

## ЗАТВЕРДЖУЮ



Президента державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут»

Ксенія СЕМЕНОВА

» \_\_\_\_\_ 202\_\_ року

## ВИСНОВОК

**Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут» (далі – КАІ) про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Пошивайла Олексія Максимовича, поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 «Комп’ютерна інженерія» на тему «Інформаційна технологія побудови маршрутів гетерогенних груп БПЛА для покриття території»**

### Витяг

із протоколу № 2 розширеного засідання кафедри комп’ютерних систем та мереж КАІ від 16 січня 2025 року

**Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники кафедри комп’ютерних систем та мереж:**

Жуков Ігор Анатолійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри;  
Гамаюн Володимир Петрович – д.т.н., професор, професор кафедри;  
Печурін Микола Капітонович – д.т.н., професор, професор кафедри;  
Гільгурт Сергій Яковлевич – д.т.н., професор, професор кафедри;  
Неверов Віктор Давидович – завідувач навчальної лабораторії кафедри;  
Кудренко Станіслава Олексіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Дрововозов Володимир Іванович – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Сураєв Вадим Федорович – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Проценко Микола Михайлович – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Гузій Микола Миколайович – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Андреев Олександр Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Іскренко Юрій Юрійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри;  
Коцюр Анатолій Борисович – старший викладач кафедри;  
Фоміна Наталія Борисівна – старший викладач кафедри;  
Журавель Наталія Вікторівна – старший викладач кафедри;  
Журавель Сергій Володимирович – старший викладач кафедри;  
Столяр Анна Леонідівна – асистент кафедри.

**Присутні на засіданні науково-педагогічні працівники інших кафедр КАІ:**

Приставка Пилип Олександрович – д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної математики;

Кучеров Дмитро Павлович – д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних кібернетичних систем;

Сущенко Ольга Андріївна – д.т.н., професор, професор кафедри аерокосмічних систем управління;

Заліський Максим Юрійович – д.т.н., професор, професор кафедри телекомунікаційних та радіоелектронних систем;

Толстікова Олена Володимирівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій;

Чаплінський Юрій Петрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних мультимедійних технологій;

Кондратюк Василь Михайлович – к.т.н., старший науковий співробітник кафедри аеронавігаційних систем;

Антонов Володимир Костянтинович – д.т.н., професор.

**Порядок денний:**

Обговорення дисертаційного дослідження аспіранта кафедри інтелектуальних кібернетичних систем КАІ Пошивайла Олексія Максимовича на тему “Інформаційна технологія побудови маршрутів гетерогенних груп БПЛА для покриття території”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 “Інформаційні технології” за спеціальністю 123 “Комп’ютерна інженерія”.

Науковий керівник – д.т.н., проф., професор кафедри інтелектуальних кібернетичних систем Факультету комп'ютерних наук та технологій КАІ Кучеров Дмитро Павлович.

Дисертація виконувалась на кафедрі інтелектуальних кібернетичних систем Факультету комп'ютерних наук та технологій КАІ. Тема дисертації затверджена на засіданні Вченої ради Факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії КАІ (протокол № 6 від 14 травня 2021 року). Уточнену редакцію теми дисертаційного дослідження затверджено на засіданні Вченої ради КАІ (протокол № 1 від 19 грудня 2024 року).

**Виступили:**

Здобувач Пошивайло Олексій Максимович представив презентацію за основними положеннями дисертації “Інформаційна технологія побудови маршрутів гетерогенних груп БПЛА для покриття території”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 “Інформаційні технології” за спеціальністю 123 “Комп’ютерна інженерія”.

Доповідач обґрунтував актуальність обраної теми, визначив мету, завдання, методи дослідження, охарактеризував об’єкт та предмет дисертації, виклав основні наукові положення та висновки, що виносяться на захист, вказав основні наукові та практичні результати, надав інформацію про впровадження результатів дослідження.

