

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Олексія Миколайовича ГОРОБЦЯ

“Наземне метрологічне забезпечення точності аерокосмічних систем дистанційного зондування Землі”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика

Періодичні перевірка та калібрування вимірювальних пристроїв різного призначення є важливою та необхідною задачею, оскільки це дозволяє проводити постійний контроль точності вимірювань, а також своєчасно здійснювати заміну пристроїв, точності характеристики яких не задовольняють поставленим вимогам. Такі процедури порівняно легко проводити для мобільних пристроїв, трохи складніше для стаціонарних наземних інструментів, але калібрування вимірювальної техніки космічного базування стикається з великими труднощами. Зрозуміло, що у випадку апаратури, що встановлена на супутниках, безпосереднє порівняння з еталоном є неможливим, тому треба використовувати опосередковані методи, що забезпечують передачу або простежуваність величини сигналу, отриманого інструментом космічного базування з заданою невизначеністю, до державних еталонів. При цьому, на перший план виходить необхідність виконання зовнішнього післястартового калібрування за об'єктами, розташованими на поверхні Землі, оскільки внутрішнє калібрування не дає всю необхідну інформацію про стан вимірювального пристрою.

Особливо необхідним зовнішнє калібрування є для космічних радіолокаторів, що проводять дистанційне зондування Землі. Здійснюваний за їх допомогою моніторинг об'єктів природного та штучного походження, розташованих на земній поверхні, дозволяє своєчасно виявляти осередки пожеж, оцінювати збитки від стихійних лих, визначати стан рослинного покриву та ґрунтів, робити картографування поверхні та вирішувати ще багато інших нагальних проблем. Від точного оцінювання розмірів наземних об'єктів часто залежить правильне прогнозування, спрямоване на боротьбу з негативними явищами, а також розмір коштів, які будуть виділені для запобігання або усунення наслідків надзвичайних ситуацій і катастроф.

Дисертаційна робота О. М. Горобця присвячена розробці та подальшому розвитку активних і пасивних методів зовнішнього калібрування радіолокаторів з синтезованою апертурою (РСА), а також покращенню розпізнавання об'єктів на радіолокаційних зображеннях. Враховуючи все сказане вище, **тема дисертаційної роботи є актуальною.** Під час дослідження отримано важливі результати, що мають **велике фундаментальне та прикладне значення.** Важливо, що здобувач пропонує використовувати існуючі будівлі та господарські споруди з відомими розмірами для калібрування космічних радіолокаторів (пасивний метод), що не потребує додаткової побудови об'єктів для радіолокації та не передбачає використання наземних передавальних систем. Такі методи є дуже актуальними в наші часи у зв'язку з сучасними тенденціями зменшення електромагнітного забруднення навколишнього середовища та розвитком “зелених” технологій. До того ж, запропонований метод може використовуватися для калібрування без залучення додаткових бюджетних коштів, що є важливим, особливо для України.

Всі результати, наукові положення та висновки дисертаційної роботи є **повністю обґрунтованими та достовірними**. Далі наведено декілька фактів у підтвердження цього.

1. Теоретичні результати базуються на відомих, фундаментальних положеннях електродинаміки, теорії поширення електромагнітних хвиль, радіотехніки, теорії ймовірностей і статистичної радіофізики, що є експериментально підтвердженими.

2. Отримані експериментальні результати ґрунтуються на даних статистичного аналізу, отримані з застосуванням методів обробки зображень, а також підтверджуються результатами незалежних методів і відповідають сталим уявленням про вигляд і параметри радіолокаційних зображень.

3. Всі результати, отримані здобувачем, опубліковані у фахових наукових журналах, що видаються в Україні та за кордоном і мають зовнішнє незалежне рецензування. Вони також пройшли апробацію на міжнародних і українських наукових конференціях.

Слід зазначити, що всі результати, наукові положення та висновки є **новими**. Далі наведено найбільш значимі, на мій погляд, результати, отримані у цій дисертаційній роботі.

1. Запропоновано та реалізовано новий спосіб визначення роздільної здатності космічного радіолокаційного зображення, що забезпечує в середньому на 15 % меншу невизначеність типу А ніж найбільш поширений з відомих методів.

2. На основі низки експериментальних досліджень коефіцієнта відбиття від масштабних моделей споруд, які задовольняють принципу електродинамічної подібності показана можливість використання для зовнішнього експлуатаційного калібрування РСА космічного базування металевих споруд, зокрема, водонапірних веж та металевих цистерн.

3. Запропоновано та експериментально створено активний радіолокаційний відповідач (транспондер) зі слабкоспрямованими приймальною й передавальною антенами та приймачем прямого підсилення з низьким рівнем шумів і високим коефіцієнтом підсилення, що має функцію "точкового" відбивача з великою потужністю відбитого сигналу.

У Списку використаних джерел наведено перелік наукових статей, в тому числі статей здобувача, на яких базується дисертаційна робота. Він містить 5 статей О. М. Горобця, що опубліковані в наукових фахових українських журналах «Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка» і «Радіофізика та електроніка»; 4 статті – в закордонних журналах, зокрема, “ Journal of Communications Technology and Electronics” і “Progress In Electromagnetics Research”, що індексуються в наукометричних базах даних Scopus і Web of Science (WoS), а також доповіді та тези конференцій. Всі наукові роботи автора є **оригінальними та не повторюють одна одну**. Результати дисертаційної роботи, **повністю відображені** в наведених наукових статтях, а також доповідались на вітчизняних і міжнародних конференціях.

