

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Альперта Максима Іогановича**

на тему «**Інформаційна технологія керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу та нейронних мереж**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність обумовлена стрімким розвитком безпілотних технологій та зростаючою потребою в інтелектуальних системах автономного керування. Сучасні безпілотні апарати (БпА) стикаються із складними динамічними середовищами, де традиційні алгоритми часто виявляються недостатньо гнучкими. Використання нейронних мереж дозволяє покращити адаптивність БпА за рахунок навчання на великих обсягах даних, а ігровий підхід дає змогу оптимізувати взаємодію між кількома апаратами або з зовнішніми факторами. Це особливо важливо для таких сфер, як військова розвідка, логістика, моніторинг критичної інфраструктури та рятувальні операції, тому наукові дослідження щодо ефективності використання безпілотних апаратів та їх коаліцій набули суспільного значення та потребують нових розробок і нестандартних рішень.

Вкрай важливою проблемою є розробка інформаційних технологій для безпілотних апаратів із врахуванням необхідності економії людських ресурсів, обмеженості енергетичних та фінансових витрат. Особливо це стосується проведення пошуково-рятувальних операцій та доставки вантажів у важкодоступні місця.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному.

Розроблено дві математичні моделі:

1) комбінована централізовано-кооперативна математична модель керування БпЛА та БпНА. Особливістю цієї моделі є одночасне застосування централізованого та кооперативного методів керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу, що дозволяє забезпечити ефективну взаємодію БпЛА та БпНА в умовах обмеженості ресурсів;

2) оптимізаційна ігрова математична модель керування БпЛА та БпНА із застосуванням нейронних мереж в умовах ризику та невизначеності, що дозволяє оптимізувати шлях та отримати безпечний маршрут руху БпНА на базі ігрового підходу.



Розроблено два нових ігрових методи:

1) ігровий метод кооперації БпНА та БпЛА, який об'єднує переваги як централізованого так і кооперативного методів керування та надає можливість зробити найкращий вибір безпілотних апаратів шляхом врахування їх технічних характеристик з урахуванням обмеженості ресурсів;

2) ігровий метод керування БпЛА та БпНА, який пропонує одночасне врахування ризику та невизначеності і використання якого дозволяє отримати оптимальний маршрут руху безпілотних апаратів.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Альперта М.І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Інформаційні системи та технології».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у інженерно-технологічний науковий напрям.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Альперта Максима Іогановича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертаційна робота характеризується логічним, послідовним та доступним наданням матеріалу. Стиль мовлення науковий, грамотний з використанням загальноприйнятої термінології, наукових термінів і вузькоспеціальної термінології.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 188 сторінок.

У **вступі** висвітлено актуальність роботи, сформульовані мета та завдання дисертаційного дослідження, визначено об'єкт, предмет дослідження та методи дослідження. Наведено наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, пов'язані наукові програми й особистий внесок здобувача.



У **першому розділі** наведено аналіз сучасного стану інформаційних технологій. проаналізовано сучасний стан інформаційних технологій керування безпілотними апаратами, зокрема методи, що поєднують ігровий підхід, різні архітектури нейронних мереж та навчання з підкріпленням. Дослідження показало, що інтеграція цих методів є перспективним напрямком, оскільки дозволяє значно підвищити надійність та ефективність роботи БпА у складних умовах. Автор прийшов до висновку, що комбінація нейронних мереж, ігрових алгоритмів та навчання з підкріпленням є оптимальним рішенням для підвищення безпеки виконання завдань безпілотними системами. Таке поєднання технологій забезпечує адаптивність до динамічного середовища, ефективне управління груповими операціями та зменшення ризиків під час автономної роботи.

У **другому розділі** здійснено аналіз існуючих методів та обрано апарат дослідження, який використано при проєктуванні інформаційної технології керування безпілотними апаратами. В процесі наукового дослідження здобувачем отримано нові математичні моделі (комбінована централізовано-кооперативна математична ігрова модель керування БпА та оптимізаційна ігрова математична модель керування БпЛА та БпНА в умовах невизначеності) та розроблена архітектура інформаційної системи. Крім того, отримано новий ігровий метод взаємодії (кооперації) БпНА та БпЛА, який об'єднує переваги як централізованого, так і кооперативного методів керування. Розроблено також новий ігровий метод керування БпЛА та БпНА, характерною особливістю якого є одночасне комплексне врахування ризику та невизначеності, що надає можливість отримати оптимальний безпечний маршрут руху.

