

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Синявського Андрія Тадейовича "Математичні моделі для підвищення ефективності оцінки параметрів неоднорідних середовищ за відомим розподілом розсіяного електромагнітного поля", представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

**Актуальність теми дослідження.**

Ефективність функціонування методів і засобів діагностики та неруйнівного контролю визначається здатністю вимірювальних пристроїв та схем обробки вимірних сигналів точно виявляти, ідентифікувати та класифікувати прояви різних явищ взаємодії електромагнітного поля з неоднорідностями середовища, що відповідають дефектам. Відповідні задачі виникають при дистанційному зондуванні та радіолокації, де об'єктом дослідження є природні та штучні утворення з неоднорідною структурою, такі як технічні структури, атмосферні явища, земна поверхня та ін. Існуючі підходи до радіочастотного виявлення неоднорідностей не завжди дають змогу в повній мірі виділити корисну інформацію про об'єкти на тлі заваджаючих факторів, породжених вторинним розсіюванням хвиль в неоднорідних середовищах. Зменшення впливу таких явищ на результат можна досягти шляхом обробки вимірних значень електромагнітного поля згідно з принципом непрямого оцінювання матеріальних параметрів середовищ розповсюдження, що спрямоване на реконструкцію відображення просторового розподілу цих параметрів.

Перспективним підходом до якісного оцінювання параметрів середовищ за розсіяним полем є розв'язання оберненої задачі розсіювання та її числова імплементація. Обернена задача розсіювання полягає у знаходженні коефіцієнтів рівнянь Максвелла та (або) границі, де задовольняються граничні умови, коли розв'язки таких рівнянь, що в даному випадку асоціюються з розсіяним полем, є наперед відомими (експериментально зареєстрованими чи обчисленими).

Методи математичного моделювання обернених задач розсіювання є областю особливого інтересу науковців у зв'язку з їх складністю та різноманіттям постановок.

Тому актуальною є *проблема створення математичних моделей* процесів взаємодії електромагнітного поля з неоднорідним середовищем та методів їх числової та комп'ютерної реалізації, які дають можливість знаходити розв'язки обернених задач розсіювання у вигляді спрощених математичних залежностей, для яких можна застосувати добре розвинуті інструменти числового аналізу.

На відміну від прямих задач дифракції, де закономірна фізична постановка задачі асоціюється з умовами існування та єдиності розв'язку, в

обернених задачах розсіювання, об'єм вихідних даних яких визначається умовами здійснення вимірювань, може бути недостатнім для отримання єдиного розв'язку. З іншої сторони, вдало сформована та розв'язана обернена задача розсіювання дає можливість коректно здійснити обробку даних вимірювань, оцінивши просторовий розподіл матеріальних параметрів об'єктів дослідження. А це, в свою чергу, дозволяє збільшити ефективність ідентифікації дефектів в неруйнівному контролі, покращити точність картографування в дистанційному зондуванні, розвинути нові засоби виявлення корисних копалин та зробити більш інформативним моніторинг атмосферних явищ, що є злободенними проблемами сьогодення.

Сказане вище свідчить про суттєву та сучасну актуальність науково-технічної проблеми, що досліджується в роботі.

Задачі, сформульовані в дисертації, виповідають завданням комплексної програми наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин», зокрема, її 2-го розділу: «Розробка методів і нових технічних засобів неруйнівного контролю та діагностики стану матеріалів і виробів тривалої експлуатації».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність.**

Обґрунтованість наведених в дисертації наукових положень та висновків базується на успішному визначенні перспективних напрямів вирішення сформульованої проблеми, створенні теоретичних основ дослідження, виборі адекватних моделей розсіювання, опрацюванні недоліків та переваг існуючих методів оцінювання параметрів, розв'язанні задач побудови оцінок невідомих параметрів і отриманні розв'язків обернених задач розсіювання згідно з системою вироблених критеріїв.

Слід відзначити потужну емпіричну базу та широкий спектр методів, які використовує автор дисертації для досягнення сформульованої мети: експериментальні та теоретичні дослідження, статистичний та детерміністичний підходи, аналітичні та числові методи аналізу.

Достовірність наукових положень дисертації підтверджується наступними аргументами:

1) Системно враховуються особливості фізичних процесів та умови, коли математична задача є адекватною фізичній постановці, а її параметри задовольняють умовам практичної реалізованості. При формулюванні обернених задач також враховуються умови здійснення вимірювань, результати яких визначають вихідні дані для таких задач.

