

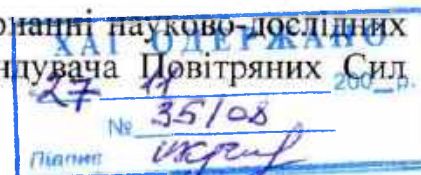
ВІДГУК ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Ключнікова Ігоря Миколайовича
«Методологія, моделі та інформаційна технологія забезпечення
гарантоздатності сервіс-орієнтованих мобільних систем
на основі безпілотних літальних апаратів»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології.

Актуальність теми дисертаційної роботи. Удосконалення конструкцій безпілотних літальних апаратів (БПЛА), всебічна інтелектуалізація, використання технологій Інтернету речей та бездротового зв'язку дозволяють розглядати питання використання роїв БПЛА для ефективного вирішення завдань з оборони та моніторингу територій, захисту та інспектування стану об'єктів, розгортання мобільних бездротових мереж тощо. У цьому випадку рій БПЛА може розглядатися як інструмент надання різноманітних сервісів, в тому числі інформаційних, до яких висуваються певні вимоги щодо надійності, живучості та безпеки. Однак на сьогодні не існує цілісної концепції, спрямованої на забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих систем, які складаються з БПЛА, що робить тему дисертаційної роботи вкрай актуальною.

Визначальним з точки зору актуальності є також те, що дане дисертаційне дослідження відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки на період до припинення або скасування воєнного стану в Україні, введеного Указом Президента України "Про введення воєнного стану в Україні" від 24 лютого 2022 року № 64/2022, а саме: національна безпека і оборона, інформаційні та комунікаційні технології, раціональне природокористування.

Робота виконувалась згідно з планами науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України за шістьма 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.), міжнародних проектів: «Autodrone.UA» (ФРН-Україна, 2024 – 2025 рр.) та «WILDCAT» (Швеція-Естонія-Україна, , 2024 – по т.ч). Крім того, автор проводив дослідження при виконанні науково-дослідних робіт та оперативних завдань на замовлення Командувача Повітряних Сил.



Збройних Сил України у 2012 – 2018 та 2022 – 2024 роках.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Теоретичні й практичні здобутки, отримані автором під час проведення дослідження, базуються на сучасних досягненнях у галузі математичного моделювання, системного аналізу, теорії ймовірності, теорії надійності. Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задач дослідження, коректним використанням математичного апарату, позитивними результатами практичного застосування розроблених моделей, методів та інформаційної технології, несуперечливістю відомим положенням та результатам досліджень. Висунуті наукові положення пройшли апробацію на чисельних міжнародних та галузевих науково-технічних конференціях. Зроблені висновки та надані рекомендації знайшли своє втілення в інструментальних засобах планування застосування БПЛА, впроваджених у Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут», Командуванні Повітряних Сил Збройних Сил України, Харківському Національному університеті Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба та Національному університеті цивільного захисту України.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає у такому:

- вперше розроблено:

1) методологію побудови гарантоздатних сервіс-орієнтовних мобільних систем на основі БПЛА (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;

2) 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;

3) 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;

- удосконалено:

4) 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.

5) 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;

- отримали подальший розвиток:

6) 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.

7) 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.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці комплексу алгоритмів, програмно-апаратних рішень, захищених патентами, та інструментальних засобів, які у сукупності утворюють інформаційно технологію забезпечення підтримки прийняття рішень щодо забезпечення гарантоздатності СОМС БПЛА.

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у докторській дисертації, мають загальнонаціональне та світове значення.

Повнота викладу в наукових публікаціях. Отримані результати дисертаційного дослідження опубліковано в 54 наукових працях, серед яких 3 розділи в трьох колективних англомовних монографіях (всі індексуються у міжнародній базі даних Scopus), 2 розділи в колективній вітчизняній монографії, 20 статей у наукових фахових виданнях України (з них 4 статті індексуються у міжнародній базі даних Scopus, 2 з яких у виданнях у віднесених до третього квартиля (Q3)), 5 статей у міжнародних періодичних фахових виданнях інших держав (всі індексуються у міжнародній базі даних Scopus, з них 4 у виданнях, віднесених до першого та другого квартиля (Q1, Q2), 1 – до третього квартиля

(Q3)), 19 публікацій за матеріалами наукових конференцій (з них 7 публікацій індексуються у міжнародній базі даних Scopus), 1 патент на винахід, 2 патенти на корисну модель та 2 договори про передачу права на використання твору.

