

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор Інституту радіофізики та
електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України
академік НАН України

П. М. Мележик

« 10 » лютого 2021 р.

Витяг

з протоколу № 1 Засідання наукового семінару відділу статистичної радіофізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України від 26.05.2021.

Були присутні: **доктори фізико-математичних наук:** Іванов В.К., Логвінов Ю.Ф., Луценко В.І., Миценко І.М., Ніколаєнко О.П., Швець О.В.; **доктори технічних наук:** Величко А.Ф., Пащенко Р.Е.; **кандидати фізико-математичних наук:** Бичков Д.М., Букін О.В., Горішня Ю.В., Кабанов В.О., Кошевий Г.І., Левадний Ю.В., Луценко І.В., Малишенко Ю.І., Мельнік С.І., Могила А.А., Роєнко О.М., Сілін О.О., Стадник О.М., Шаляпін В.М., Яцевич С.Є.; **кандидати технічних наук:** Педенко Ю.О., Синицький В.Б. (усього 28 осіб).

Слухали: доповідь та обговорення дисертаційної роботи молодшого наукового співробітника відділу дистанційного зондування Землі Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України Цюпака Дмитра Олеговича на тему «Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання з рухомим БПЛА з використанням методів нелінійної динаміки» на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія.

Тему дисертації Цюпака Д.О. затверджено на засіданні Вченої Ради ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України 07 лютого 2017 р., протокол № 2. Науковим керівником призначено доктора технічних наук, професора Пащенко Р. Е.

В обговоренні дисертаційної роботи **брали участь (ставили питання та виступали):** Величко А.Ф., Іванов В.К., Левадний Ю.В., Логвінов Ю.Ф., Луценко В.І., Мельнік С.І., Миценко І.М., Могила А.А., Пащенко Р.Е., Педенко Ю.О., Роєнко О.М.

Ухвалити: прийняти з даної роботи такий висновок.

ВИСНОВОК

про науковувизнзу, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Цюпака Д. О.

Актуальність теми та її зв'язок з планами наукових робіт установи

Дисертацію присвячено розв'язанню задачі розробки методів аналізу взаємодії електромагнітного випромінювання з обертовими роторами безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та визначення взаємозв'язків між параметрами доплерівського сигналу (ДС) і кінематичними параметрами БПЛА.

Актуальність роботи пов'язана з визначенням нових ознак розпізнавання БПЛА мультироторного типу за рахунок виявлення особливостей взаємодії електромагнітного випромінювання з обертовими роторами БПЛА методами нелінійної динаміки.

У останні десятиліття стрімко розвивається та розширюється парк БПЛА, особливо БПЛА мультироторного типу. Такі БПЛА мають малі габарити, а при їх конструюванні широко використовуються матеріали, що слабо відбивають електромагнітні хвилі. За рахунок цього вони мають невелику ефективну відбивну здатність, що значно ускладнює їх виявлення та розпізнавання. Основною конструктивною особливістю таких БПЛА є наявність роторів, які забезпечують їх рух, число яких може змінюватися залежно від конструкції. У зв'язку з цим актуальним завданням стає створення системи виявлення та розпізнавання мультироторних БПЛА не тільки візуально, а і з використанням технічних засобів, зокрема радіолокаційних. Для здійснення контролю за дотриманням цих правил необхідно створити систему виявлення та розпізнавання мультироторних БПЛА. При цьому доцільно використовувати не тільки оптико-електронні та акустичні засоби спостереження, але й радіолокаційні, зокрема доплерівські радіолокаційні станції (РЛС).

Сучасні методи розпізнавання сигналів, відбитих від рухомих повітряних об'єктів, за даними радіолокаційних засобів використовують різноманітні ознаки, але завдання аналізу взаємодії електромагнітного випромінювання з обертовими роторами БПЛА залишається не вирішеним.

Саме це визначило тему дисертаційної роботи, яка присвячена аналізу взаємодії електромагнітного випромінювання з рухомих БПЛА з використанням методів нелінійної динаміки.

