

ВІДГУК

Офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Кушніра Володимира Абрамовича на дисертаційну роботу Власенка Сергія Олександровича " Взаємодія інтенсивних стрічкових електронних потоків з електромагнітними хвилями в надрозмірних електродинамічних структурах черенковських генераторів і підсилювачів субтерагерцового та терагерцового діапазонів. " подану 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.

Компактні джерела електромагнітного випромінювання субтерагерцового та терагерцового діапазонів широко використовуються в різних галузях науки і техніки, зокрема в фізиці плазми, біології, медицині, матеріалознавстві, системах зв'язку та радіолокації. У зв'язку із значною затребуваністю приладів цього діапазону, інтенсивна робота з їхньої розробки та вдосконалення проводиться у багатьох лабораторіях світу. При цьому велика увага приділяється як поглибленому дослідженню фізичних процесів взаємодії електронів з полем, так і вдосконаленню технології виготовлення та конструкції приладів.

Таким чином можна стверджувати, що тема дисертаційної роботи Сергія Власенко, в якій проведено як теоретичне так і експериментальне дослідження черенковських генераторів та підсилювачів субТГц і ТГц діапазонів та є **важливою, своєчасною та актуальною**. Актуальність дисертаційної роботи Сергія Власенко також підтверджується узгодженням напряму дослідження з виконанням програм та науково-дослідних тем: «Нові теоретичні та експериментальні методи в електродинамічному моделюванні, генерації та випромінюванні електромагнітних хвиль гігагерцового та терагерцового діапазонів частот» (120U100980), «Розробка нових методів і засобів отримання інформації про фізичні характеристики природних середовищ, їх структурних неоднорідностей, поверхонь розподілу та окремих об'єктів за даними дистанційного зондування і радіолокації» (0121U100697), «Розробка нових методів і засобів отримання інформації про фізичні характеристики природних середовищ, їх структурних неоднорідностей, поверхонь розподілу та окремих об'єктів за даними дистанційного зондування і радіолокації» (0124U000770), «Методи моделювання дифракційного випромінювання, поширення та генерації електромагнітних хвиль гігагерцового та терагерцового діапазонів частот за наявності метаматеріалів та графеноподібних 2D-матеріалів» (0125U000468).

2. Ступінь наукової обґрунтованості наукових положень сформульованих у дисертації і висновків.

Результати експериментальних досліджень параметрів генерації та підсилення електромагнітних хвиль в запропонованих компактних вакуумних електронних приладах на ефекті Вавілова-Черенкова були отримані з використанням класичних методів вимірювання потужності, частоти та спектральних характеристик сигналів субТГц діапазону. Результати теоретичних досліджень взаємодії стрічкового нерелятивістського електронного потоку з електромагнітними хвилями у електродинамічних системах черенковських генераторів та підсилювачів було отримано з використанням надійних та відомих методів чисельного інтегрування рівняння збудження та рівнянь руху електронів з використанням методів кінцевих різниць, великих частинок і методу Рунге-Кутта четвертого порядку. Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженням теоретичних розрахунків з результатами експериментальних вимірювань.

Отримані в дисертаційній роботі результати та сформульовані висновки повністю відображені в публікаціях в зарубіжних виданнях та фахових виданнях України та були обговорені на міжнародних конференціях та семінарах.

3. Структура та зміст дисертації.

Дисертаційна робота Власенка С.О. складається з анотацій, списку публікацій, вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу й узагальнюючих висновків, та списку використаних джерел. Обсяг дисертаційної роботи становить 159 сторінок тексту, в якому використано 118 бібліографічних джерел.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано вибір теми наукового дослідження та її актуальність, визначено об'єкт, предмет та мету дослідження, сформульовані завдання.

У першому розділі дисертації проведено огляд сучасних компактних вакуумних електронних приладів на ефекті Вавілова-Черенкова субТГц і ТГц діапазонів та визначено напрямки і основні завдання роботи.

