

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію
Думіна Олександра Миколайовича

“Випромінювання і розповсюдження нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, нестаціонарних та біологічних середовищах”,
що подана до захисту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Актуальність теми дисертації. В дисертаційній роботі О.М. Думіна представлені фундаментальні дослідження фізичних процесів випромінювання та поширення нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, неоднорідних, нестаціонарних, біологічних середовищах та ґрунтах з різними діелектричними характеристиками і втратами. Особливістю нестаціонарних електромагнітних полів є їхня імпульсна природа та надширокий спектр. Це створює складнощі з розв’язанням відповідних задач через те, що відомі розв’язки задач у наближенні синусоїдальної залежності джерела від часу отримуються з деякими припущеннями, які не дозволяють такий параметр як частота варіювати в дуже широких межах. Тому ці розв’язки не можуть бути використані для нестаціонарних задач. В той же час, залишаючи часову змінну в явному вигляді, тобто, розв’язуючи рівняння Максвелла в часовому просторі, ми в загальному випадку одержуємо тривимірну нестаціонарну задачу, готовий аналітичний розв’язок якої знайти практично неможливо. Єдиний шлях в цьому випадку полягає в зменшенні розмірності задачі, використовуючи деякі спрощення та припущення, наприклад, наближення пласкої хвилі, симетрію, обмеженість розрахункового простору границями, на яких задаються певні граничні умови тощо. Одним з таких підходів є метод Фур’є. Використаний у дисертаційній роботі метод еволюційних рівнянь є різновидом цього підходу, який тут коректніше назвати методом неповного розділення змінних через те, що автор дві останні змінні не розділяє для того, щоб отриманий розв’язок містив час та координату у явному вигляді, зберігаючи причинно-наслідкові зв’язки. Підставою для відокремлення двох незалежних змінних, а саме, поперечних координат, є побудова на поперечній площині базису, що дозволяє замінити у вихідній задачі ці незалежні змінні на спектральний параметр, зменшуючи на дві одиниці розмірність задачі. Наступною проблемою, яка постала перед дисертантом, це пошук розв’язку одновимірного нестаціонарного рівняння у частинних похідних. У простих випадках автор знайшов аналітичні розв’язки рівнянь, у більше складних, наприклад, коли середовище є неоднорідним з майже довільним законом зміни – провів числовий розрахунок одновимірного рівняння в частинних похідних, отримавши амплітуди мод, з яких побудував розв’язок тривимірних нестаціонарних задач. Таким чином, дисертант вирішив актуальну задачу розвитку аналітичних і аналітично-числових підходів до нестаціонарних електродинамічних задач.

Потреба в розв'язанні поставлених в дисертації задач виникла через те, що саме нестаціонарні електромагнітні процеси останнім часом набувають особливої важливості через широке використання імпульсних систем керування потужними струмами, які дозволяють досягати високих значень коефіцієнта корисної дії, впровадження в широку практику рельсотронних систем розгону літаків палубної авіації та надзвукових снарядів. Саме надширокосмугові електромагнітні поля здатні проникати на значні глибини у середовища із втратами, переносити великі обсяги інформації в системах зв'язку. Через це найбільш перспективними на даний час вважаються надширокосмугові імпульсні радарі підповерхневого зондування для пошуку та перевірки підземних комунікацій, археологічних пам'яток, мін, в тому числі таких, що майже не мають металевих частин і тому не можуть бути знайдені традиційними міношукачами, робота яких базується на фіксації флуктуацій магнітного поля над землею поверхнею. Через те, що традиційно інформація передається через вузькосмугові радіоканали, то й системи для створення навмисних завад розраховані на них. Таким чином, надширокосмугові засоби зв'язку є завадозахищеними, та й створення великих значень спектральної густини потужності для їхнього придушення потребує надвисоких випромінюваних потужностей. Також саме надширокосмугові імпульсні електромагнітні поля мають здатність змінювати часову форму імпульсу в залежності від напрямку випромінювання, що може бути використано для додаткового захисту радіоканалів передачі даних.

Вчені продовжують пошуки ефективних методів дослідження людського організму за допомогою електромагнітних хвиль. Розробляються системи опромінення пухлин електромагнітними хвилями з метою їхнього нагріву до температур, при яких злоякісні утворення гинуть. Так як імпульсні надширокосмугові електромагнітні хвилі краще проникають в глибину живих людських тканин, які є, по суті, середовищами із сильними втратами, вони є перспективними для використання у системах діагностики та гіпертермії. Але ці напрямки досліджень безпосередньо дотичні до питань щодо можливої шкідливої дії імпульсних полів різних потужностей на живі людські клітини. Цьому актуальному питанню присвячено четвертий розділ дисертації.