Автором зазначено, що однією з важливих проблем у сфері управління групами безпілотних літальних апаратів є необхідність вдосконалення методів побудови маршрутів, які забезпечують ефективне покриття території з урахуванням гетерогенності груп дронів та динамічних змін середовища. Актуальність дослідження обумовлена зростанням потреби у технологіях автоматизованого моніторингу, спостереження та пошуково-рятувальних операцій, де використання гетерогенних груп БПЛА може значно підвищити ефективність виконання завдань.

Здобувач проаналізував існуючі методи управління роями БПЛА та виявив обмеження, пов'язані з відсутністю адаптації до різних типів роїв та складної геометрії територій. Наукова новизна роботи полягає у впровадженні нових підходів до розподілу території на сектори та побудови маршрутів із застосуванням генетичних алгоритмів. Зокрема, запропоновано метод визначення оптимальних початкових положень дронів, що мінімізує енергетичні витрати та забезпечує рівномірність покриття.

Автор розробив математичну модель для визначення маршрутів дронів, яка враховує технічні можливості кожного БПЛА, зокрема обмеження за часом польоту та радіусом дії. Проведено експериментальне тестування алгоритму на трьох сценаріях: для однорідних та гетерогенних роїв, на територіях різної складності, включаючи складну геометрію. Результати підтвердили ефективність запропонованого підходу, а також виявили напрямки для подальшого вдосконалення.

У роботі вперше розроблено кількісні та якісні характеристики покриття території, такі як щільність покриття, масштабованість алгоритму та мінімізація перекриття маршрутів. Розроблено симуляційну модель, яка дозволяє перевірити запропоновані алгоритми у віртуальному середовищі за допомогою програмного забезпечення PX4 Autopilot та QGroundControl.

Робота має високе практичне значення, оскільки результати дослідження можуть бути використані для автоматизації моніторингових та пошуково-рятувальних завдань, а також для впровадження у військових і цивільних операціях, де потрібна висока точність і швидкість виконання завдань. Структура та обсяг дисертації включають анотації державною та англійською мовами, вступ, чотири розділи, висновки та список використаних джерел.

Після закінчення презентації присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання:

**Запитання до здобувача:**

1. **Гамаюн В.П.** – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж;

**Запитання:** Де впроваджені результати наукової роботи.

**Відповідь:** Дякую за запитання. За результатами наукової роботи отримано два акти впровадження. Перший – про впровадження у навчальний процес на кафедрі інтелектуальних кібернетичних систем. Другий – акт на реалізацію від національного центру управління та випробувань космічних засобів.

2. **Дрововозов В.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж;

**Запитання:** В меті завдання вказано про підвищення продуктивності, за якими характеристиками це визначалось?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Основним показником є відповідність довжини маршруту технічним можливостям дрона. Чим ближче довжина маршруту до максимальної здатності дрона, тим ефективніше використовуються його ресурси.

3. **Гільгурт С.Я.** – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж;

**Запитання:** У Вас представлено дві функції для отримання оптимального результату: цільова функція та функція якості. В чому різниця між ними та чому їх декілька?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Цільова функція - це основна математична модель, яка визначає, що саме потрібно мінімізувати. У цій роботі цільова функція відображає кінцеву мету методу - зменшення відхилень довжин знайдених маршрутів від оптимальних значень. Вона орієнтує весь процес оптимізації на досягнення глобальної мети. Функція якості використовується на етапі проміжних обчислень, зокрема в рамках генетичного алгоритму. Вона оцінює кожне рішення у поточній популяції на основі його відповідності заданим критеріям. Це дозволяє порівняти окремі рішення і визначити, які з них слід залишити або поліпшити в наступних ітераціях.

4. **Гузій М.М.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж;

**Запитання:** В чому полягає наукова новизна Вашої роботи?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Наукова новизна роботи полягає в розробці та впровадженні нових підходів до покриття території роєм безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Вперше було запропоновано метод рівномірного покриття території, який включає визначення початкових положень дронів з урахуванням їх технічних характеристик, розподіл території на сектори та проведення моніторингу за маршрутами, оптимізованими генетичним алгоритмом. Також вперше було розроблено метод побудови маршрутів для групи БПЛА, який визначає сектор моніторингу для кожного дрона. У межах сектора дрони здійснюють огляд території за оптимізованими коловими або зигзагоподібними маршрутами. Крім того, робота пропонує кількісні та якісні характеристики покриття, такі як масштабованість, щільність покриття та валідність моніторингу, що враховують особливості гетерогенних груп БПЛА.

