

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Попова Дмитра Олеговича** "Дистанційне зондування навколишнього середовища з використанням випромінювань глобальних навігаційних супутникових систем", яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Актуальність теми дисертації. За останні десятиріччя глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС) посіли дуже важливе місце у арсеналі «технологічного озброєння» людської цивілізації. ГНСС широко використовуються для розв'язання великої кількості задач у різних галузях науки та техніки (наприклад, у геодезії, картографії, аерофотозйомці, прогнозуванні погоди, транспорті і т. і.). В багатьох випадках успішність використання ГНСС визначається, в першу чергу, точністю визначення координат об'єкта. Більш того, вимоги до точності та стабільності визначення координат постійно та безперервно збільшуються. Задовольнити цим вимогам можна як створюючи нові ГНСС, так й модернізуючи вже існуючі.

Підвищення точності визначення координат підчас використання існуючих ГНСС можна досягнути, якщо дослідити й урахувати дію зовнішніх факторів. Як з'ясувалося, одним з найголовніших з таких факторів є вплив середовища (нейтральної атмосфери й іоносфери) на поширення в ньому електромагнітних хвиль, що є носіями сигналів ГНСС. На сьогодні фізичні механізми такого впливу є добре відомими, тому вже існує ціла низка ефективних методів дистанційного радіозондування та відповідних радіотехнічних систем і комплексів, що дозволяють здійснювати оперативний моніторинг стану навколоземного середовища. Але наряду з безперечними перевагами існуючі методи та системи мають певні недоліки. По-перше, більшість з них здійснює дистанційне радіозондування іоносфери, а не нейтральної атмосфери. По-друге, переважна більшість методів дистанційного радіозондування, що використовуються, є активними. З огляду на економічні реалії сьогодення, зокрема в Україні, це означає зайві матеріальні витрати, які бажано було б зменшити, не зашкоджуючи досягненню основної мети – моніторингу стану навколишнього середовища. По-третє, збільшення кількості штучних працюючих джерел радіовипромінювання здійснює негативний вплив на екологічний стан довкілля взагалі. Тому доцільно було б розважливо та помірковано ставитись до створення нових активних радіотехнічних систем і комплексів.

Дослідження, що проведено в даній дисертації, є спробою змінити цю ситуацію на краще. По-перше, автор пропонує дослідити та врахувати вплив на поширення електромагнітних хвиль, що переносять сигнали ГНСС, саме процесів у тропосфері. По-друге, для цього він радить застосовувати вже існуючі сигнали ГНСС, не генеруючи ніякого зайвого електромагнітного

випромінювання, що одночасно як здешевлює процес отримання необхідної інформації, так й не збільшує «техногенного тиску» на довкілля.

Отже, автор дисертації має на меті наступне:

- розробити радіофізичні методи моніторингу та діагностики атмосферних процесів з використанням випромінювань глобальних навігаційних супутникових систем,
- урахувати вплив атмосферних процесів на точність і стабільність визначення координат.

Тема дисертації пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки, визначеними Верховною Радою України. Результати дисертації отримано в рамках виконання 3 науково-дослідних робіт, в яких автор приймав участь на посадах виконавця та відповідального виконавця.

Отже, окремі задачі, розв'язані автором дисертації, у сукупності утворюють важливу задачу сучасної радіофізики, а тому **актуальність** досліджень, проведених в дисертації Д. О. 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 та експериментальних досліджень, узгодженістю отриманих результатів у граничних випадках із результатами інших авторів.

Наукова новизна роботи полягає в наступному. Створено методи опису коефіцієнта заломлення тропосфери з використанням напівмарковських процесів та атомарних функцій. Продемонстровано можливість урахування нестационарності поведінки коефіцієнта заломлення за рахунок описання його статистичних характеристик з використанням нормального розподілу та атомарних розподілів Кравченка-Рвачова. Запропоновано підхід до виявлення зон дощу на основі ГНСС вимірювань. Теоретично й експериментально визначено особливості поведінки сигналів ГНСС за наявності на трасі зон опадів. Вперше запропоновано використання флуктуацій координат, що вимірюються, для оцінки просторово-часових змін коефіцієнта заломлення навколо вимірювального пункту. Розроблено модель функції відображення тропосферної затримки, яка дає можливість проводити корекцію даних за рахунок урахування сферичності тропосфери. Запропоновано методику діагностики підстилаючої поверхні та виявлення областей віддзеркалення за допомоги випромінювань ГНСС. Запропоновано інтерполяційну методику корекції похибок визначення координат задля підвищення точності та стабільності вимірювань координат на базах середньої довжини