Із вищезазначеного витікає, що тема дисертаційної роботи є актуальною. Це додатково підтверджується тим, що проведені дослідження виконувалися на кафедрах прикладної електродинаміки та фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна в рамках 12 держбюджетних НДР в період з 2001 по 2020 рр. Тематика дисертації відповідає таким напрямкам наукових досліджень, затвердженим Кабінетом міністрів України:

- Найважливіші фундаментальні проблеми фізико-математичних і технічних наук;
- Фундаментальні проблеми наук про життя та розвиток біотехнологій

- Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних та комунікаційних технологій;
- Технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв'язання надскладних завдань державного значення;
- Технології та засоби захисту інформації;
- Проблеми впливу на людський організм випромінювання різних частотних діапазонів та захисту населення і військовослужбовців від нелетальних видів зброї.

Наукова новизна результатів. В дисертаційні роботі отримані такі нові наукові результати:

побудовані базиси для довільного електромагнітного поля в циліндричній та сферичній системах координат, за допомогою яких одержані відповідні системи еволюційних рівнянь нестационарного електромагнітного поля в поперечного неоднорідному, поздовжньо неоднорідному нестационарному нелінійному середовищі та в радіально неоднорідному нестационарному нелінійному середовищі відповідно. Вперше розв'язані аналітично та аналітично-числовим підходом задачі поширення нестационарної електромагнітної хвилі в радіально неоднорідному середовищі та однорідному нелінійному середовищі методом малих збурень для слабонелінійного керівського середовища;

одержані більш точні аналітичні розв'язки задачі випромінювання диполя Герца з врахуванням його малих, але скінченних розмірів. Окрім підвищення точності розрахунку поля на малих відстанях, ці вирази мають важливе теоретичне значення, вказуючи на місце формування хвилі, тоді як класичні вирази в явному вигляді ці залежності не містили;

отримані характеристики імпульсного випромінювання з відкритого кінця коаксіального хвилевода зі зміщеним центральним провідником з метою побудови елемента антенної решітки, що здатен випромінювати вздовж нормалі до апертури;

досліджені чотири моделі обтікання струмами снаряда як джерела нестационарного електромагнітного поля в момент його від'єднання від рейок. Отримані просторові та часові характеристики випромінювання, досліджена ближня та дальня зони цього випромінювача, що дозволяє оперативно відстежувати роботу таких систем;

створений компактний і ефективний випромінювач імпульсних хвиль, що є надширокосмуговим аналогом випромінювача Клевіна. Використання сильної взаємодії між його елементами, що є випромінювачами електричного та магнітного типу, дозволило покращити енергетичні та частотні характеристики цієї антени, яка може використовуватися як одиночна, так і як елемент антенної решітки;

побудований алгоритм корекції дисперсійних спотворень часової форми випромінених імпульсів на основі аналітичних розв'язків поширення лягеррівського імпульсів у хвилеводах з метою отримання коротких

імпульсів, необхідних для створення якісного надширокосмугового радара різноманітного призначення;

на основі всебічних досліджень розподілу полів у біологічних середовищах створена установка для контрольованого опромінювання розчинів із живими клітинами. Підтверджена атермічна дія електромагнітного поля на живі організми та клітини, продемонстрований більш шкідливий вплив гармонічних полів у порівнянні з імпульсними з такою ж середньою потужністю. Показана надзвичайна чутливість людських клітин до електромагнітного випромінювання;

побудовані системи розпізнавання параметрів шаруватих діелектриків та прихованих в ґрунтах об'єктів на основі штучних нейронних мереж, що аналізують виключно часові відліки амплітуд відбитих електромагнітних полів. Створена нова структура штучної нейронної мережі, що оптимізована для радарних задач на основі підходу дискретної томографії;

створена нова система локального позиціонування на основі підходу, що базується на знанні кута приходу хвилі, в якій цей кут в точці прийому визначається нейронною мережею по особливостям спотворень випромінених імпульсів антенами маяків. Ця система є дешевою через відсутність необхідності у часовій синхронізації об'єкта з маяками та завадозахищеною через використання надширокосмугових електромагнітних полів.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень. Основні наукові результати дисертації отримані за допомогою перевірених методів математичної фізики, у строгій постановці задач, з використанням адекватних фізичних моделей. Автором використані такі надійні методи, як метод еволюційних рівнянь, метод векторного потенціалу, метод функції Рімана, метод малих збурень, перетворення Лапласа, метод кінцевих різниць у часовому просторі тощо. Також О.М. Думін обґрунтовано застосував наближення Кірхгофа та наближення заданого струму. Аналітичні результати автор перевіряв числовим моделюванням. Також проводився всебічний фізичний аналіз отриманих ефектів. Як додаткову перевірку достовірності можна зазначити, що перевагою розв'язків у часовому просторі є можливість прослідкувати причинно-наслідкові зв'язки, що і робив автор там, де це було можливо. Таким чином, вважаю отримані в дисертації результати обґрунтованими та достовірними.

