

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Соболяка Олександра Васильовича «Моніторинг електромагнітних і акустичних випромінювань антропогенних об'єктів», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

### Актуальність теми дисертації

Розвиток інформаційних технологій призводить до стрімкого росту кількості систем зв'язку, локації, навігації, дистанційного визначення параметрів. Стрімко зростає кількість випромінювачів, щільність електромагнітних полів різних діапазонів, акустичних полів. Як наслідок, це призводить до росту взаємних завад таких інформаційних систем. Моніторинг вже існуючих електромагнітних і акустичних випромінювань має метою отримання додаткової інформації про ці та інші антропогенні системи та об'єкти. Тому у багатьох розвинених країнах і країнах, що розвиваються останнім часом зростає інтерес до так званих активно-пасивних та пасивних радіотехнічних і акустичних систем, досліджуються умови їх використання, розвиваються методи їх створення. Активно-пасивні та пасивні радіотехнічні системи використовують для підсвічування довкілля вже існуючі електромагнітні поля наземних і космічних систем зв'язку і навігації, у тому числі глобальної супутникової навігації, випромінювання телевізійних і мовних супутників, а також систем наземного мовлення. Паралельно зростає інтерес до акустичних систем моніторингу довкілля. Акустичні системи виділяють інформацію з акустичних полів, які випромінюються самим об'єктом. В цілому використання активно-пасивних і пасивних радіотехнічних систем та акустичних систем моніторингу довкілля зменшує забруднення навколишнього середовища, знижує енергозатрати, спрощує реєстрацію таких засобів, не створює перешкод іншим системам.

Для широкого використання активно-пасивних і пасивних радіотехнічних та пасивних акустичних систем потрібен суттєвий розвиток методів виділення інформації. Це потребує поглиблення знань щодо виникнення природних та штучних завад, умов розповсюдження хвиль, суттєвого розвитку методів обробки сигналів, виділення інформації. Ці питання є основним стрижнем поданої роботи.

Тому дослідження, які виконані в дисертації Соболяка О.В., є актуальними і містять результати, необхідні для створення і вдосконалення сучасних, широко розповсюджених і затребуваних активно-пасивних систем та засобів радіо- і акустичного моніторингу.

### Зв'язок з науковими програмами

У дисертації наведено узагальнені результати досліджень, що отримані автором у період 2013 –2018 рр., які базуються на програмах, планах і держбюджетних темах наукових досліджень Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України, у яких автор приймав участь, як виконавець:

«Просторово-часові нестационарні електромагнітні та акустичні взаємодії в системі атмосфера – море – речовина; вплив стану середовища та складних відбивачів на дистанційну діагностику при локаційному і ретрансляційному зондуванні та на метеорний радіозв'язок (шифр «Обрій»), яка виконувалася в період із 01.01.2013 р. по 31.12.2017 р. на підставі Постанови Бюро ВФА НАНУ від 23.05.2012 р., протокол №5, № державної реєстрації 0113U000048;

«Використання випромінювань штучних супутників Землі та телевізійних центрів для дослідження атмосферних процесів», шифр «Діагностика» (2013 – 2014 рр.), № державної реєстрації 0113U002976, яка виконувалась відповідно до Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012 – 2016 рр. за розпорядженням Президії НАН України від 01.02.13 № 56 (1-й етап) та від 04.03.14 № 140 (2-й етап);

«Взаємодії електромагнітних і акустичних хвиль в системі довкілля-речовина та їх використання для вирішення проблем радіолокації, енергетики, екології, медицини та зв'язку» (шифр "Обрій-2"), яка виконується в період із 01.01.2018 р. по 31.12.2022 р. на підставі Постанови Бюро ВФА НАНУ від 06.06.2017р., протокол №4, № державної реєстрації 0118U003034.

### Аналіз змісту дисертаційної роботи

Повний обсяг дисертаційної роботи Соболяка О.В. становить 234 сторінок і складається із анотації, переліку умовних позначень, вступу, 5-ти розділів, висновків, списку використаних джерел і 6-ти додатків. Обсяг основного тексту 143 сторінка. Дисертація містить 50 рисунків (з них 25 на окремих сторінках) і 3 таблиці на окремих сторінках. Список використаних джерел на 20 сторінках містить 170 найменувань. Додатки А-Є займають 39 сторінок.

