

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Думіна Олександра Миколайовича «Випромінювання і розповсюдження нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, нестаціонарних та біологічних середовищах», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Актуальність теми. Дисертація Думіна О. М. присвячена:

1) вдосконаленню підходу до розв'язку задач поширення нестаціонарних хвиль у поперечно-неоднорідних середовищах, в тому числі, нелінійних; 2) застосуванню метода еволюційних рівнянь для аналітичного розв'язання задач поширення нестаціонарних електромагнітних хвиль у кубічно-нелінійному середовищі; 3) дослідженням: а) енергетичних перетворень нестаціонарних полів у ближніх зонах випромінювачів, таких як: диполя Герца, вертикального електричного вібратора над ідеально провідним екраном, відкритого кінця симетричного та несиметричного коаксіального хвилеводу і вібраторно-щілинного випромінювача Клевіна; б) еволюції нестаціонарних електромагнітних полів у біологічних середовищах (розчинах); в) параметрів шаруватих ґрунтових середовищ та положень наземних і підземно-прихованих об'єктів. В результаті отримано дві системи зв'язаних еволюційних рівнянь у часовому просторі відносно амплітуд поздовжніх компонент електромагнітного поля, які є коефіцієнтами розкладу полів за ортогональним базисом поперечних площин. Розв'язання систем рівнянь проведено із застосуванням перетворення Лапласа, методом функції Рімана. Ефективність та універсальність підходу продемонстровано на поширеннях електромагнітних хвиль випромінювання петлі, що збуджується гаусовим імпульсом електричного струму, у сферично-обмеженому діелектричному середовищі з гаусовим розподілом діелектричної проникності вздовж радіусу. При цьому еволюційні рівняння розв'язано чисельно з використанням FDTD-методу — кінцевих різниць у часовому просторі в одновимірному варіанті. У своїх дослідженнях Думін О.М. здійснював збудження електромагнітних хвиль у наближенні заданого струму надкороткої тривалості. Ним продемонстровано резонансний характер поглинання енергії електромагнітного випромінювання біологічними розчинами. При цьому відокремлено вплив діелектричної підложки, на якій знаходився розчин, на коефіцієнт поглинання електромагнітної енергії. Виявлено більш шкідливий вплив правополяризованого випромінювання, ніж лівополяризованого на клітини живих організмів. Крім того, розвинуто метод радіолокаційного розпізнавання об'єктів з застосуванням принципів функціонування нейронних мереж.

Об'єктом досліджень є електромагнітні процеси випромінювання та поширення нестаціонарних хвиль у неоднорідних, нелінійних та біологічних середовищах. Цілком очевидно, що без наявності адекватних математичних моделей формування електромагнітного випромінювання, особливо

надкороткої тривалості, різними випромінювачами та штучних середовищ важко провести кількісні та якісні дослідження його поширення. Такі моделі дозволяють обґрунтовано оптимізувати параметри та характеристики імпульсних радіорадарів різного призначення. Отримані дисертантом результати є важливими для створення новітніх імпульсних підповерхневих радарів, що здатні визначати електрофізичні параметри ґрунтових шарів та виявляти приховані об'єкти.

У світлі сказаного, тема дисертаційної роботи Думіна О. М. є актуальною як в теоретичному, так і прикладному сенсі. **Мета роботи** полягає у виявленні закономірностей фізичних процесів надширокосмугового електромагнітного випромінювання та поширення нестаціонарних хвиль у неоднорідних, нелінійних та біологічних середовищах. Додатковим підтвердженням актуальності теми є входження обраної тематики в наукові програми НАН України та Міністерства освіти і науки України. З матеріалів дисертації видно, що вона виконана в рамках 12 держбюджетних тем, які виконувались на факультеті радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем ХНУ імені В. Н. Каразіна в період 2001–2020 рр. Крім того, спосіб вимірювання частотної залежності магнітної проникності феритових стержнів, що склав основу патенту України на корисну модель [126410, Україна, (51) МПК G01R 33/12, (2006.01)], визнано незалежними експертами.

