

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу *Д.В. Грецьких*  
“*Розвиток теорії систем безпроводної передачі енергії*”

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю *05.12.07 – антени та пристрої мікрохвильової техніки*

### **1. Актуальність теми, зв'язок її з науковими програмами**

Дисертаційна робота Д.В. Грецьких присвячена розвитку основ теорії систем безпроводної передачі енергії (БПЕ), які містять у своєму складі антени з нелінійними характеристиками та використанню розвиненої теорії для вирішення окремих задач, пов'язаних з аналізом передавальних та приймальних (великоапертурних ректен) підсистем систем БПЕ сфокусованим мікрохвильовим променем.

Актуальність теми дисертації не викликає жодних сумнівів, тому що в теперішній час спостерігається стрімкий розвиток різних технологій безпроводної передачі енергії. В свою чергу це суттєво розширює її галузі застосування систем БПЕ. Про це свідчить значна кількість праць. Проте з аналізу цих праць витікає що сучасна теорія систем БПЕ заснована на використанні тих чи інших, зазвичай істотних, припущеннях. Це ускладнює виявлення загальних закономірностей, ускладнює можливість з'ясування всієї картини складних (через наявність в системах БПЕ антен з нелінійними характеристиками) електромагнітних процесів, що відбуваються в системах БПЕ в цілому.

У роботі Д.В. Грецьких вирішується група складних радіотехнічних задач, що може розглядатися як проблема одночасного дослідження процесів випромінювання, поширення, приймання та нелінійного перетворення електромагнітних полів в ректенах. В основу її вирішення автором дисертації покладені розроблення й розвиток строгих методів аналізу систем БПЕ, створення адекватних математичних моделей систем БПЕ, розроблення універсальних ефективних алгоритмів для дослідження систем БПЕ в яких використовуються різні технології передачі енергії. Вирішення цієї проблеми можна вважати суттєвим науковим досягненням в напрямку досліджень та проектування систем БПЕ різного призначення.



Робота Д.В. Грецьких виконана за тематикою досліджень Харківського національного університету радіоелектроніки та Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна в рамках ряду держбюджетних НДР.

## **2. Наукова новизна результатів та висновків дисертаційної роботи**

Основні наукові результати полягають у наступному.

1. На базі методу змінних стану запропонована для аналізу широкого класу систем БПЕ більш коректна математична модель, що описується системами рівнянь стану, вихідних рівнянь, співвідношеннями для розрахунку зовнішніх параметрів систем БПЕ, які дозволяють описати як процеси, що протікають в самій системі, так й врахувати електродинамічний зв'язок досліджуваної системи БПЕ з іншими радіоелектронними системами. На відміну від відомих, розроблена модель враховує все різноманіття нелінійних ефектів, що виникають в системах БПЕ.

2. Отримано систему нелінійних інтегральних рівнянь, для сталого періодичного режиму, випромінювальної структури системи БПЕ до складу якої входять передавальна та приймальна випромінювальні структури з лінійними та нелійними зосередженими елементами й розсіювачі. На основі цих рівнянь вперше отримані співвідношення для визначення блоків матриці розсіяння випромінювальної структури, які описують внутрішньосистемні процеси та міжсистемну взаємодію.

3. Розроблено ефективний дворівневий ітераційний алгоритм чисельного рішення системи рівнянь стану, що розширює, в порівнянні з відомими алгоритмами, можливості аналізу систем БПЕ за кількістю що містяться в їх антенах нелінійних елементів і за кількістю утримуваних при розрахунках гармонійних складових.

4. Вперше на основі теоретичного доказу обґрунтовані умови застосування наближення нескінченних решіток до аналізу великоапертурних ректен, які є антенами з нелійними елементами. На основі проведеного доказу розроблено методику аналізу великоапертурних ректен при нерівномірному їх збудженні.

У дисертації на ряді прикладів доведена можливість застосування розробленої теорії для вирішення практичних задач моделювання систем БПЕ.

### **3. Вірогідність отриманих результатів та висновків**

Вірогідність результатів роботи та її висновків визначаються тим, що задачі формулюються досить коректно, прийняті моделі і допущення фізично виправдані, вирішення задач провадиться добре апробованими методами математики, теорії антен з нелінійними елементами, прикладної електродинаміки. Результати праці якісно узгоджуються з раніше відомими виявленнями про характеристики систем БПЕ. Порівняння результатів моделювання за розробленою здобувачем математичною моделлю системи БПЕ з відомими експериментальними даними отриманих іншими авторами показало гарний їх збіг.