У вступі Соболяк О.В. обґрунтовує актуальність розробки методів та засобів активно-пасивного та пасивного радіо- і акустичного моніторингу штучних об'єктів. Вказано на раціональність виявлення сигнатур акустичних і вторинних електромагнітних полів цих об'єктів та комплексної обробки отриманої інформації. Наводяться відомості про отримані наукові та практичні результати, зв'язок з науковими програмами.

**У першому розділі** дисертації на підставі огляду публікацій за темою дисертації проаналізовано параметри вторинних акустичних і радіосигналів та існуючі системи пасивного радіо- і акустичного моніторингу штучних об'єктів. Обґрунтовано актуальність таких систем, визначено перспективи комплексної обробки первинної інформації (інтелектуальних мереж), показано, що на даному етапі розвиток пасивних систем стримує відсутність достатньої кількості радіо- і акустичних портретів реальних об'єктів у реальному оточенні, а також методик та засобів їх визначення. На підставі цього сформульовані задачі даної роботи, а саме:

- розробити методику і визначити вимоги до вимірювальних засобів, створити вимірювальні комплекси;
- визначити характеристики акустичних полів наземних та повітряних об'єктів, дослідити особливості завад від поверхні суши та рослинності;
- встановити теоретично та експериментально підтвердити сигнатури електромагнітних та акустичних портретів зразків транспортної та іншої техніки;
- дослідити нестационарні радіозавади та акустичні шуми місцевостей, створити для них імітаційні моделі;
- створити методики оцінки дальності пасивних акустичних та активно-пасивних радіосистем, які використовують вже існуючі електромагнітні поля;
- розглянути перспективи використання нових інформаційних технологій.

**У другому розділі** проведено аналіз акустичних спектрів найбільш інтересних зразків техніки і найбільш розповсюджених завад, також проаналізовано трансформацію спектрів за рахунок природних факторів: властивостей атмосферного повітря, підстильної поверхні, поривів вітру. Аналіз проведено на підставі відомих даних та даних експериментів, які проводились особисто. Визначено, що пасивна акустична система може надати інформацію про тип наземної техніки і низко літаючих апаратів та дальність до цих об'єктів.

За для цього система повинна мати акустичні портрети відомих зразків техніки, адаптуватися до поривів вітру, подавляти шум дощу за допомогою окремого акустичного каналу, враховувати зміни портрету за рахунок дисперсії, яка виникає внаслідок властивостей повітря та підстильної поверхні.

**У третьому розділі** проведено аналіз ЕПР і акустичного випромінювання складових повітряних об'єктів та їх в цілому. Зроблено їх порівняння с природними шумами і завадами. Відомі дані доповнені результатами самостійно отриманих експериментальних оцінок.

В спектрах акустичних шумів різних типів літальних апаратів простежуються гармоніки частоти обертання гвинтів. А при оснащенні апарату ТРД дискретні лінії спостерігаються на частотах, кратних добутку частоти обертання валу двигуна на

кількість лопаток турбін. Показано розбіжність спектрів природних шумів і повітряних апаратів (БПЛА) типу літак та типу гелікоптер.

Значущим результатом є показ ефективності кепстрального аналізу для розпізнавання штучних об'єктів. Його ефективність показана як для акустичних випромінювань, так і для відбиттів ЕМ полів, які генеруються радіомовними станціями. Такий підхід дозволяє створити найбільш адекватні портрети різних видів техніки.

Показано, що для вирішення задачі розпізнавання більш інформативними є частоти модуляції. Зокрема, вібрації корпусу при роботі двигуна створюють корельовані по спектру акустичні шуми та відбиття ЕМ полів з ортогональними поляризаціями, що є суттєвою відемністю від природних завад. Рухоме вікно аналізу дозволяє визначити зміну режимів роботи.

**Четвертий розділ** присвячено аналізу завад та розробці моделей їх опису. На підставі великої кількості експериментально отриманих характеристик нестационарних завад для активних і активно-пасивних радіосистем, а також систем акустичної розвідки запропоновано методи їх опису з використанням вкладених напівмарківських процесів.

Радіолокаційне картографування проводилось на місцевості з різним покриттям ділянок у різні сезони за допомогою самостійно виготовлених імпульсних РЛС з довжинами хвиль 2 см і 8 мм. Визначено параметри покриттів, їх сезонну зміну. Особливу увагу приділено рослинному покриву, який має найбільшу змінність від сезону та метеообставин. Показано особливості використання відбиттів КХ та УКХ станцій. Аналогічні дослідження проведено і для акустичних хвиль. Для оптимізації обробки сигналів при проходженні хвилями середовищ з дисперсією використано модифікацію кореляційного інтегралу та узгодженого фільтру на основі його Фур'є-образу.

