

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.філос.н., проф.


“ 17 ” квітня 2024 року
Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО



ВИТЯГ

з протоколу № 31 від 17 квітня 2024 р. розширеного засідання кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної і теплової енергетики Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці: в.о. завідувача кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці д.т.н, доц. Недашківський О.Л., професор д.т.н., проф. Барабаш О.В., професор д.т.н, доц., Мусієнко А.П., професор д.е.н., проф. Сігайов А.О., професор д.т.н., доц. Федорова Н.В., доцент к.т.н., доц. Гагарін О.О., доцент к.т.н., доц. Кузьмінних В.О., доцент к.т.н., доц. Шуклін Г.В., доцент к.т.н., доц. Залевська О.В., доцент к.т.н., доц. СтативкаЮ.І., доцент к.ф.-м.н., доц. Свинчук О.В., доцент к.т.н. Варава І.А., доцент к.е.н. Гусева І.І., ст. викл. Гайдаржи В.І., ст. викл. Дацюк О.А., ст. викл., PhD Колумбет В.П., ст. викл., PhD Бандурка О.І., ас. Оленева К.М., асп. Олексій А.О.;

- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського:

декан факультету інформатики та обчислювальної техніки, д.т.н., проф. Корнага Ярослав Ігорович;

доцент кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформатики та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського к.т.н., доцент Пасько Віктор Петрович.

Запрошені з інших організацій:

Державний науково-дослідний інститут авіації, Головний науковий співробітник д.т.н., проф. Артюшин Леонід Михайлович.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, професор кафедри екологічної безпеки д.т.н., проф. Машков Олег Альбертович.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці Кир'янова Артемія Юрійовича за матеріалами дисертаційної роботи "Методи та програмне забезпечення децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів на основі теорії неоднорідного векторного поля.", поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення. Освітньо-наукова програма "Інженерія програмного забезпечення".

Тему дисертаційної роботи "Методи і засоби побудови багатоагентних систем з самоорганізованою поведінкою" затверджено на засіданні Вченої ради факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (протокол № 3 від 19 жовтня 2020 року).

З 03.10.2023 року аспіранта Кир'янова А.Ю. було переведено з факультету інформатики та обчислювальної техніки до навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики до кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці без зміни освітньо-наукової програми за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» згідно наказу КПІ ім. Ігоря Сікорського від 03.10.2023 р. № 355а.

Тему дисертаційної роботи «Методи та програмне забезпечення децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів на основі теорії неоднорідного векторного поля» перезатверджено на засіданні Вченої ради навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (протокол № 4 від 28 листопада 2023 року).

Науковим керівником затверджено: доктора технічних наук, професора Барабаша О.В. (протокол № 4 від 28 листопада 2023 року)

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: д.т.н., проф. Машков О.А., д.т.н., проф. Гаврилко Є.В., д.т.н., доц., Федорова Н.В., к.т.н. Варава І.А., к.т.н., доц. Залевська О.В., к.т.н., доц. Стативка Ю.І., к.т.н., доц. Шуклін Г.В., ст. викл. Гайдаржи В.І., аспірант Олексій А.О., д.т.н., проф. Корнага Я.І., д.т.н., доц. Недашківський О.Л.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: д.т.н., проф. Барабаш О.В., д.т.н., проф. Машков О.А., д.т.н., проф. Корнага Я.І., д.т.н., доц., Федорова Н.В., к.т.н. Варава І.А., к.т.н., доц. Залевська О.В., к.т.н., доц. Стативка Ю.І., д.т.н., проф. Корнага Я.І., д.т.н., доц. Недашківський О.Л.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження.

