

## РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента на дисертаційну роботу Кузнецової Катерини Сергіївни  
«Мікрохвильова діелектрометрія сильно поглинаючих рідин на основі  
шаруватих електродинамічних структур», подану на здобуття наукового ступеня  
доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю  
104 – Фізика та астрономія

**Актуальність дослідження** даної дисертаційної роботи визначається застосуванням шаруватих хвилевідних структур, як складових елементів мікрохвильових пристроїв для виявлення комплексної діелектричної проникності сильно поглинаючих рідин. Особливий інтерес до виявлення діелектричних характеристик сильно поглинаючих рідин становить вивчення особливостей поширення електромагнітних хвиль у шаруватих електродинамічних структурах з сильно поглинаючою рідиною в мікрохвильовому діапазоні, де спостерігається максимальна частотна дисперсія комплексної діелектричної проникності води. Визначення діелектричних властивостей різноманітних рідин затребуване для медико-біологічних цілей у фармацевтиці, екології та інших галузях. Особливо актуальною ця проблема стає там, де виникає потреба у швидкому та ефективному експрес-аналізі властивостей рідин з великими втратами. Таким чином, тема, яку обрано для дисертації, є безперечно актуальною і представляє значний науковий та практичний інтерес.

**Метою дисертаційної роботи** є вдосконалення методів діелектрометрії сильно поглинаючих рідин за допомогою шаруватих електродинамічних структур у мікрохвильовому діапазоні та виявлення особливостей поширення електромагнітних хвиль в таких структурах. Для досягнення цієї мети було вирішено ряд завдань: експериментально отримані дані діелектричних характеристик водних розчинів біологічно активних речовин за допомогою мікрохвильової диференційної діелектрометрії; застосовано метод мікрохвильової диференційної діелектрометрії для безперервного моніторингу діелектричних властивостей розчинів, в яких відбувається ферментативна реакція гідролізу білків у реальному часі; вдосконалено структуру вимірювальної кювети мікрохвильового диференційного діелектрометра з використанням аксіально-симетричної шаруватої хвилевідної структури комірок різної довжини. Використання вдосконаленої структури кювети дозволяє підвищити чутливість визначення комплексної діелектричної проникності сильно поглинаючих рідин у середньому у 3 рази при визначенні коефіцієнтів фази та загасання, при дослідженні водно-етанольних розчинів в міліметровому та сантиметровому діапазонах довжин хвиль без необхідності застосування референсної рідини.



**Ступінь обґрунтованості результатів роботи.** Дисертаційна робота присвячена експериментальному та чисельному дослідженню особливостей поширення електромагнітних хвиль у круглій шаруватій хвилевідній структурі з різними комплексними діелектричними проникностями шарів. Для розв'язання поставлених завдань автор у дисертаційній роботі застосовує методику розв'язання електродинамічної задачі на основі рівнянь Максвела. Це дозволяє вивчити особливості поширення електромагнітних хвиль у шаруватих хвилевідних структурах, що містять сильно поглинаючу рідину, і визначити комплексну діелектричну проникність цих рідин на основі вимірювань різниці фаз і амплітуди хвилі  $HE_{11}$ , що поширюється вздовж кварцового стрижня, оточеного досліджуваною сильно поглинаючою рідиною. Автором дисертаційної роботи проведено порівняння та узгодження отриманих результатів визначення комплексної діелектричної проникності сильно поглинаючих рідин з результатами, отриманими методами спектрофотометрії та молекулярно-динамічного моделювання для ряду водних розчинів біологічно активних речовин.

Робота носить експериментальний характер та має **наукове та практичне значення результатів дослідження**, які визначаються у наступному:

1) Вперше проведено класифікацію мод круглого металевого хвилеводу з центральним діелектричним стрижнем, оточеним шаром сильно поглинаючої рідини, що не мають фіксованих частот відсікання мод, відповідно до класифікації мод однорідного хвилеводу. Встановлено, що коефіцієнт загасання хвилі  $HE_{11}$  є найменшим у порівнянні з іншими типами хвиль в широкому діапазоні частот.

2) Удосконалено конструкцію кювети діелектрометра, яка не потребує референсної рідини, та складається з двох комірок різної довжини, в яких компенсовано вплив дифракційних ефектів на краях комірок, що мають аксіальну симетрію та достатньо тонкий шар досліджуваної рідини, внаслідок чого підвищено чутливість визначення КДП рідин. Ця кювета є перспективною для застосування у біомедичних дослідженнях, контролю якості харчових продуктів, технологічних процесах виготовлення фармацевтичних розчинів та контролю поширення біологічно активних речовин у навколишнє середовище.

