

ВІДГУК

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, професора Сотнікова Геннадія Васильовича на дисертаційну роботу Лукаша Олексія Сергійовича *“Напівсферичні відкриті резонатори міліметрового діапазону для визначення параметрів твердих діелектриків”*, яку подано на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – “Фізика та астрономія”

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок із науковими програмами та темами. Одними із основних елементів електромагнітних пристроїв різного призначення є хвилевідні та резонаторні структури. Особливе місце в сучасних радіоелектронних пристроях вкрай високочастотного діапазону займають квазіоптичні відкриті резонатори. На практиці особлива увага приділяється напівсферичним відкритим резонаторам, одне із дзеркал яких є плоским, а інше має сферичну поверхню з відстанню між ними, що не перевищує радіус сферичного дзеркала. Завдяки фокусуючій дії сферичного дзеркала енергія власних коливань резонатора зосереджується в його об'ємі, який обмежений дзеркалами та уявною каустичною поверхнею, за межами якої електромагнітне поле коливань відсутнє. Зрозуміло, що для кожної власної моди резонатора каустична поверхня є своя. Отже в такому відкритому резонаторі легко реалізується одномодовий чи маломодовий режим роботи із-за випромінювання хвиль вищого порядку з резонатора. При цьому резонатор з робочими модами має високі добротності. Можливість введення додаткового об'єкту в об'єм відкритого резонатора або узгодженого його приєднання через елемент зв'язку в одному із дзеркал дозволяє використовувати резонатор як механічно перестроюваний за частотою пристрій або мікрохвильовий сенсор для визначення електрофізичних параметрів речовини, з якої вироблено об'єкт.

Ситуація ускладнюється, коли виникає необхідність неруйнівного контролю параметрів діелектриків при їх виробництві. Цілком очевидно, що універсальний пристрій для розв'язку цієї задачі розробити немає можливості. Але в деяких випадках, наприклад, при виробництві складового елементу радіофізичних пристроїв конкретної конфігурації розробка мікрохвильових сенсорів є реалізуємою. Запропоновані в дисертації відкриті резонаторні системи з частковим діелектричним заповненням є придатними як сенсори для визначення та контролю електричних параметрів матеріалів, що мають плоско-паралельні поверхні. Розробка принципів побудови приладів, які здатні визначати та контролювати стан фізичного об'єкту або навколишнього середовища, є одною із основних тенденцій сучасної радіофізики. Це тісно пов'язано з розробкою нових та вдосконаленням існуючих методів визначення електрофізичних параметрів речовин. Тут без наявності адекватних математичних моделей тяжко провести кількісне та якісне дослідження параметрів речовини, яка входить складовою частиною до мікрохвильового сенсора або є його основою. В цьому випадку доводиться застосовувати різні методи, в тому числі наближені, електродинамічного аналізу сенсора або чисельні методи моделювання електромагнітних полів у сенсорі, зокрема, ті що входять до CST Microwave Studio. Застосовані дисертантом чисельно-обчислювальні моделі неоднорідних напівсферичних відкритих резонаторів дозволяють обґрунтовано вибирати робочі моди, найбільш придатні для конкретних додатків, розробляти достовірні методики оптимізації пристроїв та непрямих вимірювань електрофізичних параметрів речовин.

Сфера застосування відкритих резонаторів з частковим діелектричним заповненням постійно розширюється завдяки використанню матеріалів з відомими властивостями або удосконаленню конфігурацій резонаторів, спектральні та енергетичні характеристики яких, як правило, досліджуються експериментально і потребують достовірного фізичного трактування на основі адекватної чисельно-обчислювальної моделі. Дисертація Лукаша О. С. якраз присвячена вивченню фізичних явищ у напівсферичних відкритих резонаторах з частковим діелектричним заповненням, використання яких дозволяє

здійснювати діагностику стану матеріальних середовищ і створювати нові прилади різного призначення. Ця задача є однією із актуальних задач сучасної радіофізики.

Зі сказаного видно, що тема дисертаційної роботи Лукаша О. С. є актуальною як у фундаментальному, так і прикладному відношенні.

