

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата фізико-математичних наук,
доцента Дегтярьова Андрія Вікторовича
на дисертаційну роботу Лукаша Олексія Сергійовича “Напівсферичні відкриті
резонатори міліметрового діапазону для визначення параметрів твердих
діелектриків”, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі
знань 10 — Природничі науки за спеціальністю 104 — фізика та астрономія

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами.

Для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків у НВЧ діапазоні широко застосовуються: метод вільного простору, хвилевідний і резонаторний методи. Слід зазначити, що резонансні методи більш доцільно використовувати при вимірюванні параметрів діелектриків, оскільки вони мають вищу точність. Тому при проведенні таких вимірювань у міліметровому діапазоні необхідно переходити до резонансних систем, які адекватні цьому діапазону — відкритим резонаторам (ВР). Такі електродинамічні системи мають значні геометричні розміри та можливість вільного доступу до резонансного об'єму. Напівсферична геометрія ВР є кращою для вимірювань, оскільки плоский зразок розміщується на поверхні дзеркала, біля якого фазовий фронт робочого колювання плоский. Поперечні розміри зразків повинні перевищувати діаметр плями поля колювання TEM_{00q} . Під час вимірювань необхідно враховувати зв'язок резонатора з вільним простором, а також забезпечувати кутову селекцію спектра колювань. Тому бажано, щоб резонатор поєднував високу добротність, мав розріджений спектр колювань і застосовувався хвилевідний метод для визначення електромагнітних параметрів зразків.

Існують складові ВР міліметрового діапазону з відрізками надрозмірних круглого або прямокутного хвилеводів. Такі резонансні системи використовувались для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків. Щоб зменшити геометричні розміри хвилеводів у ВР має збуджуватись одне з вищих колювань. Відомо, що чим вище поперечний індекс збуджуваного колювання, тим більше воно стягується до осі резонатора. Завдяки цьому можна використовувати зразки твердих діелектриків малих розмірів.

Для розв'язання цілого спектра задач потрібні потужні джерела однократного та імпульсно-періодичного мікрохвильового випромінювання. Для цих цілей також потрібно використовувати ВР. Для організації інтерференційного ключа та виведення енергії з ВР потрібні відрізки надрозмірних хвилеводів. Для їхнього зменшення необхідно збуджувати

коливання з високими поперечними індексами. Завдяки цьому при розмірах ВР, які забезпечують високу добротність, поперечні розміри відрізка хвильоводу будуть мати допустимі розміри.

Таким чином, зменшення поперечних розмірів хвильоводу в складовому ВР необхідне як для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків, так і для створення інтерференційного ключа на основі надрозмірного хвильоводу.

Вищезазначені питання дисертації Лукаша О.С. становлять актуальне завдання сучасної радіофізики — необхідність встановлення фізичних закономірностей і особливостей збудження за допомогою зосереджених елементів зв'язку вищих коливань у ВР, які включають різні неоднорідності. В результаті проведених досліджень буде створено нові резонансні системи, які будуть використані для розв'язання широкого спектра наукових і прикладних задач радіофізики міліметрового діапазону.

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації переконливо свідчить і те, що вона виконувалася в рамках трьох держбюджетних науково-дослідних робіт Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, в яких здобувач брав участь як виконавець.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Дисертація складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, п'яти розділів основного тексту, висновків до роботи і списку використаних джерел. Постановка дослідницького завдання виконана аргументовано та переконливо. Представлені в роботі наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, є досить обґрунтованими.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів вимірювання електромагнітних параметрів твердих діелектриків. Показано, що для діагностики матеріалів з малими втратами перевага надається резонансним методам визначення ε , а для матеріалів із середніми та великими втратами — хвилевідним методам та методам вільного простору. ВР утворений плоским і увігнутим дзеркалами для визначення електромагнітних параметрів речовин краще. У цьому випадку зразок досить просто фіксується на поверхні дзеркала, біля якого коливання резонатора має плоский фазовий фронт.

У другому розділі дисертаційної роботи на підставі вивчення поведінки основного типу коливань у напівсферичних резонаторах, що мають однакові апертури дзеркал, але різні радіуси кривизни криволінійних відбивачів, виявлено поверхневе коливання під час зміни відстані між ними. Воно локалізоване на увігнутій поверхні сферичного дзеркала резонатора. Встановлено, що за

нормованих відстаней між дзеркалами резонатора $L/R=0,72\div 0,76$ це коливання взаємодіє з основним коливанням резонатора TEM_{00q} , оскільки має з ним один клас симетрії. Це необхідно враховувати при вимірюванні електрофізичних параметрів твердих діелектриків методом ВР.

