

## **ВІДГУК**

офіційного опонента доктора технічних наук,  
на дисертаційну роботу  
**КОЗАКА АНДРІЯ ВІТАЛІЙОВИЧА**

### **“РОБОТА АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ШУМОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ”**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
з галузі знань **17 Електроніка та телекомунікації**  
за спеціальністю **171 Електроніка**

#### **Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота присвячена вирішенню проблеми розробки системи повітряного пеленгування малих рухомих об'єктів. В сей час зросли вимогами до систем повітряного спостереження та розвідки, а також необхідність вдосконалення існуючого парку БПЛА в частині зменшення радіолокаційної та акустичної помітності. Тому сформульовано задачу розробки системи акустичного шумопеленгування малих літальних апаратів на основі методів пеленгування, які успішно використовувались в підводній акустиці.

Відомі роботи вчених, що займалися пеленгацією шумів від БПЛА: Harvey, B., O'Young, S., Pham, T., Srour N., Moshkov, P., Samokhin, V., Yakovlev, A. А також з досліджень акустичних випромінюючих та приймаючих пристроїв у гідроакустиці вчених: О. Г. Лейка, В. Г. Савіна, О. В. Коржика, А. Sedunov, С. О. Козерука, К.В. Горового.

Перелік невирішених проблем ще й досить залишається досить великим. Одна з них – це створення віртуальних інструментів для вимірювання основних характеристик акустичного поля та виявлення автономних рухомих об'єктів. Виникла необхідність первинного виявлення та спостереження БПЛА засобами шумопеленгаційних систем повітряних широкосмугових випромінюючих об'єктів різного призначення, а також збільшення якості первинного виявлення. Тому необхідність подальшого вирішення задач з уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного шумопеленгування визначила актуальність обраної теми дисертації Козака Андрія Віталійовича.

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

*Метою* роботи наукового дослідження є створення системи шумопеленгування повітряних об'єктів за допомогою сучасного програмного забезпечення. А також вирішення задач з уніфікації та наочності шляхів апаратно-програмної реалізації засобів підводного та повітряного



шумопеленгування. Автор досяг поставленої мети за допомогою декількох методів дослідження, що наведені у розділах дисертації.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі вирішені *наступні завдання*:

1. Дослідити основні системи та методології шумопеленгування.
2. Розглянути можливі способи реалізації системи шумопеленгування.
3. Дослідити умови виявлення і пеленгування у повітрі.
4. Розробити тракт виявлення і пеленгування в програмі LabView.
5. Перевірити роботу розробленого тракту в лабораторних і натурних умовах.

**Об'єктом дослідження** є процес шумопеленгування, що включає огляд простору, виявлення, вимірювання параметрів поля та пристрою за допомогою прийомників тиску і коливальної швидкості.

**Предметом дослідження** є пристрій повітряного шумопеленгування.

Об'єкт і предмет визначені вірно.

**3. Наукова новизна** одержаних в роботі результатів полягає в наступному:

1. Адаптація принципів шумопеленгування в морському середовищі до принципів пеленгування в повітрі;
2. Вперше для повітряних об'єктів розрахована енергетична дальність виявлення БПЛА типу КРИЛО;
3. Вперше використано середовище LabView для моделювання алгоритму і структури пристрою шумопеленгування;
4. Вперше програмно були об'єднані пристрій виявлення і вимірювання параметрів виявленого сигналу в комплексі, тобто підвищення надійності забезпечувалося паралельним використанням трьох трактів виявлення;
5. Вперше була запропонована акустична антена, конструкція якої дозволяє працювати як з полем тиску, так і з коливальною швидкістю;
6. За результатами розробки було створено макет пристрою шумопеленгування, функціональні можливості якого, було перевірено в практичних умовах із залученням БПЛА квадрокоптерного типу в лабораторних та натурних умовах.

Достовірність обґрунтована методами досліджень, вони є класичними методами з спектральних характеристик, а саме: застосування методу швидкого перетворення Фур'є (ШПФ); застосування теореми Вінера-Хінчіна; використання методів кореляційної обробки сигналу. При цьому використані класичні методи пеленгування, в частині виявлення та вимірювання параметрів виявленого об'єкта. А також забезпечується збіг характеристик комп'ютерних моделей у частині збігу розрахункових та експериментальних даних.

Математичні положення цієї роботи не мають кожна окремо новизни, але в сукупності використання всіх чинників призводить до того, що з'являється абсолютно новий пристрій. Створення пристрою, в макетному виконанні, яким було реалізовувати задачу повітряного шумопеленгування, є



одним з розроблених автором методом досліджень. Методи дослідження є сучасними та достовірними.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Козака А.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 171 «Електроніка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Електроніка».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Козака А.В. 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.