3) Дістало подальшого розвитку експериментальне визначення значень комплексної діелектричної проникності водних розчинів ряду біологічно активних речовин (антибіотики, глюкоза, сироватковий альбумін людини, імуноглобулін G людини, водні та сольові розчини білку альбуміну з додаванням глюкози, дифтерійний анатоксин), які зменшуються в залежності від збільшення концентрації біологічно активних речовин через зменшення кількості вільних молекул води в розчині. Ці результати підтверджено методом молекулярно-динамічного



моделювання згідно збільшення гідратації та часу існування водневих зв'язків між молекулами води з молекулами білка та глюкози, та мають добре узгодження з результатами, отриманими відомим фармакопейним методом аналізу фармацевтичних препаратів – методом спектрофотометрії. Засновуючись на методі мікрохвильової диференційної діелектрометрії можливо проводити кількісне визначення біологічно активної речовини в розчині, проводити дослідження процесу переходу дифтерійного токсину в нетоксичну форму – анатоксин, що може бути застосовано у технологічних процесах виготовлення фармацевтичних розчинів.

4) Вперше представлено новий підхід безперервного у часі моніторингу ферментативної реакції гідролізу білків за визначенням їх діелектричних властивостей. Цей підхід може бути застосований для моніторингу біохімічних реакцій без необхідності руйнування ферменту та зупинки реакції.

**Структура дисертаційної роботи** Кузнецової К. С. складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатку, що містить список публікацій здобувача. Результати дисертації викладено у роботах автора, які були опубліковані у співавторстві, а саме у 5 статтях, 1 главі у книзі, 1 патенті на винахід України та у 5 наукових працях, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи.

Судячи з тексту та опублікованих робіт, дисертаційна робота містить великий обсяг цікавих та актуальних досліджень. При цьому в роботі отримано низку нових результатів, важливих як для розуміння електродинаміки шаруватих хвилевідних структур, так і для практичного застосування досліджених автором вимірювальних комірок. Представляє певний інтерес описаний у роботі новий підхід безперервного у часі моніторингу біохімічної реакції на основі експериментального визначення значень комплексної діелектричної проникності цих реакційних сумішей.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи.**

1) В тексті зазначено можливість використання вдосконаленої комірки як в міліметровому так і в сантиметровому діапазоні довжин хвиль, тому важливо було б ретельніше підкреслити, як досягти визначення діелектричних властивостей рідин у широкому діапазоні частот із використанням запропонованої вимірювальної комірки.

2) У другому розділі було б важливим краще пояснити, як відбувається розрахунок комплексної діелектричної проникності рідин за отриманими експериментально даними характеристик поширення хвилі  $HE_{11}$ .

3) У дисертаційній роботі також можна виявити ряд стилістичних недоліків.



Вказані зауваження не є принциповими і не впливають на високій загальній оцінці дисертації Кузнецової К. С. Ці зауваження не впливають на якість, наукову новизну та практичне значення роботи, тому можна розглядати їх як побажання.

**Відомості про дотримання академічної доброчесності.** У дисертаційній роботі та публікаціях Кузнецової К. С. не виявлено неправомірних запозичень та ознак порушення академічної доброчесності.

**Висновок щодо відповідності дисертації нормам.**

Дисертаційна робота Кузнецової К. С. представляє собою **завершену наукову працю**, текст роботи відзначається високим науковим рівнем, а експериментальні результати, які в ній сформульовані, оприлюднені в авторитетних наукових виданнях і були успішно презентовані на конференціях. Ці висновки є новими та мають важливе наукове та практичне значення для радіофізики.

Представлена дисертаційна робота «**Мікрохвильова діелектрометрія сильно поглинаючих рідин на основі шаруватих електродинамічних структур**» повністю задовольняє вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», та вважаю, що за актуальністю, новизною, науковим рівнем та обсягом проведених експериментальних досліджень, її автор, Кузнецова Катерина Сергіївна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 1 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

**Рецензент**

Кандидат фіз.-мат. наук,  
старший науковий співробітник  
відділу радіоспектроскопії  
ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

Підпис Полевого С. Ю. засвідчую  
ВО Вченого секретаря  
ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України  
кандидат фіз.-мат. наук



 Сергій ПОЛЕВОЙ

 Олена КРИВЕНКО