Додатково актуальність дисертаційної теми підтверджується узгодженням напряму дослідження з двома держбюджетними відомчими програмами наукових досліджень Відділення фізики і астрономії НАН України та однією цільовою програмою Національного фонду досліджень України МОН України. Зокрема, він був виконавцем в науково-дослідній роботі: «Нові теоретичні та експериментальні методи в електродинамічному моделюванні, генерації та випромінюванні електромагнітних хвиль гігагерцового та терагерцового діапазонів частот» (№д/р 0120U100980, 2020-2024 рр.) та є виконавцем в НДР: «Методи моделювання дифракційного випромінювання, поширення та генерації електромагнітних хвиль гігагерцового та терагерцового діапазонів частот за наявності метаматеріалів та графеноподібних 2D-матеріалів» (№ д/р 0125U000468, 2025-2029 рр.), «Формування Беселевих бездифракційних пучків у міліметровому діапазоні довжин хвиль» (№д/р 0125U003282, 2025-2026 рр.), які проводилися та проводяться в ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України і часткові результати яких склали основу даної дисертаційної роботи.

2. Обґрунтованість наукових положень, сформульованих у дисертації, та висновків випливає з того, що вони базуються на узгоджені спектральних та енергетичних характеристик і розподілів електромагнітних полів робочих мод неоднорідних відкритих резонаторів, що отримані апробованими чисельно-обчислювальними методами, зокрема, 3D-моделюванням у CST Microwave Studio, та експериментально виміряними за допомогою класичних засобів вкрай високочастотної діагностики. Теоретично-чисельні дослідження відкритих резонаторів з неоднорідностями базуються на розв'язанні системи рівнянь Максвелла та матеріальних рівнянь з задоволенням умов скінченності поля на осі симетрії резонансної системи, випромінювання електромагнітної енергії за межі каустики резонатора та граничних умов на межах середовищ складових частин системи зі застосуванням методів математичної фізики і чисельного аналізу. Достовірність експериментальних результатів визначається обраними методиками вимірювань і технічними характеристиками вимірювальних пристроїв та приладів, що застосовуються. Доказом ефективності методу визначення діелектричних проникностей речовин (фторопласта і полістиролу) з використанням напівсферичних відкритих резонаторів є збіг отриманих значень зі значеннями, що отримані іншими дослідниками зі застосуванням альтернативних методів, в межах відносної похибки менше 4%. Всі висновки досліджень, що наведені в дисертаційній роботі, не суперечать фундаментальним принципам фізики.

3. Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Лукаша О. С. містить анотацію, список публікацій здобувача за темою дисертації, зміст, перелік умовних позначень, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел і додаток, в якому повторно наведено список публікацій здобувача за темою дисертації. Обсяг дисертації становить 156 сторінок, з яких 120 сторінок є основний текст, що містить 51 рисунок. Список використаних джерел містить 145 найменувань.

У *вступі* наведено обґрунтування вибору теми досліджень, освітлено зв'язок роботи з держбюджетними науковими програмами НАН України та Національного фонду досліджень України МОН України, сформульовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наведено методи дослідження, представлено новизну отриманих наукових результатів та зазначено їх практичне значення, описано особистий внесок здобувача в опублікованих працях за темою дисертації, а також представлено апробацію матеріалів дисертації та описано загальну структуру і обсяг дисертації.

У *першому розділі* дисертаційної роботи оглянуто літературні відомості про мікрохвильові методи і пристрої для визначення електрофізичних параметрів речовин. Наведено методи та засоби визначення діелектричної проникності та тангенсу кута втрат речовин. Представлено розробку методики визначення комплексних значень діелектричної

проникності ізотропного матеріалу зі застосуванням резонаторного методу на базі відкритого резонатора, який утворено увігнутими металевими дзеркалами та містить як складову частину зразок із матеріалу, що досліджується. Зазначено, що резонаторні методи є найбільш придатними для визначення електрофізичних параметрів речовини, зразок з якої входить до складу відкритого резонатора, за вимірними спектральними та енергетичними характеристиками резонатора з ідентифікованою робочою модою.

Другий розділ дисертації присвячено експериментальному виявленню поверхневих коливань на сферичній поверхні напівсферичного відкритого резонатора, який включено в чотирьох-міліметрову лінію передачі із прямокутних хвильоводів. На підставі поведінки розподілу полів TEM_{00q} -мод у напівсферичних резонаторах, що мають однакові апертури дзеркал, але різні радіуси сферичного відбивача, виявлено поверхневі коливання завдяки зміні відстані між дзеркалами. Показано, що воно локалізується у смуговій області на увігнутій поверхні сферичного дзеркала резонатора в площині магнітної складової поля власної TE_{10} -хвилі підвідного прямокутного хвильоводу, випромінювання з відкритого кінця якого збуджує резонатор. Додатково досліджено відкритий резонатор, в якому сферичне дзеркало замінено діелектричною лінзою у вигляді сегменту гіперболоїда обертання. Виявлено, що у такому резонаторі також збуджуються поверхневі коливання на криволінійній поверхні лінзи, поле яких локалізовано у смуговій області в площині електричної складової поля TE_{10} -хвилі підвідного прямокутного хвильоводу.