Третій розділ присвячено, як чисельному, так і експериментальному дослідженням напівсферичного ВР з відрізком прямокутного хвилеводу. Чисельні дослідження показали, що ефективність збудження хвилі TE_{10} у такому хвилеводі, створеному в центрі плоского дзеркала ВР за допомогою центральної плями поля вищого аксіально несиметричного коливання TEM_{20q} , дорівнює 0,8901. При цьому такий розкриття являє собою E -секторіальний рупор. Експериментальні дослідження збудження основної хвилі у прямокутному хвилеводі за допомогою центральної “плями” поля коливання TEM_{00q} показали, що в такій резонансній системі втрати зростають у середньому на 9,6 дБ порівняно з порожнім резонатором. Це свідчить про те, що, у міліметровому діапазоні недоцільно використовувати складові ВР з відрізками прямокутних хвилеводів для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків.

У **четвертому розділі** показано, що при розташуванні елемента зв'язку не в центрі криволінійного відбивача, в резонаторі збуджуються аксіально симетричні коливання. Водночас резонатор може не мати кругової симетрії. Через наявність області з нульовою напруженістю електричного поля в центрі ВР, така резонансна система з коливанням TEM_{01q}^* може використовуватися для визначення параметрів речовин, включно з рідинами.

П'ятий розділ дисертації присвячений дослідженню ефективності збудження TE_{11} моди в круглому хвилеводі за допомогою центральної плями поля коливання TEM_{10q} резонатора, яка оказалась рівної 0,8993. Порівняно з порожнім напівсферичним резонатором, наявність відрізка круглого хвилеводу в центрі плоского дзеркала призводить до додаткових втрат приблизно -2 дБ. Це свідчить про те, що розглянуту в цьому розділі резонансну систему можна застосувати для визначення параметрів твердих діелектриків. Проведені експериментальні дослідження з визначення діелектричної проникності відомих зразків у формі дисків підтвердили, що запропонований складовий ВР може бути використаний для вказаних цілей.

3. Наукова новизна та достовірність отриманих результатів

Наукова новизна отриманих у дисертації результатів природно впливає з актуальності й новизни вибору об'єкта досліджень, а фізично обґрунтований підхід до вибору і рішення необхідних для його повного вивчення завдань дозволяє автору переконливо це підтвердити.

В результаті проведених досліджень отримано ряд нових і принципово важливих результатів. Серед них необхідно визначити наступні:

1. Вперше продемонстровано, що при нормованих відстанях між дзеркалами $L/R=0,72\div 0,76$ у резонаторі разом з коливанням TEM_{00q} збуджується поверхневе коливання, яке обумовлено співвідношенням апертури криволінійного відбивача та розміром плями поля основного коливання на ньому. Збудження цього поверхневого коливання у ВР не залежить від того, виконано елемент зв'язку на сферичному або на плоскому дзеркалі.

2. Вперше показано, що аксіально-симетричні коливання TEM_{01q}^* , які збуджуються в резонаторі за допомогою елементів зв'язку, зміщених до периферії криволінійного відбивача, мають в центрі область з нульовою напруженістю електричного поля, а їхня структура поля являє собою симбіоз двох вищих аксіально-несиметричних коливань TEM_{10q} і TEM_{20q} .

3. Вперше експериментально встановлено, що складовий ВР з відрізком круглого надрозмірного хвилеводу з хвилею TE_{11} може використовуватися для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків у формі дисків.

Достовірність і обґрунтованість результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в даній дисертаційній роботі, не викликає сумнівів і визначається коректністю постановки задач, а також тим, що при їх отриманні використовувалися методи квазіоптики та відомі чисельні методи розв'язування задач електродинаміки, зокрема метод розрахунку енергетичних характеристик антен у ближній зоні, для вимірювання структур електричних полів вищих типів коливань, що збуджуються в резонаторах за допомогою щільних елементів зв'язку, застосовувався метод пробного тіла. В роботі отримано добре узгодження експериментальних результатів з чисельними результатами.

Ознакою наукової новизни та достовірності отриманих результатів є також те, що результати досліджень опубліковані в фахових і міжнародному журналах, в яких всі статті проходять ретельне експертне рецензування.

4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність порушень академічної доброчесності.

Дисертаційна робота Лукаша О.С. є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні.

В ній викладені нові фізичні результати, що мають як самостійне, так і прикладне значення, оскільки ці результати в достатній мірі сприяють вирішенню важливої наукової задачі сучасної радіофізики яка стосується встановлення особливостей та закономірностей збудження у відкритих

коливальних системах вищих аксіально-несиметричних та аксіально-симетричних типів коливань для створення нових резонансних систем, які будуть використані для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків.