Практична значущість. Розвинутий в дисертації еволюційний підхід на задачі випромінювання завдяки його ефективності дозволяє проводити оптимізацію надширокосмугових систем, особливо таких, що мають великі електричні розміри. Дослідження нелінійних перетворень імпульсних полів потрібні для створення систем виявлення роботи потужних джерел електромагнітного випромінювання в режимі перемикання. Знання особливостей ближнього поля диполя Герца необхідно для створення систем, в яких досліджуваний об'єкт знаходиться в ближній зоні антени, наприклад, підповерхневих радарів, пристроїв неруйнівного контролю, опромінення біологічних об'єктів, радіопристроїв на тілі людини та імплантованих

всередину різних органів. Створені методи компенсації дисперсійних та дифракційних спотворень імпульсів необхідні для створення ефективних пристроїв зондування та надширокосмугового зв'язку. Знання полів рельсотронів не тільки потрібні для виявлення їх роботи, але й для вироблення рекомендацій для безпеки обслуговуючого персоналу. Комбіновані випромінювачі типу випромінювача Клевіна необхідні для побудови компактних і ефективних антенних решіток, які повинні працювати в надширокій смузі частот. Дослідження біологічних середовищ є практично важливим для використання імпульсних електромагнітних хвиль з лікувальною та профілактичною метою. Методи розпізнавання на штучних нейронних мережах потрібні для створення новітніх підповерхневих радарів та нової системи позиціонування.

Вважаю, що дисертація О.М. Думіна є **завершеним науковим дослідженням**, що збагачує наші знання про нестационарні електромагнітні поля у нелінійних, неоднорідних, нестационарних, біологічних середовищах та ґрунтах, які потрібні для практики. Автор в цьому дослідженні окреслив новий напрям досліджень надширокосмугових електромагнітних явищ і процесів і вирішив важливу наукову проблему. Зміст дисертації відповідає паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика. Дисертація та автореферат відповідають діючим вимогам. Зміст автореферату повно відображає основні положення дисертації. Результати наукових досліджень, за якими автор захистив кандидатську дисертацію, не винесені на захист докторської дисертації.

Матеріали дисертації **апробовані** на достатній кількості наукових конференцій, праці яких, в основному, індексуються в базі Scopus, та були представлені фахівцям з наведеної тематики. Результати дисертації в повній мірі **опубліковані** у фахових наукових журналах та монографії у відповідності до існуючих вимог, з них 11 робіт входять до наукометричної бази даних Scopus.

Дисертація виконана на високому науковому рівні, але містить наступні **недоліки**:

- В роботі застосована модель нелінійності, в якій нелінійна частина вектора поляризації синхронно змінюється зі зміною напруженості електричного поля як аргументу вектора поляризації (формула 3.39, стор. 139). Вважаю, що застосований автором підхід до розв'язання нелінійної задачі повинен врахувати інерційність середовища.
- Використання штучних нейронних мереж до аналізу амплітуд полів в заданих часових точках в Розділі 6 проводиться у наближенні, що автору відомий час приходу сигналу. Саме за таких умов проводиться навчання нейронних мереж. Не вистачає пояснень, яким чином автор буде забезпечувати цю синхронність.
- Вважаю, що в огляді літератури (Розділ 1) автор недостатньо повно описав альтернативні методи розв'язання нестационарних електродинамічних задач.

- Представлений в п.4.8.4 (стор. 210) метод зменшення амплітуди відбитої хвилі від першої границі розподілу проводиться для випадку, коли опромінюючий хвилевід заповнений речовиною без втрат, на відміну від речовини, яку опромінюють. Вважаю, що отриманий результат на Рис. 4.57 можна покращити шляхом зміни діелектричної проникності ідеальної речовини всередині хвильовода відповідно до рівня втрат речовини, що опромінюється.

Вказані недоліки роботи не є принциповими і не знижують її науковий рівень та цінність. Вважаю, що дисертаційна робота “Випромінювання і розповсюдження нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, нестаціонарних та біологічних середовищах” відповідає усім вимогам до докторських дисертацій, а її автор Думін О.М., заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,
д.ф.-м.н., старший дослідник,
зав. відділом теоретичної радіофізики
РІ НАН України



В.В. Ячин

Підпис д.ф.-м.н., старшого дослідника,
зав. відділом теоретичної радіофізики
РІ НАН України В.В. Ячина засвідчую.



Учений секретар
РІ НАН України
к.ф.-м.н.

Ю.В. Антоненко

23 квітня 2021 року

Відгук сержанко 23 квітня 2021 р

Учений секретар списку