2) Адекватність розглянутих в дисертації моделей підтверджується у часткових випадках відповідністю цих моделей точній моделі, або наявністю однозначного переходу між ними. Зокрема, в дисертації розвинуто підхід до заміни електродинамічної моделі в одновимірних випадках моделлю потенціального розсіювання, при цьому зв'язок між коефіцієнтами цих моделей можна подати в аналітичній формі і він є однозначним. Використання

наближень для побудови обчислювальних методів з меншою обчислювальною складністю, здійснюється математично обґрунтовано.

3) В роботі максимально використовується методологія аналітичного виведення і, якщо не вдається отримати розв'язок в явній формі, будуються методи розв'язання обернених задач розсіювання, зводячи процедуру розв'язання до послідовності задач, числові методи яких дають результат з контрольованою величиною похибки. Зокрема, використовується теорія функцій комплексної змінної, оскільки завдяки розвинутій моделі вдається встановити аналітичні властивості функцій. Крім того, якщо оберненій задачі властива чутливість до похибок, автор дисертації пропонує використати статистичний підхід до її розв'язку, а для некоректних задач – регуляризацію. При необхідності, розв'язання оберненої задачі супроводжується умовами щодо отримання розв'язків з заданою, або контрольованою точністю.

Перелічені факти свідчать, що дисертаційна робота відзначається фундаментальністю та ґрунтовністю досліджень, а високий ступінь достовірності сформульованих наукових положень, отриманих результатів і зроблених висновків не викликає сумнівів.

### **Новизна наукових положень дисертаційної роботи.**

У процесі розв'язання наукових задач, які були поставлені в роботі, виходячи з її мети, автором було отримано низку нових науково-технічних результатів, серед яких, на мій погляд, найважливішими є наступні результати:

#### Щодо нових моделей

1. Вперше розроблено модель взаємодії електромагнітних хвиль з неоднорідними середовищами з кусково-змінними характеристиками, яка в одновимірних випадках зводиться до системи Дірака, потенціал якої має вигляд дельта функцій і на відміну від інших підходів до моделювання, такій моделі не властива поява особливостей з складним характером поведінки в точках розділу середовищ. Крім того, така модель дозволяє ефективно використати аналітичні властивості розв'язків Йоста для системи Дірака та привести обернену задачу розсіювання до задачі Гільберта-Рімана, а її розв'язок шукати у вигляді системи інтегральних рівнянь Вольтерра другого роду.

2. Вперше створено модель, яка дозволяє математично описати та трактувати розподіл розсіяного поля, який реєструється дистанційно від об'єкту дослідження, як множину спостережень, що є реалізаціями випадкового процесу. Така модель дозволяє зручно виділити невідомі параметри, які характеризують об'єкт розсіювання, та сформулювати обернену задачу розсіювання як задачу статистичного оцінювання.

#### Щодо нових обчислювальних методів

3. Розроблено метод та запропоновано числову схему його реалізації для знаходження розв'язку оберненої задачі розсіювання плоских хвиль на неоднорідних середовищах, який дозволяє реконструювати функцію

діелектричної проникності за частотною залежністю комплексного коефіцієнта відбиття таких хвиль, що за рахунок коректного розділення та параметризації моделі для низькочастотної та високочастотної складових дозволяє уникнути спотворень, які є характерними для відомих методів реконструкції функцій фізичних параметрів.

4. Вперше побудовано новий підхід до розв'язання оберненої задачі розсіювання для шаруватої діелектричної структури на ідеально провідній основі, який дозволяє уникнути похибок за рахунок багатократних відбиттів. Цей підхід узагальнено на випадок оберненої спектральної задачі, де вихідними даними є трансмісійні власні значення. Даний підхід полягає у виділенні з вихідних даних коефіцієнта відбиття для плоскої діелектричної структури без ідеально провідної основи через розв'язання відповідних задач Гільберта-Рімана.

5. Розвинуто метод синтезу шаруватих структур з заданим абсолютним значенням коефіцієнту відбиття та метод встановлення параметрів шаруватої структури за вимірними амплітудно-частотними характеристиками відбивання, які базуються на встановлених властивостях еквівалентних моделей процесу розсіювання дозволяють більш детально ніж відомі методи охарактеризувати аналітичні властивості досліджуваних величин та розв'язати задачу реконструкції фази, що, як наслідок, приводить до істотного спрощення схеми вимірювань.

