

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**РУБАН АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ**

УДК 621.385.6

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВЗАЄМОДІЇ ПРОСТОРОВИХ ГАРМОНІК  
ЧЕРЕНКОВСЬКОГО ТА ДИФРАКЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАНЬ В  
ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ ПРИСТРОЇВ КРАЙ ВИСОКИХ ЧАСТОТ**

Спеціальність 01.04.01 - фізика приладів, елементів і систем

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

СУМИ - 1999

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі фізичної електроніки Сумського державного університету, Міністерство освіти України.

**Науковий керівник:**

кандидат фізико-математичних наук, доцент

**Воробйов Геннадій Савелійович,**

Сумський державний університет,

докторант кафедри фізичної електроніки.

**Офіційні опоненти:**

доктор фізико-математичних наук, професор

**Кириченко Олександр Якович,**

Інститут радіофізики і електроніки НАН України,

провідний науковий співробітник відділу фізики

твердого тіла;

доктор фізико-математичних наук, професор

**Роцупкін Сергій Павлович,**

Сумський державний університет,

декан механіко-математичного факультету.

**Провідна установа:**

Інститут прикладної фізики НАН України

відділ електростатичних прискорювачів, м. Суми

Захист відбудеться "27" травня 1999 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.02 у Сумському державному університеті за адресою: 244007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корпус ЕТ, ауд. 216

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету

Автореферат розісланий "26" квітня 1999 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Борисенко О.А.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Широке застосування в електроніці і техніці край високих частот (КВЧ) знаходять періодичні металеві та метало-діелектричні структури (МДС), що є основними елементами генераторів дифракційного випромінювання та антенних систем [1, 2]. Незважаючи на велику кількість досліджень в цій області, деякі пристрої електроніки КВЧ на базі періодичних структур запропоновано порівняно нещодавно, і вони потребують подальшого розвитку. Так, наприклад, відсутній кількісний аналіз взаємодії просторових гармонік черенковського та дифракційного випромінювань у системі діелектричний шар – стрічкова дифракційна ґратка (ДГ) при збудженні її електронним потоком (ЕП). Практично не вивчено процеси взаємодії гармонік випромінювання для багатозв'язних систем: метало-діелектричний канал (МДК), відкритий резонатор з МДС, зв'язані відкриті резонатори (ВР). Відсутність теорії та недостатній об'єм експериментальних досліджень утруднюють практичну реалізацію нерелятивістських пристроїв дифракційної електроніки на відкритих хвилеводах (ВХ).

Все це дає підставу вважати, що дуже перспективними та актуальними є теоретичні та експериментальні дослідження електромагнітної взаємодії просторових гармонік черенковського та дифракційного випромінювань у відкритих електродинамічних системах КВЧ з періодичними метало-діелектричними та металевими структурами.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана в науково-дослідній лабораторії кафедри фізичної електроніки Сумського державного університету і пов'язана з держбюджетною темою "Дослідження радіаційних ефектів при збудженні відкритих метало-діелектричних структур електронним потоком" (номер держреєстрації 0197U016605, термін виконання – 1997-1999 рр.), включеної в координаційний план згідно з напрямом "Взаємодія електромагнітного випромінювання та потоків заряджених часток з речовинами" (рішення науково-експертної ради "Фізика" від 25.12.96р.). Деякі результати, отримані до 1997р., ввійшли до звіту з держбюджетної теми "Дослідження фізичних принципів трансформації поверхневих хвиль в об'ємні та створення на їхній основі нових типів широкофункціональних НВЧ пристроїв для систем передачі інформації" (номер держреєстрації 0194U009732).

**Мета і задачі дослідження.** Мета цього дослідження полягає у визначенні загальних фізичних закономірностей електромагнітної взаємодії просторових гармонік черенковського та дифракційного випромінювань у відкритих електродинамічних системах пристроїв КВЧ з періодичними металевими і метало-діелектричними структурами.

Відповідно до цього в роботі ставилися і розв'язувалися такі задачі:

– чисельний аналіз та експериментальне моделювання гармонік дифракційно-черенковського випромінювання в напівнескінчених системах діелектричний шар – стрічкова дифракційна ґратка, метало-діелектричний канал;

– експериментальне дослідження та побудова фізичної моделі електромагнітної взаємодії гармонік випромінювання в метало-діелектричних структурах кінцевої товщини;

– експериментальні дослідження електромагнітних коливань у зв'язаних відкритих резонаторах і резонаторах з метало-діелектричним включенням;

– теоретичний опис особливостей взаємодії електронного пучка з полем періодичної структури плоско-паралельного відкритого хвилеводу та експериментальне моделювання хвильових процесів у такій системі.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Під час розвитку методів теорії заданого струму та експериментального моделювання черенковського та дифракційного випромінювань вперше встановлено кількісні зв'язки між енергетичними рівнями просторових гармонік випромінювань у метало-діелектричних структурах.

