

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію

Власенка Сергія Олександровича

«Взаємодія інтенсивних стрічкових електронних потоків з електромагнітними хвилями надрозмірних електродинамічних структур у черенковських генераторах і підсилювачах субтерагерцового та терагерцового діапазонів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність дослідження

Дисертацію Сергія Власенко присвячено актуальній задачі фізичної електроніки, що стосується пошуку нових ефективних режимів генерації та посилення електромагнітних хвиль у суб-ТГц та ТГц діапазонах з метою розробки компактних вакуумних електронних приладів з перестроюванням частоти у широких смугах та з рівнями потужності, що є достатніми для практичних застосувань у задачах з діагностики плазми, системах зв'язку, біології, медицині та багато інших. В дисертаційній роботі Власенко С. О. розглянуті питання як оптимізації електродинамічної системи ТГц клинотронів з метою покращення параметрів генерації, так і запропоновано нові конструкції підсилювача та генератора на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях, що є перспективними у просуванні вакуумних електронних приладів на ефекті Вавілова-Черенкова у більш високочастотні діапазони. Окремо хотілося би відзначити отримані в дисертаційній роботі Власенко С. О. результати з дослідження теплових ефектів в електродинамічних системах клинотронів суб-ТГц та ТГц діапазонів під час осідання інтенсивного стрічкового електронного потоку на гребінку, що впливають на ефективність електронно-хвильової взаємодії та, як наслідок, на спектральні та енергетичні характеристики випромінювання, що вкрай

важливо для розробки високостабільних систем генерації для великої кількості практичних застосувань.

Метою наукових досліджень дисертаційної роботи є встановлення оптимальних режимів генерації клинотронів з надрозмірними електродинамічними системами суб-ТГц та ТГц діапазонів з урахуванням теплових ефектів під час осідання інтенсивного електронного потоку на сповільнювальну систему, а також знайдення ефективних режимів посилення та генерації у компактних вакуумних електронних приладах, що працюють на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях, в ТГц діапазону.

Ступінь наукової обґрунтованості та наукова новизна результатів роботи. Достовірність наведених у роботі результатів теоретичних досліджень параметрів взаємодії стрічкового електронного потоку з електромагнітними хвилями у надрозмірних електродинамічних системах підсилювачів та генераторів суб-ТГц та ТГц діапазонів підтверджено як порівнянням з результатами чисельного моделювання у комерційних пакетах, так і гарним узгодженням з результатами експериментальних досліджень параметрів випромінювання у зазначених системах, отриманих за допомогою класичних методів вимірювання потужності, частоти та спектра.

Наукова новизна результатів отриманих у дисертаційній роботі Власенко С. О.:

1. Вперше теоретично та експериментально визначено вплив юстування інтенсивного стрічкового електронного потоку в електродинамічних системах клинотронів суб-ТГц та ТГц діапазонів на умови генерації, що дозволило отримати як широкосмугову генерацію з помірною вихідною потужністю, так і генерацію з підвищеною потужністю у одномодовому режимі роботи.

2. Вперше визначено вплив теплових ефектів в електродинамічних системах клинотронів суб-ТГц та ТГц діапазонів в результаті осідання інтенсивного стрічкового електронного потоку на спектральні та енергетичні характеристики випромінювання, та показано, що контроль за температурою охолоджувальної рідини дозволяє реалізувати стабільність потужності випромінювання на рівні 3% та стабільність робочої частоти на рівні $5 \cdot 10^{-5}$ за умови стабілізації прискорювальної напруги та струму пучка на рівні 5 ppm та 0,1%, відповідно.

3. Вперше запропоновано модифіковану конструкцію надрозмірної електродинамічної системи клинотрону ТГц діапазону, що забезпечило ефективне перетворення поверхневої хвилі, збудженої у просторі взаємодії приладу, у основну моду вихідного хвилеводу у широкому діапазоні частот, що було продемонстровано як в результаті чисельного моделювання так і експериментально в безперервному режимі генерації клинотрона.

4. Вперше теоретично на експериментально продемонстровано підсилення електромагнітних хвиль у вакуумному електронному приладі з неоднорідною гребінкою, що працює на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях, та експериментально отримано посилення до 12 дБ у смузі частот до 2 ТГц з центральною частотою 97,95 ТГц в діапазоні прискорювальних напруг 3,7-3,9 кВ за струму пучка 60 мА, що добре відповідає результатам моделювання.

5. В результаті чисельного моделювання продемонстровано збудження гібридних об'ємно-поверхневих мод у ТГц генераторі з біперіодичною гребінкою, та вперше запропоновано конструкцію генератора з квазіоптичним виводом енергії, в якому зворотній зв'язок реалізовано в діелектрику.

Список публікації здобувача за матеріалами дисертації містить 14 публікацій: в 5 наукових статтях, що індексуються в міжнародних

наукометричних базах даних Web of Science та Scopus, а також у 9 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і зміст дисертації. Загальний обсяг дисертації складає 159 сторінок та складається з анотації, вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків роботи, переліку використаних джерел та переліку публікацій автора.

