

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, старшого наукового співробітника Павлікова Володимира Володимировича на дисертаційну роботу Яцика Миколи Васильовича на тему «Моделі та обчислювальні методи дослідження нелінійних шарових електродинамічних структур», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертаційної роботи. Дослідження нелінійних шарових електродинамічних структур пов'язані з актуальними потребами сучасної розробки нових типів діелектричних структур для їх подальшого застосування в виробництві пристроїв функціональної електроніки (зокрема, пристроїв для детектування, запам'ятовування, відображення і перетворення електричних і оптичних сигналів).

До найбільш складних та важливих задач таких досліджень слід віднести аналіз резонансних властивостей нелінійних електродинамічних об'єктів, що вимагає розвитку нових та удосконалення існуючих підходів. Зокрема потребують подальшого розвитку математичні моделі та методи аналізу нелінійних електродинамічних структур в резонансному діапазоні частот на основі рішення строгих граничних задач математичної фізики, створення ефективних обчислювальних методів розв'язання задач розсіяння і генерації хвиль.

У зв'язку з цим не викликає сумніву актуальність дисертаційної роботи Яцика М.В., присвяченої створенню методів та моделей, що сприяють розв'язанню складних обчислювальних задач дослідження нелінійних шарових електродинамічних структур.

Зв'язок роботи з науковими програмами і планами. Дисертаційну роботу виконано згідно планами і програмами, що виконувалися на кафедрі електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2014-2019 рр. та у відділі теорії дифракції та дифракційної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України (ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАНУ), 2010-2019 рр. Робота дисертанта пов'язана також з реалізацією міжнародних програм, що проводились спільно Національною академією наук України («Електродинаміка відновлення інформаційних параметрів природних



середовищ з використанням атомарних функцій і вейвлетів», грант №12.02.90425, 2012-2013) та Шведським Інститутом («Передові методи вирішення великомасштабних завдань для суперкомп'ютерів і паралельних обчислень», грант по програмі «Вісбі» Шведського Інституту, 2012-2013). В дисертаційній роботі узагальнені деякі результати досліджень, які проводилися у відділі теорії дифракції і дифракційної електроніки ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАНУ, зокрема у рамках держбюджетних тем: «Електродинаміка відкритих резонансних систем та періодичних структур із композитними матеріалами; розробка когерентних джерел і вимірювальних пристроїв міліметрового та субміліметрового діапазонів електромагнітних хвиль» (№ державної реєстрації (ДР) 0107U001082), «Генерація, посилення детектування та розповсюдження терагерцового випромінювання: електродинамічне моделювання та експеримент» (№ ДР 0117U004034, 2017-2019 рр.).

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення, висновки та рекомендації, запропоновані в дисертаційній роботі, обґрунтовані: коректним використанням випробуваного математичного апарату теорії крайових задач математичної фізики; теорії нелінійних інтегральних рівнянь, теорії функцій комплексних змінних і матричної алгебри; коректною постановкою завдань; успішною програмною реалізацією запропонованих моделей та методів. Припущення, прийняті в теоретичних дослідженнях роботи, є коректними, а отримані результати не суперечать відомим уявленням теорії нелінійних шарових електродинамічних структур. Достовірність результатів дисертації підтверджується порівнюваністю даних, отриманих за допомогою розроблених моделей та методів, з результатами експериментальних досліджень, а також відповідним актом впровадження та високим рівнем апробації на міжнародних конференціях.

Наукова новизна результатів дисертації. До найбільш суттєвих наукових результатів, отриманих здобувачем, слід віднести:

– уперше запропонований самоузгоджений метод аналізу системи нелінійних граничних задач, що зводиться до вирішення еквівалентної системи нелінійних інтегральних рівнянь та дозволяє оцінити без істотних обчислювальних витрат деякі електродинамічні властивості досліджуваних нелінійних об'єктів з використанням такої важливої фізичної характеристики

як баланс енергії;

– удосконалений метод аналізу спектральних задач з індукованою діелектричною проникністю нелінійного шару, згідно яким доведено, що для нелінійних шарів на частотах збудження і генерації, близьких до власних частот, збільшення енергії з ростом амплітуди падаючого поля супроводжується монотонним зменшенням величини відносної добротності власних коливальних (це дозволяє за результатами аналізу індукованих спектральних задач прогнозувати зони максимальної генерації енергії);