Зміст автореферату **повністю відповідає** основним положенням дисертації.

Наукова значимість дисертаційної роботи О. М. Горобця полягає в тому, що в ній вперше встановлена залежність ширини відгуку на точковий об'єкт (кількість

пікселів) від ширини апертури використовуваного для калібрування РСА відбивача та запропонований новий метод визначення роздільної здатності РСА космічного базування. Також вперше для розв'язання задачі створення високоефективного "точкового" наземного відбивача для наземних еталонних полігонів запропоновано активний радіолокаційний відповідач-ретранслятор (транспондер) зі слабкоспрямованими приймальною і передавальною антенами та мікрохвильовими підсилювачами з високим коефіцієнтом підсилення.

Практична значимість роботи полягає в тому, що розроблені автором методи вимірювання роздільної здатності та радіометричних характеристик космічних РСА дозволяють використовувати для визначення роздільної здатності та динамічного діапазону сенсора одні й ті самі тригранні кутникові відбивачі, що призводить до підвищення загальної точності калібрування РСА. Крім того, розроблений алгоритм пошуку об'єктів на монохромних знімках земної поверхні з формою, характерною для антропогенних споруд, дозволяє в реальному масштабі часу визначити об'єкти, які можуть бути придатні для зовнішнього калібрування РСА.

Дисертаційна робота і автореферат О. М. Горобця мають такі **недоліки та неточності**.

1. На стор. 1 – 2 автореферату та стор. 2 дисертації написано «радіолокаторів космічного базування з синтезованою апертурою антени (РСА)», хоча скорочення РСА розшифровується як радіолокатор з синтезованою апертурою, про що й говориться далі в роботі. Крім того термін «транспондер» введено на стор. 3 дисертації, в той час як його тлумачення зустрічається лише на стор. 5.
2. У Переліку умовних позначень (стор. 23) скорочення RMSE розшифроване українською мовою як «міра якості моделі», в той час як в тексті дисертації це саме скорочення розшифровується як «корінь з середньоквадратичної похибки» (стор. 73), що є дослівним перекладом з англійської.
3. Деякі рисунки у дисертаційній роботі (наприклад, рис. 2.1) розташовані досить далеко від місця їх першого згадування, що утрудняє знайомство з результатами досліджень.
4. У дисертації на рисунках 2.2 і 2.4, крім ліній регресії, треба було зобразити довірчі інтервали, оскільки значний розкид експериментальних даних не дозволяє зробити однозначний висновок про «(позитивну кореляцію) ЕПР і ширини відгуку на точкову ціль» (стор. 57).
5. На стор. 99 дисертаційної роботи написано: «В рамках досліджень недорогих способів зовнішнього метрологічного контролю сенсорів РСА [82], нами були запропоновані недорогі та технологічні матеріали для виготовлення спеціальних тестових майданчиків розміром 5x5 м по 10 шт. в наборі (мірі). Такий підхід дозволяє проводити калібрувальні вимірювання з найвищою точністю, проте на практиці є досить дорогим.» З цього твердження не зрозуміло, такий підхід є «дорогим» чи «недорогим»?
6. На рис. 4.4. дисертаційної роботи бажано було б представити всі складові складного рисунку в єдиному масштабі за вертикальною віссю. Тоді читачеві було б легко побачити відмінність між рис. 4.4(a) та іншими.

7. У всіх розділах дисертаційної роботи наведено математичні вирази, на яких базуються розроблені та вдосконалені автором методи калібрування, в той час як в авторефераті під час представлення результатів розділів 3 і 4 автор обмежився лише описом цих методів без наведення відповідного математичного обґрунтування.
8. Висновки до розділу 4 дисертаційної роботи є не досить повними. Зокрема, вони не містять інформацію про дослідження здобувача, що стосуються «підвищення характеристик спрямованості слабкоспрямованих антен транспондера» (підрозділ 4.3).

Слід, однак, відзначити, що виявлені недоліки, неточності та зроблені зауваження, в цілому, не знижують значимість отриманих О. М. Горобцем результатів і зовсім не псуєть загального позитивного враження від дисертаційної роботи. Дисертацію написано гарною науковою мовою. В ній отримано нові обґрунтовані результати, а сама дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Автором розв'язано цілу низку важливих радіофізичних і радіотехнічних задач. Ним розроблено та вдосконалено алгоритми, методики та програми для проведення наземного калібрування космічних радіолокаторів з синтезованою апертурою та запропоновано корисні технічні рішення, деякі з яких було впроваджено для обслуговування полігона та створення нових пристроїв і програмного забезпечення. Результати роботи мають значну наукову і практичну значимість. Вони внесуть суттєвий вклад у подальше вдосконалення пасивних і активних калібрувальних пристроїв, дозволять покращити точність визначення роздільної здатності РСА, а також зменшити невизначеність вимірювань.

Вважаю, що дисертаційна робота Олексія Миколайовича Горобця повністю відповідає всім вимогам, що висуваються до дисертацій кандидатського рівня, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Завідувач відділу фізики іоносфери
Інституту іоносфери НАН і МОН України
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

С. В. Панасенко

Підпис С. В. Панасенка засвідчую
Учений секретар
Інституту іоносфери НАН і МОН України
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



М. В. Ляшенко

22 листопада 2019 р.