6. Розроблено метод синтезу плоских шаруватих структур за кутовою залежністю коефіцієнта відбиття, що можна задати функцією з класу раціональних функцій, завдяки якому обернена задача розсіювання має єдиний розв'язок, отриманий для двох поляризацій плоскої хвилі. Така обернена задача розсіювання для фіксованої частоти розв'язана вперше, а її розв'язок не потребує реалізації складних мінімізаційних процедур.

7. Для розв'язання багатовимірних обернених задач щодо контрастних розсіювачів запропоновано узагальнений підхід до побудови індикаторних функцій, які вдається отримати з розв'язку задачі умовної мінімізації, вихідними даними для яких є діаграма розсіювання таких розсіювачів, а результатом – функція, максимум якої вказує на наявність границі розділу середовищ, що істотно відрізняє розроблений підхід від відомих, які візуалізують лише поперечні січення розсіювачів.

8. Розроблено метод обробки сигналів від чотириелементної антенної решітки, що базується на розв'язку системи рівнянь, яку записано у явній формі, що дозволило записати вираз для оцінки кута приходу плоскої хвилі від джерела випромінювання, яке знаходиться над відбиваючою поверхнею та створює за рахунок відбиття на ній інтенсивну когерентну заваду. На відміну від інших методів, запропонований метод може бути реалізований на основі простих обчислювальних схем.

9. Розроблено метод оцінювання векторного поля переміщень поверхні тривимірного об'єкту за вихідними даними у вигляді проекцій розподілу інтенсивності розсіювання хвиль оптичного діапазону на два

плоскі екрани камер. В основі методу покладено принцип тривимірної стерео реконструкції та розв'язок варіаційної задачі погодження зображень.

**Наукове та практичне значення отриманих результатів та можливі шляхи використання результатів дослідження.**

Науково-прикладне значення цієї дисертації полягає у вирішенні наукової проблеми математичного моделювання явищ розсіювання електромагнітних хвиль, що дає змогу будувати нові методи для оцінювання параметрів середовищ з неоднорідностями, на яких електромагнітна хвиля зазнає розсіювання.

Варто виділити такі результати дисертації, що мають вагомое теоретичне значення:

1) Розроблено загальну модель опису явищ розсіювання електромагнітних хвиль на контрастних розсіювачах, параметри якої є випадковими величинами, що в свою чергу, дозволило розробити уніфікований підхід до знаходження наближених оцінок шуканих параметрів розсіювачів, зокрема будувати індикаторні функції для встановлення границі розсіювачів за розподілом розсіяного поля.

2) Показано, що обернену задачу розсіювання для фіксованої частоти та заданої кутової залежності коефіцієнта відбиття плоскої хвилі, яка падає на плоску структуру з змінною діелектричною проникністю вздовж однієї осі, можна розв'язати однозначно, якщо існує єдине продовження функції такого коефіцієнта відбиття в область уявних кутів. Отже можна стверджувати, що вихідні дані для оберненої задачі, що задані лише на відрізку дійсних кутів мають неповний, або частковий характер. Це стосується як одновимірних обернених задач, так і багатовимірних, в яких довизначеність забезпечується шляхом можливості спостереження для кутів, які відмінні від кутів падіння плоскої хвилі. Дисертант робить висновок, що є два шляхи вирішення оберненої задачі при неповних даних, заданих кутовою залежністю в області дійсних кутів: через аналітичне продовження функцій та шляхом накладання апріорних даних та пошук наближеного розв'язку, що саме і реалізовано в дисертації.

3) Доведено, що розв'язок різних одновимірних електродинамічних обернених задач розсіювання для різних вихідних даних та при різній апріорній інформації щодо шуканого розв'язку можна привести до задачі Гільберта-Рімана за рахунок того, що вдається окреслити поведінку функцій в комплексній площині, звуженням яких на дійсну вісь задано вихідні дані. В дисертації клас таких можливих розв'язків істотно розширено та показано, як їх можна виразити через розв'язки відомих математичних задач, теореми існування та єдиності для яких доведено.

