

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Медведєва Миколи Володимировича «ЗБУДЖЕННЯ ТА ВИПРОМІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ СИСТЕМОЮ ЩІЛИН, ПРОРІЗАНИХ У ЗОВНІШНЬОМУ ПРОВІДНИКУ КОАКСІАЛЬНОЇ ЛІНІЇ», подану до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика

Дисертаційна робота М. В. Медведєва «Збудження та випромінювання електромагнітних хвиль системою щілин, прорізаних у зовнішньому провіднику коаксіальної лінії» має за свою мету дослідження процесу збудження та розсіювання електромагнітних хвиль щілинними решітками у зовнішньому провіднику коаксіальної лінії. Дослідження спрямоване на встановлення фізичних залежностей електродинамічних характеристик випромінювальних коаксіально-щілинних структур (коефіцієнту корисної дії, коефіцієнту відбиття, амплітудного та фазового розподілів поля уздовж випромінювальної апертури, діаграми спрямованості) від геометричних параметрів випромінювачів, коаксіального фідерного тракту, електрофізичних параметрів зв'язуваних електродинамічних об'єктів, аналіз способів керування та поліпшення цих характеристик, встановлення їхніх діапазонних властивостей.

**Актуальність обраної теми, її зв'язок із державними чи галузевими науковими програмами, пріоритетними напрямками розвитку науки й техніки.**

Хвилеводно-щілинні структури широко застосовуються та перспективні в майбутньому для розв'язання багатьох прикладних задач радіофізики й електроніки в галузі створення сучасних радіоелектронних систем і радіотехнічних комплексів, основними складовими елементами яких є приймально-передавальні антенні системи та пристрої антенно-фідерного тракту.

Різноманіття форм щілинних елементів, розташування їх у різного типу хвилеводних трактах, можливість використання особливостей режимів їхнього збудження є основою для створення новітніх та суттєвого поліпшення існуючих випромінювальних пристроїв і систем з необхідними масогабаритними, технічними та електродинамічними характеристиками.

Анени у вигляді решіток щілин у зовнішньому провіднику коаксіальної лінії широко застосовуються в мобільному зв'язку, системах забезпечення зв'язку у важкодоступних місцях, у радарних установках, охоронних системах, датчиках контролю стану людини, МІМО-структурах тощо. В останні роки спостерігається

бурхливий розвиток засобів рухомого зв'язку, радіозв'язку спеціального призначення в місцях, що мають певну специфіку та сильно екранованих об'єктах: промислових комплексах, висотних будівлях, метрополітенах, транспортних тунелях, шахтах, підземних торгівельних центрах, залізниці, кораблях тощо. У всіх вказаних випадках ефективними антенами є випромінювальні коаксіальні кабелі, оскільки вони досить просто забезпечують збудження великої кількості випромінювачів, малі габарити, гнучкість, порівняно низьку вартість та не мають частин, що виступають.

Велика увага приділяється розвитку прогресивних мало або неінвазивних терапевтичних та лікувальних методів, що спираються на локальний нагрів уражених ділянок та органів людського організму шляхом опромінення їх електромагнітними хвилями (гіпертермія). Основними випромінювачами в реалізації цих задач є коаксіально-щілинні структури, адже вони можуть бути виконані у надмініатюрних розмірах та розміщені у організмі людини без істотної шкоди для нього у порівнянні з хірургічним втручанням.

Різноманіття галузей використання коаксіально-щілинних структур, різні вимоги, що висуваються до параметрів і електродинамічних характеристик випромінювальних систем, постійно ставлять перед розробниками антенних систем нові задачі з вивчення електродинамічних характеристик електромагнітних полів, створюваних щілинами, розташованими у зовнішньому провіднику коаксіального кабелю, їх просторового, спектрального та часового розподілу. Тож, незважаючи на велику кількість робіт, присвячених випромінювальним коаксіально-щілинним системам, у науковій літературі відсутні достатньо повні дослідження електродинамічних характеристик коаксіально-щілинних антен та способів керування їхніми характеристиками.

Таким чином огляд сучасних наукових робіт показує, що тема дисертації Меведева М. В. є актуальною та корисною для розвитку теорії, математичних моделей і методів розрахунку електродинамічних структур різних конфігурацій на базі коаксіальної лінії у багатопараметричному її формулюванні, а також дослідження цих структур у широких діапазонах зміни їх геометричних та електрофізичних параметрів з метою виявлення фізичних закономірностей формування випромінюваного ними електромагнітного поля.

Матеріали дисертаційної роботи Медведєва М. В. відносяться до таких пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України: інформаційні та комунікаційні технології; науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань. Дослідження проведені відповідно до чотирьох фундаментальних науково-дослідних робіт Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (номери державної реєстрації 0108U001643, 2008–2010 pp.; 011U002465, 2011–2013 pp.; 0114U002584, 2014–2016 pp.;

0117U004848, 2017–2019 рр.), в яких автор був виконавцем і його науковий внесок відображено в дисертації.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та їхня новизна.**

Обґрунтованість результатів дисертації визначається наступними факторами:

- в дисертації використано лише відомі та добре апробовані методи розв'язання крайових задач електродинаміки серед яких: метод наведених магніторушійних сил, метод Гальоркіна;

- викладені в дисертаційній роботі результати не суперечать сучасним уявленням про електродинамічні процеси, якими характеризуються антени магнітного типу;

- результати, наведені в дисертації, опубліковані у фахових наукових журналах і апробовані на вітчизняних та міжнародних конференціях і симпозиумах високого професійного рівня;

- теоретичні результати, отримані автором, узгоджуються з відомими в науковій літературі дослідженнями окремих випадків коаксіально-щілинних систем і результатами власних експериментів автора.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розвитку теорії, математичних моделей і методів розрахунку електродинамічних характеристик коаксіально-щілинних випромінювачів довільної довжини й багатопараметричних систем таких випромінювачів, а також у виявленні нових фізичних особливостей і закономірностей у формуванні електромагнітного поля такими структурами.

