

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.157.01
Інституту радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України
61085, м. Харків, вул. Ак. Проскури, 12

ВІДГУК

офіційного опонента провідного наукового співробітника наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба доктора технічних наук, професора Сухаревського Олега Ілліча на дисертаційну роботу Ячина Володимира Васильовича “Розсіяння електромагнітних хвиль на тривимірних двоперіодичних багат шарових магнітодіелектричних структурах”, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03— радіофізика.

Актуальність теми дисертації. Різноманіття фізичних явищ і конкретних технічних додатків, пов'язаних з дослідженням дифракційних властивостей періодичних структур гарантує актуальність тематики в цій області знання. Різні прилади, що використовують електродинамічні властивості періодичних структур застосовуються в акустооптиці, інтегральній оптиці, антенній техніці, лазерній техніці і т. ін. Багатообіцяючі результати отримані завдяки застосуванню композиційних матеріалів, метаматеріалів, фотонних кристалів в мікрохвильовій і оптичній техніці. Деякі матеріали мають відмінну від одиниці магнітну проникність, що сприяє розробці нових методів розрахунку розсіяних полів, що дозволяють враховувати поряд з комплексною діелектричною проникністю комплексну магнітну проникність розсіювальних структур. Окремим випадком таких об'єктів може бути магнітодіелектрична багат шарова двоперіодична структура.

Нині існує можливість використовувати різні обчислювальні пакети при аналізі розсіювання електромагнітних хвиль на періодичних структурах. В основному ці пакети наприклад HFSS, CST використовують сіткові методи, що базуються на безпосередньому вирішенні хвильових рівнянь для компонент електромагнітного поля методом кінцевих елементів. При всій

своїй універсальності при моделюванні розсіювання від об'єктів різної конфігурації вони мають істотний недолік, а саме великий час обчислень для високодобротних резонансних електродинамічних процесів. Альтернативою таким методам служать чисельно-аналітичні методи на основі інтегральних рівнянь. Комп'ютерні програми на їх основі працюють на кілька порядків швидше і дозволяють отримувати достовірні дані з гарантованою точністю. Такий альтернативний комерційним пакетам новий метод представлено в дисертаційній роботі.

Потрібно також відзначити що за своїм науковим спрямуванням дисертаційна робота відповідає програмам і планам наукових досліджень РІНАН України (м. Харків) зокрема за темами: «Теоретичні та експериментальні дослідження резонансного збудження поверхневих хвиль у напів- та надпровідникових періодичних наноструктурах та визначення можливостей створення на цій основі нанофотонних та наноелектронних пристроїв. Розроблення дослідного зразка фільтру субміліметрового діапазону» (0110U004538), «Дослідження розсіювання електромагнітних хвиль складними періодичними структурами та метаматеріалами, розробка електродинамічних методів проектування мікροстрічкових та хвильоводних фазованих антенних решіток» (0111U000064), «Математичні моделі та фізичні основи розробки метаматеріалів на основі металевих та магнітодіелектричних періодичних структур, розробка електродинамічних методів проектування мікροстрічкових та хвильоводних антен» (0116U000036), «Нестационарні процеси в активних мікро- та наноструктурах, що містять плазмонні та підсилюючі компоненти» (0116U005693).

Отже, тема дисертаційної роботи В. В. Ячина є актуальною, важливою з точки зору існуючих радіофізичних проблем та сприяє подальшому науковому розвитку в галузі математичного моделювання резонансних процесів розсіювання в двоперіодичних структурах з довільної конфігурацією періодичної комірки.

У зв'язку з викладеним дослідження розсіювання електромагнітних хвиль на тривимірних магнітодіелектричних двоперіодичних структурах є актуальною проблемою радіофізики.