5. **Приставка П.О.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної математики;

**Запитання:** Які є основні дані, що оброблюються у Вашій інформаційній технології?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Основними даними, які оброблюються у розробленій інформаційній технології, є розмір і форма території, що може бути довільною та описується набором геометричних координат, а також розмір і конфігурація групи дронів. Це включає кількість дронів у групі, їх технічні

характеристики (радіус дії, тривалість польоту, енергетичні витрати), а також типи дронів (гомогенні чи гетерогенні). Дані про територію використовуються для побудови секторів покриття та формування оптимального маршруту, тоді як інформація про дрони дозволяє адаптувати алгоритм до їх можливостей і забезпечити ефективне покриття.

6. **Приставка П.О.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної математики;

**Запитання:** Чи враховуються у Вас у роботі початкові та кінцеві точки маршруту дронів до та від відповідного йому сектору?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Ні, дана робота розглядає побудову маршрутів дронів лише для покриття заданої території.

7. **Кондратюк В.М.** – к.т.н., старший науковий співробітник кафедри аеронавігаційних систем;

**Запитання:** В отриманих маршрутах вказано положення по двом координатам  $X$  та  $Y$ , як визначається висота для маршруту дрону?

**Відповідь:** Дякую за запитання. В отриманих маршрутах висота польоту для кожного дрона визначається окремо від координат  $X$  та  $Y$ , з урахуванням специфіки завдання, технічних характеристик дронів, умов місії та рельєфу території. Висота залежить від типу місії: для моніторингу з високою деталізацією необхідна менша висота, а для широкого огляду може застосовуватись більша. Технічні обмеження дрона, такі як максимальна висота польоту або рівень, на якому забезпечується оптимальна витрата енергії, також враховуються.

8. **Кондратюк В.М.** – к.т.н., старший науковий співробітник кафедри аеронавігаційних систем;

**Запитання:** Які є обмеження до характеристик дронів, що використовуються разом у групі?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Оскільки кожному дрону виділяється окремий сектор, то немає обмеження використання різних типів дронів разом. Основне обмеження – це технічні характеристики кожного окремого дрону.

9. **Сущенко О.А.** – д.т.н., професор, професор кафедри аерокосмічних систем управління.

**Запитання:** Як обґрунтовано використання генетичного алгоритму в даній роботі?

**Відповідь:** Дякую за запитання. Дана задача відноситься до класу NP-складних задач комбінаторної оптимізації, тобто для її точного рішення не існує алгоритму поліноміальної складності. Генетичний алгоритм є ефективним для пошуку рішень у великому пошуковому просторі завдяки своїй здатності уникати локальних мінімумів і знаходити глобально оптимальні рішення навіть у складних нелінійних задачах.

Після відповідей на запитання виступили:

**Науковий керівник** – д.т.н., проф., професор кафедри інтелектуальних кібернетичних систем Факультету комп'ютерних наук та технологій КАІ Кучеров Дмитро Павлович.

За час навчання в аспірантурі Пошивайло О.М. оволодів інтегральними,



загальними та фаховими компетентностями, передбаченими освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія галузі знань 12 Інформаційні технології, зокрема: здатністю розв'язувати комплексні проблеми в теоретико-методологічній сфері; здатністю до критики та самокритики; наполегливістю у досягненні поставленої мети; здатністю до наукової та науково-дослідної роботи; знаннями сучасних інформаційних технологій та методологічних підходів до аналізу систем, режимів та процесів, дотриманням професійної етики та толерантності; здатністю спілкуватися професійною іноземною мовою за спеціальністю; сприйманням, аналізом та обробкою новітніх джерел інформації тощо.