2. Побудовано нову фізичну модель збудження дифракційно-черенковського випромінювання в метало-діелектричних структурах скінченої товщини, що враховує хвильові процеси в діелектрику.

3. Вперше експериментально визначено особливості спектральних характеристик багатозв'язних електродинамічних систем типу метало-діелектричний канал, зв'язаних відкритих резонаторів і відкритих резонаторів з метало-діелектричним включенням.

4. Вперше теоретично (в лінійному наближенні) та експериментально встановлено особливості електромагнітної взаємодії полів розподілених джерел випромінювання з полями плоско-паралельного відкритого хвилеводу, показана можливість резонансної взаємодії цих полів на **більшій** протяжності системи.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати чисельного аналізу та експериментального моделювання дифракційних та черенковських гармонік випромінювання дозволяють установити загальні фізичні закономірності взаємодії просторових гармонік випромінювань в однозв'язних та багатозв'язних електродинамічних системах з МДС і дати практичні рекомендації щодо реалізації черенковських та черенковсько-дифракційних генераторів, а також селективних пристроїв КВЧ. Лінійна самоузгоджена теорія збудження дифракційного випромінювання в плоско-паралельному відкритому хвилеводі та результати експериментальних досліджень такої електродинамічної системи є основою для побудови нелінійної теорії і створення підсилювача КВЧ з квазіоптичним виводом енергії.

**Особистий внесок здобувача.** В дисертації наведено результати, опубліковані як особисто автором, так і з основними співавторами Г.С. Воробйовим, К.О. Пушкарьовим, О.І. Цвиком та О.О. Шматьком. В деяких роботах співавторами також є студенти, які під керівництвом автора допомагали в створенні експериментальних макетів та проведенні вимірювань. Особисто автором поставлені та проведені всі експериментальні дослідження. Чисельний аналіз проводився разом з Г.С. Воробйовим та К.О. Пушкарьовим з використанням теоретичної моделі, побудованої О.І. Цвиком. Постановка задачі лінійної теорії підсилювача здійснена О.О. Шматьком, а аналітичний аналіз та експериментальне моделювання проведено разом з Г.С. Воробйовим. Автор роботи брав активну участь в опрацюванні всіх теоретичних та експериментальних даних, в обговоренні отриманих результатів, у підготовці та оформленні публікацій.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались на таких конференціях і семінарах: Науково-технічна конференція "Техніка і фізика електронних систем і пристроїв" (Україна, Суми, травень 1995р.); 2-й Молодіжний форум "Радіоелектроніка і молодь в ХХІ сторіччі" (Україна, Харків, квітень 1998р.); International Symposium Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves (Україна, Харків, травень 1998р.); 11th International conference on high-power electromagnetics ( Israel , Tel Aviv, червень 1998 р.); 8-ма Міжнародна Кримська конференція "КВЧ – техніка та телекомунікаційні технології" ( Україна, Севастополь, вересень 1998р.); щорічна конференція викладачів, співробітників та студентів Сумського державного університету (1994-1998 рр.).

**Публікації.** Основні результати роботи опубліковано в 4 статтях і тезах 6 доповідей загальним обсягом 1.25 друкованих аркушів.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і одного додатка.

Повний обсяг дисертації складає 191 сторінка, у тому числі 70 рисунків і 6 таблиць. Список використаних джерел складає 101 найменування.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** розкриваються сутність і стан наукової проблеми, мета і задачі дослідження, підстава і вихідні дані для розробки теми дослідження, подається загальна характеристика дисертації.