Практичне значення в загальному можна охарактеризувати як створення набору методів та алгоритмів для синтезу елементів надвисокочастотної техніки та оптики з заданими властивостями, а також для побудови схем та

засобів обробки сигналів для ідентифікації параметрів шаруватих структур для неруйнівного контролю. Практичне значення можна підтвердити наступним чином:

1) Розроблені моделі та методи оцінювання параметрів шаруватих структур та побудови індикаторних функцій застосовано для побудови процедури обробки сигналів в системах неруйнівного контролю, зокрема експериментально продемонстровано можливість візуалізації підповерхневих неоднорідностей за умови обмеженого частотного діапазону вимірювань. Завдяки строгості розвинутих методів, результати обробки дають можливість уникнути хибного виявлення неоднорідностей при аналізі внутрішньої структури середовищ.

2) Метод розв'язання оберненої задачі та запропонований алгоритм оцінювання параметрів шаруватого діелектрика на провідному екрані дозволив синтезувати відбиваючі покриття з заданими властивостями коефіцієнта відбиття в частотній області.

3) Запропонований метод розв'язання оберненої задачі за модулем коефіцієнта відбиття дозволив здійснити синтез багат шарових структур та прохідних багат шарових фільтрів з заданими властивостями пропускання, а також забезпечувати необхідні енергетичні показники розсіювання таких структур. Враховуючи простоту отриманого методу розв'язання такої задачі та існування багатьох розв'язків для однакових вихідних даних, вибір найбільш прийняттого синтезованого профілю можна здійснювати серед множини розв'язків.

4) На основі розробленого методу розв'язання оберненої задачі розсіювання, в якому вихідні дані задано кутовою залежністю коефіцієнта відбиття, вдалося синтезувати плоскі багат шарові поверхні, які в заданому діапазоні кутів мають яскраво виражені відбиваючі властивості.

5) Запропонований метод здійснення обробки сигналів в чотириелементних антенній системі використано під час проектування антенної системи, яка дозволяє оцінювати кути приходу та комплексну огинаючу сигналу від випромінювачів за умови двопроменевого розповсюдження хвиль, що створюють заваду.

6) Розроблений метод оцінювання поля переміщень в тривимірному просторі за стереозображеннями дав можливість повноцінно фіксувати і вимірювати всі компоненти деформації поверхні об'єктів при дослідженні їх пружних властивостей за умови навантажень.

Результати роботи використано в ДП «Антонов», ДП Львівському науково-дослідному радіотехнічному інституті, на ТзОВ «Юнісервіс» та в Державному університеті Делавару, що підтверджено актами впроваджень.

### **Оцінка змісту дисертації.**

Робота складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку літератури з 314 найменувань та додатків, в яких наведено допоміжний матеріал, проміжні математичні доведення та акти впровадження результатів

роботи. Загальний обсяг роботи складає 436 сторінок, з них 336 сторінок основного тексту, 115 рисунків і 3 таблиці.

Текст дисертації умовно можна розділити на три частини. В першій частині, до якої входять другий, третій, четвертий та п'ятий розділи, проведено дослідження обернених задач розсіювання, які зводяться до одновимірної. Шостий та сьомий розділ стосується багатовимірних обернених задач розсіювання електромагнітних хвиль, а восьмий – оберненої задачі реконструкції поверхні за оптичними зображеннями та встановлення переміщень поверхні в тривимірному просторі. Таким чином, автор структуровано та системно підходить до висвітлення результатів вирішення проблеми, яка сформульована в дисертації.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, перелічено задачі дослідження та методи дослідження, сформульовано наукову новизну одержаних результатів, практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача та наведено апробацію результатів дисертації та публікації.

У **першому розділі** проведено аналіз проблеми математичного моделювання процесів розсіювання електромагнітних хвиль щодо можливості здійснення оцінювання параметрів неоднорідних середовищ за розсіяним полем, зокрема досліджено особливості прикладних задач, де розв'язки такої проблеми знаходять практичне використання, а також сформульовано задачу оцінювання математично та проаналізовано підходи до її розв'язку. За результатами аналізу зроблено висновок, що універсальна процедура оцінювання параметрів середовища розповсюдження хвиль за розподілом поля може бути побудована лише на основі мінімізації функціоналу нев'язки, реалізація якої пов'язана з численими труднощами. З іншої сторони, на основі аналізу існуючих публікацій встановлено, що теорія обернених задач в часткових випадках пропонує шлях до розв'язання задачі оцінювання параметрів середовищ за розсіяним полем через розв'язок відповідної коректно сформульованої оберненої задачі розсіювання. Показано, що існуючі строгі методи розв'язку обернених задач розсіювання базуються на моделях, які не є типовими для електродинамічних процесів. Як висновок, виділено найбільш перспективні напрями досліджень щодо вирішення проблеми моделювання процесів розсіювання для побудови оцінок параметрів розсіювачів, за розподілом розсіяного поля.