Дисертаційне дослідження Цюпака Д. О. спрямовано на: розробку моделі доплерівського сигналу, відбитого від обертових роторів БПЛА, що враховує особливості форми сигналу; розробку нових методів аналізу сигналів, відбитих від мультироторного БПЛА, які дозволяють виявляти особливості їх форми й оцінювати їх складність, а також на розробку методики розпізнавання типу рухомого БПЛА з використанням нових ознак розпізнавання й оцінки можливості практичної реалізації розроблених методів для розпізнавання БПЛА мультироторного типу.

Дослідження, представлені в дисертаційній роботі, проводилися у відділі дистанційного зондування Землі Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова Національної академії наук України у період 2013 – 2020 рр.

і безпосередньо пов'язані з планами держбюджетних НДР «Розробка і удосконалення радіофізичних методів зондування поверхні і атмосфери Землі та біологічних об'єктів», шифр «Індекс», № 0111U010477, та НДР «Розробка та застосування нових радіофізичних методів дистанційного зондування довкілля та біологічних об'єктів», шифр «Інверсія», № 0117U004040. Основні результати роботи реалізовано в Інституті радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України та в навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- вперше розроблено модель доплерівського сигналу, відбитого від обертових роторів БПЛА, яка відрізняється від відомих використанням фрактальних недиференційованих функцій, що забезпечує моделювання особливостей форм відбитих сигналів;
- вперше розроблено та удосконалено метод аналізу сигналів, відбитих від мультироторного БПЛА, який відрізняється від відомих методів використанням серії фазових портретів, та використанням фрактального аналізу фазових портретів, побудованих на псевдофазовій площині з різною часовою затримкою, що дозволяє досліджувати особливості форм доплерівських сигналів, кількісно оцінити їх складність та виявити періодичність появи схожих фазових портретів які обумовлені різною кількістю і швидкістю обертових роторів БПЛА;
- запропоновано методику розпізнавання типу рухомого БПЛА, яка відрізняється від відомих методик використанням нових ознак розпізнавання – форми фазового портрету і величини фрактальної розмірності, що дозволяє підвищити якість розпізнавання БПЛА мультироторного типу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- результати проведених експериментальних досліджень структури і отримані форми доплерівських сигналів, відбитих від обертових роторів БПЛА, можуть бути використані для визначення характеру руху мультироторного БПЛА, що визначаються особливостями поведінки відбитих сигналів;
- розроблена модель доплерівського сигналу, відбитого від обертових роторів БПЛА, з використанням фрактальних недиференційованих функцій може бути використана для отримання додаткових нових ознак розпізнавання БПЛА мультироторного типу;
- розроблені нові методи аналізу доплерівських сигналів, відбитих від обертових роторів БПЛА, та методика розпізнавання типу рухомого БПЛА можуть бути використані для розробки нових та удосконалення існуючих систем розпізнавання радіолокаційних засобів спостереження.

Обґрунтованість та достовірність основних положень і висновків, сформульованих у дисертації, базується на математичній строгості всіх отриманих розв'язків, аналітичних і чисельних оцінках точності результатів, а також коректності застосування апробованих методів теорії нелінійної динаміки, теорії множин, теорії коливань, теорії фракталів, а також методів

проведення експериментів і часового та спектрального аналізу сигналів. Оцінка ефективності розроблених методів базується на математичному моделюванні з використанням експериментальних даних.

Публікації

За темою дисертації опубліковано 16 робіт, з них 3 статті у журналах, що входять до Переліку наукових фахових видань України з фізико-математичних наук, 1 стаття у закордонному журналі, 6 тез доповідей на наукових конференціях. Також опубліковано 6 статей, які додатково відображають наукові результати дисертації.

1. Частотно–временной анализ радиолокационных отражений от мультироторного БПЛА / Пашченко Р.Э., Иванов В.К., Цюпак Д.О., Левадный Ю.В. // Радиофизика и электроника. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 35 – 45.

2. Цюпак Д.О. Моделювання доплерівського сигналу, відбитого від безпілотного літального апарату, з використанням фрактальних недиференційованих функцій / Пашченко Р.Е., Иванов В.К., Цюпак Д.О. // Радиофизика и электроника. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 16 – 25.

3. Цюпак Д.О. Аналіз доплерівських сигналів, відбитих від роторів БПЛА, з використанням фазових портретів / Пашченко Р.Е., Иванов В.К., Цюпак Д.О. // Радиофизика и электроника. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 18 – 29.