Обрана аспірантом тема дисертаційного дослідження «Інформаційна технологія побудови маршрутів гетерогенних груп БпЛА для покриття території» є логічним та обґрунтованим продовженням тієї проблематики наукових досліджень, якою аспірант займався ще під час навчання в магістратурі. Обрана тема є вкрай цікавою, адже вона стосується сучасних підходів до використання безпілотних систем у вільному просторі. Актуальність обраної теми зумовлена сучасними трансформаційними змінами, що відбуваються в світі в контексті застосування робототехнічних систем та комплексів для виконання різних завдань за призначенням, дистанційного безпроводного керування апаратами в реальному масштабі часу, застосуванням засобів та систем штучного інтелекту, розробленням та застосуванням алгоритмів та засобів групового управління роботизованими засобами, управлінням групами однорідних та гетерогенних засобів. І саме дослідження управління групами гетерогенних засобів як один із важливих напрямів пріоритетного розвитку інженерної науки робить дисертаційне дослідження Пошивайло О.М. вкрай важливим за змістовним наповненням.

Зважаючи на вищезначене, вважаю, що під час навчання в аспірантурі Пошивайло О.М. сформувався як відповідальний, працьовитий, грамотний та кваліфікований дослідник, який вміє вирішувати поставлені задачі і виконувати заплановане вчасно і з високим професіоналізмом. Дисертаційна робота Пошивайло О.М. є оригінальною, самостійно виконаною, завершеною науковою кваліфікаційною працею, у якій обґрунтовані результати дослідження та запропонована новаторська концептуальна модель управління гетерогенною групою літальних апаратів, запропонована та визначена аспірантом. Отримані результати дослідження мають високий рівень обґрунтованості, наукової валідності та практичне значення.

**В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:**

**Дровозов В.І.** – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж;

Вважаю, що дисертаційна робота є надзвичайно актуальною в контексті сучасних технологій використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу та покриття територій. Вона виконана на високому науковому рівні, пропонує нові підходи до управління гетерогенними роями дронів та містить цінні практичні рекомендації. Є окремі пропозиції щодо подальшого розвитку, які можуть зробити алгоритми ще більш універсальними та ефективними.

**Приставка П.О.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної математики;

Дисертаційна робота вирізняється цікавою та актуальною ідеєю, що має значний науковий і практичний потенціал. Робота виконана відповідно до встановлених вимог, демонструє глибокий аналіз і професійний підхід до вирішення поставлених задач. Є впевненість, що зауваження, висловлені в процесі рецензування, будуть враховані в подальшій роботі здобувача.

**Гільгурт С.Я.** – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж;

Дисертаційна робота є актуальною, оскільки вирішує важливу проблему оптимізації покриття території гетерогенними групами БПЛА, що має широке практичне застосування. Завдання, поставлене у роботі, є складним для вирішення через багатофакторність і динамічність середовища, що підкреслює значущість обраного підходу. Використання генетичного алгоритму є добре обґрунтованим, що дозволило розробити ефективні рішення для покращення продуктивності системи управління групами БПЛА.

**Печурін М.К.** – д.т.н., професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж;

Дисертаційна робота демонструє актуальність і високий рівень дослідження, спрямованого на вирішення складних задач управління групами БПЛА для покриття території. Підтримую подальший захист цієї роботи, адже отримані результати мають значний потенціал для розширення сфери їх практичного застосування в різних галузях.

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації на тему “Інформаційна технологія побудови маршрутів гетерогенних груп БПЛА для покриття території”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 “Інформаційні технології” за спеціальністю 123 “Комп’ютерна інженерія”**

### **1. Обґрунтування вибору теми дослідження.**

Вибір теми дослідження обумовлений актуальністю проблеми управління групами безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які активно використовуються у таких сферах, як моніторинг земної поверхні, екологічні дослідження, пошуково-рятувальні операції та інфраструктурні інспекції. В сучасних умовах зростає попит на алгоритми, здатні ефективно працювати з гетерогенними роями БПЛА, що включають дрони з різними технічними характеристиками. Водночас, складність територій, які потребують покриття, а також динамічні зміни середовища створюють нові виклики, які потребують інноваційних підходів до управління. У роботі пропонується розробка алгоритму покриття території з використанням генетичних алгоритмів, що дозволяють визначати оптимальні початкові положення дронів та будувати маршрути, які мінімізують енергетичні витрати та щільність перекриття. Застосування генетичних алгоритмів