У другому розділі дисертації розглянуто основні види емітерів для формування інтенсивних стрічкових електронних потоків в електронних гарматах клинотронів міліметрового та ТГц діапазонів. Використання катоду з щільністю струму більш за 40 А/см^2 та магнітної системи з індукцією магнітного поля більш за 1 Т дозволяє отримати генерацію у клинотроні безперервної дії у діапазоні робочих частот 170–175 ГГц з потужністю більш за 1 Вт. Показано існування двох режимів роботи: з помірною потужністю у широкому діапазоні частот від 161 ГГц до 178 ГГц та з максимальною потужністю у частотному діапазоні 170–175 ГГц, що визначається умовами транспортування щільного стрічкового електронного потоку. Експериментально

одержано генерацію сигналу з потужністю більше 1 Вт у діапазоні частот 170–175 ГГц з стабільністю потужності випромінювання та робочої частоти краще за 3% та $5 \cdot 10^{-5}$ відповідно. Такі параметри дозволили провести юстування квазіоптичної лінії передачі енергії модернізованої системи діагностики колективного томсонівського розсіювання (КТР) на стеллараторі Wendelstein 7-X.

У третьому розділі роботи запропоновано модифіковану електродинамічну систему ТГц клинотрона. В результаті теоретичних розрахунків та тривимірного чисельного моделювання надрозмірної електродинамічної системи клинотрона діапазону 280–335 ГГц показана можливість збудження мод з декількома варіаціями поля уздовж ширини гребінки, що було підтверджено експериментально. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень проведено аналіз модового складу випромінювання клинотрона діапазону 280–335 ГГц з урахуванням особливостей надрозмірних електродинамічних систем приладів, де суттєву роль відіграють процеси відбиття та трансформації хвиль.

Четвертий розділ роботи присвячено дослідженню режимів підсилення та генерації електромагнітних хвиль у черенковських приладах з неоднорідною гребінкою у ТГц діапазону в режимі збудження гібридних об'ємно-поверхневих мод. Запропоновано конструкцію двокаскадного підсилювача з електродинамічною системою довжиною 41 мм на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях діапазону частот 93-99 ГГц, що, як показано у результаті чисельного моделювання, може забезпечити загальне посилення малого сигналу до 30 дБ. В односекційному підсилювачі діапазону частот 93-99 ГГц з довжиною структури 14 мм, експериментально отримано посилення до 12 дБ що відповідає результатам моделювання. Запропоновано конструкцію черенковського генератора з бі-періодичною гребінкою, що підтримує збудження гібридних об'ємно-поверхневих мод. На основі результатів моделювання було запропоновано схему черенковського генератора ТГц діапазону з покращеними характеристиками, в якій електронний потік резонансно збуджує випромінювання Сміта-Перселла двох порядків, при цьому дифракційне випромінювання, що поширюється тільки в діелектрику, використовується для зворотного зв'язку.

Одержані результати достатньо повно представлено у висновках до розділів та узагальнюючих висновках. Висновки, що зроблені за результатами дисертаційної роботи, свідчать про ретельне вивчення проблеми дослідження та охоплюють всі розділи.

4. Наукова новизна отриманих результатів.

Дисертація містить нові, раніше не захищені наукові положення. Серед них можна виділити такі:

- вперше визначено вплив транспортування інтенсивного стрічкового електронного потоку в електродинамічних системах клинотронів субТГц і ТГц діапазонів на умови генерації, що дозволило отримати: а) широкосмугову генерацію з помірною вихідною потужністю, або б) генерацію з максимальною потужністю в одномодовому режимі та показано фізичні причини цього явища;
- вперше визначено вплив теплових ефектів в електродинамічних системах клинотронів субТГц і ТГц діапазонів у результаті осідання інтенсивного стрічкового електронного потоку на спектральні характеристики випромінювання, що може бути використано для стабілізації потужності та частоти випромінювання;
- вперше теоретично та експериментально досліджено геометрію електродинамічної системи ТГц клинотрону з підвищеною ефективністю хвилевідного виводу енергії в широкому діапазоні частот;
- вперше продемонстровано підсилення електромагнітних хвиль у черенковському приладі W-діапазону, що працює на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях. Згідно результатів моделювання для структури довжиною 41 мм коефіцієнт посилення слабкого сигналу і електронний ККД досягає відповідно 30 дБ і 5%. Експериментально в односекційному підсилювачі на частоті 97,95 ГГц у смузі частот до 2 ГГц отримано посилення до 12 дБ, що узгоджується з результатами моделювання.
- запропоновано конфігурацію біперіодичної гребінки, яка підтримує збудження гібридних об'ємно-поверхневих мод, та показано, що така гребінка забезпечує не тільки підвищений опір зв'язку в ТГц діапазоні, а також широкий діапазон перестроювання частоти (15–20%);
- запропоновано схему ТГц генератора з покращеними характеристиками, в якій електронний потік резонансно збуджує випромінювання Сміта-Парсела двох порядків, при цьому дифракційний порядок, що поширюється тільки в діелектрику, використовується для зворотного зв'язку, а дифракційний порядок у вільному просторі служить вихідним випромінюванням.

