

ВІДГУК офіційного опонента

на дисертацію Думіна Олександра Миколайовича “Випромінювання і розповсюдження нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, нестаціонарних та біологічних середовищах”, представленої для захисту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Актуальність теми дисертації. Останнім часом розширення практичного використання НВЧ енергії у різних науково-прикладних задачах та отриманні позитивні результати дають надію на створення більш конкурентоспроможних інноваційних технологій в різних галузях для подальшого вирішення існуючих проблем НВЧ енергетики. В цьому плані дисертаційна робота Думіна О.М. “Випромінювання і розповсюдження нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, нестаціонарних та біологічних середовищах”, яка присвячена розгляду процесів випромінювання та поширення нестаціонарних електромагнітних полів у необмежених нелінійних, нестаціонарних, шарувато неоднорідних, поперечно неоднорідних, а також біологічних середовищах, являє собою яркий приклад подальшого розвитку основних положень НВЧ енергетики в частині використання нестаціонарного електромагнітного поля, особливо, в ближній зоні випромінювання. Для проведення порівняльного аналізу та визначення важливості отриманих результатів необхідно дати більш точне визначення того, що мав на увазі автор кажучи про нестаціонарне електромагнітне поле. З подальшого розгляду роботи стає очевидним, що справа полягає в застосуванні надкоротких НВЧ імпульсів, тривалість котрих становить 0.1 – 1.0 нс. На сьогоднішній день, існує ціла низка задач, котрі потребують свого вирішення та фізичного пояснення, і пов’язані з взаємодією надкоротких електромагнітних імпульсів з нестаціонарним, нелінійним або дисперсним середовищем. Саме до таких задач слід віднести особливості фізичних процесів, які супроводжують поширення імпульсних хвиль у неоднорідних, нестаціонарних, нелінійних та дисперсних середовищах, формування вільних електромагнітних полів у ближній зоні випромінювачів, перетворень часової форми амплітуд полів як носіїв інформації внаслідок дисперсії у хвилеведучих системах, дифракції на неоднорідностях, інтерференційних явищ. Слід зауважити, що згідно з існуючими стандартами практичне використання надкоротких НВЧ електромагнітних імпульсів має свої особливості, які залежать від ряду параметрів НВЧ імпульсів, наприклад, амплітуди, тривалості, шаруватості, тощо. В умовах застосування надкоротких НВЧ імпульсів розглядаються потужні наносекундні імпульси з пікової потужністю від сотень МВт до одиниць ГВт для вирішення задачі функціонального враження

напівпровідникової елементної бази (мікросхеми, транзистори, діоди та інші напівпровідникові елементи). З другого боку, застосування надкоротких імпульсів малої та середньої потужності дозволяє вирішувати не менш важливі задачі в області радіозв'язку (наприклад, створення систем імпульсного радіо), радарних технологій (наприклад, створення радарів для виявлення та розпізнавання металевих і діелектричних об'єктів, що знаходяться під поверхнею ґрунту) та медицини для аналізу поведінки надкоротких НВЧ імпульсів у біологічному середовищі, в тому числі на клітинному рівні. Виходячи з цього маємо два абсолютно різних проявів дії електромагнітного поля: теплове і нетеплове (або інформаційний вплив на біологічні об'єкти).

Таким чином, основу даних дисертаційних досліджень становить подальший розвиток методів аналізу та поведінки нестаціонарних полів у нелінійних, неоднорідних, нестаціонарних та біологічних середовищах, випромінювачів таких полів, методів аналізу параметрів біологічних середовищ, виявлення і розпізнавання об'єктів у ґрунтах за допомогою імпульсних електромагнітних хвиль. В цьому плані комплекс питань, розглянутих в дисертаційній роботі, є спроба, з одного боку, узагальнити і систематизувати той величезний багаторічний досвід досліджень, проведених автором на кафедрах прикладної електродинаміки та фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна в період 2001-2020 рр., а з іншого - запропонувати шляхи подальшого розвитку радіофізичних методів досліджень поведінки нестаціонарного електромагнітного поля в умовах його випромінювання, розповсюдження, прийому та з урахуванням нестаціонарності, неоднорідності, нелінійності середовища. Рішення поставлених питань проводилося в рамках і тісному зв'язку з науковими програмами Міністерства освіти і науки України. Зокрема, це стосувалося більш ніж 10 держбюджетних науково-дослідних робіт, в котрих автор брав участь як виконавець, відповідальний виконавець та керівник. Підводячи підсумок вищесказаного можна сказати, що дана дисертаційна робота, представляє безперечний науковий і практичний інтерес, а її актуальність не викликає сумніву.

Дисертація складається зі вступу, шести розділів основного тексту з рисунками та таблицями, загальних висновків, списку використаних джерел та одного додатка. Загальний обсяг дисертації становить 374 сторінки.