Третій розділ дисертації містить результати експериментального дослідження та аналітичного аналізу ефективності збудження TE_{10} -хвилі у прямокутному хвильоводі, що узгоджено приєднано до плоского дзеркала напівсферичного відкритого резонатора зі збереженням симетрії системи, полем вищого типу власного TEM_{20q} -коливання (за класифікацією в декартовій системі координат) відкритого резонатора. При цьому прямокутний хвильовід є надрозмірним. Метою цих досліджень є виявлення можливості застосування такої резонансної системи для визначення електрофізичних параметрів речовини, зразок з якої у вигляді паралелепіпеду розташовується у прямокутному хвильоводі. Зменшення розмірів зразка відносно поперечного перетину області локалізації поля робочої моди на поверхні плоского дзеркала і, відповідно, геометричних розмірів перетину прямокутного хвильоводу призводить до необхідності збуджувати вищі власні *аксіально-несиметричні* коливання відкритого резонатора, поля яких зосереджуються ближче до осі симетрії системи. Якраз у зв'язку з цією особливістю досліджено збудження TE_{10} -хвилі у прямокутному хвильоводі полем вищої TEM_{20q} -моди напівсферичного відкритого резонатора. Чисельні розрахунки показали, що для ефективного збудження власної TE_{10} -хвилі прямокутного хвильоводу за допомогою центральної «плями» поля TEM_{20q} -моди для його узгоджувального зв'язку з відкритим резонатором необхідно застосовувати Е-секторіальний пірамідальний перехід між ним та «щільним» збуджувачем у плоскому дзеркалі резонатора. З'ясовано, що застосування дослідженої резонансної системи є недоцільним для визначення електрофізичних параметрів діелектриків у край високочастотному діапазоні.

У *четвертому розділі* наведено результати експериментальних досліджень збудження *аксіально-симетричних* коливань у напівсферичному відкритому резонаторі. Показано, що амплітудний розподіл електричної компоненти аксіально-симетричного поля TEM_{01q}^* -моди, яку збуджено у резонаторі елементом зв'язку, що розташований на периферії одного із дзеркал, є гібридною структурою електричних полів власних TEM_{20q} - і TEM_{10q} -мод (за класифікацією в циліндричній системі координат) резонатора. Різниця між TEM_{01q}^* -модом та TEM_{20q} - і TEM_{10q} -модами є в наявності області з нульовою напруженістю електричного поля в центрі дзеркала. Отже, напівсферичний відкритий резонатор з робочою TEM_{01q}^* -модом є придатним для визначення електрофізичних параметрів речовини, зокрема, рідини в кюветі, шайбо-подібний зразок з якої розміщується в центрі плоского дзеркала зі збереженням симетрії системи. Зазначено, що змінюючи радіус

сферичного дзеркала та місце розташування елемента зв'язку на дзеркалі, можна регулювати розмір області з нульовою напруженістю електричного поля.

У *п'ятому розділі* досліджено неоднорідну резонансну систему, що складається з напівсферичного відкритого резонатора, до плоского дзеркала якого приєднано зі збереженням симетрії системи круглий хвильовід з діелектричним плоско-паралельним диском всередині нього. Теоретично визначено ефективність збудження власної TE_{11} -моди круглого хвильоводу центральною «прямою» поля власної TEM_{10q} -моди відкритого резонатора. Експериментально досліджено розподіли полів робочих мод в резонансній системі. Визначено нормовані на максимальні значення виміряні амплітуди електричних полів на поверхні плоского дзеркала вимушених коливань як відкритих резонаторів, так і резонаторів, що навантажені відрізком круглого хвильоводу з неоднорідністю, які відрізняються відстанями між дзеркалами, та наведено їх розподіл за поперечною координатою. Розраховано залежності нормованих напруженостей електричних полів власних коливань напівсферичного відкритого резонатора на плоскому дзеркалі від поперечної координати. Наведено результат чисельного моделювання досліджуваної резонансної системи в пакеті CST Microwave Studio. За наведеними результатами досліджень в цілому показано, що запропонована резонансна система є пригідна для визначення електрофізичних параметрів речовин у вкрай високочастотному діапазоні.