У **другому розділі** розглянуто проблему оцінювання параметрів середовищ з плоско-паралельними границями розділу та неперервною зміною матеріальних параметрів вздовж осі, що є перпендикулярною до цих поверхонь. Вихідними даними для цього класу задач є частотна залежність коефіцієнта відбиття нормально падаючої хвилі. Показано, що за таких умов обернену задачу розсіювання можна строго розв'язати, поставивши у відповідність до рівнянь Максвелла, рівняння теорії потенціального розсіювання, а саме рівняння Шредінгера та рівняння Максвелла. Якщо контрастні поверхні розділу відсутні,

задача зводиться до задачі Гільберта-Рімана, яка в свою чергу дає можливість побудувати систему інтегральних рівнянь та визначити неперервні функції діелектричної проникності та провідності. Розв'язок такої системи запропоновано знаходити числовим методом, що побудовано за рекурентною схемою, а сам метод не потребує здійснення обертання матриці приведеної системи рівнянь.

Окремо розв'язано задачу оцінювання, коли апріорно відомо, що досліджувана структура містить лише однорідні шари, а також досліджено загальний випадок, де необхідно відновити кусково-неперервну функцію матеріальних параметрів плоскої структури. Складність цієї задачі полягає у наявності в шуканих функціях потенціалу сингулярностей. Аналітично доведено факт про те, що поведінка високочастотної частини коефіцієнта відбиття визначається лише наявністю швидкозмінних частин в функції діелектричної проникності. Цю властивість покладено в основу розробленого методу отримання розв'язку задачі оцінювання. На прикладах продемонстровано, що отриманий розв'язок має більшу точність за відомі аналоги.

Матеріал **третього розділу** є наочним прикладом того як використовуючи властивості аналітичності розв'язків рівнянь потенціальної моделі розсіювання різні обернені задачі електромагнетизму можна звести до задачі Гільберта-Рімана. До такої задачі зведено обернену задачу розсіювання плоскої хвилі нормально падаючої на шарувату структуру, що з однієї сторони обмежена плоским ідеально-проникним екраном. Задача Гільберта-Рімана стала основним інструментом для знаходження розв'язку оберненої спектральної задачі на трансмісійні власні значення, за множиною яких можна знайти параметри сферично-шаруватої структури. Окремо обґрунтовано наближені методи розв'язання оберненої задачі розсіювання для діелектричної структури на ідеально-провідній основі, розробка яких спрямована на практичне використання.

У **четвертому розділі** автор дисертації досліджує одновимірні задачі оцінювання для яких вихідні дані є неповними, тобто задані частково, що, як наслідок, приводить до порушення умов про єдиність розв'язку. Обґрунтуванням важливості такої постановки є труднощі технічної реалізації когерентних вимірювань для реєстрації комплексних величин. В даному випадку основну увагу приділено задачам, в яких вихідні дані задано абсолютним значенням комплексного коефіцієнта відбиття плоских хвиль від шаруватих структур. Системний підхід до розв'язання таких задач базується на аналізі поведінки розв'язків хвильових рівнянь в комплексній площині. Показано, що ключову роль тут відіграє розподіл нулів у коефіцієнтах в розв'язках Йоста. Саме такий підхід до розв'язання задачі відновлення фази за абсолютним значенням дав можливість виділити випадки коли обернена задача розсіювання має скінчене число розв'язків. В загальному випадку кількість розв'язків такої оберненої задачі є безмежно великою. Щоб надати практичної значимості отриманим теоретичним результатам, запропоновано процедуру



здійснення вимірювань, в якій за рахунок допоміжного тестового діелектричного шару вдається реконструювати комплексний коефіцієнт відбиття невідомої багатошарової структури повністю та, відповідно, оцінити параметри цієї структури.