### **4. Наукова і практична значимість роботи**

Наукова значимість роботи визначається тим, що в ній розвинені основи теорії систем БПЕ, яка з єдиних позиції дозволяє описувати системи БПЕ в яких використовуються різні фізичні способи передачі енергії. Розвинена теорія використана для моделювання систем БПЕ сфокусованим мікрохвильовим променем.

Практична значимість роботи визначається наступним.

1. Розроблено алгоритм, який дозволяє провадити дослідження нелінійного режиму систем БПЕ і який, зокрема, придатний для аналізу інших радіоелектронних систем в складі яких є антени й антенні тракти з нелінійними елементами.

2. Досліджено системи БПЕ передавальна підсистема яких побудована на основі багатопозиційних систем випромінювачів. В ході дослідження вироблені методика розрахунку, послідовність проектування великоапертурних ректен та практичні рекомендації щодо покращення їх характеристик.

Наведені наукові і практичні результати становлять основу для дослідження характеристик систем БПЕ та подальшій їх розробці.

Практична цінність проведених досліджень підтверджена запровадженням результатів дисертації в декількох НДР та навчальному процесі.

## **5. Оформлення роботи, повнота апробації та публікації основних наукових результатів і висновків роботи**

Дисертаційна робота Д.В. Грецьких оформлена згідно з вимогами, що висуваються Атестаційною колегією Міністерства освіти і науки України до дисертацій. Обсяг дисертації складає 314 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 98 рисунками та 6 таблицями. Список використаних джерел містить 303 найменування.

Автореферат дисертації вірно й адекватно відображує основний її зміст.

Основні наукові результати і висновки роботи досить повно викладені в монографії та 20 статтях й апробовані на 20 науково-технічних конференціях високого професійного рівня. 17 робіт здобувача індексуються в наукометричній базі Scopus. Здобувач є співавтором 3 підручників з грифом МОН України.

## **6. Недоліки та зауваження по роботі**

1. Деякі посилання зроблені на малодоступну літературу, що утруднює розуміння вкладеної в те чи інше дослідження ідеї. Здебільшого це зауваження стосується монографій [116, 181] виданих в ХНУРЕ. За викладеним текстом можна лише здогадуватися про застосовані у дослідженнях здобувача відомих результатів з теорії антен з нелінійними елементами.

2. У дисертації на прикладі тієї чи іншої системи БПЕ варто було б приділити увагу розгляду умов передачі максимальної потужності між передавальною антеною та ректеною з врахуванням нелінійних ефектів, що виникають при перетворенні ректеною енергії електромагнітних полів у постійний струм.

3. Не зрозуміло за якими критеріями апертура ректени, що опромінюється нерівномірно, розбивається на зони для подальшого її аналізу в наближенні нескінченних решіток.

4. Відсутні результати аналізу рівня та кутового розподілу випромінювання на частотах гармонік великоапертурної ректени, які б дозволили дістати важливу для практики інформацію – дати оцінку електромагнітної сумісності систем БПЕ.

## 7. Загальні висновки по дисертації

Зазначені вище недоліки не є принциповими і не можуть вплинути на загальну позитивну оцінку роботи.

Дисертація Д.В. Грецьких являє собою закінчену наукову працю, в якій розвинутий електродинамічний підхід до дослідження систем БПЕ, що використовують різні фізичні способи передачі енергії, оснований на застосуванні чисельних методів прикладної електродинаміки та методів аналізу антен з нелінійними елементами.

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.12.07 – антени та пристрої мікрохвильової техніки. За обсягом, глибиною і важливістю одержаних результатів дисертація повністю задовольняє вимогам “Порядку присудження наукових ступенів”, які пред’являються до докторських дисертацій, а її автор Дмитро Вячеславович Грецьких заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

### Офіційний опонент

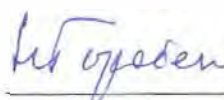
завідувач кафедри прикладної електродинаміки

Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

доктор фізико-математичних наук, професор,

лауреат Державної премії України в галузі

науки і техніки

 Микола ГОРОБЕЦЬ

«19» квітня 2021 р.

Підпис Миколи Миколайовича Горобця засвідчую

Начальник служби управління персоналом

доктор педагогічних наук, професор



 Сергій КУЛШ