

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата фізико-математичних наук, доцента, завідувача відділу фізики іоносфери Інституту іоносфери НАН і МОН України Панасенка Сергія Валентиновича на дисертаційну роботу Дмитра Олеговича ЦЮПАКА “АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РУХОМИМ БПЛА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ”, подану на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – “Фізика та астрономія”

Актуальність дослідження

В наші часи безпілотні літальні апарати (БПЛА) знаходять все більше застосування у різних сферах людської діяльності. Вони використовуються для розв'язання широкого кола завдань, виконання яких пілотованими літальними апаратами з різних причин недоцільно, або економічно не вигідно. БПЛА застосовуються для моніторингу повітряного простору, земної й водної поверхонь; керування повітряним рухом, аерофотозйомки місцевості, доставки вантажів тощо. Такі літальні апарати крім цивільного, мають обширне військове призначення. Більшість країн починає збільшувати парк БПЛА, що призводить до погіршення безпеки польотів та вимагає прийняття невідкладних заходів щодо забезпечення контролю за виконанням правил експлуатації літальних апаратів і впорядкованості їх польотів. При цьому розв'язання задач виявлення та розпізнавання типів БПЛА набуває найвищого пріоритету.

Дисертаційна робота Д. О. Цюпака присвячена розробці моделі, методів та алгоритмів аналізу радіосигналів, відбитих обертовими роторами БПЛА під час його зависання або руху. Для досягнення мети здобувачем застосовано сучасні методи, що базуються на аналізі фазових портретів, фрактальної розмірності та застосуванні фрактальних недиференційованих функцій. Враховуючи все сказане вище, тема дисертаційної роботи є **актуальною**. Під час дослідження отримано важливі результати, що мають велике **фундаментальне та прикладне значення**.

Обґрунтованість, достовірність і новизна результатів

Всі результати, наукові положення та висновки дисертаційної роботи є **повністю обґрунтованими та достовірними**. Підтвердимо це низкою фактів.

1. Результати роботи отримано з використанням добре відомих методів теорії нелінійної динаміки, теорії множин, теорії коливань, теорії фракталів, методів проведення експериментів і часового та спектрального аналізу сигналів.

2. Ефективність розроблених методів і алгоритмів підтверджено математичним моделюванням з використанням експериментальних даних.

3. Результати, отримані в період виконання дисертаційної роботи, опубліковано в українських і закордонних фахових наукових журналах, що мають зовнішнє незалежне рецензування. Ці результати також пройшли апробацію на міжнародних і українських наукових конференціях.

Всі результати, наукові положення та висновки є **новими**. Найбільш значимі, на мій погляд, результати, отримані у цій дисертаційній роботі, є наступними.

1. Розроблений метод аналізу сигналів, відбитих від мультироторного БПЛА дозволяє досліджувати особливості форм доплерівських сигналів, обумовлених різною кількістю і швидкістю обертів роторів БПЛА.

2. Розроблена модель доплерівського сигналу, відбитого від обертів роторів БПЛА забезпечує моделювання особливостей форм відбитих сигналів.

3. Удосконалений метод аналізу доплерівських сигналів, відбитих від мультироторного БПЛА дозволяє кількісно оцінити їх складність та виявити періодичність появи схожих фазових портретів.

Публікації

Список публікацій здобувача за темою дисертації (Додаток А) містить перелік наукових публікацій Д. О. Цюпака, на яких базується дисертаційна робота. Зокрема, в нього включено 9 статей здобувача у фахових виданнях України, в тому числі у науковому журналі “Радіофізика та електроніка”; 1 стаття у закордонному журналі “Telecommunications and Radio Engineering”, а також доповіді та тези конференцій. Всі наукові роботи автора є **оригінальними та не повторюють одна одну**. Результати дисертаційної роботи, **повністю викладено** в наведених наукових фахових статтях, що опубліковані як в Україні, так і за кордоном, а також доповідались на вітчизняних і міжнародних конференціях.

Наукова та практична значимість

Наукова значимість дисертаційної роботи Д. О. Цюпака полягає в тому, що в ній вперше розроблено модель доплерівського сигналу, відбитого від обертів роторів БПЛА, а також метод аналізу сигналів, відбитих від мультироторного БПЛА. Розроблені модель і метод є повністю новими та дозволяють ефективно розпізнавати рухомі БПЛА та визначати тип літального апарату.