У **п'ятому розділі** розглянуто випадок похилого падіння монохроматичної плоскої хвилі на шарувату структуру, при цьому обернену задачу розсіювання сформульовано відносно функції діелектричної проникності, якщо вихідні дані задано як залежність коефіцієнта відбиття від кута падіння. Істотна відмінність цієї задачі від попередніх полягає у тому, що коефіцієнт відбиття залежить від поляризації падаючої хвилі. Саме тому окремо розглянуто випадки горизонтальної та вертикальної поляризації, для яких рівняння Максвелла приведено до рівняння Шредінгера. Відповідно, обернена задача полягає у знаходженні потенціалів розсіювання для рівняння Шредінгера та рівняння Дірака, приймаючи до уваги те, що між функцією діелектричної проникності та цими потенціалами вдалося встановити взаємозв'язок вважаючи, що асимптоти розв'язку цих хвильових рівнянь ідентичні. На прикладах продемонстровано можливість застосування такого підходу до синтезу структур з заданою кутовою залежністю відбиття плоских хвиль.

**Шостий розділ** містить дві значимі складові дисертації: спосіб представлення результату вимірювань розсіяного поля у вигляді множини спостережень та розробка загального підходу до оцінювання параметрів, зокрема границі розсіювачів за вимірними даними. Автор дисертації висуває ідею розділення похибки якогось абстрактного наближеного методу до розв'язку оберненої задачі на дві складові та мінімізації однієї з них. Таку задачу мінімізації вдалося розв'язати аналітично, використавши усереднення за набором реалізацій випадкового процесу, якими представлено вихідні дані. На прикладах різних сценаріїв розсіювання плоских хвиль на циліндричних тілах та відповідного формулювання двовимірної оберненої задачі розсіювання підтверджено ефективність такого підходу у порівнянні з відомими наближеними методами.

**Сьомий розділ** служить для демонстрації можливих способів застосування ідеї, яку задекларовано у шостому розділі роботи, щодо розв'язання задач оцінювання параметрів у часткових випадках, де характер розсіювання має дискретну природу. Показано, що запропоновану модель можна покласти в основу створення методів обробки в антенних системах та методів обробки багаточастотних вимірювань при аналізі шаруватих структур. Крім того окремо виділено та розв'язано задачу, яка виникає в лише дискретному скінченновимірному формулюванні та полягає в оцінці порядку моделі. На прикладах продемонстровано як розв'язуючи задачу оцінювання порядку моделі за частотною характеристикою коефіцієнта відбиття можна встановити кількість поверхонь розділу в багатошаровій структурі.

У **восьмому розділі** обернену задачу реконструкції 3D поверхні сформульовано для випадку коли вихідними даними є оптичні зображення, або

2D проекції об'єкту на які побудовані проєціюванням на екрани камер точок поверхні цього об'єкту згідно з законами геометричної оптики. Враховуючи практичну значимість та простоту реалізації, автор дисертації пропонує підхід до реконструкції поля переміщень поверхні в 3D просторі, припускаючи, що об'єкт спостереження змінює форму. Для обчислення поля переміщень розв'язано задачу щільного погодження всіх проекцій, що дозволила встановити функції відповідності між всіма точками на них. Враховуючи некоректність такої задачі, її розв'язок знайдено шляхом регуляризації задачі мінімізації загальної енергії для функціоналу відмінності.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота є завершеною науковою роботою, за структурою, мовою і стилем написання відповідає вимогам МОН України, які ставляться до докторських дисертацій.

#### **Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації, аналіз автореферату.**

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано в 52 наукових працях, із яких 23 статі у наукових фахових виданнях України та у закордонних наукових журналах, які входять у провідні міжнародні наукометричні бази; 29 - матеріали міжнародних науково-технічних конференцій. Основні наукові положення і висновки, які представлені в дисертації та авторефераті, ідентичні між собою. Автореферат відображає актуальність роботи, зміст і суть одержаних наукових результатів, їх практичне значення, детально виокремлює особистий внесок здобувача та демонструє широку апробацію результатів.

#### **Використання у докторській дисертації результатів, які виносились на захист кандидатської дисертації.**

Наукові положення і результати, які були захищені в кандидатській дисертаційній роботі "Покращання якості обробки спеклу в когерентних радіолокаційних системах побудови зображень" у 2001 році за спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи, яка була захищена в спеціалізованій раді при Національному університеті "Львівська політехніка", не використовуються як наукові результати докторської дисертації здобувача і не виносяться на її захист.

#### **Зауваження.**

1) Незважаючи на те, що в дисертації пропонуються ряд обчислювальних методів, в тексті дисертації уникнуто висвітлення питання програмної реалізації розроблених методів, алгоритмів та процедур.