Практична значність роботи полягає в подальшому розвитку прикладних аспектів повітряного шумопеленгування, а саме створення оригінальних комбінованих пристроїв виявлення БПЛА та впровадження віртуальних інструментів для пеленгування і виявлення на основі лабораторного пакету програм LabView та MathLab. Дані методики та рекомендації будуть корисні при шумопеленгуванні БПЛА.

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

Дисертаційна робота викладена українською мовою. Робота викладена на високому науково-технічному рівні з використанням стандартної термінології, що прийнята в прикладній акустиці.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 119 найменувань та додатку. Робота містить 88 рисунків (з них 1 повністю займає площу сторінки) та 5 таблиць. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 159 сторінок.

Зміст дисертаційного дослідження викладений у чотирьох розділах, у яких представлені та обґрунтовані основні результати роботи.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, описано методи дослідження шумопеленгування БПЛА, надана інформація про наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

В *першому розділі* зазначено, що проблема повітряного шумопеленгування широкосмугових шумовипромінюючих об'єктів стає все більш актуальною через зростання числа БПЛА. Проаналізована інформація про конструкції та аеродинамічні характеристики БПЛА. Але автор довів, що дослідження і відомості про акустичні характеристики БПЛА залишаються вельми обмеженими. Тому автором проведений літературний огляд найбільш відомих наукових робіт про спектральні особливості шумового випромінювання БПЛА. Здобувач зробив висновок, що стає актуальним завдання розробки віртуальних інструментів для вимірювання ключових характеристик акустичного поля та ідентифікації автономних рухомих



об'єктів. *А саме* це мультисенсорні системи, що сукупно використовують методи акустичної, оптичної та радіолокаційної детекції. Автор навів опис різноманітних методів виявлення та пеленгування: на основі інтенсивності звукового сигналу; за допомогою просторового спектру; через акустичну сигнатуру; пеленгування за допомогою взаємних спектрів та за фазовим методом; використання кількох багато мікрофонних масивів на різних ділянках охоронюваного об'єкта, що дозволяє точно локалізувати дрон. Автор відмічає про погіршення характеристик виявлення через атмосферну турбулентність, кореляційні ефекти шумів та вплив ефекту Доплера. *Слід відзначити*, що обсяг огляду літератури в дисертації є достатнім для того, щоб автор зміг визначитися з методом реалізації системи шумопеленгування повітряних об'єктів.

В *другому розділі* визначено і досліджено математичні та фізичні засади методології виявлення та пеленгування. Також визначено прогнозовану дальність виявлення БПЛА, що включає геометричну та енергетичну дальності. Зроблено висновок, що прогнозована дальність в 1000 м для БПЛА типу крило і 200 м для БПЛА типу квадрокоптер є реально досяжними. Автор вирішив дослідження існуючих методів та алгоритмів обробки та аналізу шумів навколишнього повітряного середовища розмістити у цьому розділі дисертації. Автором запропонована можливість впровадження тракту спектрального аналізу у склад нового мультисенсорного комплексу виявлення та пеленгування. Розглянуті шумоподібні сигнали і завади в задачах шумопеленгування. Отриману інформацію автор застосував для майбутньої реалізації системи шумопеленгування повітряних об'єктів в програмному середовищі LabView. Тим самим автор привів обґрунтований вибір програмного середовища для моделювання. Це дозволило подалі приступити до розробки мультисенсорного комплексу виявлення та пеленгування безпосередньо.

В *третьому розділі* запропоновано технічне рішення реалізації шумопеленгатору. Автор підкреслив, що її суть в автоматизації використання обчислювального та вимірювального лабораторного обладнання. Проведене компонування схеми та описано роботу за нею реалізації тракту виявлення і пеленгування, Розроблено мультикомпонентну векторну акустичну антену пристроїв виявлення та пеленгування. Вона може працювати як пристрій, що забезпечує реєстрацію як скалярних, так і векторних характеристик. Показано застосування адитивних операцій, що до можливості формування характеристик направленості різних типів. Слід прийняти до уваги, що ця антена в силу використання додаткових приймачів, може бути використаною як у області повітряного середовища, так і у області гідроакустики.

У *четвертому розділі* автор запропонував методику експериментальних досліджень вимірювання інтенсивності та проведення спектрального аналізу. Автор запропонував новий алгоритм проведення шумопеленгації, налагодив його інтегруванням в програмне середовище LabView.

У цьому розділі розроблена лінійна дискретна акустична антена. Вона включає в себе 5 всяк направлених мікрофонів моделі ЕСМ-999 із



застосуванням вітрозахисту, а також 5 стійок, що дозволяють регулювати висоту від 1 до 2,2 метра. З'єднувальний пристрій, який представляє собою 8-канальну звукову карту Tascam US-16X08, з'єднану з антеною за допомогою п'яти XLR-кабелів. АЦП отримує живлення від мережі 220V. Сучасний стан проведення обробки даних вимірів забезпечило використання персонального обчислювального пристрою (ноутбук), на якому встановлене програмне забезпечення для обробки та візуалізації даних. В системних налаштуваннях звуку на ПК в розділі «Пристрої запису» активовано звуковий інтерфейс Tascam US-16X08, розроблений кафедрою. Експеримент проведений у заглушеній кімнаті з виконанням сучасних вимог в акустиці. Тобто зроблена калібровка приймальних ліній.