Дисертаційна робота виконана здобувачем самостійно. З робіт, які виконані у співавторстві, використано результати, особисто отримані здобувачем.

Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. В тексті дисертаційної роботи та публікаціях автора відсутні порушення академічної доброчесності.

Дисертація оформлена згідно існуючих вимог, а автореферат відповідає змісту дисертації

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень дисертації.

1. З незрозумілих причин при визначеннях терміну «безпека» автор спирається на більш застарілі статті, а не на стандарт ДСТУ EN 61508-1:2019, Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою (IEC 61508-1:2010, IDT), який в роботі не цитується. Відповідно, у дисертації часто зустрічаються різні терміни, як то «функційна» або «функціональна» («Функціональна безпечність» на рис. 1.2, а під ним на стор.57 «функційна безпечність», у п.4.1 використано «функційна надійність», у п.4.2 – «функціональна надійність»).

2. Для оцінювання «функціональної» безпеки і гарантоздатності окремих сервісів за формулою (1.3) використовується імовірність небезпечної відмови $PDF(t)$, але далі у дисертації не пояснюється, яким чином отримується значення цього показника.

3. У розділі 1 наведений опис існуючих методів оцінювання та забезпечення гарантоздатності, але без їх критичного аналізу з точки зору особливостей об'єкта дослідження. Відповідно, не обґрунтовано вибір математичного апарату саме систем масового обслуговування (СМО) для побудови моделей оцінки гарантоздатності, описаних в розділах 3 та 4.

4. При розробці аналітичних моделей СМО сервісів на основі БПЛА не досліджено умови настання стаціонарного режиму, для якого отримані результати щодо оцінювання гарантоздатності.

5. У розділі 5, де описано метод формування структури та складу сервіс-орієнтованих мобільних систем, передбачено задіяти групу експертів для оцінки показників вартості, складності та тривалості реалізації кожного заходу підвищення гарантоздатності. Однак у роботі не вказуються вимоги до складу групи експертів та яким чином формуються дані, наведені у таблиці 5.1.

6. Запропонований у роботі метод перебору для знаходження множини Парето не гарантує вибір одного парето-оптимального заходу підвищення гарантоздатності, що буде вимагати додаткового застосування методів багатокритеріальної оптимізації. До того ж, використання для порівняння альтернатив строгої нерівності, як це наведено на стор. 289, приводить к отриманню не ефективних, а слабо-ефективних оцінок (оптимальних за Парето в слабкому сенсі).

7. У висновках бракує кількісних даних, що підтверджують підвищення точності оцінювання показників надійності ненадання сервісів та часткових/окремих показників гарантоздатності, на що вказують наведені наукові результати.

8. Можна вважати зайвим наведення у додатках А, Б, В на більше ніж 100 сторінках кодів онтологій та інструментадних засобів, які не несуть додаткову інформацію відносно отриманих результатів, натомість не вистачає опису деталей розв'язання задачі комівояжера для побудови маршруту польоту БПЛА.

9. У тексті дисертації та реферату присутні деякі некоректні висловлювання та орфографічні помилки в основному некоректні відмінки.

Вказані зауваження суттєво не зменшують загальну позитивну оцінку роботи. Автор досяг поставленої мети з забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих мобільних систем на основі безпілотних літальних апаратів шляхом розроблення методології, системних моделей та інформаційної технології для обґрунтування прийняття рішень при плануванні розгортання та використання даних систем.

Висновки. Дисертація є завершеною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, відповідає пп. 2, 10, 14 паспорту спеціальності 05.13.06 – Інформаційні технології, та вимогам пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197 (зі змінами), а її автор Ключніков Ігор Миколайович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології.

Опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних та комп'ютерних систем
Національного університету «Чернігівська політехніка»,
Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
Лауреат Державної премії України в галузі освіти



Володимир КАЗИМІР

24.11.2025р

Підпис Казимира В.В. завіряю.

Вчений секретар НУ «Чернігівська політехніка»

к.е.н., доцент

Олександр Сидоренко