Практична цінність дисертації Д. О. Попова полягає у наступному. Створено експериментальну базу даних навігаційної інформації для різних міст України, яку можна використовувати для дослідження просторово-часових

характеристик атмосферних процесів. Розроблені методи діагностики тропосфери та підстилаючої поверхні є корисними для побудови систем глобального моніторингу атмосферних процесів та можуть використовуватись для корекції існуючих систем навігаційного забезпечення. Створену модель функції відображення тропосферної затримки можна використати для визначення просторової залежності коефіцієнта заломлення на трасі реального поширення сигналів ГНСС. Розроблено ефективну інтерполяційну методику введення диференційної поправки до вимірювань координат та псевдовідстаней, яка базується на використанні трьох опорних станцій, що перебувають навколо точки корекції та дозволяє знизити середньоквадратичне відхилення похибки визначення координат до 40 відсотків. Запропоновано емпіричний коефіцієнт корекції зенітної тропосферної затримки, що дозволяю знизити середньоквадратичне відхилення похибки визначення координат на 4 – 9 відсотків. Запропоновано нову методику фільтрації результатів навігаційних вимірів, що є корисною для усунення аномально високих викидів без істотних змін у корисній отримуваній інформації.

Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях. Всі результати дисертації Д. О. 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 Д. О. Попова опубліковано в 10 наукових статтях, з яких 8 – у виданнях, що належать до Переліку МОН України за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика, та 17 тезах доповідей конференцій, які повною мірою відображають зміст дисертаційних досліджень. Статті опубліковано в наступних закордонних журналах: «Journal of Measurement Science», «Universal Journal of Physics and Application», «Telecommunications and Radio Engineering», «Физические основы приборостроения», а також у провідних українських журналах з Переліку, затвердженого МОН України, зокрема «Радиофизика и электроника». На наукові праці Д. О. Попова є посилання у наукових роботах інших авторів, прізвище автора є відомим у наукометричних базах даних, зокрема, «Scopus» та «Web of Science».

Можливі шляхи використання результатів досліджень. Отримані в дисертаційній роботі Д. О. Попова наукові результати можуть бути використані в установах та організаціях, які займаються радіофізичними дослідженнями, а також моніторингом стану навколосередовищного середовища, зокрема, в ІРЕ НАНУ, РІ НАНУ, інституті космічних досліджень, а також у вищих навчальних закладах, зокрема, ХНУ імені В. Н. Каразіна, ХНУРЕ, НПУ «ХПІ», НАКУ «ХАІ», НПУУ «КПІ», КНУ імені Т. Г. Шевченка, ДНУ.

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 повністю ідентичні змістові автореферату.

Зауваження та помічені недоліки.

1. У дисертації міститься ряд редакційних і стилістичних недоліків, а саме:
 - Словосполучення «фінітні атомарні функції», яке використовує автор (стор. 13, абз. 4), є дещо тавтологічним, оскільки всі відомі на сьогодні атомарні функції є саме фінітними.
 - Словосполучення «інформаційний канал похідної» (стор. 15, абз. 1 – в дисертації, стор. 4, абз. 9 – в авторефераті) є жаргоном, оскільки формально у похідної ніяких «інформаційних каналів» немає.
 - Величина n у переліку скорочень має назву «коефіцієнт заломлення», але інколи по текстові її йменують також «показником заломлення» (див., наприклад, стор. 26, абз. 1), що виглядає дещо незручним. Більш того, величина n зустрічається на стор. 82 у формулі (2.39), де зрозуміло, що там це зовсім не «коефіцієнт заломлення», а якась інша величина, про яку нічого не повідомляється.
 - На стор. 40, абз. 1 словосполучення «повна поверхнева рефракція» використовується як назва фізичної величини. Це є жаргоном, оскільки, як відомо, рефракція – це явище, а зовсім не фізична величина. До того ж цієї величини немає у переліку скорочень на стор. 6.
 - У формулі (2.1) на стор. 44 використовується фізична величина N , яку автор називає «коефіцієнт заломлення». Але на стор. 6 в переліку позначень цю величину визначено як «індекс коефіцієнту заломлення», а «коефіцієнт заломлення» позначається літерою n . Незрозуміло, яка саме величина має бути присутня у формулі (2.1), хоча це є важливим, оскільки величини N та n є різними. Зв'язок між ними автор наводить на стор. 23.
 - На стор. 48, абз. 3 через σ_{N_i} автор позначає «середньоквадратичне значення коефіцієнтів заломлення N ». Але на стор. 46, абз. 2 цю величину називають «середньоквадратичне відхилення коефіцієнта заломлення для i -го сезону». В переліку скорочень даної величини немає, тому залишається невідомим, що саме мав на увазі автор. Це є важливим, оскільки, за визначенням, середньоквадратичне значення величини (root mean square value) – це квадратний корінь з середнього значення квадрату цієї величини. Натомість, середньоквадратичне відхилення величини (standard deviation) – це квадратний корінь з дисперсії цієї величини. Дисперсія та середнє значення квадрату величини співпадають тільки у випадку, коли середнє значення самої величини дорівнює нулю. Але у випадку, що розглядається автором, це не так.
 - В авторефераті (стор. 7, підпис до рис. 2) замість «щільність розподілу» українською мовою треба писати «густина розподілу».
2. У тексті дисертації міститься багато чисто *інженерних формул*, де присутні розмірні числові коефіцієнти, але інформація про їх розмірність відсутня (див. наприклад, стор. 23, абз. 8, 9, стор. 44, формула (2.1) і т. і). Також використовуються одиниці вимірювання, що відсутні у міжнародній