Для випробування програми було використано чотирьох гвинтовий квадрокоптер також розробки кафедри, здійснено п'ять реєстрацій загальних акустичних відбитків від квадрокоптера. Для проведення вимірювань було використано комплекс, що включав в себе акустичну антену із 5 мікрофонів, звукову карту та персональний комп'ютер. Автором здійснено дослідження з метою виявлення квадрокоптера Phantom 3 Standard поза межами населеного пункту, у відкритому полі. Треба відмітити, що автор вірно вибрав відстань установки мікрофонів на 1,5 м від поверхні землі. Це відповідає вимогам розташування мікрофонів так, щоб розповсюдження звуку до мікрофону йшло без відбиття від поверхні, що викладені у довідниках з вимірів в акустиці. Вимірювальний апаратний комплекс включав у себе два мікрофони, аудіо-інтерфейс та персональний комп'ютер. Додатково, застосовувалась процедура розрахунку спектру за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) та визначення взаємного спектру. В ході аналізу встановлено, що домінуюча частота квадрокоптера дорівнює 393 Гц. Ця частота була стабільно виявлена в усіх проведених вимірюваннях.

Отримано п'ять сплесків спектрального сигналу в діапазоні (250-1250) Гц на частотах 280 Гц, 370 Гц, 465 Гц, 560 Гц, 660 Гц. Отриманий сумарний рівень випромінювання становив 62 L dB SPL на відстані 2.5 м від об'єкту. Таким чином, у результаті дослідження проведені тестування та аналіз трьох різних трактів виявлення, а також визначення характерних частот квадрокоптера, що було успішно виконано. Загалом здійснено 20 аудіо записів. Кількість проведених експериментів достатня, щоб мати статистику вимірів.

У висновках автор стисло подає основні результати роботи що підкріплюють наукову новизну та практичні результати роботи.

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**

Результати роботи були оприлюднені у 14 публікаціях наукових робіт: у тому числі в 6 статтях, 3 з яких у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 171 Електроніка, які включені до міжнародних науко



метричних баз; 7 тезах доповідей у збірниках матеріалів конференцій; є патент України на корисну модель.

Наукові публікації стосуються сфери прикладної акустики і повністю відображають результати дисертаційного дослідження. Стиль і зміст публікацій відповідає високому рівню, що висуваються до наукових публікацій.

Отримані в роботі результати можуть використовуватись у навчальному процесі вищих навчальних закладів України, у тому числі НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського при підготовці інженерів-акустиків. А також у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара на фізико-технічному факультеті при вивченні курсу «Акустика та дослідження вібрацій у машинах» при підготовці інженерів-механиків з спеціальності 131 Прикладна механіка та 134 ракетно-космічна техніка.

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

До недоліків роботи слід віднести:

1. В другому розділі недостатньо розкриті позначення літерами у формулах, наприклад, у (2.6), (2.7). У підписуноків підписах у розділі 2, якщо цей рисунок з монографії чи статті іншого автора, треба ставити посилання на літературу. Взагалі, в розділі 2 матеріали тексту потребують коректування. Бо вони написані не у стилі розділу дисертації, в якому викладені особисті результати автора, а у стилі якогось огляду, що розміщений у науковому звіті. Багато зайвого матеріалу, що не є розробкою автора.

2. В третьому розділі на сторінці 104 автору треба переглянути деякі дані, що він виставив як «верхня» чи «нижня» частоти. Виникають питання, чи вірно автор назвав категорію з деяких частот.

3. В роботі присутні орфографічні помилки та помилки у словах. Наприклад, на стор. 38 написано «на тлі», за смислом потрібно «на тілі», і так далі по роботі є декілька помилок. Бажано у дисертації не використовувати часто слова «було», був» и тим паче.

*Побажання.* Вказувати у списку літератури дисертації звіти з держбюджетних та госпдоговірних тем, в які автор дисертації розміщував свої матеріали.

Вважаю що наведені зауваження не зменшують наукову цінність роботи, а її практичні результати дозволяють оцінити дисертаційну роботу позитивно.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Козака Дмитра Віталійовича на тему «РОБОТА АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ШУМОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ» 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 галузі Електроніка. 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 Козак Андрій Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 171 Електроніка.

**Офіційний опонент:**

професор кафедри механотроніки,  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара,  
доктор технічних наук, професор,  
Відмінник Освіти України



Г. І. Сокол

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

М.П. «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