Запропонована резонансна система та застосована дисертантом методика були апробовані у разі визначення діелектричних проникностей фторопластового та полістиролового дисків, які мають значення 2,037 на частоті 73,988 ГГц та 2,631 на частоті 72,968 ГГц відповідно. При цьому проникність фторопласту відрізнялась на 1,12%, а полістиролу — на 3,58% від середніх значень статистичного аналізу даних, які отримані іншими дослідниками за допомогою інших методів.

Таким чином, зміст дисертаційної роботи повністю розкриває її тему.

4. Наукова новизна отриманих результатів полягає у визначенні фізичних особливостей збудження вищих аксіально-несиметричних TEM_{m0q} і аксіально-симетричних TEM_{m0q} (за класифікаціями в декартовій і циліндричній системах координат відповідно) власних коливань напівсферичного відкритого резонатора та обґрунтуванні їх застосування в методиці визначення діелектричної проникності твердих діелектриків у вигляді листів, розміри яких перевищують поперечні розміри області каустики резонатора, або плоско-паралельних дисків, які розміщені в круглому хвильоводі, що узгоджено приєднаний до плоского дзеркала співвісно з резонатором. Серед нових положень, що виносяться до захисту, варто виділити наступні:

1. Вперше виявлено, що у напівсферичному відкритому резонаторі, відстань між дзеркалами якого знаходиться в межах $L = (0,72...0,76)R$, де R — радіус сферичного дзеркала, разом з основною TEM_{00q} -моддю резонатора збуджуються поверхневі коливання на сферичному дзеркалі. Ці коливання локалізовані у смуговій області, яка знаходиться в H -площині прямокутного хвильоводу у разі поширення в ньому основної TE_{10} -хвилі, поле якої збуджує резонатор. Збудження поверхневих коливань не залежить від того, де знаходиться зосереджений елемент зв'язку (розкрив прямокутного хвильоводу) з зовнішнім трактом — на сферичному чи плоскому дзеркалі.

2. Встановлено експериментально, що TEM_{01q} -коливання, які збуджуються в напівсферичному відкритому резонаторі елементом зв'язку, зміщеним від осі симетрії резонатора до периферії сферичного дзеркала, мають нульову напруженість електричного поля на осі симетрії.

3. Експериментально підтверджено придатність для визначення діелектричних проникностей речовин напівсферичного відкритого резонатора, до плоского дзеркала якого узгоджено співвісно приєднано круглий хвильовід з частковим заповненням діелектриком (проникність якого визначається) у вигляді диску, плоскі паралельні площини якого перпендикулярні осі симетрії резонансної системи, за спектральними та енергетичними характеристиками резонатора з ідентифікованою робочою модою. Запропоновано

використовувати таку резонансну систему не тільки у вкрай високочастотному, а й в терегерцовому діапазонах.

5. Наукове та практичне значення одержаних результатів у дисертаційній роботі полягає в тому, що на основі експериментальних досліджень розподілів полів робочих мод і спектральних та енергетичних характеристик напівсферичних відкритих резонаторів з неоднорідністю у вигляді діелектричного плоско-паралельного листа в області каустики або співвісно приєднаного до плоского дзеркала відрізка круглого хвилеводу з включенням діелектричного плоско-паралельного диска вдосконалено резонансний метод визначення діелектричних проникностей ізотропних речовин у діапазоні 70...76 ГГц. Отримані результати розширюють можливості радіофізичних методів визначення як електрофізичних, так і геометричних параметрів твердотільних плоско-паралельних об'єктів. Ці методи можуть бути застосовані при розробці автоматизованих вимірювальних систем для визначення та технологічного контролю (з метою здійснення автоматичного управління виробничими процесами та усунення виявлених порушень) діелектричної проникності або товщини матеріалів, що мають форму плоско-паралельних листів або дисків. Збіг експериментально вимірюваних і чисельно промодельованих спектральних та енергетичних характеристик резонаторних структур, що досліджуються, дають гарантію для застосування отриманих результатів і розроблених методологій при розробці вкрай високочастотних пристроїв та приладів різного призначення, наприклад, фільтрів, частотних або модових селекторів та інших. Оригінальність та корисність деяких результатів, отриманих у цьому напрямі, підтверджено незалежними дослідниками. На основі досліджень відкритих резонаторних структур з частковим заповненням ізотропним діелектриком запропоновано оригінальні вимірювальні комірки, які легко впроваджуються в хвилевідно-резонаторні схеми ліній передач, в тому числі, різницеву схему непрямих вимірювань.