Різке зростання застосування БПЛА в різних галузях, від сільського господарства до оборони, пошуково-рятувальних операцій і моніторингу навколишнього середовища, вимагає розробки складних систем управління. Ці системи повинні бути здатні координувати декілька БПЛА для спільного та ефективного виконання складних завдань. Децентралізовані системи управління, на відміну від централізованих, забезпечують стійкість до збоїв окремих БПЛА і масштабованість для великих груп БПЛА. Застосування теорії неоднорідних векторних полів в контексті групового управління БПЛА є особливо актуальним через зростаючу складність місії, які вимагають адаптивних і динамічних стратегій реагування. Ці місії часто відбуваються в непередбачуваному середовищі, що вимагає від БПЛА не тільки підтримувати стабільність конфігурації групи під час групових польотів, але й адаптуватися до змін та автономно уникати перешкод. *Тому, розробки методів та архітектури програмного забезпечення для децентралізованого групового управління безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з урахуванням особливостей їх динаміки, а також розробка математичної моделі для експериментального дослідження ефективності управління груповим польотом БПЛА є актуальним науковим завданням.* Вирішенню даного завдання і присвячена дисертація Кир'янова А.Ю.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно з поточними та перспективними планами наукової та науково-технічної діяльності Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці. Дослідження тісно пов'язано з розробкою науково-дослідної роботи (НДР), в якій автор приймав особисту участь, а саме: НДР «Методи забезпечення функціональної стійкості розподілених інформаційних систем» (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», № 0121U108334).

3. Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблено архітектуру та програмне забезпечення для управління та візуалізації групових польотів БПЛА, що базується на використанні децентралізованої архітектури взаємодії на основі схем

консенсусу та гетерогенних векторних полів для відстеження заданої траєкторії руху. Зазначене програмне забезпечення відрізняється від відомих лінійних моделей завдяки інтеграції автопілотів БПЛА, що розширює можливості практичного застосування за межами існуючих підходів. Програмне забезпечення дозволяє підтримувати різні статуси місій та дронів та надає можливості користувачам виконувати різноманітні дії через інтерфейс для групового управління і місіями. Використання даного програмного забезпечення дозволяє керувати групами БПЛА для виконання різних завдань, зменшуючи енергетичні та часові витрати на виконання завдань.

2. Удосконалено метод простору відносних станів для формування групового управління БПЛА, що відрізняється від відомих законів керування точковими масами врахуванням динаміки польоту БПЛА. Реалізація зазначеного методу дозволяє мінімізувати загальну енергію, необхідну для підтримки групи БПЛА, враховуючи відстань між сусідніми БПЛА та необхідну корекцію курсу, що дозволило знизити енергоспоживання на 20 %.

3. Удосконалено метод формування керуючих впливів наведення БПЛА, який відрізняється від традиційних законів керування застосуванням методу нелінійного синтезу. Метод не враховує точно відстеження керуючих сигналів кінематичними моделями БПЛА, що дозволяє істотно збільшити ефективність виконання місій. Врахування сил притягування та відштовхування, що реагують на зміни в динаміці групи та середовища, дозволяє оптимізувати шляхи БПЛА для зниження загального часу місії та витрат енергії для групи з 15 БПЛА, що призвело до скорочення часу виконання місії на 25 %.

4. Удосконалено модель групового польоту БПЛА в середовище MATLAB/Simulink, яка, на відміну від спрощених моделей, реалізує нелінійну динаміку апаратів і стандартні автопілоти для кожного з них, що дозволяє проводити налаштування параметрів у законах групового управління, оцінювати дію атмосферних полів на груповий політ БПЛА, а також здійснювати візуалізацію одержаних результатів.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження практичного значення одержаних результатів полягає в тому, що методи і програмне забезпечення можуть бути застосовані при розробці систем групового управління безпілотними літальними апаратами. Ці системи є важливими для вирішення різноманітних практичних завдань. Наприклад, вони можуть бути використані для радіолокаційної локалізації, операцій радіоелектронної боротьби, подолання ППО противника за допомогою хибних цілей. Крім того, вони дозволяють координувати ураження цілей, формувати антенні решітки на базі БПЛА для покращення зв'язку і вимірювати швидкість вітру для метеорологічних досліджень. Ці досягнення також дозволяють збільшити корисне навантаження або дальність польоту за

рахунок зменшення індуктивного опору під час польотів у щільних групах. Такі застосування підкреслюють широкомасштабний вплив результатів досліджень на ефективність застосування як військових, так і цивільних БПЛА.