Наукова новизна дисертаційної роботи. В дисертаційній роботі автором вирішується комплекс завдань, серед котрих слід відзначити дослідження, які направлені на подальший розвиток методу еволюційних рівнянь до розв'язання систем нестаціонарних рівнянь Максвелла, який був запропонований проф. Третяковим О.О. Автор запропонував такий підхід на випадок необмеженого простору, що заповнений поперечно неоднорідним, поздовжньо неоднорідним середовищем та радіально неоднорідним середовищем, зберігаючи можливість врахування нелінійності

та нестационарності середовища без додаткових перетворень. Автором вперше:

- одержана система нестационарних одновимірних еволюційних рівнянь в сферичній системі координат. Для радіально неоднорідного середовища продемонстровані переваги еволюційного підходу, що дозволяє зменшити розмірність нестационарної задачі на дві одиниці, і тим самим значно спростити остаточної задачу та пришвидшити її числовий розрахунок, якщо аналітичний розв'язок не вдається отримати.
- аналітично розв'язана задача поширення нестационарної електромагнітної хвилі в слабонелінійному середовищі методом теорії збурень шляхом розрахунку просторового еквівалентного струму як функції нелінійної частини вектора поляризації.
- отримані всі компоненти випроміненого електромагнітного поля у часовому просторі для імпульсного струму з більш високою точністю для малих відстаней спостереження, ніж у класичних виразах для диполя Герца, використовуючи обмеження у вигляді малих розмірів диполя у порівнянні із просторовим часом характерної зміни збуджуючого струму, а також у порівнянні з відстанню до точки спостереження.
- одержані характеристики імпульсного випромінювання відкритого кінця коаксіального хвилевода із зміщеним центральним провідником, що продемонстрував задовільні характеристики випромінювання в напрямках, близьких до нормалі до площини апертури.
- отримані просторові і часові характеристики імпульсного електромагнітного поля, що випромінюється рельсотронами в момент розриву потужного електричного кола для чотирьох моделей обтікання струмами поверхні снаряду.
- створений надширокосмуговий аналог вібраторно-щілинного випромінювача Клевіна, в якому шляхом сильної взаємодії надширокосмугової щілинної антени Барнса з надширокосмуговими замкненими на екран монополями у вигляді конусів досягнуто покращення напрямленості випромінювання та збільшення амплітуди імпульсів у напрямку головного максимуму в порівнянні із випромінюванням одиночної щілинної антени Барнса.
- запропонована та протестована процедура корекції часової форми імпульсу, що випромінений з апертури хвилевода, за допомогою оператора поширення нестационарної електромагнітної хвилі у хвилеводі в режимі переміщення по часу назад та оператора корекції лінійних дифракційних спотворень імпульсу для формування коротких зондуючих імпульсів поля.
- продемонстрований сильний вплив умов експерименту з опромінення біологічного розчину на напруженість електричного поля і коефіцієнт питомого поглинання в біологічній речовині. Також за допомогою експериментальної установки, що дозволяла змінювати часову форму імпульсного сигналу, показано, що наявність суттєвої за потужністю

гармонічної складової підсилює шкідливу дію поля на живі клітини людини. За допомогою розробленої та виготовленої експериментальної установки надійно визначено, що імпульсне опромінення навіть впродовж 10 секунд на рівні середньої потужності в 200 разів нижче за дозволу нормами, виробленими на основі теплової дії поля, призводить до стресового стану людських клітин.

- запропонований і реалізований підхід до визначення параметрів опромінюваного шаруватого діелектрика із включеннями за відбитою імпульсною хвилею за допомогою штучної нейронної мережі, що аналізує прийняте поле в часовому просторі, причому в якості вхідних даних використовуються виключно часові відліки амплітуд, а не попередньо обраховані характеристики поля. Вперше за допомогою підходу дискретної томографії та променевого методу вироблена нова структура глибокої штучної нейронної мережі, яка характеризується кращою стійкістю класифікації, можливістю зменшення на порядок кількості нейронів без суттєвої втрати якості розпізнавання за рахунок попередньої інтелектуальної обробки інформації на основі наявних знань про фізичні процеси поширення хвиль.
- створена локальна система позиціонування на штучних нейронних мережах, що аналізують прийняті імпульсні надширокосмугові поля, в якій використовується фізичне явище зміни часової форми випроміненого імпульсу для різних кутів випромінювання антени.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів.

Достовірність і обґрунтованість основних результатів і висновків дисертації забезпечена строгими математичними методами вирішення задач. Автор отримав багато результатів в аналітичному вигляді. Для їхньої перевірки і порівняння він використовує незалежні числові методи, а також за рахунок фізичного їх обґрунтування. Завдяки тому, що практично всі характеристики електромагнітних полів отримані у часовому просторі, дуже легко пересвідчитися в правильності одержаних часових залежностей тому, що в часовому просторі нескладно перевіряти закон збереження енергії, який повинен виконуватися в довільний момент часу. Тому, на мій погляд, можна стверджувати, що отримані в дисертації наукові результати є достовірними і в достатній мірі обґрунтованими.

