

## ВІДГУК

офіційного опонента Салтикова Дмитра Юрійовича на дисертаційну роботу **Самойлика Сергія Сергійовича** «Розвиток методів та моделей аналізу хвилеводно-резонаторних систем з частковим багат шаровим заповненням», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

### 1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Інтенсивний розвиток техніки мікрохвильового діапазону призвів до значного розширення області застосування хвилеводно-резонаторних структур, як складових елементів різноманітних радіотехнічних пристроїв. На практиці широко використовуються пристрої з частковим діелектричним, феритовим і напівпровідниковим заповненням. Дослідження фізичних процесів в таких системах виявляється складним і не дозволяє отримати прості аналітичні вирази. Застосування методів теорії електричних кіл з використанням моделей із зосередженими параметрами дають лише якісний опис фізичних процесів без врахування геометрії структури, що в багатьох випадках є недостатнім. Універсальні програмні комплекси, які базуються на реалізації різноманітних чисельних методів, не враховують специфіку проєктованих пристроїв, що призводить до зростання процесорного часу і неможливості отримання оптимального розв'язку, крім того ліцензія на використання таких програмних комплексів вимагає значних капіталовкладень. Альтернативним виходом є застосування наближених математичних моделей взаємодії і поширення електромагнітних хвиль у хвилеводно-резонаторних системах з частковим багат шаровим заповненням. Актуальність розробки математичних моделей адекватних реальним фізичним процесам підтверджується відсутністю задовільної загальної теорії взаємодії і поширення хвиль у хвилеводно-резонаторних системах з частковим багат шаровим заповненням.

Все це обумовлює актуальність теми дисертаційної роботи Самойлика С. С. «Розвиток методів та моделей аналізу хвилеводно-резонаторних систем з частковим багат шаровим заповненням», яка присвячена розв'язанню саме цих задач за допомогою розвитку методу інтегральних рівнянь макроскопічної електродинаміки та методу областей, що частково перетинаються.

Для підтвердження актуальності теми, слід вказати на її зв'язок із державними науковими програмами, оскільки робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи "Дослідження радіотехнічних, біотехнічних і телекомунікаційних пристроїв та систем моделювання обробки сигналів в них" і, отже, відноситься до пріоритетних напрямків розвитку науки й техніки.

### 2. Наукова новизна одержаних результатів

Завдяки розвитку методу інтегральних рівнянь макроскопічної електродинаміки та методу областей, що частково перетинаються, запропоновано методу дослідження електромагнітного поля в хвилеводно-резонаторних системах з багат шаровими неоднорідностями. Ця методика базується на



застосуванні інтегральних рівнянь Вольтерра другого роду з використанням функцій Гріна для розв'язання інтегральних рівнянь. Застосування інтегральних рівнянь дозволило автоматично враховувати граничні та початкові умови в розглянутих задачах та створити єдиний алгоритм дослідження. Вперше були запропоновані математичні моделі, що описують процеси всередині прямокутного резонатору з багатошаровими неоднорідностями у вигляді пластин та циліндрів. За допомогою методу областей, що частково перетинаються досліджено прохідний резонатор з багатошаровим заповненням при сильному та слабкому зв'язку резонатора з хвилеводом. Вперше було проведено чисельний аналіз на базі створених математичних моделей, який дозволив обчислити потужності, що поглинаються багатошаровими неоднорідностями, визначено коефіцієнти проходження та відбиття для кожної структури.

### **3. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Обґрунтованість викладених у дисертаційній роботі положень базується на коректних постановках мети і задач дослідження, підтверджується використанням для розв'язання задач добре апробованих математичних методів, таких як метод інтегральних рівнянь макроскопічної електродинаміки та метод областей, що частково перетинаються; достатньою кількістю публікацій у виданнях, що входять до переліку фахових видань України з фізико-математичних наук, публікаціями у міжнародних виданнях, та апробацією на всеукраїнських та міжнародних конференціях та симпозіумах; здобуті результати є фізично прозорими та не суперечать загальновідомим положенням сучасної радіофізики; чисельні результати підтверджують аналітичні висновки;

### **4. Повнота викладення основних результатів досліджень в опублікованих працях**

Основні результати дисертації докладно викладені в 15 наукових публікаціях, з них 5 статей надруковано у спеціалізованих фахових виданнях, одна стаття опублікована в науковому журналі, який входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, 10 публікацій – у збірниках наукових праць конференцій, дві з яких два увійшли до бази Scopus.

### **5. Оформлення дисертації та автореферату, ідентичність змісту автореферату та основних положень дисертації**

Аналіз сукупності наукових результатів і положень представлених у роботі Самойлика С.С. дозволяє зробити висновок про їх внутрішню єдність і засвідчує особливий внесок автора в радіофізику щодо подальшого розвитку методів аналізу хвилевідно-резонаторних систем з багатошаровим заповненням.

Дисертація являє собою рукопис і складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить – 141 сторінок. Список використаних джерел налічує 105 найменувань.

Дисертація написана досить логічно і грамотно з коректним та логічним застосуванням фізико-математичної термінології, стиль викладання характеризується цілісністю, змістовною завершеністю, послідовністю та взаємозв'язком. У дисертації відображені наукові результати, їхня новизна та значимість для науки і практики, а у випадках, коли використовувалися раніш відомі ідеї або методи, автором дані посилання на відповідні літературні джерела.