**У першому розділі** літературного огляду розкрито основні етапи розвитку пристроїв КВЧ, принцип дії яких базується на використанні двох видів радіаційних ефектів: дифракційного та черенковського випромінювань (ДЧВ). Показано, що в плані розширення функціональних можливостей пристроїв дифракційної електроніки перспективними є прилади з МДС, на зв'язаних

ВР та відкриті хвилеводи. Визначено задачі, що не розв'язані для таких приладів, і основні об'єкти для дослідження, які подано на рис.1. Вибрані та обгрунтовані теоретичні і експериментальні методи досліджень, засновані на розв'язуванні задач дифракційної електроніки в наближенні заданого струму і малосигнальної самоузгодженої постановки, а також на експериментальному моделюванні просторових гармонік випромінювання заданим полем діелектричного хвилеводу. На основі аналізу діаграм Брілюена [2], в інтервалі значень діелектричної проникності  $\varepsilon = 2 - 100$ , проведено вибір режимів чисельного та експериментального моделювання пристроїв з МДС. Описано експериментальні установки та методики вимірювань просторових і хвилеводних характеристик досліджуваних систем.

У другому розділі проведено системний чисельний аналіз та експериментальне моделювання енергетичних характеристик гармонік випромінювання в МДС типу напівнескінченний діелектричний шар – стрічкова ДГ (рис.1а). Експериментальна модель являла собою трикутну призму з характерними розмірами порядку  $10\lambda$  ( $\lambda$  – довжина хвилі випромінювання), на бічну грань якої наносилася стрічкова ДГ, збуджувана планарним діелектричним хвилеводом з відносною фазовою швидкістю хвилі