Практична значимість отриманих дисертантом результатів полягає у першу чергу в тому, що йому вдалося розвинути теоретичні методи аналізу процесів випромінювання і поширення нестаціонарних полів у нелінійних, неоднорідних і нестаціонарних середовищах. Це також дозволило встановити цілий ряд нових фізичних закономірностей, які можуть бути використані для розробки нових випромінюючих систем, в тому числі таких комбінованих компактних, як надширокосмуговий аналог випромінювача Клевіна, перетворювачів часових, просторових і спектральних характеристик полів, систем реєстрації роботи потужних джерел нестаціонарного струму. Практичний інтерес мають розроблені автором підходи для формування і корекції коротких надширокосмугових імпульсів для побудови новітніх

НШС радарів. Розроблений автором підход пов'язаний з застосуванням штучних нейронних мереж в якості «інструмента» для автоматизованої обробки радіофізичних даних дозволив (поки ще на програмному рівні) доказати його спроможність до ефективного розпізнавання прихованих об'єктів за допомогою таких радарів для пошуку підземних комунікацій, неруйнівного контролю, дистанційного виявлення вибухових пристроїв тощо.

Основні матеріали і результати дисертаційної роботи досить повно висвітлені в 1 монографії та 21 статтях автора, з котрих 11 статей опубліковано в зарубіжних спеціалізованих виданнях (з них 10 статей відносяться до міжнародної наукометричної бази Scopus) та 10 статей опубліковано у профільних наукових журналах України. Матеріали дисертації доповідались та опубліковані в збірниках праць 41 конференції, з яких 35 входять до міжнародної наукометричної бази Scopus. Крім цього наукові результати додатково відображені в 3 статтях у фахових виданнях України, 1 монографії та 1 патенті України. Судячи зі списку авторських робіт особистий внесок автора більш, ніж переконливий.

Автореферат повністю відповідає змісту і основним положенням дисертації та оформлений відповідно до існуючих вимог ДАК України.

На жаль, робота не вільна від ряду недоліків, серед яких необхідно відзначити наступні:

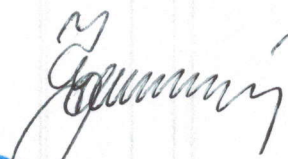
1. На жаль, в списку літератури до даної дисертаційної роботи я не знайшов посилання на роботи авторів, які в різний час вивчали особливості формування і поведінки надкоротких НВЧ імпульсів що до їх використання в різних радіоелектронних системах. Зокрема, роботу *проф. Иммореева И.Я. Сверхширокополосные радары: новые возможности, необычные проблемы, системные особенности. Вестник Московского государственного технического университета им. Баумана, 1998, вып. 4.*
2. На стор. 3 автореферату автор говорить про «... виявлення фізичних закономірностей процесів ... нагріву діелектриків для їх практичного використання». Не ясно, що малося на увазі і яке продовження це знайшло в ході подальших досліджень.
3. Для визначення впливу навколишнього середовища на поширення надширокосмугових електромагнітних імпульсів в припущенні нетеплової їх дії важливим фактором є вплив дисперсійних властивостей такого середовища. Автор же обмежився тільки нестационарними, слабонелінейними і неоднорідними середовищами і розглянув їх вплив на дію надкоротких НВЧ імпульсів.
4. Також хотілося відзначити відсутність в тексті автореферату і дисертації згадки про впровадження отриманих результатів в навчальному процесі.

Проте, зазначені недоліки не зачіпають основних положень і результатів дисертації, не знижують загального позитивного враження від роботи, яка представляє собою закінчену наукову працю, виконана на високому науковому рівні і закладає основу нового наукового напрямку в радіофізиці,

пов'язаного з дослідженнями надширокосмугових випромінюючих структур та поширення нестаціонарних полів у різноманітних середовищах.

В цілому дисертаційна робота Думіна О.М. "Випромінювання і розповсюдження нестаціонарних електромагнітних полів у нелінійних, нестаціонарних та біологічних середовищах" виконана на високому науковому рівні, присвячена вирішенню важливої наукової проблеми, повністю відповідає сучасним вимогам, що пред'являються до докторських дисертацій, а її автор Думін О.М. заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 - радіофізика.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри фізичних основ
електронної техніки Харківського
національного університету
радіоелектроніки



Г.І. Чурюмов

Підпис проф. Чурюмова Г.І. засвідчую:

Перший проректор Харківського національного
університету радіоелектроніки




І.В. Рубан

Відгук оверстано 23 квітня 2021 р

Учений секретар спецради