Наукова та практична значимість дисертаційної роботи підтверджується також тим, що її результати застосовуються в дослідних роботах, які проводяться в ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України, при аналізі радіофізичних явищ в електродинамічних структурах з неоднорідностями, про що свідчать публікації співробітників інституту.

Серед можливих шляхів використання результатів дисертації можна вказати впровадження розвинутих резонаторних методів визначення параметрів твердих діелектриків у практику конструкторських та проектних організацій, які займаються розробкою вкрай високочастотної апаратури різного призначення, зокрема, для діагностики та контролю електрофізичних та геометричних параметрів діелектричних виробів. Варто розширити впровадження матеріалів дисертації в навчальний процес підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальностями Е5 – «Фізика та астрономія» і Е6 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

6. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих роботах за темою дисертації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 8 наукових публікаціях, з яких 4 — наукові статті та 4 — тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях. З них 3 статті опубліковано в науковому фаховому виданні України — *Радіофізика та радіоастрономія*, перекладне видання в США якого є *Radio Physics and Radio Astronomy*, що має кваліфікацію Q3, та 1 стаття в зарубіжному виданні — *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, кваліфікацію якого Q2. Всі статті та 3 тези доповідей індексуються в наукометричних базах Scopus та Web of Science. Опубліковані матеріали в повному обсязі розкривають тему дисертаційної роботи та відображають основні наукові результати, що отримані та наведені в дисертації.

7. Дотримання академічної доброчесності, відповідність анотації основним положенням дисертації. Оформлення дисертаційної роботи виконано з дотриманням загальних вимог до академічної доброчесності. Неправомірних запозичень та ознак порушення доброчесності не виявлено. Список посилань на джерела наукових праць наведено згідно правил, що пред'являються до їх оформлення. Запозичена інформація

про результати інших авторів супроводжується посиланнями на першоджерела. Анотація повністю відповідає основним положенням дисертації.

8. Зауваження та дискусійні питання щодо дисертаційної роботи. Підтверджуючи обґрунтованість висновків і отриманих результатів, варто зробити деякі зауваження:

1. Дисертант зробив висновок про існування (збудження) поверхневих коливань на сферичній поверхні дзеркала напівсферичного відкритого резонатора за певними його геометричними параметрами. Висновок базується на результатах вимірювань коефіцієнту передачі в прямокутному хвилевідному тракті з напівсферичним відкритим резонатором на дільниці резонатора та просторовому розподілі результуючого електричного поля на відстані $\lambda/4$ від плоского дзеркала резонатора в двох поляризаційних площинах основної хвилі прямокутного хвилеводу, випромінювання якої збуджує резонатор. В результаті виявлено, що у разі певних геометричних параметрів резонатора в ньому відбуваються втрати енергії власного основного коливання. Зафіксовано, що ці втрати спостерігаються в обмеженій області простору — в Н-площині основної хвилі прямокутного хвилеводу в межах каустики відкритого резонатора. Коли сферичне дзеркало замінити на сегментну діелектричну лінзу, ефект при тих же геометричних параметрах резонатора повторюється, але втрати енергії основного коливання спостерігаються в Е-площині основної хвилі прямокутного хвилеводу в межах каустики відкритого резонатора. В обох випадках дисертант ефект втрат енергії основного коливання відкритого резонатора гіпотетично пов'язав з його взаємодією з «поверхневими коливаннями на сферичній поверхні дзеркала — чи металевого чи діелектричного», висловлюючи їх смугову локалізацію. Гіпотеза має право на існування, але, як мені здається, висновок про поверхневі коливання не повністю доказаний, хоча він є найбільш вірогідним. Достовірно те, що дисертант виявив даний ефект і вказав на необхідність його врахування при створенні вимірювальних комірок для діелектрометрії речовин зі застосуванням напівсферичних відкритих резонаторів.

2. Дисертанту варто було дотримуватися однієї класифікації власних мод відкритого резонатора або в циліндричній (яка більш придатна для конфігурації резонатора), або в декартовій системі координат. Теж саме стосується порядковому наведенню модових індексів або за координатами (φ, ρ, z) , або (ρ, φ, z) циліндричної системи координат, оскільки в тексті зустрічаються обидва варіанта.