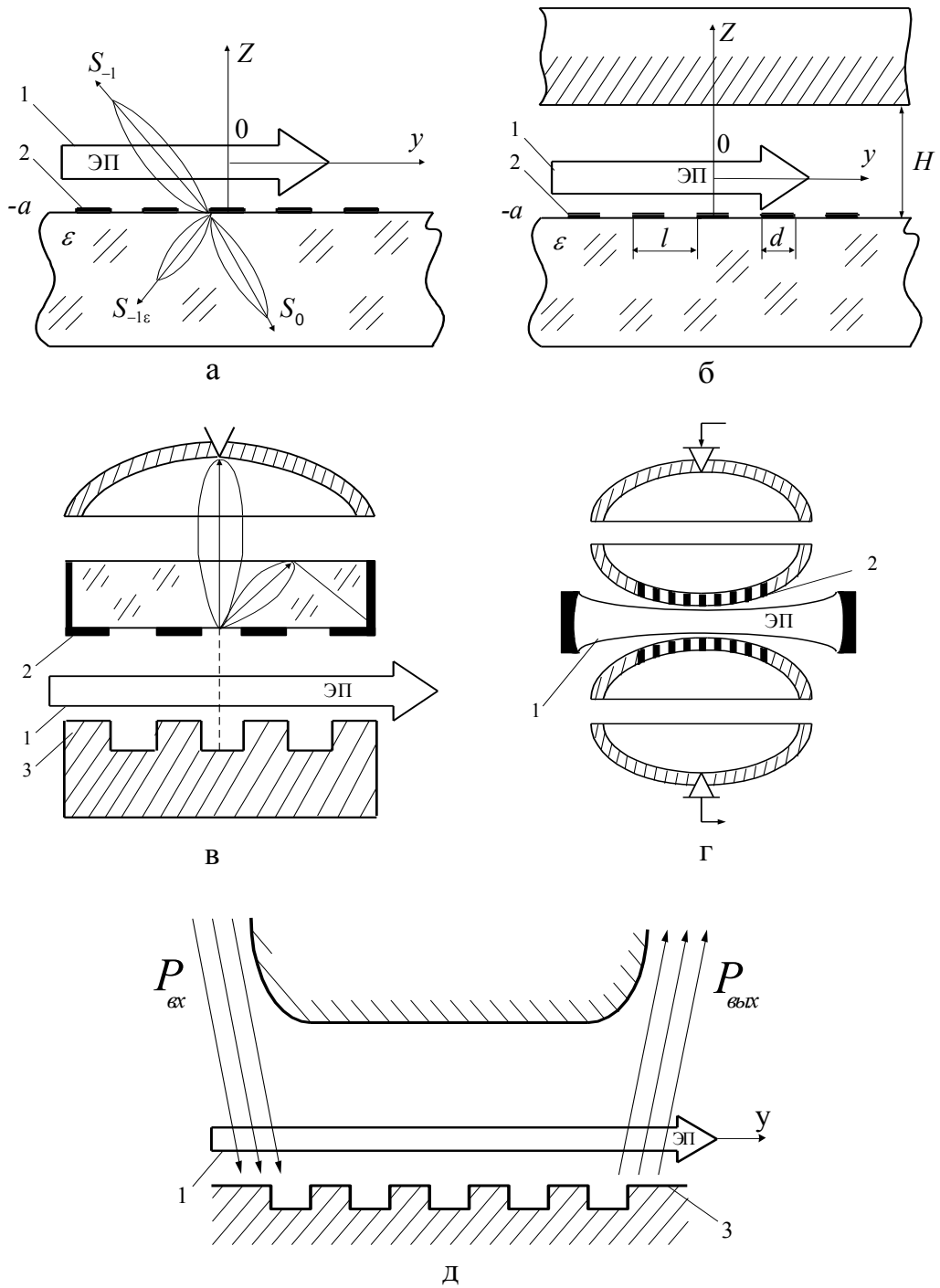


Рисунок 1- Схеми електродинамічних систем, що досліджуються: а) МДС типу діелектричний шар – стрічкова ДГ; б) МДС типу метало-діелектричний канал; в) дифракційно-черенковський генератор; г) ГДВ на зв'язаних ВР; д) підсилювач на об'ємних хвилях: 1-електронний пучок; 2- стрічкова ДГ; 3- відбивні ДГ



$\beta_e$ . Теоретичні залежності енергетичних характеристик ДЧВ від відносної швидкості електронів  $\beta_e$  досліджувалися в інтервалі  $\varepsilon = 2 - 100$  при різноманітних параметрах ДГ. Експериментальне моделювання проводилося при діелектричних проникностях призм  $\varepsilon = 2.05$  (фторопласт) та  $\varepsilon = 10$  (полікор). Встановлено, що при збудженні гармонік випромінювання визначальну роль у перерозподілі енергії між ними грає коефіцієнт заповнення стрічкової ґратки  $u = \cos \pi d/l$  ( $d$  – ширина стрічок ґратки,  $l$  – період ґратки). В області вузьких стрічок ( $u > 0$ ) домінуючою є черенковська гармоніка випромінювання з номером  $n = 0$ , а при переході в область широких стрічок ґратки рівні гармонік, що випромінюються в діелектрик ( $n = 0, -1$ ), порівнянні.

Отримано якісну і кількісну відповідність результатів теорії та експерименту, що при  $\varepsilon = 2.05$  продемонстровано на рис.2. Одержані результати вказують на спільність фізичних процесів взаємодії гармонік випромінювання в діелектриках з малими і великими значеннями  $\varepsilon$ .

Експериментально промодельовані умови збудження дифракційно-черенковського випромінювання в МДС скінченої товщини з поперечними розмірами порядку  $10\lambda$ . Побудовано фізичну модель такої системи, яка заснована на уявленні МДС у вигляді екранованого двомірного плоского хвилеводу, зв'язаного через прямі та обернені хвилі з ДВ [3]. Встановлено, що істотно впливають на енергетичні характеристики дифракційно-черенковського випромінювання товщина  $\Delta$  та діелектрична проникність  $\varepsilon$  призми, які визначають кількість  $E_{m0}$  – і  $H_{m0}$  – хвиль ( $m = 0, 1, 2, \dots$ ), що поширюються уздовж її подовжньої осі. Мінімальні перекручування діаграм спрямованості черенковського та дифракційного випромінювань спостерігалися при виконанні умови одномодовості системи