2) В дисертації та авторефераті стверджується, що через обмежений частотний діапазон, в якому задано вихідні дані, а саме коефіцієнт відбиття, обернена задача розсіювання стає некоректною. Таке твердження не зовсім

відповідає дійсності, оскільки досліджувана обернена задача розсіювання зводиться до системи рівнянь типу Вольтерра другого роду, яка має властивість збігатися і є коректною поставленою. У випадку частотних обмежень щодо вихідних даних запропонований метод дозволить отримати стійкий наближений розв'язок.

3) В третьому пункті висновків сказано «що точність такого підходу є на 8 відсотків вищою від відомих методів». Такий висновок є дискусійним, оскільки підхід передбачає реалізацію кількох методів до вирішення задачі, а заявлений кількісний показник є однозначним. Крім того спосіб обчислення такого показника ефективності в роботі не висвітлено.

4) В тексті дисертації стверджується, що ефективність методів є комплексною (векторною) характеристикою, оскільки включає такі показники, як середньоквадратична похибка оцінювання, роздільна здатність, обчислювальна складність, тощо. Не зрозуміло яким чином дисертант здійснює порівняння відомих результатів з отриманими в дисертації та робить висновок про підвищення ефективності, судячи лише з одного параметру.

5) Недостатню увагу приділено питанню коректного врахування сингулярностей в потенціалах, що спричинені стрибками функції діелектричної проникності при розв'язанні інтегральних та диференціальних рівнянь, до яких приведено обернені задачі розсіювання якщо коефіцієнт відбиття є залежним від кута падіння та визначеним на фіксованій частоті.

6) Структури з плоскою границею розділу є прототипом багатьох об'єктів дослідження, проте це є дещо спрощеною моделлю. В дисертації повністю оминутим є питання оберненої задачі розсіювання для випадків коли поверхні розділу середовищ мають кривизну, або нечіткі поверхні розділу.

7) В теорії обернених задач розсіювання прийнято розглядати три випадки граничних умов, які задовольняються на границі об'єктів розсіювання - це гранична умова Коші, Неймана, і змішана гранична умова. Задачі розсіювання з змішаною граничною умовою в дисертації не розглядаються.

8) Формулювання обернених задач розсіювання, які розглядаються в дисертації, охоплює лише випадки, коли фронт падаючої хвилі є плоским, в той час як на практиці випромінюючі систем неруйнівного контролю формують поле з складною структурою фронту хвилі.

9) В дисертації приймається припущення, що відносна магнітна проникність матеріалів є рівною одиниці. Незрозуміло, чи це здійснено з метою спрощення розв'язання задачі, чи для такого припущення є більш вагомі підстави.

10) Обсяг дисертації дещо перевищує встановлені норми, що ускладнює її аналіз та сприйняття матеріалу.

Вищевказані зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного дисертаційного дослідження, не зменшують її наукову новизну та практичну значимість і не знижують загального позитивного сприйняття проведеного обсягу досліджень.

**Загальні висновки.**

Таким чином, дисертаційна робота Синявського Андрія Тадейовича на тему “Математичні моделі для підвищення ефективності оцінки параметрів неоднорідних середовищ за відомим розподілом розсіяного електромагнітного поля”, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, є завершеною науковою працею, в якій вирішено наукову проблему розвитку теорії математичного моделювання процесів розсіювання електромагнітних хвиль в неоднорідних середовищах, що спрямоване на побудову методів розв’язання обернених задач розсіювання, а також отримано нові наукові та практично важливі результати, які дають можливість підвищити ефективність оцінювання параметрів неоднорідних середовищ за розсіяним електромагнітним полем. Робота відповідає вимогам паспорту вказаної спеціальності, а також вимогам п. п. 9, 10, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а здобувач заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

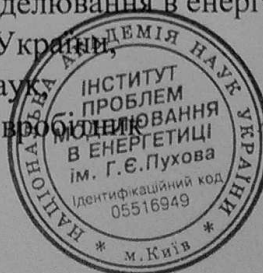
Офіційний опонент:

завідувач відділу моделювання динамічних систем  
Інституту проблем моделювання в енергетиці  
ім. Г. Є. Пухова НАН України,  
доктор технічних наук, професор

Верлань А. Ф.

Підпис професора Верлани Анатолія Федоровича засвідчую.

Вчений секретар  
Інституту проблем моделювання в енергетиці  
ім. Г.Є. Пухова НАН України,  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник



Чемерис О.А.