

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію 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 дисертації. Вибухоподібне зростання рівня технологій та енергоозброєності людської цивілізації, що відбулося у ХХ сторіччі, крім безлічі переваг, нажаль, мало також істотну низку суттєвих вад і недоліків. Повсякденний, часто бездумний, безсистемний і неконтрольований, вплив людини на стан геокосмосу призвів до того, що на початку ХХІ сторіччя не тільки загострилися глобальні екологічні, енергетичні, економічні, політичні, соціальні і т. і. проблеми, а й виникла цілком реальна загроза самому існуванню нашої цивілізації. При цьому з'ясувалося, що головною загрозою є не стільки можливість виникнення безпосередньо глобального ядерного конфлікту (а накоплених ядерних арсеналів вистачить принаймні на десятикратне знищення біосфери), скільки нищівний вплив багатьох локальних факторів зі значно меншими величинами енерговиділення. Останнє можна пояснити в рамках нелінійної та системної парадигм Л. Ф. Чорногора. Справа в тому, що геокосмос є відкритою, принципово нелінійною, динамічною системою, процеси взаємодії підсистем в якій відрізняються особливою складністю та різноманіттям. Зокрема, добре відомий «ефект метелика», механізми виникнення нестійкостей, нелінійних коливань і хвиль, динамічного хаосу та самоорганізації, фрактальних і мультифрактальних структур і процесів і т. і. цілком здатні за досить короткі проміжки часу викликати суттєві зміни стану геокосмосу, до того ж як локального, так і великомасштабного і, навіть, глобального характеру. Нажаль, більша частина таких змін має є виключно негативними.

Саме тому створення та вдосконалення глобальної міжнародної системи оперативного моніторингу стану геокосмосу на теперішній час є однією з найнагальніших проблем сучасної людської цивілізації, оскільки йдеться не про комфорт або розвиток, а про можливість продовження самого її існування. Успішне розв'язання даної проблеми стає можливим лише у разі плідної та тісної співпраці всіх країн світового співтовариства. Сучасна Україна також бере у цьому активну участь, спираючись на свій потужний науковий потенціал.

Одним із основних напрямків розв'язання згаданої проблеми є застосування методів дистанційного радіозондування (ДР), імплементованих у різноманітні радіотехнічні системи (РТС) як наземного, так і космічного базування. Особливо привабливими є пасивні методи, що використовують випромінювання вже існуючих РТС. З одного боку, разом з успішним досягненням поставленої мети це дає можливість економії матеріальних і фінансових ресурсів, а з іншого – має суттєвий екологічний сенс, знижуючи електромагнітне «навантаження» на навколишнє середовище. Саме у напрямку створення нових і вдосконалення існуючих переважно пасивних методів ДР

геокосмосу й спрямовано дослідження, результати яких викладено в даній дисертаційній роботі.

Автор дисертації має *на меті* теоретичну розробку та практичну реалізацію радіофізичних методик моніторингу стану навколишнього середовища з використанням існуючих випромінювань наявних телевізійних і радіомовних станцій, а також систем супутникової глобальної навігації.

Задля досягнення поставленої мети необхідно розв'язати низку *задач*, пов'язаних з:

- дослідженням особливостей застосування сигналів телевізійних і радіомовних станцій короткохвильового (КХ) та ультра-короткохвильового (УКХ) діапазонів, а також глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) в задачах радіолокації та моніторингу стану геокосмосу;
- розробкою та створенням низки відповідних реальних вимірвальних комплексів;
- теоретичним та експериментальним дослідженнями статистичних характеристик відповідних реальних сигналів, а також створенням нових та вдосконаленням існуючих алгоритмів виділення таких сигналів на тлі завад;
- дослідженням можливості та доцільності використання новітніх математичних ідей для побудови двовимірних антенних решіток із покращеними характеристиками;
- дослідженням уповільнення електромагнітної хвилі симетричного вібратора зі спеціальними особливостями геометрії;
- розробкою нових методик для описання нестационарних процесів з використанням найсучаснішого математичного апарату.

Тема дисертації пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки, визначеними Верховною Радою України. Результати дисертації отримано в 2003 – 2020 рр., зокрема, у 2013 – 2020 рр. – в рамках виконання 3 науково-дослідних робіт, в якій автор приймав участь на посаді *виконавця*.

