

## **ВІДГУК**

Офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника Одаренка Євгена Миколайовича 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, планами, темами**

У дисертаційній роботі Власенка С. О. експериментально та теоретично досліджуються компактні електровакуумні генератори та підсилювачі субТГц і ТГц діапазонів, які базуються на модернізованій схемі клинотрону, та на приладах, що працюють на об'ємно-поверхневих хвилях. Наразі такі електронні прилади є перспективними для використання у ТГц діапазоні частот. Зокрема, у таких галузях, як радіолокація, спектроскопія, біологія та медицина, фізика плазми та в інших, де експлуатаційні характеристики сучасних напівпровідникових приладів та вакуумних приладів мікрохвильового діапазону не задовольняють існуючим вимогам. У дисертаційній роботі запропоновано та розглянуто декілька конструкцій генераторів та підсилювачів субТГц і ТГц діапазонів, які забезпечують середні рівні вихідної потужності та мають достатньо широкий діапазон електронного перестроювання частоти, що зумовлює актуальність та практичну значущість проведених досліджень.

Актуальність дисертаційної роботи Власенко С. О. підтверджується також тим, що обраний напрям досліджень пов'язаний з виконанням низки наукових

програм та держбюджетних 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).

Наведене вище дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота є актуальною, відповідає сучасним запитам і потребам природничих наук і стосується актуальних проблем науки і практики.

## **2. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації**

Обґрунтованість наукових положень і висновків та вірогідність отриманих результатів визначаються використанням у дисертаційній роботі класичних експериментальних методів вимірювання потужності, частоти та спектру коливань у субТГц та ТГц діапазонах, а також добре відомих та апробованих чисельних методів для моделювання процесів взаємодії стрічкових електронних пучків з електромагнітними хвилями в черенковських вакуумних електронних приладах.

Отримані у дисертаційній роботі результати та сформульовані висновки повністю висвітлені у публікаціях в високореєтингових міжнародних наукових журналах, які входять до міжнародних наукометричних баз, та у доповідях на профільних міжнародних науково-технічних конференціях.

### **3. Структура та зміст дисертації**

Зміст дисертаційної роботи є логічно структурованим та методологічно вірним. Робота складається з анотації, списку публікацій автора, вступу, чотирьох розділів із відповідними висновками до кожного з них, узагальнюючих висновків та списку використаних джерел. Зміст роботи викладено на 159 сторінках тексту, список використаних джерел складається з 118 найменувань.

У *вступі* дисертації обґрунтовано вибір теми наукового дослідження, визначено об'єкт, предмет та мету дослідження, його завдання. У *першому розділі* дисертації висвітлено основні проблеми розроблення конструкції та дослідження параметрів випромінювання компактних електронних вакуумних приладів на ефекті Вавілова-Черенкова субТГц і ТГц діапазонів.

*Другий розділ* дисертації присвячено дослідженню процесів взаємодії стрічкового електронного потоку з поверхневими електромагнітними хвилями у клинотроні безперервної дії діапазону 161–178 ГГц. Розглянуто основні види термоемісійних катодів для формування щільних стрічкових електронних потоків в електронних гарматах клинотронів. Проведені теоретичні розрахунки і числове моделювання параметрів випромінювання клинотрона безперервної дії в діапазоні 161–178 ГГц. В результаті експериментальних досліджень визначено:

а) особливості режимів роботи клинотрона безперервної дії як в широкій смузі частот з середніми рівнями потужності генерації, так і з рівнями потужності більше одного Вата у вузькосмугових зонах генерації, що обумовлено параметрами юстування щільного стрічкового електронного потоку;

б) параметри випромінювання клинотрона в складі системи для юстування квазіоптичної лінії передачі термографічними методами.

У *третьому розділі* проведено дослідження запропонованої модифікованої електродинамічної системи ТГц клинотрона для оптимізації модового складу вихідного випромінювання. Проведено розрахунок дисперсійних характеристик надрозмірної електродинамічної системи клинотрона та моделювання поширення електромагнітних хвиль у електродинамічній системі клинотрона діапазону 280–335 ГГц. Проведено експериментальне дослідження параметрів випромінювання клинотрона безперервної дії в цьому діапазоні. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень було проаналізовано модовий склад випромінювання з урахуванням особливостей надрозмірних електродинамічних систем клинотронів ТГц діапазону.

*Четвертий розділ* присвячено режимам підсилення та генерації гібридних об'ємно-поверхневих електромагнітних хвиль ТГц діапазону в надрозмірних електродинамічних системах приладів з біперіодичними гребінками. Проведено моделювання параметрів двокаскадного підсилювача на гібридних об'ємно-поверхневих хвилях, а також експериментальне дослідження параметрів підсилення у першій секції макету приладу субТГц діапазону. Запропоновано конструкції генераторів зі здвоєними біперіодичними гребінками, що забезпечують ефективне збудження гібридних об'ємно-поверхневих електромагнітних хвиль у ТГц діапазоні, та проведено чисельне моделювання відповідних електронно-хвильових систем.