5. Наукове та практичне значення одержаних результатів.

На основі отриманих у дисертаційній роботі результатів теоретичних і експериментальних досліджень було запропоновано та створено нові конструкції генераторів і підсилювачів на ефекті Вавілова-Черенкова в субТГц і ТГц діапазонах, а також запропоновано модифіковану конструкцію клинотрону ТГц діапазону з оптимізованим хвилеводним виводом енергії. Слід відзначити, що практичне значення одержаних результатів підтверджується, наприклад, застосуванням розробленого генераторного модуля на основі клинотрону в системі діагностики колективного томсонівського розсіяння на стеллараторі

Wendelstein 7-X у Інституті фізики плазми ім. Макса Планка у м. Грайфсвальд, Німеччина.

6. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих роботах за темою дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових публікаціях, з них 5 у наукових статтях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus та 9 у тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях.

7. Дотримання академічної доброчесності, відповідність анотації основним положенням дисертації

В дисертаційній роботі Власенка С. О. неправомірних запозичень та ознак порушення академічної доброчесності не виявлено. Дослідження виконано з дотриманням загальних вимог до академічної доброчесності. Список використаних джерел на наукові праці та інші інформаційні джерела оформлено відповідно до правил.

8. Зауваження щодо дисертаційної роботи.

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, слід висловити ряд зауважень щодо її змісту та оформлення:

1. У другому розділі дисертації досліджено вплив температурних режимів на параметри сигналу на виході клинотрону. Автор затверджує, що використання системи з зворотнім зв'язком дозволило суттєво стабілізувати потужність та частоту генерації. Однак ні опису ні аналізу роботи цієї системи в дисертації не наведено.

2. Розгляд властивостей надрозмірних електродинамічних структур клинотронів у третьому розділі роботи викладено занадто стисло, без достатніх пояснень. Можливо додаткові роз'яснення дозволили б зробити порівняльний аналіз більш наглядним.

3. В розділі чотири значна увага приділена теоретичному аналізу та чисельному моделюванню режимів збудження гібридних об'ємно-поверхневих хвиль у електродинамічних системах з бі-періодичною гребінкою та шаром діелектрика. В тексті дисертації відсутній порівняльний аналіз характеристик запропонованих систем з характеристиками існуючих приладів.

4. При опису результатів експериментів недостатню увагу приділено аналізу похибок вимірювань.

5. Четвертий розділ надмірно перевантажений. Бажано було б розподілити матеріал на два розділи

6. У тексті дисертації зустрічаються невдалі стилістичні звороти, професійний сленг (одиначний пучок, солвер, «холодне» моделювання та ін.), друкарські помилки та неточності у підписах до рисунків (Рис.2.1).

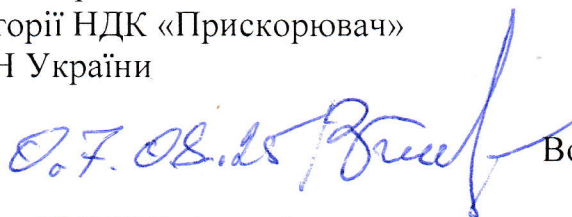
Проте, зазначені недоліки не зачіпають основних положень і результатів дисертації і не впливають на загальний висновок про високий науковий рівень роботи та її науково-практичну значущість.

9. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Власенка Сергія Олександровича за темою «Взаємодія інтенсивних стрічкових електронних потоків з електромагнітними хвилями в надрозмірних електродинамічних структурах черенковських генераторів і підсилювачів субтерагерцового та терагерцового діапазонів» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові результати, а саме дослідження є актуальним, самостійним та завершеним. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», (з наступними змінами) «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 року №44, а її автор – Власенко Сергій Олександрович - заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та Астрономія».

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук
старший науковий співробітник
начальник лабораторії НДК «Прискорювач»
ННЦ «ХФТІ» НАН України



Володимир КУШНІР

Підпис Володимира КУШНІРА засвідчую.

Вчений секретар Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут» НАН України



Олександр ВОЛОБУЄВ