Практична значимість роботи здобувача полягає в тому, що завдяки розробленим новій моделі аналізу доплерівських сигналів, відбитих від обертів роторів БПЛА, та новим методам і алгоритмам розпізнавання типів рухомого БПЛА можуть бути побудовані принципово нові або удосконалені існуючі системи розпізнавання радіолокаційних засобів спостереження. Ці системи дозволять більш точно визначати характер руху мультироторного літального апарату з використанням додаткових нових ознак розпізнавання.

Недоліки та зауваження

Дисертаційна робота Д. О. Цюпака, як і будь-яка дисертаційна робота такого рівня, не позбавлена певних недоліків. Нижче сформульовано такі **недоліки та зауваження**.

1. В оглядовій частині дисертації, де описуються різні методи виявлення безпілотних літальних апаратів, не згадується радіофізичний метод, заснований на випромінюванні та прийманні надширокосмужових сигналів. Такий метод має дуже добру просторову роздільну здатність та дозволяє отримати детальне радіозображення опромінюваного об'єкта.
2. На рис. 1.1 і 1.3 за віссю ординат наведено амплітуду доплерівського спектру у рівнях дискретизації. Однак, в тексті підрозділу 1.2 дисертації відсутня інформація, чому дорівнює різниця між двома сусідніми рівнями дискретизації і чи є вона сталою (значення Y на цих рисунках відрізняються на два порядки величини).
3. На рис. 2.12. – 2.14 за віссю абсцис доцільно було б відкласти частоту в 1/с, а не у відліках, оскільки в тексті дисертації (підрозділ 2.2) при інтерпретації результатів значення частот наводиться саме в (1/с), що утруднює сприйняття рисунків.
4. При знаходженні фрактальної розмірності за методом найменших квадратів, що реалізує лінійну регресію, не вказано довірчі інтервали для параметрів регресії (рис. 1.12 і 1.13).
5. У підрозділі 4.1 та у Висновках зустрічається фраза такого типу: “середнє значення ФР ФП фоновому сигналу дорівнює $D_{cp} = 1,89 \pm 0,01$ ” (с. 181). Насправді, середнім значенням є тільки перше число (1.85), число 0.01 характеризує статистичний розкид. З тексту дисертації не зрозуміло, за яким рівнем або ймовірністю розраховувався статистичний розкид.
6. У Переліку умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів (с. 12) відсутні скорочення “СВІ” (середня взаємна інформація) та “РХБ” (розмірність Хаусдорфа – Безіковіча).
7. У тексті дисертації подекуди зустрічається неузгодженість в числах. Наприклад, “методи і методики виявлення ПО за їх акустичним випромінюванням досліджується у роботах Карташова В.М.” (с. 14).

Загальний висновок

Виявлені недоліки, зауваження та неточності, в цілому, не знижують значимість отриманих Д. О. Цюпаком результатів і не псують загального **позитивного** враження від цієї дисертаційної роботи. Дисертацію написано науковою мовою; не виявлено запозичень, цитувань без відповідних посилань у тексті, а також ознак порушення академічної

добросовісності. Зміст анотації **повністю відповідає** основним положенням дисертаційної роботи.

В дисертаційній роботі Д. О. Цюпака, що є **завершеною науковою працею**, отримано **нові обґрунтовані результати**. Автором розв'язано **низку важливих радіофізичних задач**, що дозволило вдосконалити методи аналізу доплерівських сигналів, відбитих від мультироторного БПЛА. Результати роботи мають **наукову і практичну значимість**. Вони внесуть **суттєвий вклад** у подальше вдосконалення систем виявлення та розпізнавання БПЛА та сприятимуть забезпечення контролю та впорядковуванню їх польотів.

Вважаю, що дисертаційна робота Дмитра Олеговича Цюпака **відповідає всім вимогам**, що висуваються ДАК України до дисертацій такого рівня, а її автор **заслуговує присудження** йому освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія, галузь знань 10 – Природничі науки.

Завідувач відділу фізики іоносфери
Інституту іоносфери НАН і МОН України
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

Спанук

С. В. Панасенко

Підпис С. В. Панасенка завіряю
Учений секретар
Інституту іоносфери НАН і МОН України
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



М. В. Ляшенко

6 жовтня 2021 р.