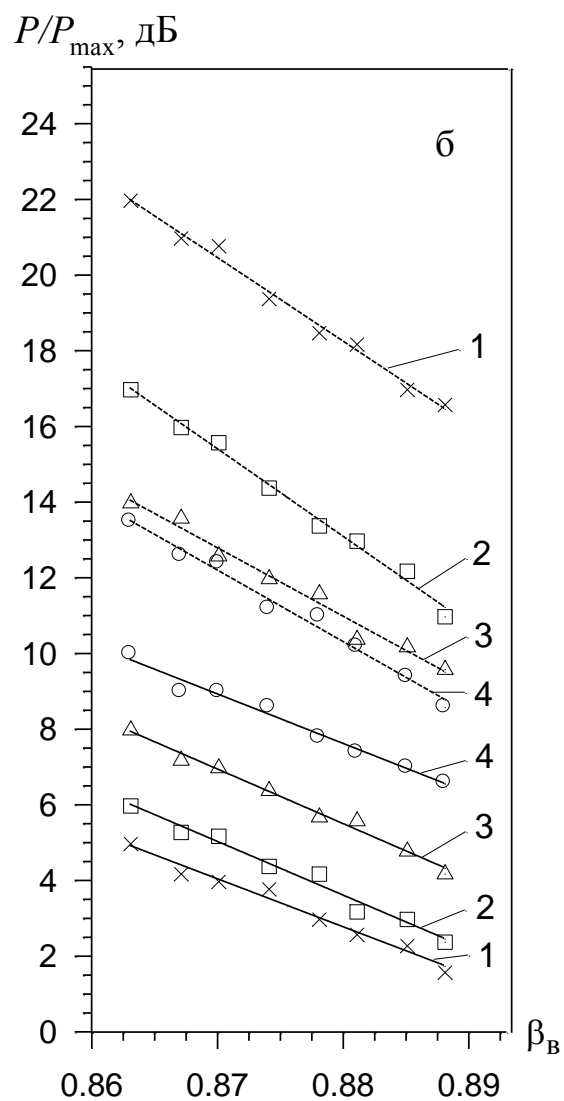
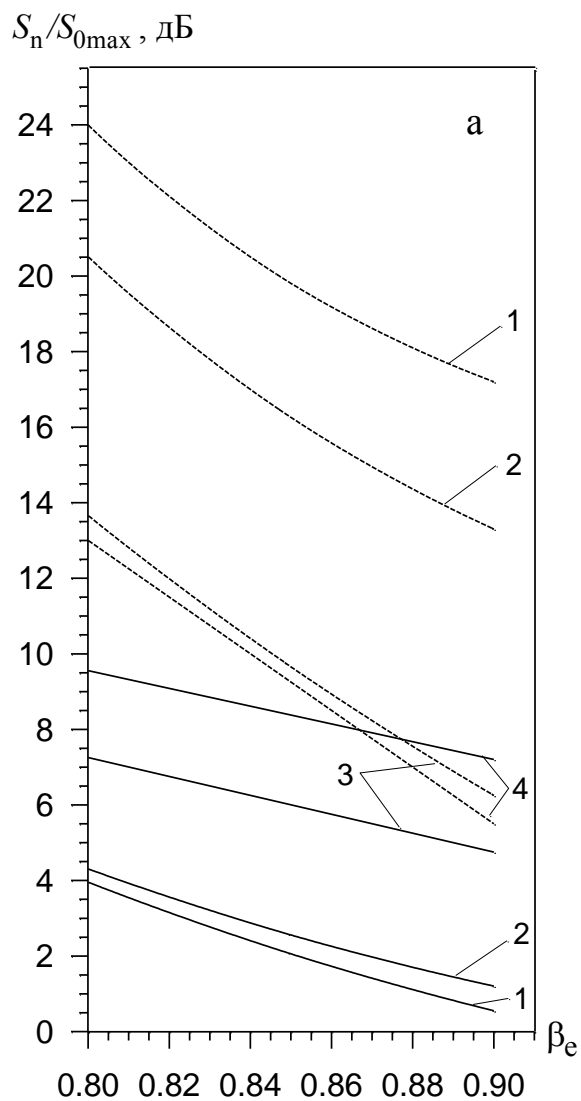


Рисунок 2- Теоретичні (а) та експериментальні (б) залежності відносної потужності гармонік випромінювання в діелектрику:  $n = 0$  (суцільні лінії),  $n = -1$  (пунктир). 1-  $u = 0.5$ , 2-  $u = 0.3$ , 3-  $u = -0.5$ , 4-  $u = -0.85$

$$\frac{2\Delta}{\lambda} < \frac{2\Delta}{\lambda_{\text{кр}}^{(1)}} = \frac{1}{2\sqrt{\varepsilon - 1}},$$

де  $\lambda_{\text{кр}}^{(1)}$  – критична довжина хвиль при  $m = 1$ .

Виходячи з даної умови, товщина пластини МДС при  $\varepsilon = 2.05$  повинна задовольняти умові  $\Delta < \lambda/4$ , а при  $\varepsilon = 10$  –  $\Delta < \lambda/12$ . У діапазоні частот  $f = 70 - 74$  ГГц реалізація першого варіанта МДС не викличе великих утруднень, а другий варіант – проблематичний через малу фізичну товщину пластини. Із збільшенням  $\Delta$  система стає багатозв'язною, що в області критичних частот призводить до посилення зв'язку з ДХ. При синхронізмі оберненої хвилі, що присутня в МДС, з прямою хвилею ДХ спостерігаються резонанси у вигляді поглинання енергії дифракційних гармонік, що випромінюються за межі призми.