– удосконалені обчислювальні моделі аналізу резонансних властивостей розсіяння і генерації хвиль нелінійними шаровими структурами, що дозволяють в якості резонансних частот збудження вибирати величини, які визначаються дійсною частиною комплексних власних частот індукованих спектральних задач (це суттєво спрощує аналіз резонансних процесів розсіяння та генерації коливальних);

– розвинутий підхід до проведення чисельного експерименту за рахунок використання таких критеріїв оцінки достовірності обчислень, як виконання умови балансу енергії, а також оцінки обумовленості матриць для задач випромінювання на чутливість до похибок обчислення та перевірки індукованих спектральних задач на виродження матриць.

Практичне значення результатів дисертації. В дисертаційній роботі створені ефективні алгоритми комп'ютерного аналізу нелінійних резонансних шарових діелектричних структур з керованою діелектричною проникністю. Практичне значення результатів дисертації обумовлюється можливістю їх застосування у фізиці, матеріалознавстві, аналітичній хімії, ідентифікації речовин, медичній діагностиці, томографії, екології, безпеці та інших прикладних задачах. Дослідження властивостей електродинамічних структур сприяє розробці нових типів діелектриків, а також удосконаленню сучасних пристроїв функціональної електроніки. Важливі властивості твердих і рідких нелінійних середовищ дозволяють використовувати їх для перетворення енергії або інформації, модуляції, детектування, посилення, реєстрації, запам'ятовування, відображення і інших видів перетворення електричних і оптичних сигналів. Практичне значення результатів підтверджується їх впровадженням. Запропоновані здобувачем і математичні моделі та методи використано у відділі теорії дифракції та дифракційної електроніки ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАНУ при проведенні науково-дослідних

робіт зі створення електродинамічних засобів генерації, посилення, детектування та розповсюдження терагерцового випромінювання, а також в навчальному процесі при підготовці аспірантів. Перспективи практичного втілення результатів дисертації підтверджується їх зв'язком з реалізацією міжнародних науково-практичних програм, що спільно проводяться НАНУ та Шведським Інститутом.

Повнота викладення наукових положень. За темою дисертації здобувачем опубліковано у 33 роботи: з них 7 статей (1 – розділ в монографії, що видана за кордоном, 2 – статті у міжнародних наукових періодичних виданнях, 2 – статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з технічних наук, 2 – статті у міжнародних наукових періодичних виданнях, які включені до баз даних з фізико-математичних та технічних наук) та 26 матеріалів доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях. Рівень публікацій та апробації результатів дисертаційної роботи є достатньо високим (18 з них входять до наукометричної бази Scopus).

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по роботі, списку використаних джерел та двох додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації та сформульовано мету роботи та завдання дослідження, які потрібно вирішити для її досягнення. Наведено коротку характеристику результатів дослідження, ступінь їх апробації та опублікування.

Перший розділ містить аналіз предметної області за темою дисертації. Відзначено, що квазіоднорідність пакета збудження нелінійної шарової структури є необхідною і достатньою умовою поздовжньої однорідності досліджуваного нелінійного об'єкта. Ця вимога стосується виконання умови фазового синхронізму хвиль. Досліджувана задача резонансного розсіювання і генерації коливань з урахуванням правила Клейнмана (при кратних частотах) зводиться до системи граничних задач щодо комплексних амплітуд Фур'є повних полів розсіювання і генерації. Ці передумови є базовими для вирішення завдань дисертації.

У другому розділі досліджені системи нелінійних крайових задач розсіяння і генерації хвиль третьої гармоніки для нелінійної шарової діелектричної структури на базі еквівалентної системи одновимірних (уздовж висоти структури) нелінійних інтегральних рівнянь Гаммерштейна відносно

невдомих функцій. На основі розроблених обчислювальних процедур і програм самоузгодженого чисельного аналізу в роботі отримано два типи математичних моделей, що описують процеси генерації поля третьої гармоніки шаром: при односторонньому і двосторонньому збудженні нелінійної структури.