обґрунтоване їхньою здатністю ефективно знаходити оптимальні рішення у складних багатопараметричних задачах. Дослідження включає аналіз кількісних і якісних характеристик покриття території, що дозволяє оцінити ефективність запропонованих підходів. Робота враховує можливість масштабування алгоритму на великі території та групи дронів. Особливу увагу приділено питанням гнучкості алгоритму, що дозволяє адаптуватися до різних типів територій та конфігурацій роїв. Вибір теми також обумовлений необхідністю створення практичних рекомендацій для впровадження розроблених алгоритмів у реальні умови. Таким чином, тема дослідження є актуальною, має високу наукову новизну та значний потенціал для подальших розробок у сфері ройових технологій.

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

Відповідно до постанови Національної академії наук України про затвердження основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук на 2019-2023 роки, одним із переліку галузей дисциплін є розвиток теорії алгоритмів та обчислень, у тому числі паралельних. Також відповідно до постанови Національної академії наук України про затвердження основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук на 2024-2028 роки, одним із переліку галузей дисциплін є створення методів керованої взаємодії групи безпілотних апаратів і мобільних роботів. Дослідження проведені у ході дисертаційної роботи прямо відповідають цим науковим напрямкам. Крім того, робота виконувалася в рамках науково-дослідної роботи "Підвищення достовірності цифрової обробки зображень з бортової відеокамери БпЛА" 26-2024/14.03. Особистий внесок здобувача полягає у розробці методів побудови маршрутів для групи безпілотних літальних апаратів з метою ефективного покриття території та отримання повного зображення поверхні. Запропоновані алгоритми забезпечують оптимальний розподіл зон спостереження між БпЛА, мінімізують перекриття та пропуски, що дозволяє підвищити якість та достовірність отриманих аерофотозображень.

## **3. Мета і завдання дослідження.**

Метою дослідження є розробка інформаційної технології покриття території групою безпілотних літальних апаратів, які забезпечують ефективне управління в умовах застосування гетерогенних дронів і змінних характеристик середовища.

Для досягнення мети було поставлено такі *завдання*:

- проаналізувати методи моніторингу земної поверхні з метою підвищення щільності покриття території;
- розробити алгоритм покриття території та адаптувати його для різних типів дронів;
- розробити метод розподілу території на сектори відповідно до характеристик кожного дрона в рої для підвищення ефективності покриття.;
- провести експериментальне тестування та оцінити ефективність запропонованого алгоритму

## **4. Об'єкт дослідження - процес побудови маршрутів групи безпілотних**



літальних апаратів для покриття території.

**5. Предмет дослідження** - побудова маршрутів групи БПЛА з використанням генетичних алгоритмів та діаграм Вороного.

**6. Методи дослідження.** Методи дослідження, використані у цій роботі, базуються на сучасних підходах до моделювання, оптимізації та аналізу систем управління групами безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Основним математичним методом є генетичні алгоритми (ГА), які використовувалися для оптимізації початкових положень дронів та побудови маршрутів з урахуванням їх технічних характеристик. Застосування ГА дозволило врахувати багатопараметричність задачі, включаючи мінімізацію енергетичних витрат, зниження перекриттів території та забезпечення рівномірного покриття.

Для моделювання дій рою БПЛА застосовувалися методи математичного програмування та комп'ютерного моделювання, що дали змогу дослідити ефективність алгоритму в різних експериментальних умовах. У роботі використовувалися готові програмні платформи, такі як PX4 Autopilot та QGroundControl, які забезпечили симуляцію польотів та аналіз маршрутів дронів.