У **третьому розділі** вивчено механізми взаємодії просторових гармонік черенковського та дифракційного випромінювань у найпростішому типі багатозв'язної відкритої електродинамічної системи – МДК (рис.1б). Теоретично та експериментально показано, що введення екрана в МДС (модель МДК) призводить до резонансної взаємодії гармонік випромінювання. Встановлено, що збудження черенковської гармоніки в МДК підвищує резонансні властивості дифракційних гармонік. Стосовно нульової та мінус першої гармонік у діелектрику резонансне випромінювання в канал – протифазне, а стосовно інших гармонік – синфазне. Отримано якісну відповідність теорії та експерименту (рис.3), що вказує на обмеженість моделі заданого струму при описі взаємодії гармонік випромінювання в МДК.

Експериментально досліджено механізми збудження у багатозв'язних електродинамічних системах типу зв'язаних ВР і резонаторах з МДС. Встановлено, що максимальної смуги пропускання можна досягти за умови організації зв'язку двох ВР

$$S_n / S_{n \max}, (P_n / P_{n \max})$$

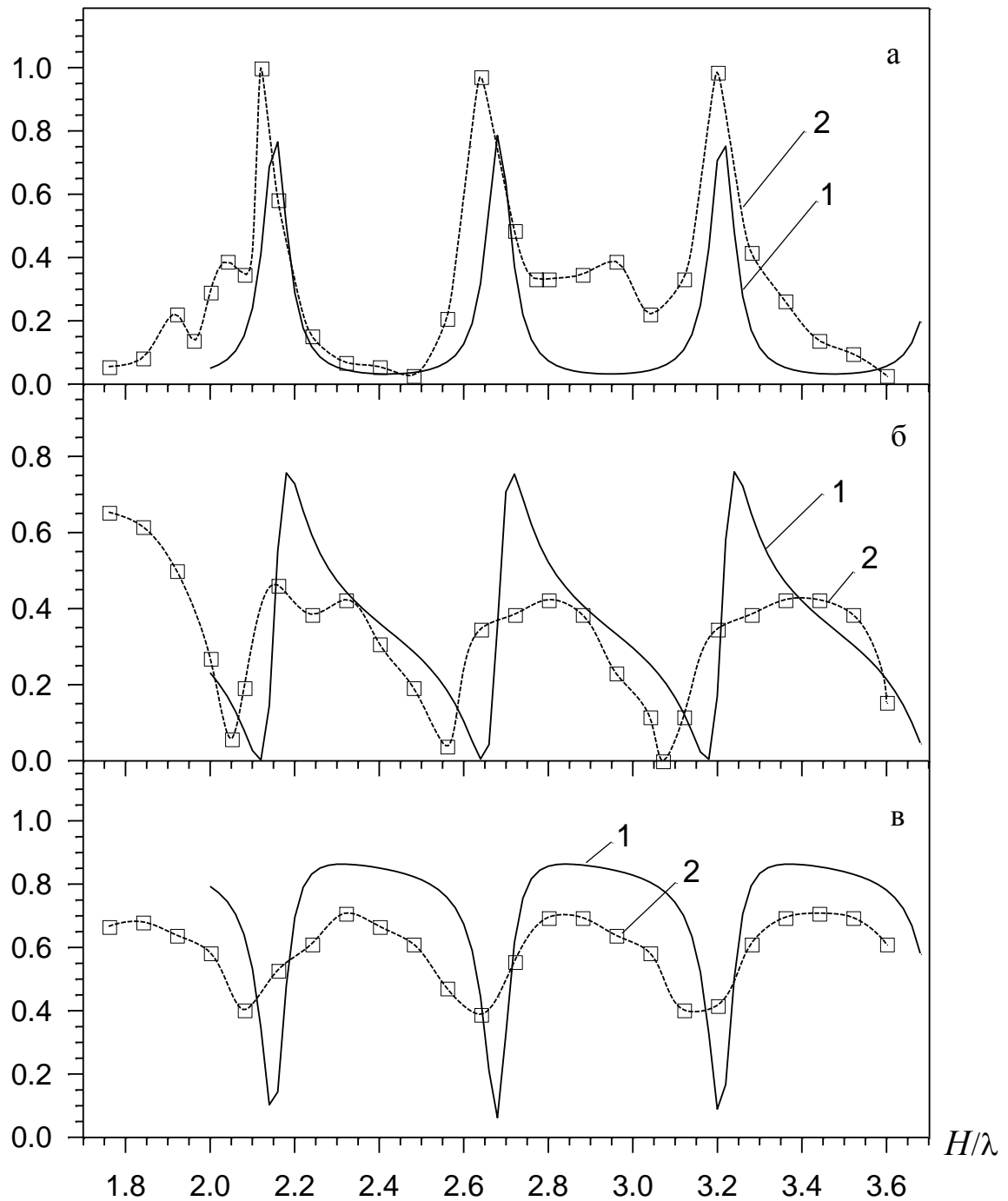


Рисунок 3- Теоретичні (1) та експериментальні (2) залежності відносної потужності гармонік випромінювання від відстані до екрана: а)  $n = -1$  (вакуум); б)  $n = -1$  (діелектрик); в)  $n = 0$

через стрічкові дифракційні ґратки (рис.1г) при добротності системи того ж порядку, що її для поодинокого ВР з аналогічною геометрією. Багатозв'язна система, виконана у вигляді відкритого резонатора з МДС (рис.1в), має якісно нові електродинамічні властивості у порівнянні з ВР без МДС: при зміні товщини діелектрика і значень  $\varepsilon$  можливі реалізація режимів загасання енергії у ВР, збільшення амплітуди коливань та їхньої добротності, селекції коливань. Виявлені властивості такої системи знаходять пояснення в рамках фізичної моделі дифракційно-черенковського випромінювання для МДС кінцевої товщини і відомої концепції проуявлення резонансного поля у вигляді кутового спектра плоских хвиль.