системі одиниці СІ, наприклад, «електрон·м⁻²» (стор. 21, абз. 3), «мбар» (стор. 24, абз. 3), «N-ед» (стор. 25, абз. 4) і т. і.

3. Складається враження, що автор ототожнює вплив сферичності тропосфери з існуванням градієнту коефіцієнта заломлення середовища (стор. 4, абз. 2 – в авторефераті). А хіба не може існувати такий градієнт у плоскошаровій моделі тропосфери? Сферичність моделі тропосфери визначає геометрію задачі, а існування градієнту показника заломлення – неоднорідність самого середовища, тобто залежність $n = n(\vec{r})$.
4. Словосполучення «градієнт коефіцієнта заломлення», що використовує автор (див., наприклад, стор. 23, абз. 7), є не досить вдалим, оскільки, як відомо, градієнт скалярного поля – це векторна величина. Натомість у роботі, як випливає з логіки викладення матеріалу, мається на увазі не сам градієнт, а проекція градієнта на деяку вісь системи координат, але про це, нажаль, ніде не повідомляється.
5. Формула (2.12) на стор. 67 є вірною тільки за умов $\alpha h \ll 1$, але про це ніде не сказано.
6. У роботі автор широко використовує апроксимацію експериментальних даних за допомоги «функцій Кравченка-Рвачова». Тут треба зробити декілька зауважень. По-перше, сам проф. В. Ф. Кравченко називає ці об'єкти, запропоновані ним та його учнями у 2009 р., не «функціями Кравченка-Рвачова», а «атомарними розподілами Кравченка-Рвачова», що підкреслює важливі властивості цих об'єктів та виокремлює їх з множини існуючих атомарних функцій, першу з яких, $ur(x)$, було запропоновано академіком В. Л. Рвачовим ще у 1979 р. По-друге, ці розподіли побудовано на базі двох атомарних функцій – $ur(x)$ та $h_a(x)$, але автор дисертації наводить співвідношення тільки для першої з них (стор. 79, формула (2.37)). По-третє, атомарні розподіли Кравченка-Рвачова містять параметр, змінюючи який можна проводити апроксимацію експериментальних даних. Але, нажаль, в дисертації інформації про це немає, оскільки взагалі не наводиться ніяких співвідношень для атомарних розподілів Кравченка-Рвачова. По-четверте, залишається невідомим, які саме атомарні розподіли Кравченка-Рвачова використовувалися та чи були відмінності, якщо використовувалися обидва.

Але наведені вище недоліки суттєво не впливають на загальне позитивне враження від цікавої та, безперечно, корисної дисертаційної роботи Д. О. Попова.

Загальний висновок.

Дисертація відповідає спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Дисертація є одноосібним завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язано актуальну наукову задачу, що полягає в моніторингу та діагностиці атмосферних процесів за допомоги випромінювань глобальних навігаційних супутникових систем, а також у підвищенні точності та стабільності визначення координат за рахунок врахування впливу цих процесів.

Дисертаційна робота в цілому за отриманими результатами, за змістом та оформленням задовольняє вимогам, які пред'являє Міністерство освіти і науки України до кандидатських дисертацій, а її автор **Попов Дмитро Олегович** заслуговує 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

25.04.2017

Лазоренко О. В.

Підпис Лазоренка Олега Валерійовича
завіряю

Вчений секретар
ХНУ імені В. Н. Каразіна,
кандидат політичних наук, доцент



Вінникова Н. А.