4. Tsyupak D. Doppler signal analysis of drone rotors reflection with fractal dimensions/ Pashchenko R., Ivanov V., Tsyupak D. // Telecommunications and RadioEngineering. – 2020. – Vol. 79, Is. 16. – P. 1425 – 1440.

5. Tsyupak D. On radar signals analysis using the fractal dimension / Pashchenko R., Ivanov V., Tsyupak D. // 4th International Scientific and Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T-2017). – Ukraine, Kharkov, 2017. – paper 84.

6. Tsyupak D. The Use of Fractal Signals in Information and Communication Systems/ Pashchenko R., Ivanov V., Tsyupak D. // 6th International Scientific and Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology” (PICS&T-2019). – Ukraine, Kiev, 2019. – picst19_780.pdf.

7. Tsyupak D. Doppler radar signal model for sensing rotary drone rotors/ Pashchenko R., Ivanov V., Tsyupak D. // The 6th Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS-2020). – Ukraine, Kharkiv. 2020.

DOI: 10.1109/UkrMW49653.2020.9252782.

8. Цюпак Д.О. Распознавание БПЛА мультироторного типа с использованием фазовых портретов/ Пашченко Р.Э., Барданова О.А., Цюпак Д.О. // Тези доповідей одинадцятої НК ХУПС. – Х.: ХУ ПС, 2015. – С. 152.

9. Распознавание БПЛА мультироторного типа с использованием фрактальных размерностей / Пашченко Р.Э., Иванов В.К., Барданова О.А., Цюпак Д.О. // Матеріали п'ятої міжнародної НТК “Сучасні напрямки розвитку ІКТ та ЗУ”. – Полтава: ПНТУ, Баку; ВА ЗС АР, Кіровоград: КЛА НАУ, Харків: “ДП ХНДІ ТМ”. – 2015. – С. 6, 7.

10. Цюпак Д.О. Метод распознавания БПЛА мультироторного типа с использованием фрактальных размерностей / Пашченко Р.Э., Цюпак Д.О. //

Тези доповідей тринадцятої НК ХУПС. – Х.: ХУПС, 2017. – С. 209.

11. Распознавание БПЛА мультироторного типа с использованием фазовых портретов/ Пащенко Р.Э., Кортунов В.И., Цюпак Д.О., Барданова О.А. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2013. – № 4(13). – С. 68 – 72.

12. Распознавание БПЛА мультироторного типа с использованием фрактальных размерностей/ Пащенко Р.Э., Илюшко В.М., Фатеев А.С., Цюпак Д.О. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 1(14). – С. 156 – 160.

13. Анализ формы фазовых портретов при изменении времени задержки для распознавания БПЛА мультироторного типа / Пащенко Р.Э., Цюпак Д.О., Ратайчук И.А., Барданова О.А. // Збірник наукових праць “Системи обробки інформації”. – Х.: ХУПС. – 2015. – Вип. 1(126). – С. 44 – 49.

14. Анализ величин фрактальных размерностей фазовых портретов для распознавания БПЛА мультироторного типа / Пащенко Р.Э., Фатеев А.С., Цюпак Д.О., Романцов А.А. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 1(22). – С. 83 – 87.

15. Распознавание типа мультироторного БПЛА с использованием формы фазовых портретов / Пащенко Р.Э., Иванов В.К., Цюпак Д.О., Гергель И.А. // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 1(49). – С. 143 – 147.

16. Распознавание типа мультироторного БПЛА с использованием фрактальных размерностей фазовых портретов / Пащенко Р.Э., Иванов В.К., Цюпак Д.О., Молчанов А.А. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 99 – 104.

Обсяг публікацій за матеріалами дисертаційної роботи відповідає вимогам МОН України і є достатнім для подання роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

В дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Оформлення дисертації відповідає вимогам.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи апробовано на 6 міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях і симпозиумах.