Реалізація розробленої імітаційної математичної моделі системи групового управління БПЛА дозволила візуалізувати поведінку літаків у різних умовах та сценаріях управління, підтверджуючи ефективність та стійкість запропонованих алгоритмів.

Результати математичного моделювання удосконаленого методу формування керуючих впливів БПЛА шляхом нелінійного синтезу показали можливість оптимізації траєкторії руху літальних апаратів, що дозволило, в середньому, на 25% скоротити час виконання місії для групи з 15 БПЛА з використанням децентралізованого управління.

Результати досліджень прийняті до впровадження в Секторі № 5 оборони міста Київ (акт від 18.08.2023 р.); в ТОВ «Інтертехфорвард» (акт від 12.01.2024 р.); в навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (акт від 12.02.2024 р.) при викладанні дисципліни «Проектування кібер-фізичних систем» для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

5. Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на десяти науково-технічних конференціях:

- International Conference ICSFTI2020 «Security, Fault Tolerance, Intelligence», 13-14 травня 2020 року, м. Київ;

- IV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Russia-Ukraine War: Consequences for the World» 1-2 лютого 2024 р. м. Дніпро;

- V Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Winter Debates» 8-9 лютого 2024 р., м. Дніпр.;

- III Міжнародна науково-технічна конференція «Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку», 30 листопада 2023 року, м. Київ;

- X Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми науки, освіти та суспільства», 4-6 грудня 2023 року, м. Київ;

- I Міжнародна науково-практична конференція присвячена 125-й річниці КПІ ім. Ігоря Сікорського «Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення», 14 грудня 2023 р., м. Київ;

- Міжнародна науково-практично інтернет-конференція «Development of Education, Science and Business: Results 2023», 21-22 грудня 2023р., м. Дніпро;

-I Міжнародна науково-практично інтернет-конференція «Impact of Artificial Intelligence and Other Technologies on Sustainable Development», 28-29 грудня 2023, м. Дніпро.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Кир'янова А.Ю. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 12 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статі у наукових фахових виданнях України, в т.ч. 0 статей, у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб
- 8 тез доповідей на наукових конференціях.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Кир'янов А.Ю. Аналіз сучасних підходів до групового керування автономними безпілотними літальними апаратами. *Науковий журнал «Зв'язок»*, 2023, № 5 (165). С. 40 – 47.

В [1] дисертантом проведено порівняльний аналіз різних підходів до управління автономними динамічними об'єктами, зокрема БПЛА, розкрито їх переваги та недоліки. За результатами досліджень показано, що централізовані методи управління поширені завдяки їх простоті в реалізації, але вони мають обмеження щодо геометричних форм та стійкості групи. Тому є потреба в розробці повністю децентралізованих алгоритмів керування, які дозволять будувати групи з довільними відстанями між апаратами та отримувати складну структуру реальних систем.

2. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Дослідження алгоритмів поведінки зграй у природі для можливості застосування в групових польотах безпілотних літальних апаратів. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2023. № 3. С. 40 – 49.

В [2] дисертантом проаналізовано поведінку в природному середовищі косяків риб, зграй бджіл, колонії мурах, тощо і запропоновано архітектуру та програмне забезпечення для управління та візуалізації групових польотів БПЛА, що базується на використанні децентралізованої архітектури взаємодії на основі схем консенсусу та гетерогенних векторних полів для відстеження заданої траєкторії руху.

3. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Математична модель групового управління безпілотними літальними апаратами на основі методу простору відносних станів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*. 2023. № 5, Том 2. С. 7 – 13.