Міра обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Обґрунтованість і достовірність результатів і висновків роботи обумовлені використанням в якості вихідних інтегральних рівнянь макроскопічної електродинаміки з нелокальними граничними умовами,

вирішення яких задовольняє умові випромінювання на нескінченності, а також збіжністю розв'язку при збільшенні кількості гармонік просторового спектру що враховуються; збігом даних, відомих з літератури з результатами, отриманими запропонованим методом, а також якісним та кількісним співпаданням з даними експериментів; виконанням закону збереження енергії; доказом теореми єдиності для ключової щодо даного методу задачі про розсіяння на двоперіодичному магнітодіелектричному шарі.

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечується також їх апробацією на наукових конференціях, симпозіумах і семінарах, опублікуванням 20 статей у наукових фахових виданнях з фізичних наук, а також у таких відомих журналах, як «*Applied Physics Letters*», «*IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*», «*J. Opt. Soc. Am. A*», «*Computational Mathematics and Mathematical Physics*». В.В. Ячиним написана в співавторстві глава в книзі англomовного видання.

Наукова новизна досліджень і отриманих результатів забезпечується розробкою нового точного методу аналізу тривимірних некоординатних задач розсіяння плоских електромагнітних хвиль на магнітодіелектричних періодичних структурах. Вихідна крайова задача приводиться до крайової задачі для систем звичайних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами. Використання принципу погашення, який виконує функції граничних умов в традиційній постановці, призводить на кінцевому етапі побудови рішення до алгебраїчної системи лінійних рівнянь першого роду для знаходження амплітуд просторового спектра.

На основі отриманого розв'язку отримано наступні нові наукові результати:

- Розроблені алгоритми і комп'ютерні програми для розрахунку коефіцієнтів відбиття і проходження для магнітодіелектричного двоперіодичної структури з довільною конфігурацією періоду.
- За допомогою цих програм були виявлені і проаналізовані ефекти резонансного розсіювання на частотноселективному екрані, перфорованого гамадіонами, і екрані, перфорованого С-образними отворами, вперше досліджений ЕІТ подібний резонанс на двоперіодичної повністю діелектричної структурі, що складається з призм прямокутного перерізу, розроблені диференційно-фазові секції для терагерцового діапазону.
- Досліджено багат шарові періодичні структури, що представляють собою екрани які ідеально проводять з співвісними отворами, що

працюють в режимі замкнених мод. У дисертації запропонована реалізація механічно керованого метаматеріала на схрещених решітках. Запропоновано новий клас метаматеріалів, що перетворюють лінійну поляризацію електромагнітних (ЕМ) хвиль, на основі періодично розташованих квадратних спіралей розміщених в діелектричному шарі. Розроблено нову електродинамічну модель твердотільних композитів, що представляють собою армований вуглепластик.

- Розв'язана векторна задача дифракції плоскої ЕМ хвилі на двоперіодичному гіротропному шарі в многомодовому режимі. Розглянуто застосування перфорованого гіромагнітного шару в якості поляризатора Брюстера. Запропоновано нові методики ефективного пошуку параметрів поляризатора з використанням ефекту Брюстера для оптимальної фільтрації ТМ і ТЕ - хвиль. Продemonстровано явище екстраординарного збільшення ефекту Фарадея при резонансі ЕМ хвиль на решітковій моді перфорованого провідника, отвори якого заповнені залізо-ітрієвим гранатом.
- Розв'язана векторна задача розсіювання тривимірного гаусовського довільно падаючого пучка з аксіально-циліндричною симетрією розподілу поля на перфорованому магнітодіелектричному гіротропному шарі з квадратною формою отворів перфорації. Виявлено нове явище зсуву максимумів x - і y - компонент ЕМ поля пучка в протилежних напрямках при похилому падінні гаусовського пучка на гіромагнітний перфорований шар. Виявлено новий ефект повного проходження похило падаючого пучка без зміни його форми при певних товщинах шару фериту, перфорованого малими отворами квадратної форми, в широкій області кутів падіння.

