

## ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу Попова Ігоря Володимировича «Моніторинг довкілля з використанням випромінювань існуючих радіосистем наземного та космічного базування», яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.**

### **Актуальність теми.**

Використання активних радіолокаційних комплексів для діагностики довкілля є економічно витратним, вимагає ремонту й обслуговування та отримання спеціальних дозволів на використання радіочастот, а перенасичення радіопередавальних засобів значної потужності сприяє електромагнітному забрудненню.

Використання для дистанційного зондування зовнішнього підсвічування сигналами наявних систем наземного та космічного базування дозволяє мінімізувати витрати на дослідження та отримати систему, яка не потребує використання додаткових джерел випромінювання та проводити безперервний моніторинг довкілля на великих територіях. Цікавим є також, окрім дослідження прямого сигналу, на якій впливає довкілля, дослідження сигналів, відбитих від підстильної поверхні та розсіяних повітряними об'єктами, що знаходяться на шляху поширення цих сигналів.

Дослідження впливу довкілля на сигнали навігаційних супутників дозволяє одночасно проводити діагностику атмосфери Землі та вирішувати завдання підвищення точності навігаційного обладнання, основним джерелом похибок для яких і є процеси в атмосфері планети.

Зазначене вище обумовлює **актуальність** дисертаційної роботи, метою якої є розв'язання задач моніторингу та визначення параметрів довкілля з використанням випромінювань наявних систем наземного та космічного базування.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

У дисертації наведено узагальнені результати досліджень, отримані автором в період 2003 - 2020 рр., засновані на програмах, планах і держбюджетних темах наукових досліджень Інституту радіофізики та електроніки 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»), яка виконувалася в період із 01.01. 2013 р. по 31.12. 2017 р. на підставі Постанови Бюро ВФА НАН України від 23.05.2012 р., протокол № 5, № державної реєстрації 0113U000048 (виконавець);

«Використання випромінювань штучних супутників Землі та телевізійних центрів для дослідження атмосферних процесів», шифр «Діагностика» (2013 – 2014 рр.), № Державної реєстрації 0113U002976 (виконавець), 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 (виконавець).

**Загальна характеристика роботи.** У дисертаційній роботі розроблено методику оцінки рефракційних властивостей тропосфери по амплітуді ультракороткохвильових (УКХ) сигналів на заобрійній трасі. Експериментально досліджено характеристики інверсійних відбиваючих шарів в тропосфері по змінах інтенсивності сигналу на приземних заобрійних трасах для середньої смуги широт. Розроблено методику для оцінки дальності виявлення та ЕПР повітряних об'єктів для активно – пасивних систем зондування. Експериментально досліджено спектральні характеристики сигналів радіомовних короткохвильових (КХ) станцій на різних поляризаціях прийнятого випромінювання. Розроблено методику використання сигналів глобальної навігаційної супутникової систем (ГНСС) для оцінки коефіцієнтів відбиття від схвильованого моря та ступеня шорсткості поверхні та хвилювання моря. Теоретично й експериментально досліджено статистичні характеристики сигналів передавальних станцій УКХ та КХ діапазонів, які можуть бути використані для підсвічування, в смузі доплерівських частот для оцінки характеристик виявлення активно-пасивних систем радіолокації та розробки алгоритмів виділення сигналів, відбитих від повітряних об'єктів. Розроблено методику синтезу нееквідистантних розріджених антенних решіток для систем моніторингу навколишнього середовища, засновану на використанні властивостей магічних квадратів. Експериментально досліджено уповільнення електромагнітної хвилі, розподіл поверхневого струму та вхідного імпедансу симетричного вібратора, плечі якого складаються з циліндричних спіралей з діаметром і кроком, малими в порівнянні з довжиною хвилі. Досліджено статистичні взаємозв'язки різних спектральних компонент сигналу радіомовних станцій з використанням апарату матриці кореляції спектральних компонент (МКСК).

Таким чином автором розроблено методики та розглянуто особливості застосування сигналів радіомовних і телевізійних станцій КХ і УКХ діапазонів та ГНСС для моніторингу рефракційних властивостей тропосфери, стану морської поверхні та розв'язання завдань радіолокації.

Найбільш значущі **нові наукові результати**, отримані у роботі, я вважаю такі:

- Розроблено методику оцінки дальності виявлення та ЕПР повітряних об'єктів для активно - пасивних систем зондування та експериментально встановлено при підсвічуванні іоносферною хвилею радіомовних КХ станцій, що ЕПР літаків в резонансній області як на горизонтальній, так і на вертикальній поляризаціях сягають кілька тисяч квадратних метрів.



- Розроблено методику використання сигналів ГНСС для оцінки стану морської поверхні та експериментально встановлено, що сигнали навігаційних супутників відбиті від морської поверхні чутливі до зміни її стану та ступеня хвилювання.
- По експериментально отриманих змінах інтенсивності сигналу на приземних заобрійних трасах в середній смузі широт встановлено, що статистики завмирання, коефіцієнтів відбиття і висот інверсійних шарів описуються стандартною Гаусовою моделлю на відміну від розподілу ефективного градієнта індексу рефракції в шарі, істотному для поширення радіохвиль та розподілу швидкості переміщення інверсійних шарів.
- Розроблено методику синтезу нееквідистантних розріджених антенних решіток із використанням властивостей магічних квадратів.
- Розроблено імітаційну модель завад, створюваних випромінюванням радіомовних станцій, на основі вкладених двокомпонентних напівмарківських процесів, що враховує наявність двох фаз різної інтенсивності, які фізично зумовлені дискретним характером модулюючих сигналів радіомовних станцій.
- Запропоновано використання апарату МКСК для опису статистичних взаємозв'язків різних спектральних компонент сигналу радіомовних станцій. При дослідженні коефіцієнтів взаємної кореляції різних спектральних компонент в спектрах сигналів радіомовних станцій КХ діапазону експериментально встановлено, що поява додаткових елементів із високою кореляцією на частотах гармонік може свідчити про наявність нелінійних спотворень в радіоприймальному тракті.

