

## ВІДГУК

на дисертацію Канарського Євгенія Олександровича

на тему *«Методи оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності для безпілотних систем моніторингу потенційно небезпечних територій»*,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

**Актуальність теми дисертації.** Актуальність дослідження людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності (Augmented Reality - AR) зумовлена активним розвитком безпілотних систем і систем моніторингу, у яких технологія AR використовуються для підвищення ефективності взаємодії оператора з програмно-апаратним комплексом. Безпілотні системи застосовуються для моніторингу потенційно небезпечних територій, контролю об'єктів інфраструктури, пошуково-рятувальних операцій, для підтримки прийняття рішень. Використання доповненої реальності дозволяє інтегрувати цифрову інформацію у поле зору оператора, підвищуючи ситуаційну обізнаність та оперативність реагування.

Якість людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності безпосередньо впливає на ефективність роботи оператора та ймовірність виникнення помилок під час виконання завдань моніторингу. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення спеціалізованих моделей і засобів оцінювання якості таких інтерфейсів з урахуванням особливостей взаємодії користувача з віртуальними об'єктами, просторового сприйняття інформації та умов експлуатації безпілотних платформ. Таким чином, дисертаційна робота Канарського Є. О., присвячена оцінюванню якості інтерфейсів на основі доповненої реальності, є актуальною та має важливе значення для розвитку безпілотних систем, систем моніторингу та сучасних інформаційних технологій в цілому.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.** Проведений аналіз дисертаційної роботи дозволяє зробити висновок про належний рівень обґрунтованості отриманих результатів. Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням системного підходу до дослідження, який охоплює розроблення архітектури системи моніторингу та людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності (AR), узгодження параметрів якості, застосування методів математичного моделювання та проведення експериментальної перевірки отриманих результатів.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) запропоновано удосконалену теоретико-множинну модель та архітектуру для системи моніторингу потенційно небезпечних територій, де керування безпілотними літальними апаратами (БПЛА) здійснюється з використанням інтерфейсів людино-машинної взаємодії на основі доповненої реальності;

2) удосконалено метод експертного оцінювання якості інтерфейсів людино-машинної взаємодії на основі доповненої реальності для систем моніторингу шляхом узгодження характеристик якості з різноманітних стандартів та множини відповідної евристики, експертного оцінювання значень спеціальних метрик та визначення інтегрованого показника якості, що забезпечує підвищення достовірності оцінки;

3) вперше запропоновано метод оцінювання готовності систем моніторингу потенційно небезпечних територій з інтерфейсами людино-машинної взаємодії на основі доповненої реальності, що, на відміну від відомих, базується на одно- та багатофрагментних марковських моделях, які враховують характеристики реактивності та безпомилковості дій операторів, часткові відмови та наявність резервних БПЛА.

Таким чином, у дисертаційній роботі поставлене наукове завдання вирішено у повному обсязі, а здобувач продемонстрував належний рівень володіння методологією наукової діяльності, сучасними методами дослідження, математичного моделювання та аналізу складних програмно-апаратних систем.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.** За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Канарського Є. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Комп'ютерна інженерія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Інформаційні технології. Аналіз результатів перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги дає підстави стверджувати, що робота Канарського Євгенія Олександровича виконана самостійно та відповідає вимогам академічної доброчесності. У дисертації не виявлено ознак фальсифікації, фабрикації, плагіату чи неправомірних запозичень. Усі використані наукові положення, результати досліджень і текстові фрагменти інших авторів супроводжуються коректними посиланнями на відповідні джерела. Виявлені текстові збіги переважно стосуються власних наукових публікацій автора, у яких апробовано та висвітлено основні результати дисертаційного дослідження.

**Мова та стиль викладення результатів.** Дисертаційна робота викладена українською мовою з дотриманням вимог наукового стилю та використанням загальноприйнятої наукової термінології. Логіка подання матеріалу є чіткою та

послідовною: дослідження розгортається від аналізу предметної області до формалізації моделей, розроблення методів і їх практичної перевірки, що забезпечує цілісність сприйняття отриманих результатів. Матеріал викладено у доступній для фахівців галузі формі, при цьому складні теоретичні положення супроводжуються достатніми поясненнями. Стиль викладення характеризується лаконічністю, точністю формулювань, аргументованістю та належним рівнем наукового узагальнення. Результати дослідження структуровані належним чином, а сформульовані висновки є логічними, обґрунтованими та ґрунтуються на проведених дослідженнях. У цілому мова та стиль викладення відповідають вимогам до дисертаційних робіт і забезпечують належне сприйняття наведених наукових результатів.

**Структура роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 185 сторінок.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт і предмет дослідження, сформульовано мету та основні завдання роботи. Наведено використані методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також визначено зв'язок роботи з науковими програмами та напрямами досліджень.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану та перспектив розвитку людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності. Розглянуто особливості застосування технології доповненої реальності у системах моніторингу та керування, а також існуючі підходи й методи оцінювання якості таких інтерфейсів.