1. 4th and 6th International Scientific and Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology”, PICS&T-2017, - 2019 (Ukraine, Kharkiv, 2017, Kiev, 2019);

2. The 6th Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS-2020 (Ukraine, Kharkiv, 2020);

3. Одинадцята та тринадцята наукові конференції ХУПС “Новітні технології – для захисту повітряного простору” (Україна, Харків, 2015, 2017);

4. П’ята міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні напрямки розвитку ІКТ та ЗУ” (Україна, Полтава: ПНТУ, Кіровоград: КЛА НАУ, Харків: “ДП ХНДІ ТМ”, Азербайджан, Баку, ВА ЗС АР, 2015).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати роботи повною мірою викладені в публікаціях у співавторстві [1-16], де здобувачу належить наступне. В роботі [1] автором проведено частотно-

часовий аналіз сигналів доплерівської РЛС при зондуванні БПЛА мультироторного типу; у роботі [2] – запропоновано модель доплерівського сигналу, відбитого від обертових роторів БПЛА, яка представляє суму фрактального сигналу та модифікованої функції Вейерштрасса–Мандельброта; у роботі [3] – запропоновано метод аналізу доплерівських сигналів, відбитих від обертових роторів БПЛА з використанням фазових портретів; у роботі [4] – запропоновано метод аналізу складності форми ДС, відбитих від обертових роторів БПЛА з використанням фрактальних розмірностей; у роботі [5] – автором оцінена можливість аналізу характеристик сигналів радіолокаційних засобів з використанням фрактального методу; у роботі [6] – проведено аналіз параметрів і властивостей фрактальних сигналів з використанням фазових портретів; у роботі [7] – проведено аналіз форми доплерівських сигналів, отриманих експериментально при зондуванні БПЛА мультироторного типу; у роботах [8–10] – запропоновано використання форм фазових портретів сигналів, фрактальних розмірностей і величин фрактальних розмірностей фазових портретів, відповідно, як ознак розпізнавання БПЛА мультироторного типу. В роботі [11] – досліджено форми фазових портретів сигналів, отриманих при зондуванні БПЛА, і фонових сигналів; у роботі [12] – проведено розрахунок величин фрактальних розмірностей сигналів з виходу каналу фазового детектування РЛС, що дозволило кількісно оцінити складність форми сигналів; у роботі [13] – проведено аналіз зміни форми фазових портретів при їх побудові з різними часовими затримками; у роботі [14] – розглянуто можливість використання величини фрактальної розмірності фазових портретів як ознаки розпізнавання БПЛА мультироторного типу; у роботі [15] – проведено аналіз форм фазових портретів сигналів при зондуванні БПЛА з трьома та шістьма роторами. У роботі [16] – проведено розрахунок величин фрактальних розмірностей фазових портретів сигналів, побудованих з різними часовими затримками.

Рішення. Засідання наукового семінару відділу статистичної радіофізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України на підставі доповіді Цюпака Д.О. та детального обговорення дисертаційної роботи «Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання з рухомим БПЛА з використанням методів нелінійної динаміки», що подається на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104 - Фізика та астрономія, відзначає високий науковий рівень, фундаментальність проведених у ній досліджень та вважає, що за актуальністю вирішуваних задач, новизною, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю отриманих результатів вона відповідає вимогам МОН України, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Засідання наукового семінару відділу статистичної радіофізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України рекомендує дисертаційну роботу Цюпака Д.О. «Аналіз взаємодії електромагнітного випромінювання з рухомим БПЛА з використанням методів нелінійної динаміки» до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 - Природничі науки за спеціальністю 104

- Фізика та астрономія в разовій спеціалізованій вченій раді Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України.

Засідання наукового семінару відділу статистичної радіофізики Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України рекомендує призначити:

Головою спеціалізованої вченої ради:

Ситника Олега Вікторовича, доктора фізико-математичних наук, професора, провідного наукового співробітника відділу радіофізичної інтроскопії Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України.

Опонентами:

1. Лазоренка Олега Валерійовича, доктора фізико-математичних наук, доцента, завідувача кафедри загальної фізики фізичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.
2. Панасенка Сергія Валентиновича, кандидата фізико-математичних наук, доцента, завідувача відділу фізики іоносфери Інституту іоносфери НАН і МОН України.

Рецензенти:

Доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
заступник директора з наукової роботи

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України  /Ю. Ф. Логвінов/

Доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач лабораторії моніторингу та спектроскопії середовищ
відділу радіофізичної інтроскопії

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України  /В. І. Луценко/

Секретар семінару відділу статистичної радіофізики ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України

кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник  /Ю. О. Педенко/