

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Фесенка Володимира Івановича

"Електромагнітні хвилі у багатокомпонентних штучних композитних матеріалах",  
яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Незважаючи на те, що інтерес наукової спільноти до дослідження взаємодії електромагнітних хвиль зі штучно створеними періодичними та аперіодичними середовищами, виник ще в минулому столітті, вони і в наш час залишаються предметом всебічного теоретичного та експериментального вивчення завдяки своїм унікальним електродинамічним характеристикам. Сучасний поштовх до поновлення досліджень в даному напрямку обумовлено стрімким розвитком технологій виготовлення композитних структур та методів їх експериментального дослідження. В значній мірі це стосується складно-композитних субхвильових структур ТГц та оптичного діапазонів, які є ключовими елементами при створенні сучасних пристроїв фотоніки та плазмоніки.

Можливість об'єднання окремих компонентів, виготовлених з різних матеріалів (які характеризуються відмінними між собою фізичними властивостями) в єдину композитну структуру робить актуальними задачі з дослідження особливостей поширення об'ємних та поверхневих хвиль в такому середовищі. Це спонукає до створення нових методів і алгоритмів моделювання взаємодії електромагнітного поля зі складно-композиційними структурами, які дають можливість враховувати вплив просторової неоднорідності та анізотропії матеріальних середовищ на характеристики поширення хвиль в них.

Саме тому розробка фізико-математичних моделей просторово неоднорідних штучних середовищ, які включають до свого складу оптично активні елементи, та дослідження взаємодії електромагнітних хвиль з такими електродинамічними об'єктами є актуальними проблемами, що мають першорядне значення для широкого кола наукових областей та сучасних фізико-технічних застосувань. В

зв'язку з цим, вважаю, що дисертаційна робота Фесенка Володимира Івановича, яка в значній мірі заповнює наявні «прогалини» і робить вагомий внесок в розвиток даного наукового напрямку є актуальною як в науковому так і практичному відношеннях.

В цілому, дисертаційна робота містить вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел та додатки.

*Перший розділ* є вступним він стосується огляду літературних джерел, і в ньому чітко окреслено коло наукових задач, які є потребує свого всебічного дослідження.

*У другому розділі* знайдено розв'язок задачі з визначення спектральних та дисперсійних характеристик електромагнітних хвиль, які поширюються в періодичних та аперіодичних планарних брегівських структурах.

*У третьому розділі* отримано універсальний розв'язок задачі щодо визначення дисперсійних характеристик об'ємних та поверхневих хвиль в дрібно-шаруватому середовищі, створеному на основі намагнічених до насичення шарів напівпровідника та фериту.

*У четвертому розділі* розв'язано низку задач з визначення особливостей поширення електромагнітних хвиль в композитних гіроелектромагнітних середовищах, які можуть знаходитись як у вільному просторі, так і в металевому хвилеводі (як матеріал заповнення).

*П'ятий розділ* присвячено вивченню топологічних особливостей ізочастотних поверхонь об'ємних електромагнітних хвиль які поширюються в необмеженому бігіротропному середовищі, яке в обраному частотному діапазоні демонструє властивості гіперболічного метаматеріалу.

Насамкінець, *шостий розділ* стосується визначення повного спектра комплексних хвиль, що притаманні відкритому суб-хвильовому напівпровідниковому хвилеводу з круглим поперечним перетином, поверхня якого покрита моношаром графену. Крім того, в даному розділі розв'язано задачу

розсіяння плоских лінійно поляризованих хвиль на кластерах, утворених на базі таких хвилеводів, в ТГц діапазоні хвиль.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи визначається наступними оригінальними результатами:

1. Розроблено фізико-математичні моделі, що адекватно описують електродинамічні характеристики низки штучних композитних просторово неоднорідних середовищ, які можуть містити в своєму складі оптично активні включення, і отримано швидкодіючі числові алгоритми для розрахунку спектральних, поляризаційних та дисперсійних характеристик електромагнітних хвиль, що поширюються в таких середовищах.

2. Запропоновано новий тип аперіодичної шаруватої оболонки для планарних брегівських хвилеводів. Це дозволило виявити нові ефекти, що супроводжують поширення електромагнітних хвиль в таких структурах.

3. В ході досліджень дисперсійних характеристик електромагнітних хвиль які поширюються в гіроелектромагнітному середовищі (шаруватий метаматеріал), автором вперше виявлено співіснування поверхневих та об'ємних електромагнітних хвиль, в межах одного і того ж діапазону частот та хвильових векторів.

4. Вперше виявлено бігіперболічну та тетрагіперболічну топології хвильової дисперсії в результаті проведеного дослідження дисперсійних характеристик об'ємних хвиль в гіперболічному метаматеріалі.

5. Виявлено особливості дисперсійних характеристик гібридних хвиль круглого хвилеводу з ідеально провідними стінками, повністю заповненого поздовжньо намагніченою шаруватою структурою ферит-напівпровідник, та вказано на можливість керування ними.