Обґрунтованість наукових положень дисертації впливає з того, що вони базуються на результатах кількісного і якісного аналізу адекватних електродинамічних моделей електромагнітного випромінювання та його поширення у неоднорідних, нелінійних та біологічних середовищах. Ці моделі побудовано на основі рішень рівнянь Максвелла і матеріальних рівнянь, що містять електрофізичні параметри штучних середовищ, в тому числі, шаруватих ґрунтових шарів.

Теоретичні дослідження базуються на методах векторного потенціалу та системи еволюційних рівнянь електромагнітного поля, що формується нестаціонарним випромінюванням джерела заданого струму, у часовому просторі. Результати досліджень отримано із застосуванням комплексного підходу — аналітичних та чисельних методів.

Достовірність отриманих кількісних результатів і якісних висновків обумовлена обґрунтованістю теоретичних та чисельних моделей надширокосмугових випромінювачів, що досліджуються, і неоднорідних, нелінійних та біологічних середовищ; застосуванням відомих методів математичної фізики; використанням добре апробованих чисельних методів аналізу електродинамічних систем; а також коректністю припущень. Наявність явних причинно-наслідкових зв'язків у часових залежностей параметрів, що вивчаються, не дає підстав для сумнівів в достовірності результатів досліджень, що увійшли до дисертації. Доказом використання методу еволюційних рівнянь є результати, що отримані для часткових випадків — однорідних середовищ, які збігаються з відомими результатами, в тому числі, отриманими

альтернативними методами та іншими дослідниками. Всі нові результати добре обґрунтовані за допомогою використання фундаментальних принципів фізики.

Наукова новизна результатів і висновків дисертації полягає в наступному:

1. Набули подальшого вдосконалення методи аналізів:
 - систем зв'язаних еволюційних рівнянь, що описують нестационарні електромагнітні поля у неоднорідних та нелінійних середовищах;
 - поширення надширокосмугових електромагнітних випромінювань у неоднорідних, нелінійних та біологічних середовищах.
2. Вперше відмічено перевагу шкідливого впливу правополяризованого електромагнітного випромінювання над лівополяризованим випромінюванням на клітини живих організмів.
3. Вдосконалено застосування принципів функціонування нейронних мереж до вирішення радіофізичної проблеми — визначення параметрів ґрунтових середовищ та розпізнавання підземно-прихованих об'єктів у випадку їх імпульсного електромагнітного опромінення короткої тривалості.

Наукова і практична значущість роботи полягає в тому, що розроблені в ній фізико-математичні моделі надширокосмугових електродинамічних систем дозволяють побудувати пристрої реєстрування роботи потужних імпульсних електромагнітних джерел як за часовими характеристиками поля, так і за модовими перетвореннями у нелінійному середовищі. Це розширює можливості радіофізичних методів вимірювань електрофізичних параметрів неоднорідних та біологічних середовищ, а також виявлення прихованих об'єктів. Слід зазначити, що результати дисертації, що пов'язані з розпізнаванням підземно-прихованих об'єктів із застосуванням принципів функціонування штучних нейронних мереж, знайдуть широке впровадження при синтезі нових імпульсних радіорадарів. Методи компенсації спотворень випромінених радіоімпульсів дозволяють покращити їх характеристики.

Серед можливих напрямів використання результатів дисертації можна назвати їх впровадження у навчальну практику підготовки магістрів за спеціальностями радіофізика та прикладна фізика.

Зауваження та недоліки. Підтверджуючи обґрунтованість висновків і отриманих результатів, необхідно зробити такі зауваження:

1. Бракує перевірки запропонованого підходу до досліджень поширення електромагнітних хвиль через неоднорідні середовища, який апробовано на радіально-неоднорідному середовищі із гаусовим законом зміни діелектричної проникності, на інших неоднорідних або нелінійних середовищах.
2. Доцільним було б провести порівняння результатів розпізнавання підповерхневих об'єктів, які отримані за допомогою методу, що базується на принципах функціонування нейронних мереж, з результатами інших методів, наприклад, кореляційного методу.