Одержані результати достатньо повно представлено у висновках до розділів та узагальнюючих висновках.

Таким чином, обсяг і зміст дисертації свідчать про ретельне вивчення проблеми дослідження.

#### **4. Наукова новизна отриманих результатів**

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

- вперше визначено вплив характеристик пропускання інтенсивного стрічкового електронного потоку в електродинамічних системах клинотронів субТГц і ТГц діапазонів на характеристики генерації, що дозволило отримати широкосмугову генерацію з помірною вихідною потужністю та генерацію з максимальною потужністю в одномодовому режимі. Визначено фізичні причини цих явищ;
- вперше визначено вплив теплових ефектів в електродинамічних системах клинотронів субТГц і ТГц діапазонів, що виникають через осідання електронного потоку, на спектральні характеристики випромінювання. Показано, що контроль за температурою охолоджувальної рідини дозволяє реалізувати стабільність потужності випромінювання близько 3% та стабільність робочої частоти на рівні  $5 \cdot 10^{-5}$ ;
- запропоновано схему ТГц генератора з покращеними експлуатаційними характеристиками, в якій електронний потік резонансно збуджує випромінювання Сміта-Парсела двох порядків. При цьому випромінювання, що поширюється тільки в діелектрику, використовується для зворотного зв'язку, а випромінювання у вільному просторі є вихідним.

#### **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 субТГц і ТГц діапазонів.

Було розроблено генераторну систему на основі клинотрону безперервної дії в діапазоні частот 170-175 ГГц і проведено експериментальні дослідження з

юсування квазіоптичної лінії передачі енергії модернізованої системи діагностики колективного Томсонівського розсіяння на стеллараторі Wendelstein 7-X, Німеччина.

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

Основні результати, наукові положення та висновки дисертаційного дослідження опубліковано у 14 наукових публікаціях, серед яких 5 у наукових статтях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus, а також у 9 тезах у збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

## **7. Дотримання академічної доброчесності, відповідність анотації основним положенням дисертації**

Текст дисертаційної роботи, стиль подання матеріалів дає підстави стверджувати, що дослідження виконано з дотриманням загальних вимог до академічної доброчесності. Список використаних джерел на наукові праці та інші інформаційні джерела оформлено відповідним чином. Зміст анотації не містить інформацію, яка була б відсутньою у тексті дисертації. В роботі Власенка С.О. не виявлено ознак академічного плагіату, фальсифікації, фабрикації, компіляції тощо.

## **8. Зауваження щодо дисертаційної роботи**

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, слід зазначити, що робота має певні недоліки:

1. В роботі досить значна увага приділена дослідженню підсилювача ТГц діапазону, але в першому розділі відсутній огляд літератури з цього питання. Фрагментарний огляд наведений лише на початку четвертого розділу.

2. В роботі наведена значна кількість теоретичних результатів, але відсутні хоча б стислі описи моделей та підходів, які застосовувалися для їх отримання. Автор обмежився лише посиланнями на відповідні публікації.

3. В четвертому розділі теоретично досліджується електронно-хвильова система, але взагалі відсутні характеристики електронного потоку (високочастотний струм, фазові траєкторії частинок тощо), які зазвичай є визначальними для встановлення закономірностей фізичних процесів.

4. Робота містить деякі вади в оформленні. Зокрема, вісі на рисунках мають підписи українською та англійською мовами. В тексті роботи зустрічаються жаргонні вислови: “отримано геометрію” (с. 5), “генератор видає” (с. 62) тощо. В англійській анотації використовується невірна на мій погляд для вакуумної електроніки термінологія: “ribbon electron beam”, “electron flow”, “waveguide with a comb”. Крім того, назва клинотрон наведена у кількох варіантах: “klynotron”, “klinotron” та навіть “cyclotron”.

Наведені зауваження, звісно, дещо погіршують враження від роботи, але принципово не впливають на загальний висновок про її науковий рівень та науково-практичну значущість.

## **9. Загальний висновок**

Аналіз дисертаційної роботи, анотацій та опублікованих праць за темою дисертації дозволяє зробити висновок, що дисертаційна робота на тему «Взаємодія інтенсивних стрічкових електронних потоків з електромагнітними хвилями в надрозмірних електродинамічних структурах черенковських генераторів і підсилювачів субтерагерцового та терагерцового діапазонів» є актуальним, цілісним, самостійним та завершеним науковим дослідженням, яке має наукову новизну, теоретичне та практичне значення, 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:

професор кафедри фізичних основ  
електронної техніки

Харківського національного університету радіоелектроніки  
доктор фізико-математичних наук

Євген ОДАРЕНКО

Підпис Одаренка Є.М. засвідчую

Проректор з наукової роботи ХНУРЕ



Юрій РОМАНЕНКОВ