Методи статистичного аналізу застосовувалися для оцінки кількісних показників, зокрема площі покриття, рівномірності розподілу дронів, мінімізації перекриттів і масштабованості алгоритму. Крім того, враховувалися якісні показники, такі як гнучкість алгоритму та його адаптивність до змін середовища.

Для аналізу ефективності розробленого алгоритму використовувалися експериментальні сценарії з різними типами територій та гетерогенними роями БПЛА. Комплексний підхід до вибору методів дослідження забезпечив валідність отриманих результатів та дозволив сформулювати практичні рекомендації для впровадження запропонованих рішень.

**7. Наукова новизна дослідження:** полягає в таких основних положеннях:  
*уперше:*

розроблено метод рівномірного покриття території, який полягає в тому, що визначаються початкові положення дронів з урахуванням їх технічних характеристик, розподіляється територія на сектори, проводиться моніторинг, та відрізняється від існуючих застосуванням генетичного алгоритму для побудови маршрутів дронів з урахуванням їх ресурсів;

розроблено метод побудови маршруту групи БПЛА, який полягає в тому, що кожному БПЛА в групі визначається сектор моніторингу, який дрон займає при його досягненні, в межах визначеного сектору здійснюється огляд території за коловим або зигзагоподібним маршрутом, та відрізняється від відомих організацією безпекової взаємодії та щільністю покриття;

розроблено кількісні та якісні характеристики покриття, на підставі яких проведено експериментальне тестування, яке дозволило отримати показники масштабованості та щільності покриття, що відрізняється від відомих застосуванням гетерогенних груп БПЛА, щільністю та валідністю моніторингу.

**8. Теоретичне значення.** Теоретичне значення даної роботи полягає у розвитку наукових підходів до управління групами безпілотних літальних апаратів у завданнях покриття території. Вперше було розроблено методи оптимізації початкових положень дронів та розподілу території на сектори з

урахуванням технічних характеристик гетерогенних роїв. Використання генетичних алгоритмів у поєднанні з діаграмами Вороного дозволило запропонувати нові алгоритми побудови маршрутів, які враховують багатопараметричність задачі, зокрема мінімізацію енергетичних витрат, підвищення щільності перекриття та забезпечення рівномірного покриття.

**9. Практичне значення та використання результатів дисертаційного дослідження.** Практичне значення полягає в розробці алгоритму покриття території групою безпілотних літальних апаратів, який може бути використаний у різних сферах для вирішення різних прикладних завдань.

Також отримано акт про впровадження результатів дисертаційного дослідження, виданий комісією Національного центру управління та випробувань космічних засобів від 7 січня 2025 року, яким засвідчено, що результати цього дослідження були використані у Національному центрі під час проведення прикладних наукових досліджень щодо обґрунтування напрямів розвитку систем моніторингу, зокрема із застосуванням груп БПЛА для виконання завдань покриття території.

**10. Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. Здобувачем розроблено концепцію дослідження, сформульовано мету та завдання роботи. Автором проведено аналіз існуючих підходів до покриття території роєм безпілотних літальних апаратів та запропоновано нові алгоритмічні рішення для оптимізації цього процесу. Здобувач особисто розробив і впровадив генетичний алгоритм для визначення оптимальних початкових положень дронів у групі, а також реалізував алгоритми розподілу території на сектори з урахуванням характеристик кожного дрона. Автором також було проведено комп'ютерне моделювання і симуляції для тестування розроблених алгоритмів на різних типах територій та роїв дронів.

#### **11. Апробація результатів дослідження.**

Основні результати дисертаційного дослідження були оприлюднені на наукових та науково-практичних конференціях, у тому числі міжнародних, всеукраїнських та за міжнародною участю: “Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments” (APUAVD) (Київ, 2021), “Advanced Trends in Information Theory (ATIT)” (Україна, 2022), “4th KhPI Week on Advanced Technology” (KhPIWeek) (Харків, 2023), “Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)” (Київ, 2023), “Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)” (Афіни, Греція, 2023), “Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matter” (ICSF) (Кривий Ріг, 2024).