Таким чином, низка задач, розв'язаних автором дисертації, у сукупності дійсно утворює важливу задачу сучасної радіофізики, що полягає у дистанційній діагностиці стану поверхні моря, тропосфери Землі та виявленні в ній утворень та об'єктів природного й антропогенного походження з використанням випромінювань телевізійних і радіомовних станцій, а також штучних супутників Землі зі складу систем глобальної навігації. Тому **актуальність** теми досліджень, проведених у дисертації І. В. Попова, не викликає жодних сумнівів.

Оцінка обґрунтованості наукових положень дисертації, їхньої достовірності та новизни.

Наукові результати, висновки та рекомендації, що отримано в роботі, не суперечать загальновідомим положенням сучасної радіофізики. Достовірність отриманих результатів зумовлена застосуванням комплексу сучасних методів дослідження та методик обробки результатів. Вона підтверджується математичною коректністю постановки та розв'язання задач, результатами математичного моделювання й експериментальних досліджень, узгодженістю отриманих результатів у граничних випадках із результатами інших авторів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному. Створено методику оцінки рефракційних властивостей тропосфери за амплітудою УКХ сигналів на загоризонтній трасі шляхом вимірювання множника послаблення в точках, що рознесено по висоті. Експериментально отримано характеристики інверсійних відбиваючих шарів у тропосфері за змінами інтенсивності сигналу на приземних загоризонтних трасах для середньої смуги широт, проаналізовано їх особливості. Запропоновано методику оцінки дальності виявлення й ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) повітряних цілей для активно – пасивних систем ДР. Експериментально досліджено залежність спектральних характеристик сигналів радіомовних КХ станцій від їх поляризації. Наведено теоретичні оцінки залежності ЕПР повітряних цілей від поляризації падаючого радіосигналу. Вперше експериментально встановлено, що за використання іоносферної хвилі радіомовних станцій КХ діапазону як сигналу підсвічування ЕПР літаків середніх розмірів (АН-74 має довжину 28 м та розмах крила майже 32 м, АН-140 – 22,6 м та 25,5 м відповідно) є цілком достатньою для використання при розв'язанні задачі виявлення таких радіосигналів із вертикальною поляризацією. Вперше запропоновано методику використання сигналів ГНСС для оцінки коефіцієнтів відбиття від схвильованої морської поверхні та ступеня шорсткості поверхні та хвилювання моря. Із використанням вкладених двокомпонентних напівмарківських процесів розроблено імітаційну модель завад, що створює випромінювання радіомовних станцій КХ та УКХ діапазонів. Запропоновано методику синтезу нееквідистантних розріджених антенних решіток, що ґрунтується на використанні «магічних» квадратів. Експериментально досліджено ефект уповільнення електромагнітної хвилі, що виникає у симетричному вібраторі спеціального виду, виявлено умови виникнення такого ефекту, оцінено параметри процесів, що виникають у вібраторі. Базуючись на апараті матриць кореляції спектральних компонент (МКСК), запропоновано опис статистичних взаємозв'язків спектральних компонент сигналів радіомовних станцій, виявлено їх особливості.

Практична цінність результатів дисертації І. В. Попова полягає у наступному.

- Запропоновані автором підходи дозволяють здійснювати оперативний моніторинг стану геокосмосу (отримання даних про атмосферні процеси, безперервний контроль за станом тропосфери, розв'язання задач радіолокації) із суттєвим зниженням матеріальних і фінансових витрат порівняно з відповідними методами активного ДР.
- Розроблена методику використання сигналів ГНСС може використовуватися для діагностики стану підстилаючої поверхні, оцінки коефіцієнтів відбиття, шорсткості поверхні та ступеня хвилювання моря.
- Експериментально отримані оцінки ЕПР літака середніх розмірів (довжина 22 – 28 м, розмах крила 25 – 32 м) дозволяють сподіватися на істотне збільшення (принаймні, на порядок) максимальної дальності дії відповідної радіолокаційної станції (РЛС) КХ діапазону порівняно з

аналогічною РЛС, що оперує в НВЧ діапазоні.

- Запропонована методика синтезу нееквідистантних розріджених антенних решіток, що базується на використанні «магічних» квадратів, дозволяє створювати великі антени, в яких за суттєвого зниження коефіцієнтів заповнення та надмірності не відбувається погіршення їх просторових характеристик.
- Створений вібратор спеціального виду, що функціонує у КХ діапазоні, має плечі, лінійні розміри яких можна зробити до 10 разів меншими, ніж у аналогічного традиційного лінійного симетричного вібратора. Це досягається без одночасного погіршення широкосмуговості такого вібратора.
- Спектрально-поляризаційні портрети розсіяних сигналів КХ діапазону, створені з використанням методу МКСК, можуть використовуватися для розв'язання задач виявлення та розрізнення сигналів, при дослідженні особливостей сигналів, відбитих від морської поверхні, гідрометеорів, наземних і надводних цілей і т. і., а також при створенні відповідних РТС.

Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях. Всі результати дисертації І. В. Попова опубліковано в провідних фахових національних і закордонних виданнях. Вони неодноразово доповідались на наукових конференціях високого рівня, де пройшли цілком достатню апробацію. Основні результати дисертації І. В. Попова повною мірою викладено в 27 наукових публікаціях: в 15 наукових статтях у виданнях, що належать до Переліку МОН України за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика, та 12 тезах доповідей конференцій. Статті опубліковано в наступних закордонних журналах: «Telecommunications and Radio Engineering», «Journal of Measurement Science and Instrumentation», «Journal of Marine Science and Technology», а також у провідних українських журналах з Переліку, затвердженого МОН України, зокрема, «Радиофизика и электроника», «Космічна наука і технологія» та «Прикладная радиоэлектроника». На наукові праці І. В. Попова є посилання у наукових роботах інших авторів, прізвище автора є добре відомим у наукометричних базах даних, зокрема, у «Scopus» (станом на початок квітня 2021 р. – 110 цитувань, 56 робіт автора).

Можливі шляхи використання результатів досліджень. Отримані в дисертаційній роботі І. В. Попова наукові результати можуть бути використані в установах та організаціях, які займаються радіофізичними дослідженнями, в тому числі й моніторингом стану геокосмосу, зокрема, в ІРЕ НАНУ та РІ НАНУ, а також у вищих навчальних закладах, зокрема, ХНУ імені В. Н. Каразіна, ХНУРЕ, НПУ «ХП», НАКУ «ХАІ», НПУУ «КП», КНУ імені Т. Г. Шевченка, ДНУ і т. і.

Оформлення дисертаційної роботи. Дисертаційну роботу написано загальнозрозумілою науковою мовою, оформлено відповідно до існуючих вимог Міністерства освіти і науки України, зміст і стиль викладання матеріалу свідчить

про високий рівень наукової кваліфікації автора. Автореферат повністю відповідає дисертації, а її основні положення є повністю ідентичними змістові автореферату.

Зауваження та помічені недоліки.

1. Оформлення роботи.
 - Інколи в тексті як дисертації, так і автореферату зустрічаються окремі технічні помилки (наприклад, дисертація, стор. 22, абз. 1: «поляризацю» замість «поляризацію»; стор. 23, абз. 6: «МСКК» замість «МКСК»; автореферат, стор. 12, абз. 3: «УЕПР» замість «ЕПР»).
 - Для деяких формул відсутні пояснення сенсу фізичних величин, які там використовуються (наприклад, у формулі (1.1) залишається невідомим, що таке « f » і « T »; на стор. 36 в абз. 2 не зрозуміло, що таке « h »; у формулі (2.2) не сказано, що таке « a_e » і т. і.).
 - Інколи розмір літер у формулах є меншим за той, що використовується в основного тексту (наприклад, формули (1.1), (2.7), (2.9) – (2.11)).
2. Мова та стиль викладання матеріалу.
 - Інколи зустрічаються тавтологія (наприклад, «вимірювальний комплекс для вимірювання...», стор. 20, абз. 5; «приймається приймачем», стор. 30, абз. 1), а також окремі синтаксичні та пунктуаційні помилки.
 - Подекуди автор вживає некоректні з точки зору української мови терміни: наприклад, «спектральна щільність шуму» замість «спектральна густина шуму» (стор. 17, абз. 8), «особливості зверхдалекого поширення» замість «особливості наддалекого поширення» (стор. 18, абз. 4), «на заобрійній трасі» замість «на загоризонтній трасі» (стор. 21, абз. 6), «при вимірі температури» замість «при вимірюванні температури» (стор. 33, абз. 2), «вирішення завдань радіолокації» замість «розв'язання задач радіолокації» (автореферат, стор. 2, абз. 5), «в чисельному аналізі» замість «в числовому аналізі» (стор. 139, абз. 5), «твір функцій» замість «добуток функцій» (стор. 140, абз. 5), «густина вірогідності» замість «густина ймовірності» (стор. 140, абз. 7) і т. і.
 - Інколи зустрічаються речення, які не можна прочитати (наприклад, стор. 30, абз. 1, речення 1; стор. 41, абз. 2, 3, речення 1; стор. 49, абз. 2; стор. 58, абз. 2; стор. 139, абз. 4, речення 2) або які дещо спотворюють цілком слушну думку самого автора (наприклад, стор. 140, абз. 3).
3. На стор. 67 сказано, що в експериментах брали участь два літаки – Ан-74 і Ан-140, але в обговоренні результатів згадується лише перший з них. Чому? Адже другий літак має дещо менші геометричні розміри, а тому дуже цікаво було б побачити значення досліджуваних характеристик і для нього. Більш того, в табл. В.1 про Ан-140 відомостей чомусь немає.
4. Оскільки експериментальні оцінки ЕПР літака в діапазоні КХ радіосигналів зроблено лише для АН-74, залишається незрозумілим, наскільки ефективною виявиться запропонована автором методика для літаків менших розмірів, а також ракет, безпілотних літальних апаратів тощо. До того ж цікаво було б дослідити, чи є обмеження застосування

