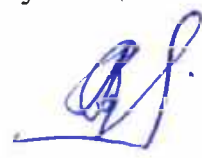


Євген ДРУЖИНІН

Завідувач кафедри інформаційно - комунікаційних технологій

ім. О.О. Зеленського

доктор технічних наук, професор



Володимир ЛУКІН

Професор кафедри інженерії програмного забезпечення

доктор технічних наук, професор



Ігор ШОСТАК