У **третьому розділі** представлені результати аналізу сучасних симуляційних платформ, що застосовуються для експериментальних досліджень. На підставі проведеного порівняльного оцінювання для наукових експериментів було обрано симулятор Microsoft AirSim. До обраного середовища внесено низку модифікацій, зокрема: усунено центральний контролер та окремий обчислювальний модуль, інтегровано нові фізичні контролери, додано блок вбудованих алгоритмів та оптимізовано їх взаємодію з API-шаром. Для експериментальних досліджень було залучено два види безпілотних апаратів (наземний та повітряний). Проведені модифікації дозволили створити більш гнучке та ефективне середовище для тестування алгоритмів керування, що відповідає цілям наукового дослідження.

Для здійснення експериментів щодо виявлення великих статичних та раптових перешкод здобувачем обрано комбіновану згорткову нейронну мережу, оскільки вона поєднує швидкість розпізнавання MobileNet, точність виявлення об'єктів за допомогою SSD та переваги трансферного навчання. Сутність проведених наукових експериментів полягала в навчанні згорткової



нейронної мережі розпізнавати великі статичні та раптові перешкоди за допомогою трансферного навчання. Згідно отриманим результатам комбінована згорткова нейронна мережа ефективно та коректно розпізнала нові об'єкти, насамперед, великі статичні блоки та раптові перешкоди. Навчання з підкріпленням, яке було використано при проведенні наукового дослідження, надало можливість подолати як великі статичні блоки, так і раптові перешкоди.

**Четвертий** розділ присвячено питанню обробки та збереження даних. Здобувачем наведено опис структури програмного забезпечення для роботи з базою даних центра керування та базами даних безпілотних апаратів. Розроблено діаграму класів для інформаційної технології керування безпілотними апаратами та схему інформаційної технології керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу та нейронних мереж.

На підставі отриманих в результаті наукового дослідження алгоритмів розроблено програмне забезпечення та здійснено комп'ютерне моделювання різноманітних можливих ситуацій. Загальні висновки містять основні результати, отримані при проведенні дисертаційного дослідження та підсумовують, як розроблені методи та моделі вирішують наукові завдання.

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 базі даних Scopus, віднесена до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Представлені публікації відображають результати проведених наукових досліджень у межах дисертаційної роботи. Порушення принципів академічної доброчесності в публікаціях не було виявлено. Особистий внесок здобувача, що відображений у цих публікаціях і описаний у дисертації, підтверджує його авторство у відповідних наукових висновках.

Також результати дисертації були апробовані/використані у навчальному процесі кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в матеріалах навчально-методичного забезпечення курсів: «Прикладні задачі машинного навчання», «Системи штучного інтелекту», «Штучний інтелект в задачах обробки зображень».



Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У дисертаційній роботі запропоновано обґрунтований підхід до забезпечення ефективного виконання завдань коаліцією БпА у разі виникнення ризикованих ситуацій. Дослідник проілюстрував врахування факторів ризику на прикладі сезонного бездоріжжя, що впливає на роботу наземного апарата, однак робота не містить розширеного переліку потенційних несприятливих сценаріїв, для подолання яких також могли б бути застосовані методи та моделі, запропоновані здобувачем.

2. В якості коаліції БпА в дисертаційному дослідженні розглянуто один наземний безпілотний апарат та один літальний. Разом з тим, розроблені здобувачем методи та математичні моделі можуть бути масштабовані, тобто застосовані до коаліції БпА, яка містить три або більше БпА. Однак питання застосування отриманих в процесі дисертаційного дослідження методів та математичних моделей, напрями їх можливого удосконалення для коаліції БпА, склад якої перевищує дві одиниці, не розглянуто.

3. Відсутнє обґрунтування вибору саме TensorFlow в якості бібліотеки з метою реалізації базового алгоритму навчання з підкріпленням для налаштування агента (БпНА).

4. Автором запропоновано врахувати п'ять найважливіших критеріїв для оцінки ефективності побудованої моделі, а саме: успішне виконання місії; довжина маршруту; економія часу; здатність подолання можливих ризиків в процесі виконання місії; здатність подолання невизначеності при виконанні місії. Але не має обґрунтування та підтвердження достатності саме 5 критеріїв та вибору їх в якості найважливіших.

5. Результати патентного пошуку відсутні у переліку літератури, що звужує оцінювання рівня розробок у цій області.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Альперта Максима Іогановича на тему «Інформаційна технологія керування безпілотними апаратами на базі ігрового підходу та нейронних мереж» виконана на 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 інформаційних технологій. 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 Альперт Максим Іоганович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології.

**Офіційний опонент:**

Професор кафедри штучного інтелекту,  
Державного університету  
інформаційно-комунікаційних технологій,  
доктор технічних наук, професор

Андрій БОНДАРЧУК

Підпис

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар  
Державного університету  
інформаційно-комунікаційних технологій