Практична цінність одержаних результатів роботи полягає в тому, що запропоновано новий метод розв'язання векторних задач розсіювання електромагнітної хвилі на тривимірній магнітодіелектричній багат шаровій структурі будь-якої конфігурації, розроблено алгоритми і комплекс програм розрахунку коефіцієнтів розсіювання таких структур; можна сказати, що створено інструмент для аналізу різного роду тривимірних періодичних структур практично в усьому частотному діапазоні від мікрохвильового до оптичного. Також розглянуті структури можуть знайти своє застосування у різного роду радіофізичних приладах.

Повнота викладення результатів в опублікованих роботах. Основні результати дисертації у повній мірі опубліковано у 20 статтях (у тому числі 9 закордонних і одному розділі в книзі зарубіжного видавництва) у наукових фахових журналах та у 23 тезах доповідей на міжнародних конференціях. Всі

викладені в дисертації оригінальні теоретичні результати отримано особисто автором або при його безпосередній участі. Автором здійснювався вибір напрямків і об'єктів досліджень, розроблювався метод дослідження і чисельні підходи до проектування і оптимізації параметрів періодичних структур, здійснювались постановка експериментів і обговорення результатів.

Зауваження по дисертаційній роботі.

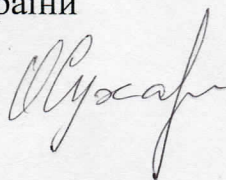
1. Не зрозуміло, що це за магнітодіелектричний або ідеально провідний матеріал, який має відносні діелектричні проникності такі, що $|\varepsilon| \gg 1$, а відносні магнітні проникності $\mu = 1/\varepsilon$.
2. Не досліджено питання залежності точності рішення систем диференціальних рівнянь, які виникають при вирішенні задач, пов'язаних з дифракцією хвиль на періодичних структурах, від порядку дискретизації M .
Не досліджено питання про стійкість рішення систем рівнянь першого роду при великих товщинах структури, а отже, при великих порядках систем рівнянь.
3. З тексту дисертації не зрозуміло, яким чином за допомогою методу інтегральних функціоналів розраховується діелектрична проникність компаунда CFRP.
4. Не досліджено збіжність невластних інтегралів, які виникають при розрахунках розсіяння електромагнітних пучків на проникних екранах. При цьому на вказаний вибір гілки кореня $\sqrt{k_0^2 - k_\rho^2}$, який входить до підінтегральних виразів.
5. Треба було б довести асимптотичну поведінку n -го члену ряду $O(1/n^n)$, який входить до виразу поля розсіяння тривимірного гаусового пучка.

Вказані недоліки не знижують загального позитивного враження від роботи В.В. ЯЧИНА.

Висновок: дисертаційна робота Ячина В.В. є завершеним дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну наукову проблему розробки методу вирішення векторних тривимірних задач розсіяння на двоперіодичних магнітодіелектричних структурах і дослідження з його допомогою нових фізичних явищ і закономірностей взаємодії електромагнітних полів з зазначеними структурами. Зміст дисертаційної роботи і отримані результати

відповідають паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика та задовольняють вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.13 року № 567, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор, Ячин Володимир Васильович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник
Наукового центру Повітряних Сил
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
Заслужений діяч науки і техніки України
доктор технічних наук професор



О.І. СУХАРЕВСЬКИЙ

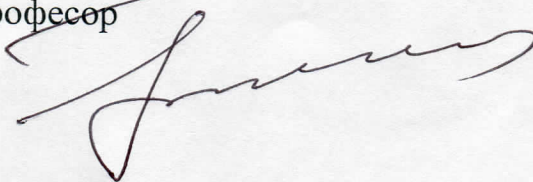
03.04.2018

Особистий підпис доктора технічних наук професора О. І. Сухаревського засвідчую.

Заступник начальника
Харківського національного університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
з наукової роботи
Заслужений діяч науки і техніки України
доктор технічних наук професор



04.04.2018



Г.В. ПІВЦОВ