6. Досліджено особливості розсіяння електромагнітних хвиль на кластерах напівпровідникових ниток з однорідним графеновим покриттям та виявлено умови для формування діапазонів «невидимості» в їх спектрах розсіяння. Вказано на

можливість керування кількістю таких діапазонів та їх спектральним положенням шляхом внесення асиметрії в дизайн кластеру нанониток.

Вибір адекватних фізико-математичних моделей, строга постановка задач, використання апробованих чисельних методів для розв'язку поставлених задач свідчать про **достовірність та обґрунтованість** результатів роботи.

**Наукова та практична значимість** результатів дисертаційної роботи визначається перш за все тим, що основні результати досліджень доведені до ефективних швидкодіючих розрахункових алгоритмів та прикладних програм. Це дозволило виявити ряд цікавих якісних та кількісних закономірностей у кожному з розглянутих автором напрямків. Якісні та кількісні результати, отримані в дисертаційній роботі, можуть бути використані для широкого класу прикладних застосувань.

Матеріали роботи пройшли необхідну **апробацію** на відомих міжнародних конференціях і семінарах за участю фахівців з даної тематики. Всі оригінальні результати дисертанта досить повно представлені в 47 публікаціях, серед них: 21 стаття у фахових вітчизняних та міжнародних журналах, патент України, 4 розділи в монографіях закордонних видавництв та велика кількість публікацій в тезах і матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій.

Автореферат дисертації досить повно відображає її зміст, та не містить інформації, яку не висвітлено в дисертаційній роботі.

В цілому дисертація оцінюється як робота, яку виконано на високому науковому та професійному рівнях, проте слід зазначити і деякі її **недоліки**:

1. У другому розділі отримано дисперсійні характеристики електромагнітних хвиль, що поширюються в симетричних планарних брегівських хвилеводах. У той же час, використання асиметричного дизайну шаруватої оболонки може надати додаткові можливості в керуванні дисперсійними характеристиками хвилеводних мод, тому, на мій погляд, було б доречно

розглянути також поширення хвиль  $i$  в хвилеводах з асиметричними оболонками.

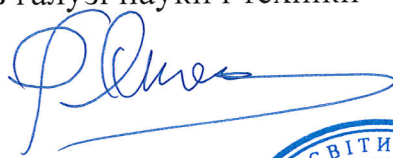
2. У третьому розділі досліджено особливості поширення поверхневих хвиль на межі розділу між ізотропним (повітря) та біанізотропним (гіроелектромагнітне середовище) середовищами. Як відомо, в такому випадку можуть існувати поверхневі хвилі Д'яконова (DSW), яким не приділено уваги в дисертаційній роботі.
3. У п'ятому розділі, для більш детальної характеристики топологічних властивостей об'ємних хвиль в гіперболічному гіроелектромагнітному середовищі, було б доцільно проаналізувати фазу Беррі.
4. У шостому розділі розглянуто розсіяння електромагнітних хвиль на нескінчених напівпровідникових нанонитках, покритих графеном; на мій погляд було б корисним показати, як вплине на характеристики розсіяння скінчена довжина нанониток.
5. Окремо слід зазначити наступний факт: зважаючи на наявність у автора експериментальних робіт за тематикою дисертації, які опубліковані у високорейтингових зарубіжних наукових журналах (а саме: [1] V. I. Shcherbinin, V. I. Fesenko, T. I. Tkachova and V. R. Tuz. Superscattering from subwavelength corrugated cylinders. // *Physical Review Applied*, 13(2), 024081, 2020 (IF: 4.532); [2] A. S. Kupriianov, V. R. Tuz, V. I. Shcherbinin, A. Trubin and V. I. Fesenko. All-dielectric Vogel metasurface antennas with bidirectional radiation pattern. // *Journal of Optics*, 22(3), 035104, 2020 (IF: 2.753); [3] V. I. Fesenko, A. S. Kupriianov, A. Sayanskiy, V. I. Shcherbinin, A. Trubin, V. R. Tuz. Approach to analysis of all-dielectric free-form antenna system. // *Optics Express*, 27(16), pp. 22363 – 22374, 2019 (IF: 3.814)), на мій погляд, отримані в них результати було б доцільно включити до основного змісту дисертаційної роботи.

Проте, зазначені недоліки не мають принципового значення та не знижують високий науковий рівень проведених в дисертаційній роботі досліджень.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота повністю відповідає вимогам ДАК МОН України до докторських дисертацій, а її автор, Фесенко Володимир Іванович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,

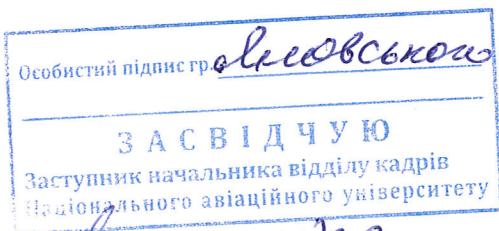
професор кафедри електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей Національного авіаційного університету, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки IEEE Life Fellow доктор технічних наук, професор



Яновський Ф. Й.



*Професор з авіаційної техніки*  
*Яновський Ф. Й.*



*Особистий підпис: Яновський Ф. Й.*  
*Яновський Ф. Й.*  
*15.04.2021*

*Відгук евержано 16 квітня 2021 р*  
*Великий секретар спецради*