**У четвертому розділі** побудовано лінійну одномірну самоузгоджену теорію підсилювача на об'ємних хвилях (рис.1д) та експериментально промодельовані режими збудження коливань в плоско-паралельному ВХ з дифракційною ґраткою. В загальному вигляді отримано дисперсійне рівняння підсилювача, що у припущенні малої густини просторового заряду ЕП та максимальної взаємодії електронів пучка з повільною хвилею періодичної структури перетворюється в рівняння третього ступеня, що дозволяє в аналітичному вигляді проаналізувати фізичні процеси в досліджуваній системі. Встановлено наявність трьох хвиль: повільної та швидкої хвиль просторового заряду, а також власної хвилі періодичної структури. У режимі посилення передача енергії від пучка полю відкритого хвилеводу здійснюється за допомогою повільної хвилі просторового заряду. Проведено оцінки коефіцієнта підсилення та ККД підсилювача на об'ємних хвилях. У результаті експериментального моделювання встановлено, що електродинамічна система підсилювача на базі плоско-паралельного хвилеводу має резонансні властивості. В області резонансних частот практично вся потужність об'ємної хвилі випромінюється через відкритий кінець хвилеводу. При цьому поле вздовж подовжньої осі ВХ має вигляд хвилі, що стоїть, з рівномірним розподілом амплітуди на  $2/3$  його довжини, яка істотно відрізняє таку систему від хвилеводу з циліндричними дзеркалами [2]. Дані результати вказують на можливість створення підсилювача на базі плоско-паралельного ВХ з квазіоптичним виводом енергії.

**У додатку А** наведено приклад впливу зв'язку хвиль прямого та оберненого пучків електронів на енергетичні та частотні характеристики відбивного ГДВ. Встановлено кореляцію ефектів зв'язаних хвиль у ВГДВ та МДС скінченної товщини.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що визначальну роль у перерозподілі енергії між гармоніками дифракційно-черенковського випромінювання в МДС грає коефіцієнт заповнення стрічкової дифракційної ґратки.