3. Дисертанту необхідно було представити пункти новизни і висновків у систематизованому вигляді з виділенням основних досягнень, які виносяться до захисту і відображають вирішення розглянутої проблеми. Крім того, автореферат, по суті, є об'єднанням двох частин, що повторюються, так як висновки являють повторне викладання змісту автореферату у більш стисненому вигляді з додатковим акцентуванням.

4. Тексти дисертації та автореферату містять дуже довгі речення, що викликає труднощі розуміння суті висловлювань у читача. Автору варто було б висловлювати суть фізичних і математичних моментів більш чітко, коротко і лаконічно.

5. Робота містить недоліки технічного оформлення та описки.

Разом з тим, зазначені зауваження принципово не порушують суть роботи, не впливають істотно на кінцеві результати досліджень, що виконані автором, не зменшують наукове значення та актуальність дисертації, не знижують високу оцінку наукового рівня дисертаційної роботи. Всі зауваження мають рекомендаційний характер і не позначаються на достовірності отриманих результатів з удосконалення методів аналізу поширення нестационарних електромагнітних хвиль у неоднорідних та нелінійних середовищах. В цілому, висловлені зауваження та зазначені недоліки не знижують загальну позитивну оцінку роботи.

Загальна оцінка роботи. Переходячи до загальної оцінки дисертації, слід зазначити, що вона є закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою і логічним поданням матеріалу та свідчить про персональний внесок автора в науку. Вона присвячена розв'язку актуальної проблеми радіофізики, яка пов'язана з впливом неоднорідних та нелінійних середовищ на поширення імпульсного електромагнітного випромінювання надкороткої (одиноць наносекунд) тривалості та з його формуванням і застосуванням для підповерхневої радіолокації. Результати дисертаційної роботи досить повно висвітлені в 21 статті, одна з яких опублікована в журналі Q1, а 9 входять до наукометричної бази Scopus, та 1 монографії видавництва Springer International Publishing. Крім того, її результати є основою 1-го патенту України на корисну модель. Аналіз публікацій автора показав, що вони мають всі необхідні елементи, які підкреслюють повноту і глибину розкриття питань, що розглядаються. Робота має широку апробацію на 41 наукових міжнародних конференціях. Дисертація написана з використанням прийнятої в даній науковій сфері термінології достатньо зрозуміло і логічно. Стиль викладу матеріалу характеризується цілісністю, змістовною завершеністю, послідовністю та взаємозв'язком. Зміст і структура автореферату О.М. Думіна в достатній мірі відповідають структурі, основним положенням і висновкам дисертації. Обсяг та оформлення дисертації відповідають існуючим вимогам.

Висновки по роботі в цілому. Дисертаційна робота О.М. Думіна «Випромінювання і розповсюдження нестационарних електромагнітних полів у нелінійних, нестационарних та біологічних середовищах» є завершеною

працею. Відбиті в ній науково обґрунтовані результати про можливості розпізнавання підземно-прихованих об'єктів при їх зондуванні імпульсним надширококосягим випромінюванням із застосуванням принципів функціонування нейронних мереж є значним досягненням у розвитку радіофізики. За своєю актуальністю, новизною, науковим та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота задовольняє вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, що висуваються до докторських дисертацій за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Беручи до уваги вищевикладене, вважаю, що Думін Олександр Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за вказаною спеціальністю.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук
за спеціальністю радіофізика,
старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник відділу "Радіофізики твердого тіла"

Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова

НАН України

Прокопенко

Ю. В. Прокопенко



Підпис Прокопенка Ю. В. засвідчую.

Учений секретар ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України,

канд. фіз.-мат. наук

Почаніна

І. Є. Почаніна

Відгук одержано 23 квітня 2021 р

Учений секретар списку

Ан