В [3] дисертантом запропоновано математичну модель групового управління на основі методу простору відносних станів у системах груп БПЛА, до класу яких можна віднести також сукупність безпілотних літальних апаратів на етапі групового польоту; досліджено ключові аспекти узгодженого управління та використання індивідуальних підходів для досягнення раціонального положення агентів у групі.

4. Barabash O., Kyrianov A. Development of control laws of unmanned aerial vehicles for performing group flight at the straight-line horizontal flight stage. *Advanced Information Systems*, 2023. Volume 7, No. 4. P. 13 – 20. (Scopus)

В [4] дисертантом удосконалено метод формування керуючих впливів наведення БПЛА, який заснований на використанні методу нелінійного синтезу. Зазначений метод обчислює сили притягування та відштовхування для відстеження відносних положень БПЛА в групі.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Kyrianov A., Loutskii H. Research of natural sware intelligence from adaptation to the system of drain networks. «Security, Fault Tolerance, Intelligence: International Conference ICSFTI2020», May, 13 – 14, 2020. Kyiv, 2020. P. 46 – 60.

6. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Методи децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів. IV Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Russia-Ukraine War: Consequences for the World», 1-2 лютого 2024 р., м. Дніпро, 2024. С. 19 – 21.

7. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Програмно-математичне забезпечення позабортової компоненти розподіленої системи інтелектуального керування групою БПЛА. V Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Integration of Education, Science and Business in Modern Environment: Winter Debates», 8-9 лютого 2024 р., м. Дніпро, 2024. С. 25 – 27.

8. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Рекомендації щодо управління групою БПЛА на основі аналізу поведінки зграй в природі. Збірник матеріалів III Міжнародної науково-технічної конференції “Системи і технології зв’язку, інформатизації та кібербезпеки: актуальні питання і тенденції розвитку”, 30 листопада 2023 року, м. Київ: Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, 2023. С. 78 – 79.

9. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Групове управління автономними безпілотними літальними апаратами: аналіз та перспективи. Сучасні проблеми науки, освіти та суспільства. Матеріали X Міжнародної науково-практичної

конференції. SPC “Sci-conf.com.ua”, 4-6 грудня 2023 р., Київ, 2023. С. 401 – 402.

10. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Методи децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів. I-а Міжнародна науково-практична конференція присвячена 125-й річниці КПІ ім. Ігоря Сікорського «Сучасні аспекти інженерії програмного забезпечення», 14 грудня 2023 р., м. Київ, 2023. С. 47 – 48.

11. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Оптимізація взаємодії мережкових та обчислювальних процесів для створення системи управління роєм дронів. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Development of Education, Science and Business: Results 2023», 21-22 грудня 2023 р., м. Дніпро, 2023. С. 31 – 33.

12. Барабаш О.В., Кир'янов А.Ю. Розробка законів управління безпілотними літальними апаратами для виконання групового польоту на етапі прямолінійного горизонтального польоту. I Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Impact of Artificial Intelligence and Other Technologies on Sustainable Development», 28-29 грудня 2023, м. Дніпро, 2023. С. 35 – 36.

Якість та кількість публікацій відповідають “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”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Кир'янова А.Ю. “Методи та програмне забезпечення децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів на основі теорії неоднорідного векторного поля.”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського “Інженерія програмного забезпечення” зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу "Методи та програмне забезпечення децентралізованого управління груповим польотом безпілотних літальних апаратів на основі теорії неоднорідного векторного поля.", подану Кир'янова Артемія Юрійовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського **Коваль Олександр Васильович**;

Члени:

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського **Гаврилко Євген Володимирович**;

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій факультету інформатики та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського **Пасько Віктор Петрович**;

Опоненти:

доктор технічних наук, професор, Головний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту авіації **Артюшин Леонід Михайлович**;

доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки Державного закладу " Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління " **Машков Олег Альбертович**

Головуючий на засіданні

Т.в.о. завідувача кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, доцент

 **Олексій НЕДАШКІВСЬКИЙ**

Учений секретар кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, доцент

 **Андрій МУСІЄНКО**