Структура і зміст автореферату в цілому відповідають тексту дисертації і досить повно відображають основні положення та висновки. Дисертація та автореферат відповідають паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика, по якій вона подається до захисту.

#### **6. Практична значущість та рекомендацій, щодо використання результатів дисертації**

Запропоновані в роботі моделі можуть застосовуватись для проектування, створення та виробництва різноманітних пристроїв мікрохвильового діапазону. Результати дисертаційних досліджень впровадженні в КП НВК «Іскра», в Національному університеті «Запорізька політехніка» при виконанні держбюджетної НДР, а також в навчальному процесі на кафедрі радіотехніки та телекомунікацій Національного університету «Запорізька політехніка». Практична значущість результатів роботи підтверджена актами впровадження.

Наукові результати дисертації рекомендуються до використання в організаціях, які займаються проектуванням НВЧ резонаторних систем або мають їх у складі комплексів, зокрема в КП НВК «Іскра». Результати досліджень також можна рекомендувати до використання в навчальному процесі вищих навчальних закладів, які здійснюють підготовку фахівців за спеціальностями 171 Електроніка, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

#### **7. Зауваження та недоліки дисертаційної роботи.**

Як зауваження та недоліки дисертаційної роботи слід зазначити наступне:

1. Не представлено порівняння результатів дисертаційної роботи з експериментальними даними та результатами, що були одержані іншими методами.

2. Не проведено достатнього тестування застосованих чисельних алгоритмів, не визначені межі застосовності розглянутих моделей та методів їх аналізу.

3. Деяким питанням приділяється надмірна увага, наприклад, підрозділ 1.2 можна б було скоротити за рахунок скорочення невиправдано докладного виводу рівняння Гельмгольца. Деякі висловлювання присвячені банальним питанням, які відомі апріорі та не потребують уточнення, так у висновках до розділу 1 (с. 34) сказано: «показано, що рішення внутрішньої крайової задачі електродинаміки (ВКЗЕ) для довільних хвилеводних і резонаторних структур

з частковим багаточаровим заповненням базується на рішенні рівнянь Максвелла».

4. Розділи 3 і, особливо, 4 навпаки написані надто стисло, не приведено обґрунтування обрання розглянутих моделей, не пояснено за якими критеріями в даному випадку зв'язок з хвилеводом вважається сильним, а який – слабким, пояснення до формул не завжди повні, наприклад, в (4.29) не описана величина  $S$ , все це помітно ускладнює сприйняття викладеного матеріалу.

5. В роботі присутні деякі неточності у використанні науково-технічної термінології, наприклад, у підрозділі 1.2 в рівняннях Максвелла густина струму  $j$  названа струмом (с. 20), на с. 116 вказані «геометричні розміри хвилеводу  $23 \times 10$  мм», але точніше б було «геометричні розміри поперечного перерізу хвилеводу», на с. 100, 116 при аналізі чисельних результатів приведені інтервали частот, в яких коефіцієнт проходження мінімальний, але з контексту і рисунків 4.2 і 4.5 видно, що мова йдеться про нормовану довжину хвилі  $\lambda/a$ , ці ж самі ствердження повторені у висновках до розділу (с. 119).

6. В тексті роботи присутні граматичні помилки і описки. Автор не завжди дотримується єдиної термінології, наприклад, постійно чергуються методи «скінчених різниць» і «скінчених елементів» та методи «кінцевих різниць» і «кінцевих елементів», іноді зустрічається «метод часткових пересічних областей» (с. 2, 35) поряд з «методом часткових областей, що перетинаються». Помилково використовуються слова «рішення» і «вирішення» замість «розв'язок» і «розв'язання», «щільність» замість «густина», «розповсюджується» замість «поширюється» тощо. На мій погляд зручніше вживати терміни «поглинута потужність» замість «потужність, що поглинулась», «прохідна потужність» замість «потужність, що пройшла» і, тим паче, «що пройшла потужність», як у підпису до рис. 4.2, 4.5.

Проте, відзначені недоліки не впливають принципово на кінцеві результати проведених досліджень, не ставлять під сумнів основні висновки та рекомендації, отримані в роботі, не зменшують наукову значущість і актуальність дисертації та не знижують оцінку наукового рівня дисертаційної роботи.

## 8. Висновки по роботі в цілому.

Отже, представлена дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій одержані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують науково-прикладну задачу розвитку методів та моделей аналізу хвилеводно-резонаторних систем з частковим багаточаровим заповненням. З урахуванням актуальності, наукової новизни, теоретичної та практичної значущості отриманих результатів вважаю, що дисертаційна робота Самойлика С. С. " Розвиток методів та моделей аналізу хвилеводно-резонаторних систем з частковим багаточаровим заповненням " відповідає паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика та задовольняє вимогам п. 11 «Порядку прису-

дження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, а її автор **Самойлик Сергій Сергійович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент:

доцент кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, кандидат фізико-математичних наук

Д. Ю. Салтиков

“08” вересня 2019 р.

Підпис доцента кафедри прикладної радіофізики, електроніки та наноматеріалів Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Салтикова Д. Ю. засвідчую.

Вчений секретар Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, к.ф.-м.н., доцент



Т. В. Ходанен