#### **12. Публікації.**

Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 12 наукових публікаціях, серед них 1 публікація у науковому фаховому виданні України, 3 статті у закордонних періодичних виданнях, 8 публікацій у збірниках матеріалів конференцій, 7 із них входять до міжнародної наукометричної бази даних (Scopus).

## Список опублікованих праць за темою дисертації

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Кучеров Д.П., Перепеліцин С.О., Пошивайло О.М., Мирошніченко І.В. Налаштування ПІД-регулятора генетичним алгоритмом за багатокритеріальною цільовою функцією для керування нестійким об'єктом. *Проблеми управління і інформатизації*. 2023. № 4(76). С. 42–47.

*Особистий внесок Кучеров Д.П. Визначення підходів до налаштування ПІД-регулятора та формулювання багатокритеріальної цільової функції.*

*Особистий внесок Перепеліцин С.О. Розробка математичної моделі нестійкого об'єкта керування.*

*Особистий внесок Пошивайло О.М. Реалізація генетичного алгоритму для оптимізації параметрів регулятора.*

*Особистий внесок Мирошніченко І.В. Проведення моделювання та аналіз результатів оптимізації.*

*Статті в іноземних виданнях:*

*(статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Scopus)*

1. Kuchеров D., Shmelova T., Poshyvailo O. Assessing the Readiness of UAS Operators Based on the Simulator Training Results. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3624. P. 94–105.

2. Kuchеров D., Myroshnychenko I., Poshyvailo O., Simulation of PID-Regulator Tuning Using Genetic Algorithm on Multi-Criteria Objective Function for Controlling Unstable Objects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3887. P. 108–118.

3. Kuchеров D., Kozub A., Tkachenko V., Rosinska G., Poshyvailo O. PID Controller Machine Learning Algorithm Applied to the Mathematical Model of Quadrotor Lateral Motion. *IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD 2021): Proceedings*. 2021. P. 86–89.

4. Kuchеров D., Tkachenko V., Khalimon N., Poshyvailo O. Signals and Image Processing in Information Systems by Tensor Analysis Methods. *2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT 2022): Proceedings*. 2022. P. 277–280.

5. Kuchеров D., Shmelova T., Poshyvailo O., Tkachenko V., Miroshnychenko I., Ogirko I. Mathematical Model of Damping of UAV Oscillations in the Cargo Delivery Problem. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek 2023): Proceedings*. 2023. P. 1–6.

6. Kuchеров D., Poshyvailo O., Miroshnychenko I. Dynamics of UAV Discrete-Continuous Terminal Control System. *2023 IEEE 7th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC 2023): Proceedings*. 2023. P. 66–69.

7. Kuchеров D., Dolgikh S., Miroshnychenko I., Poshyvailo O. Protocol and Logical Models for Robustness and Survivability in Autonomous UAV Systems. *2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2023): Proceedings*. 2023. P. 1–7.

8. Kuchеров D., Shmelova T., Dolgikh S., Poshyvailo O., Miroshnychenko I., Shaptala S. Consensus Protocols for Improved Survivability in Autonomous Groups of

UAV. 2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services, and Technologies (DESSERT 2023): Proceedings. 2023. P. 21–24.

9. Kuchеров D., Dolgikh S., Myroshnychenko I., Poshyvailo O., Kravchenko O. A Flight Situation Advisory System for Uninterrupted and Efficient Air Transportation. 5th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2024): Proceedings. 2024. P. 1–10.

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

1. Кучеров Д. П., Пошивайло О. М., Мирошніченко І. В. Моделювання налаштування ПД-регулятора за допомогою генетичного алгоритму по багатокритеріальній цільовій функції для керування нестійкими об'єктами. *Інформаційні технології і безпека: матеріали XXIII Міжнародної науково-практичної конференції ІТБ-2023*. Київ. Інжиніринг. 2023. С. 84–88.

2. Козуб А. М., Кучеров Д. П., Пошивайло О. М. Рекомендаційна система для ефективного функціонування повітряного транспорту в складних умовах польоту. *Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2024): зб. тез доповідей XV Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ. НАУ. 2024. С. 83–84.