У другому розділі розроблено архітектуру системи моніторингу потенційно небезпечних територій із використанням БПЛА та інтерфейсів доповненої реальності. Запропонована архітектура враховує взаємодію оператора, програмних компонентів системи та безпілотних платформ. Також розроблено теоретико-множинну модель системи та удосконалено метод оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності.

У третьому розділі проведено оцінювання готовності системи моніторингу із застосуванням марковського моделювання. Під час дослідження враховано показники реактивності, безпомилковості та ефективності дій оператора, що дозволило оцінити вплив характеристик інтерфейсу доповненої реальності на функціонування системи.

Четвертий розділ присвячено розробленню інформаційної технології оцінювання якості AR-інтерфейсів. Розроблено програмні засоби для підтримки процесу дослідження, збору та аналізу результатів оцінювання, а також проведено експериментальну перевірку запропонованих рішень.

У висновках до дисертаційної роботи узагальнено основні наукові та практичні результати дослідження, наведено відомості щодо їх практичного впровадження та визначено перспективні напрями подальших наукових досліджень.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

**Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.** Наукові результати дисертації висвітлені у 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, яка відноситься до першого — третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових конференціях та науково-технічних семінарах.

Наукові публікації здобувача достатньо повно відображають основні положення, результати та висновки дисертаційного дослідження й відповідають тематиці виконаної роботи. Опубліковані праці характеризуються належним науковим рівнем, логічністю викладення матеріалу та обґрунтованістю отриманих результатів. У публікаціях висвітлено питання, пов'язані з розробленням архітектури систем моніторингу, використанням людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності, методами оцінювання їх якості та застосуванням математичного моделювання для аналізу функціонування безпілотних систем. Використані у дисертаційній роботі наукові джерела оформлено коректно відповідно до встановлених вимог, а всі запозичені наукові положення, результати та текстові фрагменти супроводжуються належними посиланнями на відповідні джерела. Аналіз дисертаційної роботи та наукових публікацій автора свідчить про відсутність ознак академічної недоброчесності, зокрема плагіату, фабрикації чи неправомірних запозичень.

Отримані результати мають самостійний, оригінальний та завершений характер, що підтверджує особистий внесок здобувача у розвиток напрямку досліджень, пов'язаного з оцінюванням якості інтерфейсів доповненої реальності у безпілотних системах і системах моніторингу. Це дозволяє зробити висновок про належну наукову цінність та практичну значущість виконаного дисертаційного дослідження. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

**Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.** У цілому позитивно оцінюючи науковий рівень дисертаційної роботи Канарського Є.О. слід зазначити деякі дискусійні положення та зауваження:

1. Автором запропоновано марковську модель, яка дозволяє оцінювати вплив характеристик оператора на готовність системи моніторингу в цілому. Доцільним було б доповнити дослідження аналізом реальних характеристик операторів або статистичних даних аналогічних систем, що дозволило б підвищити практичну обґрунтованість моделі. Крім того, більш детальне дослідження чутливості моделі до зміни окремих параметрів дало б можливість краще оцінити вплив людського чинника на функціонування системи та визначити найбільш критичні характеристики, що впливають на її готовність.

2. У роботі можна було б більш детально сформулювати практичні рекомендації щодо використання запропонованих методів і моделей у суміжних прикладних задачах. Зокрема, перспективним виглядає застосування методу оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів у системах спільного прийняття рішень, де взаємодія здійснюється між кількома паралельно працюючими командами або операторами.

3. У роботі недостатньо уваги приділено опису типів БПЛА та наземних роботизованих комплексів, які можуть використовуватися у запропонованій системі моніторингу потенційно небезпечних територій. Більш детальна характеристика типів платформ та їх функціональних можливостей та обмежень дозволила б краще зрозуміти умови функціонування системи та специфіку використання AR-інтерфейсів у процесі керування безпілотними засобами.

4. У дисертаційній роботі відсутній деталізований опис функціонування системи моніторингу потенційно небезпечних територій. Зокрема, доцільно було б більш повно розкрити послідовність роботи системи, взаємодію її основних компонентів, особливості обробки даних та процес прийняття рішень оператором. Наявність такого опису дозволила б краще зрозуміти практичне застосування запропонованих моделей, методів та інформаційної технології.

5. У роботі відсутній рисунок, який наочно пояснював би структуру запропонованої моделі якості. Наявність такого ілюстративного матеріалу дозволило б підвищити наочність подання матеріалу та полегшило б розуміння логіки побудови запропонованого підходу.

Проте всі наведені недоліки ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

**Висновок про дисертаційну роботу.** Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Канарського Євгенія Олександровича на тему «Методи оцінювання якості людино-машинних інтерфейсів на основі доповненої реальності для безпілотних систем моніторингу потенційно небезпечних територій» виконана на достатньо високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та

є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.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 від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Канарський Євгеній Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

Офіційний опонент

д.т.н., професор,

професор кафедри аеронавігаційних систем,

Факультет аеронавігації, електроніки і телекомунікацій,

Національного університету

«Київський авіаційний інститут»

Тетяна ШМЕЛЬОВА