В цілому матеріал цього розділу дає достатньо повну картину завад та особливостей пасивних радіосистем, а також систем акустичної розвідки.

**П'ятий розділ** присвячено започаткуванню розробці методик побудови інтелектуальних систем з розподіленим інтелектом (Smart Grid) з використанням існуючої апаратури опромінення простору ЕМ хвилями. Це можуть бути мовні КХ і УКХ станції, власні засоби радіозв'язку мобільних об'єктів, навігаційні системи ГЛОНАСС, GPS, Galileo, BeiDou. Визначені умови до антен, методів фільтрації сигналів, оцінена ефективність комплексування різного типу сенсорів.

**У висновках** викладені найбільш важливі наукові та практичні результати, які отримано в дисертації.

**У додатках** показані результати, які експериментально отримані в процесі виконання роботи, довідкові дані та параметри експериментальних установок.

### Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність.

Аналіз змісту дисертаційної роботи Соболяка О.В. дозволяє зробити висновок про те, що на захист представлена завершена наукова робота, в якій

- виконано аналіз існуючих моделей розповсюдження електромагнітних та акустичних хвиль вздовж підстильної поверхні з урахуванням властивостей нижнього слою тропосфери, його метеорологічного стану;
- отримано та проаналізовано ряд акустичних та радіофізичних портретів зразків технічних об'єктів, визначено їх кореляційний зв'язок, запропоновано комплексне їх використання, що є прямим підґрунтям для розробки методик, апаратури та програмного забезпечення систем їх виявлення та розпізнавання;
- визначено радіофізичні особливості використання вже існуючих електромагнітних полів для отримання даних про стан і положення технічних об'єктів, а саме найбільш інформативні діапазони спектральних компонент, вимоги до діаграм спрямованості антенних пристроїв, тощо;
- запропоновано, розроблено і показана ефективність методики кепстральної обробки сигналів, які сгенеровані або відбиті технічними об'єктами, та методик використання фінітних атомарних функцій для опису нестационарних процесів у об'єктах, при відбитті та генерації сигналів, виникненні завад;
- визначено радіофізичні властивості та запропоновано моделі опису значного ряду найбільш розповсюджених підстильних поверхонь з урахуванням сезону, метеорологічного стану тощо;
- визначено ряд особливостей прийому акустичних сигналів, також з урахуванням типу підстильної поверхні і її стану, метеорологічних умов тощо;
- створено програми і виконано чисельні експерименти на ПЕОМ, проведено порівняння розрахункових характеристик радіо- та акустичних сигналів, отриманих на основі розроблених методів та апаратури, і вже признаних результатів інших дослідників, показано їх досить добре узгодження;
- отримані радіофізичні результати використані в звітах по НДР, що проводяться ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України: «Просторово-часові нестационарні електромагнітні та акустичні взаємодії в системі атмосфера – море – речовина; вплив стану середовища та складних відбивачів на дистанційну діагностику при локаційному і ретрансляційному зондуванні та на метеорний радіозв'язок (шифр «Обрій»), «Використання випромінювань штучних супутників Землі та телевізійних центрів для дослідження атмосферних процесів» (шифр «Діагностика»), «Взаємодії електромагнітних і акустичних хвиль в системі довкілля-речовина та їх використання для вирішення проблем радіолокації, енергетики, екології, медицини та зв'язку» (шифр "Обрій-2").

Таким чином, дисертація Соболяка О.В. містить комплекс досліджень і розробок від постановки завдання до впровадження, передбачених метою роботи і її основними завданнями. Це дозволяє стверджувати, що **дисертаційна робота Соболяка О.В.** на тему «Моніторинг електромагнітних і акустичних випромінювань антропогенних об'єктів», є **завершеною.**

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.**

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, досить обґрунтовані і достовірні, так як вони є наслідком основних положень і закономірностей теорії дифракції та розповсюдження електромагнітних та акустичних хвиль. Вони сформульовані на основі ретельно проведеного автором теоретичного аналізу та чисельного моделювання, порівняння отриманих розрахункових даних з результатами вже признаних та самостійно проведених експериментальних досліджень. Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на багатьох міжнародних науково-технічних конференціях і семінарах.

### **Наукова новизна дисертаційної роботи**

Наукова новизна дисертації Соболяка О.В. полягає в наступному.