У третьому розділі запропоновано метод дослідження спектральних задач з індукованою на частоті випромінювання (розсіяння і генерації) проникливістю діелектричного шару. Лінеаризація нелінійних задач та їх аналітичне продовження в область комплексних значень частотного параметра дозволяє перейти до аналізу спектральних задач, тобто до пошуку власних частот і відповідних їм нетривіальних рішень однорідних лінійних задач для шарів з індукованою діелектричною проникливістю

У четвертому розділі наведено результати моделювання запропонованих в роботі методів. На прикладі задачі розсіяння і генерації хвиль поля третьої гармоніки нелінійної шарової структури здійснено реалізацію та моделювання методу чисельного аналізу резонансних енергетичних властивостей випромінювання хвиль. В його основі лежить рішення на резонансних частотах нелінійної структури відповідних матричних рівнянь, що отримані із застосуванням квадратурних формул відповідно до систем нелінійних інтегральних рівнянь Гаммерштейна другого роду (при аналізі випромінювання хвиль) і до лінійних однорідних інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду (при визначенні власних частот індукованих спектральних задач).

Доведено, що згідно з результатами моделювання нерегулярна динаміка резонансних процесів розсіяння/генерації хвиль спостерігається поблизу власних частот досліджуваного об'єкта. Оскільки зниження розмірності систем рівнянь істотно зменшує час обчислень, це є значною перевагою і відкриває перспективи до вирішення низки нових нелінійних задач резонансного розсіяння і генерації хвиль, як шаровими, так і шаровими періодичними структурами. Це дає можливість для удосконалення електронних приладів, що містять нелінійні діелектрики.

У додатках наведено акт впровадження результатів дисертації та список власних публікацій здобувача.

Відповідність автореферату та дисертації необхідним вимогам.
Оформлення автореферату за структурою, обсягом та змістом відповідає

чинним вимогам, а його зміст адекватно відображає результати дисертаційної роботи. Роботу виконано коректно, з використанням сучасної науково-технічної термінології, стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень і розрахункових експериментів забезпечує їх належне сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів».

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В першому розділі доцільно було б навести дані щодо існуючих альтернативних підходів до аналізу нелінійних шарових діелектричних структур, що дало можливість в подальшому більш аргументовано довести перевагу розроблених в дисертації методів.

2. В роботі використовується подвійне позначення одного і того ж самоузгодженого методу вирішення системи нелінійних рівнянь (СУ та SC), що створює певні труднощі для сприйняття представлених в другому та третьому розділах результатів.

3. В другому розділі не наведено рекомендацій щодо значень відносної похибки обчислення, яка використовується в умові зупинки блочно-ітераційної процедури (2.11).

4. Замість терміну «комплексні власні частоти індукованих спектральних задач» (с.129), більш коректним було б вжити термін «власні частоти досліджуваних коливальних систем з індукованою спектральною проникністю».

5. В роботі стверджується, що отримані результати можуть бути використані в задачах оптимізації та синтезу нелінійних електродинамічних пристроїв, що мають оптимальні властивості розсіяння і генерації енергії, зокрема проектування множників частоти (с.124). Доцільно було б навести приклади або шляхи реалізації проектування таких пристроїв.

6. В дисертаційній роботі не наведено даних щодо використання комп'ютерних засобів, а також розроблених програмних модулів або стандартних програмних пакетів під час моделювання запропонованих методів.

Ці недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку отриманих в дисертаційній роботі результатів.

Висновки по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Яцика М.В. є завершеним науковим дослідженням, де вирішено актуальну науково-практичну задачу розробки математичних методів аналізу нелінійних шарових електродинамічних структур в резонансному діапазоні частот, а також створено ефективні обчислювальні алгоритми розв'язання задач розсіяння і генерації хвиль.

Виконані в дисертації дослідження відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. Автореферат оформлений згідно з чинними вимогами та достатньо повно відображає основні наукові результати роботи.

Вважаю, що за обґрунтованістю наукових положень та науково-практичною значимістю результатів дисертаційна робота задовольняє вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Яцик Микола Васильович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

проректор з наукової роботи

Національного аерокосмічного університету

ім. М.С. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

доктор технічних наук

старший науковий співробітник



Павліков В. В.