До основних нових результатів можна віднести:

- використання методів інтегральних рівнянь для розв'язання задачі розсіювання електромагнітних хвиль щілинами в екрані коаксіальної лінії та дослідження їх електродинамічних характеристик від багатьох параметрів решітки, випромінювачів, фідеру та середовищ;

- дослідження впливу кінцевого навантаження коаксіальної лінії на характеристики щілинних випромінювачів та способів підвищення коефіцієнту корисної дії щілинних решіток з його допомогою;

- виявлення та обґрунтування особливості випромінювання коаксіально-щілинних систем, що полягає в існуванні частотонезалежної головної пелюстки діаграми спрямованості за умов випромінювання у матеріальне середовище з великими діелектричними проникностями;

- надання простих наближених виразів, що встановлюють зв'язки між геометричними та електрофізичними параметрами задачі для спрощених

розрахунків інженерного характеру під час проектування щілинних решіток в екрані коаксіальної лінії;

- створення моделі геометрично неоднорідної решітки щілин у екрані коаксіальної лінії, що має вищий коефіцієнт випромінювання у збільшеному діапазоні довжин хвиль, порівнюючи з регулярною;

- обґрунтування можливості створення ефективних мініатюрних широкосмугових випромінювачів у вигляді дугових та кільцевих щілин, що за своїми діапазонними характеристиками істотно перевищують аналогічні щілини у стінці, наприклад, прямокутного хвилеводу. Найбільш вражаючим є результат для кільцевої щілини довжиною 3,8 мм у напівнескінченній коаксіальній лінії, яка має коефіцієнт випромінювання вищий за 0,9 у діапазоні довжин хвиль від  $\lambda = 13$  см до, щонайменше,  $\lambda = 30$  см, що перевищує 80%.

### **Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях та ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.**

Матеріали дисертації вичерпно викладено у наукових працях автора: другого розділу дисертації – у чотирьох, третього – у десяти та четвертого – у чотирьох статтях у фахових журналах та тезах доповідей на міжнародних конференціях. Зміст та основні положення автореферату повністю узгоджуються зі змістом дисертаційної роботи Медведєва М. В.

Зміст дисертації відповідає «Паспорту спеціальності 01.04.03 – радіофізика»; формулі спеціальності; напрямкам досліджень за пунктами: хвилевідна електродинаміка; теорія електромагнітних хвиль і коливань; поля та хвилі у відкритих системах; фізичні основи систем зв'язку, управління, радіоастрономії, радіонавігації та радіолокації; взаємодія електромагнітного поля з речовиною; дослідження та математичне моделювання в електродинамічних системах і середовищах.

### **Зауваження та недоліки щодо дисертаційної роботи та висновок щодо її відповідності встановленим вимогам.**

Як і більшість робіт, представлена дисертація не позбавлена недоліків, а саме:

1. враховуючи той факт, що базова структура, розглянута в роботі, привертала та привертає увагу великої кількості дослідників, автору (дисертанту) варто було б відійти від базової геометрії, ускладнивши її, наприклад, введенням додаткових щілин різних кутових розмірів і положень, зробивши антену багаточастотною, а також побудувати розв'язок задачі, враховуючи скінченність товщини екрану коаксіальної лінії;

2. автор не запропонував способу числової оптимізації геометричних параметрів антени з метою отримання бажаних вихідних характеристик;

3. однією з важливих характеристик розробленого числового алгоритму є його швидкодія. Найбільші втрати часу в алгоритмі займає обчислення зворотного перетворення Фур'є. Автор не здійснив спроб поліпшення збіжності рядів та інтегралів Фур'є, наприклад, шляхом виділення асимптотичної поведінки відповідних виразів.

Зазначені недоліки роботи не знижують загалом високу оцінку наукового рівня дисертаційної роботи. Робота є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що можуть бути застосовані для створення новітніх або покращення наявних систем бездротового зв'язку у важкодоступних місцях, систем керування та виявлення, діагностичного та медичного обладнання тощо.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота «Збудження та випромінювання електромагнітних хвиль системою щілин, прорізаних у зовнішньому провіднику коаксіальної лінії» відповідає вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України до дисертації кандидата наук, а її автор, Медведєв Микола Володимирович, заслуговує присудження йому вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент,  
старший науковий співробітник Інституту  
радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України,  
доктор фіз.-мат. наук,  
старший науковий співробітник

О. Є. Свеженцев

Підпис доктора фіз.-мат. наук,  
старшого наукового співробітника  
О. Є. Свеженцева засвідчую:

т. в. о. ученого секретаря ІРЕ НАН України



С. С. Пономаренко

*Відгук одержано 14 вересня 2021 р.  
Вчений секретар спецради Д64.051.02  
[Signature] / Ігор Артемуш*