1. Вперше запропоновано використання напівмарківських вкладених процесів з декількома фазовими станами для створення імітаційної моделі нестационарних акустичних шумів природного і антропогенного походження, а також пасивних завад від поверхні, яка покрита рослинністю.
2. Запропоновано модифіковану двовимірну кореляційну функцію, яка дозволяє порівнювати характеристики, отримані на різних довжинах хвиль та показано, що кепстральна обробка дозволяє виділяти періодичності, які пов'язані з обертами двигуна.
3. Вперше запропоновано методика визначення акусто-електромагнітних сигнатур за оптичними зображеннями об'єктів техніки. Показано, що частоти модуляції розсіяного сигналу гвинтами повітряних об'єктів пов'язані з їх габаритними розмірами та акустичними шумами.
4. Вперше у спектрах радіолокаційного відбиття від лопатей гвинта повітряних об'єктів, які отримані при інтервалах спостереження менших за період обертання, виявлені сплески спектральної щільності у високочастотній області з частотою, кратною частоті їх обертання. Встановлено, що високочастотні компоненти спектра цих віддзеркалень, взаємно корельовані.

5. Показано, що інтерференційні явища при віддзеркаленні від поверхні Землі з відстанню призводять до звуження спектра акустичного шуму.

### **Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Практичне значення результатів дисертаційної роботи Соболяка О.В. полягає в наступному.

1. Розроблено методику виявлення об'єктів наземної та повітряної техніки за їх акустичним випромінюванням та оцінки дальності до неї в умовах загасання в атмосфері та інтерференційного ослаблення його земною поверхнею.
2. Показано, що акустичні шуми і оптичні зображення об'єктів техніки можуть служити основою для створення методик визначення сигнатур в радіолокаційних портретах. Акустичні портрети повітряних і наземних об'єктів техніки можуть використовуватися для розрізнення її типів.
3. Показано, що виявлений широкосмуговий сплеск у високочастотній області з частотою обертання гвинта, може служити основою для створення методик виявлення вертольотів, які не рухаються і доплерівський зсув частоти відбитого сигналу відсутній.
4. Співпадіння спектральних компонент різних поляризацій, що виникли внаслідок вібрації обшивки під впливом рушійної установки, є основою для створення методик визначення об'єкту з працюючим двигуном на фоні завад від місцевості.
5. Основою методик радіолокації і дистанційного зондування є визначене зниження спектральної щільності і на частот від 6 до 60 Гц відносно несучої у спектрах сигналів мовних станцій КХ і УКХ діапазонів.
6. Запропоновані імітаційні моделі акустичних шумів місцевості і об'єктів, радіолокаційних віддзеркалень від суші дозволяють оцінювати робочі характеристики систем акустичної розвідки і активно-пасивних систем радіолокації.
7. Збіг особливостей акустичних та вторинних електромагнітних випромінювань природних та антропогенних об'єктів, визначає перспективу розроблення методик моніторингу довкілля.

Результати дисертаційної роботи Соболяка О.В. можуть бути використані при розробці методів і систем пасивного та пасивно-активного моніторингу довкілля з використанням випромінювань мовних телевізійних та радіо станцій, систем глобальної супутникової навігації та власних акустичних випромінювань; у навчальному процесі навчальних заходів, що готують фахівців в області розробки і експлуатації радіосистем зв'язку (Харківському національному університеті радіоелектроніки, Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут").

## **Апробації та публікації результатів дисертаційної роботи, повнота їх викладу**

Основний зміст дисертації Соболяка О.В. викладено у 8 статтях, опублікованих у періодичних журналах та збірниках, один з яких входить у науко метричну базу Scopus, інші – до Переліку Міністерства освіти і науки України, а також у 14 тезах доповідей на конференціях та в 1 патенті України. В опублікованих роботах достатньо повно викладено зміст дисертації, положення, висунуті на захист, результати досліджень і висновки дисертаційної роботи.

Наукові положення, винесені на захист, обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях і семінарах.

Таким чином, основні результати дисертації достатньо повно апробовані та відомі фахівцям.

Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають вимогам, встановленим Міністерством освіти і науки України.

### **Оформлення та відповідність змісту автореферату й дисертаційної роботи**

Оформлення, обсяг дисертації, стиль і мова викладу, структура відповідають встановленим вимогам Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій. Робота викладена з коректним використанням науково-технічної термінології. Завдання та їх рішення викладені аргументовано.

В авторефераті наведено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів. Вказується особистий внесок автора в кожну публікацію. Наведено відомості про впровадження та апробацію результатів дисертаційних досліджень.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи досить повно.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає встановленим вимогам.