### **13. Структура та обсяг дисертації.**

Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації становить 140 сторінок, із них – 107 основного тексту. Робота містить 24 рисунки, 7 таблиць, 3 додатки. Список використаних джерел налічує 103 найменування.

### **14. Характеристика особистості здобувача.**

Під час навчання в аспірантурі Пошивайло О.М. сформувався як відповідальний, працьовитий, грамотний та кваліфікований дослідник, який вміє вирішувати поставлені задачі і виконувати заплановане вчасно і з високим професіоналізмом.

### **15. Оцінка мови та стилю дисертації.**

Текст дисертації викладено фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури. Матеріали дослідження оформлені у відповідності до вимог Міністерства освіти і науки України.

**16. Рецензенти рекомендують:** відповідно до пп. 15, 16 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 року № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

**Голова ради:**

**Приставка Пилип Олександрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики, факультету комп'ютерних наук та технологій державного університету «Київський авіаційний інститут», м. Київ;

**Рецензенти:**

**Сущенко Ольга Андріївна**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів систем управління державного університету «Київський авіаційний інститут», м. Київ

**Кондратюк Василь Михайлович**, кандидат технічних наук; провідний науковий співробітник державного університету «Київський авіаційний інститут», м. Київ

**Офіційні опоненти:**

**Фесенко Герман Вікторович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків

**Сікірда Юлія Володимирівна**, кандидат технічних наук; професор кафедри туризму та авіаційних перевезень, завідувачка кафедри конструкції повітряних суден, авіаційних двигунів та підтримання льотної придатності Української державної льотної академії м. Кропивницький.

Усі члени разової спеціалізованої вченої ради не мають реальний чи потенційний конфлікт інтересів щодо здобувача Пошивайла Олексія Максимовича (зокрема, є його близькою особою) та/або його наукового керівника.

У результаті попередньої експертизи дисертації Пошивайла Олексія Максимовича і повноти публікації основних результатів дослідження

**УХВАЛЕНО:**

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Пошивайла Олексія Максимовича на тему “Інформаційна технологія побудови маршрутів гетерогенних груп БпЛА для покриття території”.

2. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Пошивайла Олексія Максимовича відповідає спеціальності 123 “Комп'ютерна інженерія” та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283), вимогам пп. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

3. Рекомендувати дисертаційну роботу “Інформаційна технологія побудови



маршрутів гетерогенних груп БпЛА для покриття території”, подану Пошивайлом Олексієм Максимовичем на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 “Інформаційні технології”, за спеціальністю 123 “Комп’ютерна інженерія”.

4. Рекомендувати Вченій раді затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

**Голова ради:**

**Приставка Пилип Олександрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики, факультету комп’ютерних наук та технологій Державного університету «Київський авіаційний інститут», м. Київ;

**Рецензенти:**

**Сущенко Ольга Андріївна**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри авіаційних комп’ютерно-інтегрованих комплексів систем управління Державного університету «Київський авіаційний інститут», м. Київ

**Кондратюк Василь Михайлович**, кандидат технічних наук; провідний науковий співробітник державного університету «Київський авіаційний інститут», м. Київ;

**Офіційні опоненти:**

**Фесенко Герман Вікторович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп’ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків

**Сікірда Юлія Володимирівна**, кандидат технічних наук; професор кафедри туризму та авіаційних перевезень, завідувачка кафедри конструкції повітряних суден, авіаційних двигунів та підтримання льотної придатності Української державної льотної академії м. Кропивницький.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Пошивайла Олексія Максимовича:

“за” – 25

“проти” – немає

“утримались” – немає

**Головуючий на засіданні:**

професор кафедри комп’ютерних систем та мереж КАІ, д.т.н., професор

Володимир ГАМАЮН

**Секретар засідання:**

доцент кафедри комп’ютерних систем та мереж КАІ, к.т.н., доцент

Станіслава КУДРЕНКО

**ПОГОДЖЕНО:**

Проректор з наукових досліджень та трансферу технологій КАІ, д.т.н., професор

Сергій ГНАТЮК