**Обґрунтованість і достовірність** основних положень висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, обумовлено:

- Чіткою постановкою сформульованої проблеми та складових задач, переконливим обґрунтуванням необхідності її вирішення.
- Методичною цілісністю дисертації, яка включає як теоретичні методи статистичної радіофізики, радіотехніки, математичної статистики, теорії статистичних рішень, так і експериментальні методи.
- Великим обсягом проведених експериментальних досліджень у натурних умовах.
- Узгодженням отриманих результатів і висновків із сучасними фізичними моделями, перевіркою запропонованих співвідношень шляхом зіставлення з експериментальними даними.

**Практичне значення** проведеної автором роботи полягає в наступному:

- Оцінки ЕПР літака, що спостерігається в дослідях, свідчать о можливості використання для освітлення повітряного стану в КХ діапазоні поверхневу хвилю вертикальної поляризації та при порівнянних потенціалах РЛС збільшити дальність виявлення у порівнянні з діапазоном надвисоких частот (НВЧ) в КХ діапазоні до 300 разів.
- Методика використання сигналів навігаційних супутників може застосовуватися для діагностики стану підстильної поверхні.

- Методика синтезу нееквідистантних розріджених антенних решіток може використовуватися для конструювання великих антенних решіток зі зменшеною кількістю елементів та повним покриттям просторових частот.
- Використання апарату МКСК може застосовуватися для моніторингу нелінійних спотворень в радіоприймальному тракті.

**Повнота викладу основних результатів дисертації.** Аналіз публікацій автора показав, що вони мають усі необхідні елементи, що підкреслюють повноту розкриття розроблених питань. Результати дисертаційної роботи досить повно висвітлено у відповідних публікаціях, що включають 15 статей опублікованих в журналах і збірниках, які входять до відповідного переліку фахових видань України за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика. Робота має достатню апробацію на 11 міжнародних і всеукраїнських конференціях у вигляді 12 доповідей.

**Зміст та структура автореферату** цілком відповідають змісту, структурі, основним положенням та висновкам дисертації.

**Зауваження та недоліки.** Відзначаючи високу наукову та практичну значимість роботи та підтверджуючи обґрунтованість висновків й отриманих результатів, по суті їх змісту необхідно зробити наступні зауваження:

- Було б корисним порівняти статистичні характеристики відбиваючих інверсійних шарів в тропосфері та відбитих від них сигналів, які було отримано для середній смуги широт із регіонами, які мають інші кліматичні умови.
- При розрахунку коефіцієнтів відбиття сигналів ГНСС відбитих від морської поверхні було б корисним врахувати вплив діаграми спрямованості приймальної антени.
- Показано вплив морського хвилювання на характеристики дзеркального та дифузного відбиття, однак відсутні емпіричні залежності, що пов'язують ці характеристики.
- Експериментально встановлено, що ЕПР повітряних об'єктів на веритикальній та горизонтальній поляризаціях в КХ діапазоні можуть сягати тисяч квадратних метрів, однак відсутній аналіз перспективності використання цих поляризацій в активно-пасивних системах при їх виявленні.
- Запропоновано модель та досліджено характеристики завад активно-активно-пасивним системам КХ діапазону на території України, однак, було б корисним дізнатись, наскільки вони можуть використовуватись для опису завад у інших регіонах Землі.

Разом з тим, вказані зауваження не порушують принципово суть роботи, не впливають суттєво на кінцеві результати досліджень, не зменшують наукову значущість і актуальність дисертації та не знижують високу оцінку наукового рівня роботи.

**Загальний висновок** по роботі, не зважаючи на зазначені зауваження, є **позитивним**. Дисертаційна робота Попова І.В. "Моніторинг довкілля з використанням випромінювань існуючих радіосистем наземного та космічного



базування" є завершеним і цілісним дослідженням з чіткою структурою і логічним викладанням матеріалу, в якому розв'язано важливу наукову задачу, а відображені в ньому нові науково обґрунтовані результати мають суттєве значення для подальшого розвитку актуального на сьогодні радіофізичного напрямку – моніторингу довкілля з використанням випромінювання існуючих наземних і супутникових радіосистем.

З урахуванням актуальності, наукової новизни, теоретичної та практичної значущості результатів вважаю, що дисертаційна робота Попова І.В. "Моніторинг довкілля з використанням випромінювань існуючих радіосистем наземного та космічного базування" повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а її автор, Попов Ігор Володимирович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03. - радіофізика.

Офіційний опонент

ст. наук. співробітник,

проректор з наукової роботи

Національного аерокосмічного університету

ім. М. Є. Жуковського „ХАІ”

доктор технічних наук



В.В. Павліков