### **Області можливого використання результатів дисертації**

Областями можливого використання результатів дисертації Соболяка О.В. можуть бути:

- розробка пасивних та пасивно-активних систем розпізнавання і локалізації техногенних об'єктів в інтересах таких галузей, як оборона, екологія, ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій;
- дистанційне зондування тропосфери Землі;
- системи моніторингу довкілля;



- навчальні заклади, що готують фахівців в області розробки і експлуатації радіосистем локації, навігації і зв'язку.

### Зауваження по дисертаційній роботі і автореферату

Незважаючи на те, що дисертаційна робота Соболяка О.В. відрізняється високим рівнем досліджень, в ній є ряд недоліків.

1. До помилок автора можна віднести вказану на стор.31 ЕПР акустичного імпульсу, яка відноситься до методу радіоакустичного зондування, і її порівняння з ЕПР турбулентності (табл.1.1), яке відноситься до розсіяння акустичних хвиль у атмосфері.
2. До недосконалості висновків можна віднести вказану на стор.97 можливість перенесення результатів НВЧ локації місцевості на УКХ та КХ діапазон.
3. До недосконалості експериментів можна віднести вимірювання параметрів вологовмістких рослин на 27 и 85 ГГц і перенесення цих результатів на 3ГГц і 40ГГц (стор. 119). Було б коректно використовувати той самий діапазон, бо частота релаксації вільної води близько до 10ГГц.
4. До недосконалості запропонованих алгоритмів і методик можна віднести використання своїх радіотехнічних засобів групою мобільних об'єктів для підсвічування цілей (стор.160), де не враховано вимогу орієнтації ДС антени на ціль, а мінімум – на стачію підсвічування.
5. Бажано було б для завершення аналізу умов розповсюдження хвиль на приземних трасах провести дослідження і навести результати екранування, наприклад лісополосами, іншими антропогенними об'єктами;
6. Також у тексті має місце неточність викладення, наприклад при показі кратних частот бажано використати лінійний масштаб, а не логарифмічний (рис.2.2 г, 2.10), написи на багатьох рисунках (2.8, 3.3, 3.7, 3.8, 4.13, 4.14 та інші), щільність спектру не на «нульових частотах», а «при  $f \rightarrow 0$ », формула (4.13); побудова табл.Б.4, Б.5 і функцій розподілення на рис.4.1, та описки, наприклад: у формулі (2.8) – «імпеданс хвиль  $Z$ », а не середовищ; на стор.66 «площа... поверхні» та її нахил; у формулі (2.9)  $F$  і  $\rho_s$  позначені як «коефіцієнти відбиття», позначення графіків на рис.2.11, тощо.

### Висновки

Зазначені недоліки не знижують загальної високої оцінки роботи. Зокрема, зазначена вище помилка автора не вплинула на результати роботи, бо метод радіоакустичного зондування не лежить у руслі досліджень даної роботи, а є лише їх фоновою ілюстрацією.

Тому представлена Соболяком О.В. дисертація на тему «Моніторинг електромагнітних і акустичних випромінювань антропогенних об'єктів» є завершеною науковою працею на актуальну тему. В цій роботі формулюється і вирішується актуальна наукова задача – отримання інформації про положення і тип антропогенних об'єктів з вже існуючих електромагнітних та акустичних полів. У дисертації отримано нові наукові результати, обґрунтовані теоретично і підтверджені результатами спостережень і комп'ютерного моделювання.

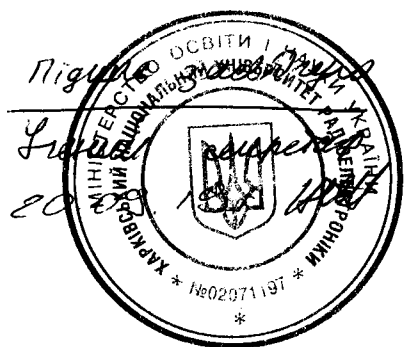
Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, результати досліджень повністю відображені в публікаціях. Їх кількість і повнота відображення повністю відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України.

За своєю тематичною спрямованістю дисертаційна робота Соболяка О.В. відповідає паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика, і вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» до дисертацій на здобуття **наукового ступеня кандидата наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567**, тому, узагальнюючи усе вищезначене, вважаю, що Соболяк О.В. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Завідувач кафедри проектування та експлуатації  
електронних апаратів Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
доктор фіз.-мат. наук, професор



О.Ю. Панченко



*С. В. Майданик*