даної методики по висоті цілі, а також наскільки методика є ефективною для розв'язання задачі розрізнення цілей (наприклад, у випадку виявлення групової цілі).

5. У тексті дисертації (стор. 19, абз. 3) сказано, що «у дисертації наведено узагальнені результати досліджень, отриманих автором в період 2003 – 2020 рр.». Натомість у авторефераті (стор. 2, абз. 2) в аналогічній ситуації наведено інші часові межі: 2013 – 2020 рр. Скоріш за все, автор мав на увазі, що займатися відповідними дослідженнями він почав ще у 2003 р. (дата першої статті), тоді як перша НДР за цією тематикою з його безпосередньою участю з'явилася дійсно у 2013 р.
6. Невдалим виглядає посилання на літературне джерело по теорії «магічних» квадратів. По-перше, посилання зроблено зовсім в іншому місці тексту, ніж читач його очікує, а по-друге, саме джерело виглядає дещо дивним. На мою думку, більш солідними джерелами можуть бути, наприклад, 1) Постников М.М. *Магические квадраты*. – М.: Наука, 1964. або 2) Gardner, M. *Magic Squares and Cubes*. Part 17 in *Time Travel and Other Mathematical Bewilderments*. – New York: W. H. Freeman, 1988.
7. У п'ятому розділі виникла певна термінологічна плутанина. Автор говорить про «апроксимацію атомарними функціями (АФ) Кравченка – Рвачова», але наводить аналітичний вираз лише для материнської АФ $up(x)$, яку, до речі, прийнято називати саме так. Решту функцій, які є нащадками материнської АФ і утворюють власне клас АФ, спеціалісти йменують просто «атомарними функціями». Натомість ім'я Кравченка – Рвачова носять вагові (віконні) функції та вейвлети, зокрема, аналітичні вейвлети Кравченка – Рвачова (АКР-вейвлети). Насправді ж у даній роботі автор використав деякий функціонал, що містить у своєму складі суму двох зсунутих одна відносно одної материнських АФ з різними масштабами. Але називати їх «АФ Кравченка – Рвачова» є не слід.
8. В теорії сигналів прийнято самі сигнали позначати малими літерами, а їх фур'є-спектри – великими. Робиться це задля уникнення плутанини у формулах. Нажаль у параграфі 5.3 так зроблено не було, через що виникли певні незручності при читанні.
9. На мою думку, п'ятий розділ за докладністю викладення матеріалу та повнотою описання істотно поступається трьом попереднім.

Але наведені вище недоліки суттєво не впливають на загальне позитивне враження від цікавої, змістовної та корисної дисертаційної роботи І. В. Попова.

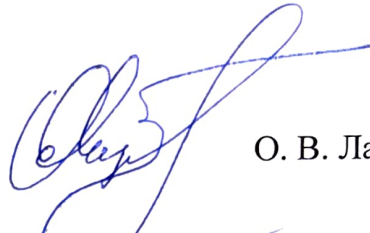
Загальний висновок.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Дисертація є одноосібним завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язано актуальну наукову задачу сучасної радіофізики, що полягає в розробці радіофізичних методик моніторингу стану навколишнього середовища з використанням існуючих випромінювань телевізійних і радіомовних станцій, а також систем супутникової глобальної навігації.

Дисертаційна робота в цілому за отриманими результатами, змістом та оформленням задовольняє вимогам пункту 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор **Попов Ігор Володимирович** заслужує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,
завідуючий кафедрою загальної фізики
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна,
доктор фізико-математичних наук, доцент



О. В. Лазоренко

НАЧАЛЬНИК СЛУЖБИ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ



09.04.2021