2. В тексті дисертації на сторінці 52 є фраза: «... показано, що основний тип коливань у напівсферичному ВР має максимальну величину навантаженої добротності ...». Мабуть потрібно розуміти, що це напівсферичний відкритий резонатор має максимальну добротність, коли в ньому збуджується основний тип коливань, оскільки тільки резонансна система характеризується добротністю, а не коливання, які в ній збуджуються. Для коливань є своя характеристика — коефіцієнт загасання, через який можна визначити добротність системи, в якій відбувається загасання коливань. Термін «добротність коливання» в тексті дисертації зустрічається і в інших місцях. Наприклад, на сторінці 93 є речення: «Оцінка навантаженої добротності Q_L коливання TEM_{0112}^* », яке, мабуть, варто сприймати як підзаголовок абзацу чи подальшого тексту в підрозділі 4.2.

4. Дисертанту варто було в кінці розділу 5 окремим підрозділом навести методику визначення діелектричної проникності твердих діелектриків зі застосуванням неоднорідних напівсферичних відкритих резонаторів, яку він фактично застосував при дослідженнях фторопластового та полістиролового дисків.

5. Робота містить недоліки технічного оформлення, описки та граматичні помилки.

Наведу деякі з них. У вступі у розділі "Наукова новизна одержаних результатів" наведено формули, позначення символів у яких раніше не були визначені. Такий недолік присутній і далі в основному тексті дисертації і для того щоб зрозуміти наведені формули доводиться звертатися до першоджерел, тобто до текстів опублікованих автором статей.

У розділі "Публікації" Введення стверджується, що "Усі видання [19-22] включено до наукометричних баз Scopus і Web of Science". Насправді до обох баз даних включено роботу

[22], роботи [19-22] включено лише до наукометричної бази Scopus. Деякі малюнки (наприклад, 1.1) не дуже високої якості. Також зустрічається, що позначення наведені на малюнках (наприклад, 2.1 та 2.2, 3.1-3.5) ніде в тексті не пояснені. При описі чисельних розрахунків за допомогою CST Studio коду слід зробити посилання на код і навести параметри розрахунків, які використані при розрахунках: розмір сітки, граничні умови, джерело збудження..

Разом з тим, зазначені зауваження принципово не порушують суть роботи, не впливають істотно на кінцеві результати досліджень, що виконані автором, не зменшують наукове значення та актуальність дисертації, не знижують високу оцінку наукового рівня дисертаційної роботи. Всі зауваження мають *рекомендаційний* характер для подальшої наукової роботи дисертанта і не позначаються на достовірності отриманих результатів з удосконалення радіофізичного методу визначення комплексних значень діелектричних проникностей твердих діелектриків у вигляді плоско-паралельних листів або дисків у чотирьох міліметровому діапазоні довжин хвиль. В цілому, висловлені зауваження та зазначені недоліки не занижують загальну позитивну оцінку роботи.

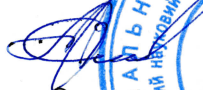
9. Загальний висновок. Переходячи до загальної оцінки дисертаційної роботи Лукаша О. С. "Напівсферичні відкриті резонатори міліметрового діапазону для визначення параметрів твердих діелектриків", варто зазначити, що вона є закінченим і цілісним дослідженням, з чіткою структурою і логічним поданням матеріалу та свідчить про персональний внесок автора в науку. Робота присвячена розв'язку актуальних задач радіофізики, які пов'язані з визначенням властивостей квазіоптичних відкритих резонаторів з діелектричними неоднорідностями та електрофізичних параметрів речовин, знання яких є необхідними в різних галузях промисловості, медицини та оборонного комплексу. Дисертація повністю відповідає вимогам Наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення Дисертацій» зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН № 759 від 31.05.2019, та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023 і № 507 від 03.05.2024.

Автор дисертаційної роботи, **Лукаш Олексій Сергійович**, заслуговує **присудження наукового ступеня доктора філософії** з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – "Фізика та астрономія".

Офіційний опонент:
завідувач відділу Інституту плазмової електроніки
та нових методів прискорення ННЦ «ХФТІ» НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор.


Геннадій СОТНИКОВ

Підпис Геннадія Васильовича СОТНИКОВА засвідчую.
Учений секретар Національного наукового центра
«Харківський фізико-технічний інститут» НАН України,
кандидат фізико-математичних наук, с. н. с.


06.08.2026

Олександр ВОЛОБУШЕВ