Дисертація характеризується логічною побудовою, грамотним викладом матеріалу та коректним використанням науково-технічної термінології.

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 4 наукових статтях, які індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus, а також у 4 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях Лукаша О.С. не виявлено. Посилання на дослідження інших авторів є коректним.

5. Науково-практична значимість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування

Було розроблено науково-технічну основу для створення діелектрометрів у міліметровому діапазоні на основі відкритих резонансних систем із зосередженими елементами зв'язку, які дозволять визначати електромагнітні параметри твердих діелектриків у формі дисків, що мають поперечні розміри порядку двох довжин хвиль і винесені з об'єму ВР.

Одержані в дисертаційній роботі теоретичні та експериментальні результати можуть бути використані у міліметровому діапазоні для вимірювання резонансним методом електрофізичних параметрів речовин, що мають плоску або циліндричну форми. Проведені теоретичні дослідження можуть знайти практичне застосування в радіолокації міліметрового діапазону.

Дисертація має вагому наукову та практичну цінність для фахівців у галузі мікрохвильової й квантової радіофізики, а також оптоелектроніки. Отримані результати доцільно рекомендувати до впровадження в діяльність науково-дослідних установ та науково-виробничих підприємств.

6. Недоліки і зауваження

Поряд з високим рівнем проведених експериментальних і теоретичних досліджень та цінністю отриманих результатів, мушу зазначити деякі недоліки і зауваження щодо дисертаційної роботи, що розглядається:

1. Не пояснюється фізична причина виникнення поверхневого коливання. У дисертації говориться, що поверхнєве коливання обумовлено співвідношенням розмірів апертури дзеркал і плями поля збуджуваного коливання. Однак фізичний механізм виникнення цього режиму (дифракція, взаємодія коливань, поверхнева локалізація тощо) не зовсім зрозумілий.

2. Не обґрунтований вибір саме напівсферичного ВР. Перераховані переваги напівсферичної схеми, проте відсутнє фізичне порівняння з сферичною схемою. Не показано, чому саме напівсферична геометрія є оптимальною для поставленого завдання.

3. На наведених у дисертації експериментальних графіках автор не вказує довірчі інтервали щодо похибки вимірів.

4. Дисертація не вільна від технічних огріхів.

На сторінці 22 замість "...та прямокутного розкривів, обробив результати..." має бути "...та прямокутного розкривів, обробив результати..."

Сторінка 62. Замість "... наведені на рис. 2.17." має бути "... наведені на рис. 2.17."

Сторінка 70. Замість "...в центр хвилеводу то отримаємо розподіл..." має бути "...в центр хвилеводу то отримаємо розподіл..."

Сторінка 82. Замість "...передбачено дві 90° хвилеводні зкрутки 18 (рис. 3.4)." має бути "...передбачено дві 90° хвилеводні скрутки 18 (рис. 3.4)."

Сторінка 84. Замість "...до поведінки K_{transm} для порожнього ВР." має бути "...до поведінки K_{transm} для порожнього ВР."

7. Загальні висновки

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і не стосуються її принципових результатів і висновків.

В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу сучасної фізики яка стосується встановлення фізичних особливостей та закономірностей збудження за допомогою зосереджених елементів зв'язку у відкритих коливальних системах вищих аксіально-несиметричних та аксіально-симетричних коливань для створення нових резонансних систем, які будуть використані для визначення електромагнітних параметрів твердих діелектриків у мм та субмм діапазонах.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Лукаша О.С. повністю відповідає спеціальності 104 – фізика та астрономія.. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і були своєчасно подані на конференціях і симпозіумах, що проводилися за тематикою досліджень.

Беручи до уваги усе вищесказане, вважаю, що розглянута дисертаційна робота Лукаша Олексія Сергійовича "Напівсферичні відкриті резонатори міліметрового діапазону для визначення параметрів твердих діелектриків", подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 – Фізика та астрономія, повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. "Про затвердження Вимог до

оформлення дисертацій” (з наступними змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022р. “Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії” зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21 березня 2022 р., характеризується єдністю змісту та послідовністю викладення, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, отримані здобувачем в процесі досліджень та не має порушень академічної доброчесності і здобувач – Лукаш Олексій Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри квантової радіофізики
факультету радіофізики, біомедичної
електроніки та комп’ютерних систем
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна, кандидат фізико-
математичних наук, доцент



Андрій ДЕГТЯРЬОВ

05 серпня 2026 року

№ 0

ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу
кадрів



Людмила Реба