У вступі обґрунтовано актуальність проведених досліджень, визначено мету, задачі та сформульовано наукову новизну результатів роботи, наведено практичне значення результатів та зазначено ступінь їх апробації, наведено перелік публікацій.

У першому розділі дисертаційної роботи розглянуто поточний стан розробок компактних джерел електромагнітного випромінювання середньої потужності субтерагерцового та терагерцового діапазонів. Наведено робочі характеристики вакуумних електронних приладів на ефекті Вавілова-Черенкова та проведено аналіз генераторних систем на основі клинотронів для практичних застосувань у субТГц та ТГц діапазонах.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено дослідженню процесів збудження поверхневих електромагнітних хвиль у клинотроні безперервної дії діапазону 161–178 ГГц інтенсивним стрічковим електронним потоком з метою практичного застосування приладу в складі системи для юстування квазіоптичної лінії стеларатора. В розділі наведено результати розробки оксидних катодів та *L*-катодів для електровакуумних приладів на ефекті Вавілова-Черенкова, а також імпрегнованих W-Ba термокатодів для формування інтенсивних стрічкових електронних потоків в електронних гарматах клинотронів. Проведено порівняння результатів теоретичних розрахунків і числового моделювання параметрів випромінювання клинотрона безперервної дії частотного діапазону 161–178 ГГц з результатами експериментальних досліджень робочих характеристик приладу.

У *третьому розділі* роботи наведено результати з розробки модифікованої електродинамічної системи ТГц клинотрона для оптимізації модового складу вихідного випромінювання. У результаті теоретичних розрахунків та тривимірного чисельного моделювання було проведено дослідження мод надрозмірної електродинамічної системи клинотрона діапазону частот 280–335 ГГц, де особливу увагу було приділено відбиттям та трансформації електромагнітних хвиль у місці з'єднання простору взаємодії з вихідним хвилеводом та анодною апертурою електронної гармати. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень було продемонстровано ефективне перетворення поверхневої хвилі, збудженої у просторі взаємодії приладу, у основну моду вихідного хвилеводу у широкому діапазоні частот.

У *четвертому розділі* продемонстровано результати досліджень підсилення та генерації електромагнітних хвиль ТГц діапазону в черенковських приладах на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях. Запропоновано конструкцію підсилювача з багатоперіодичною гребінкою та наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень посилення біжучої гібридних об'ємно-поверхневих хвилі, що є перспективним у ТГц діапазоні частот. Наведено результати моделювання режиму багатохвильового випромінювання Сміта-Парселла при збудженні гібридних об'ємно-поверхневих мод у структурі з подвійною неоднорідною гребінкою та діелектричним шаром. Проведено оцінку впливу похибок виготовлення елементів структури на ефективність генерації при збудженні гібридних об'ємно-поверхневих мод.

Практичне значення наукових результатів, отриманих у дисертаційній роботі Власенко С. О., полягає у розробці нових конструкцій ефективних генераторів та підсилювачів на ефекті Вавілова-Черенкова у суб-ТГц та ТГц діапазонів, а також у виявленні оптимальних режимів роботи клинотрону з підвищеною потужністю у діапазоні частот 170 ГГц – 175 ГГц,

що дозволило застосування розробленого клинотрону у експериментальних дослідженнях з юстування квазіоптичної лінії передачі енергії модернізованої системи діагностики колективного томсонівського розсіювання на стеллараторі Wendelstein 7-X за допомогою термографічних вимірювань.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. Порухень правил академічної доброчесності у представлених результатах роботи не виявлено. Запозичені результати інших авторів мають посилання на відповідне першоджерело.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В дисертаційній роботі наведено результати вимірювань стабільності параметрів випромінювання клинотронів суб-ТГц та ТГц діапазонів у довготривалих експериментах, але цікаво було б зробити порівняння отриманих результатів з результатами з використання систем стабілізації ФАПЧ.
2. В тексті роботи присутні декілька друкарських помилок та невдалого використання термінології. Наприклад, на сторінці 3 зазначено, що «стабільність робочої частоти клинотрона складає $5 \cdot 10^{-5}$ ». У зв'язку з тим, що $5 \cdot 10^{-5}$ це відношення значення нестабільності частоти генератора до центральної частоти генерації за тривалий час, більш правильним було б це значення назвати як «відносна довготривала нестабільність робочої частоти». Всі наведені зауваження не стосуються основних результатів роботи та можуть бути корисними у подальших дослідженнях автора.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам.

Вважаю, що вміст дисертаційної роботи Власенко С. О. «Взаємодія інтенсивних стрічкових електронних потоків з електромагнітними хвилями надрозмірних електродинамічних структур у черенковських генераторах і

підсилювачах субтерагерцового та терагерцового діапазонів» дає підставу вважати завершеною науковою працею, яка відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) 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 № 44 від 12 січня 2022 р., та автор роботи, Сергій Олександрович Власенко, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Рецензент

Кандидат фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник,

старший науковий співробітник

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України  Геннадій ЄРМАК

Підпис Г. П. Єрмака засвідчую

Т.в.о. вченого секретаря

ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України,

кандидат фізико-математичних наук,

старший дослідник



Ірина ЛУЦЕНКО