2. Встановлено спільність фізичних процесів взаємодії гармонік випромінювання в діелектриках з малими і великими значеннями  $\varepsilon$ .
3. Побудовано фізичну модель збудження дифракційно-черенковського випромінювання в МДС кінцевої товщини, що враховує хвильові процеси в системі.
4. Показано, що введення екрана в МДС (модель МДК) призводить до резонансної взаємодії гармонік випромінювання, яка залежить від електродинамічних параметрів системи та відстані до екрана.
5. Встановлено, що збудження черенковської гармоніки в МДК підвищує резонансні властивості дифракційних гармонік. Стосовно нульової та мінус першої гармонік у діелектрику резонансне випромінювання в канал – протифазне, а стосовно інших гармонік – синфазне.
6. Для системи типу МДК отримано якісну відповідність теорії та експерименту, що вказує на обмеженість моделі заданого струму при описі взаємодії гармонік випромінювання.
7. Встановлено, що максимальної смуги пропускання в системі двох зв'язаних ВР можна досягти за умови організації зв'язку через стрічкові дифракційні ґратки.
8. Багатозв'язна система, виконана у вигляді відкритого резонатора з МДС та відбивною дифракційною ґраткою, має якісно нові електродинамічні властивості у порівнянні з ВР без МДС: шляхом зміни товщини діелектрика та значень  $\varepsilon$  можлива реалізація режимів загасання енергії у ВР або збільшення амплітуди коливань та їхньої добротності, селекції коливань.
9. Побудовано лінійну одномірну самоузгоджену теорію збудження нерелятивістським електронним пучком плоско-паралельного відкритого хвилеводу.
10. Встановлено, що в режимі посилення передача енергії від пучка полю відкритого хвилеводу здійснюється за допомогою повільної хвилі просторового заряду.
11. Експериментально та теоретично показано, що електродинамічна система підсилювача на базі плоско-паралельного хвилеводу має резонансні властивості, при цьому поле вздовж подовжньої осі рівномірно розподілено за амплітудою на  $2/3$  його довжини, що істотно відрізняє таку систему від раніше досліджуваного хвилеводу з циліндричними дзеркалами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Т.1. Открытые структуры: Под. ред. В.П. Шестопалова.– К.: Наук. думка, 1985.– 216 с.
2. Генераторы дифракционного излучения: Под ред. В.П. Шестопалова.– К.: Наук. думка, 1991.– 320 с.
3. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны.– М.: Радио и связь, 1988.– 440с.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

За темою дисертації опубліковано 14 праць, основними з яких є:

1. Куц Р.И., Рубан А.И., Шатов А.Л. Исследование связанных открытых резонаторов со связью через дифрагированное поле // *Материалы научно-технической конференции "Техника и физика электронных систем и устройств". – Ч.2. – Сумы, СумГУ. – 1995. – С. 224–225.*
2. Воробьев Г.С., Куц Р.И., Пушкарев К.А., Рубан А.И. Исследование связанных открытых резонаторов со связью через дифракционные решетки // *Материалы научно-технической конференции "Техника и физика электронных систем и устройств". – Ч.2. – Сумы, СумГУ. – 1995. – С. 226.*
3. Куц Р.И., Рубан А.И. Особенности характеристик связанных открытых резонаторов, устройств дифракционной электроники // *Вісник Сумського державного університету. – 1996. – № 2(6). – С. 35–39.*
4. Рубан А.И. Особенности спектральных характеристик отражательного генератора дифракционного излучения при импульсной модуляции по ускоряющему напряжению // *Вісник Сумського державного університету. – 1997. – № 1(7). – С. 77–80.*
5. Воробьев Г.С., Пушкарев К.А., Рубан А.И., Цвык А.И. Энергетические характеристики пространственных гармоник дифракционно-черенковского излучения в периодических металло-диэлектрических структурах // *Материалы 8-й Международной Крымской конференции "СВЧ – техника и телекоммуникационные технологии". – 1998. – Т.1. – С. 210–212.*
6. Воробьев Г.С., Рубан А.И., Шматько А.А. Исследование электродинамической системы усилителя КВЧ на эффекте Смита-Парселла // *Материалы 8-й Международной Крымской конференции "СВЧ – техника и телекоммуникационные технологии". – 1998. – Т.1. – С. 214–216.*
7. Vorobjov G.S., Ruban A.I., Tsvyk A.I. Simulation of excitation mechanisms of oscillation in diffraction electronics devices on coupled open resonators // *International Symposium Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves. – Kharkov. – 1998. – С. 194–195.*
8. Vorobjov G.S., Pushkaryov K.A., Ruban A.I., Tsvyk A.I. Simulation of the excitation processes of diffraction-cerenkov radiation by the electron beam space charge waves on metal-dielectric periodic structures // *International Symposium Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves. – Kharkov. – 1998. – С. 196–197.*
9. Воробьев Г.С., Рубан А.И., Кривец А.С., Шматько А.А. Теоретический анализ условий возбуждения колебаний в усилителе с распределенным взаимодействием на эффекте Смита-Парселла // *Вісник Сумського державного університету. – 1999. – №1(12). – С. 28–33.*

10. Воробьев Г.С., Рубан А.И., Кривец А.С., Шматько А.А. Экспериментальное моделирование условий возбуждения колебаний в усилителе с распределенным взаимодействием на эффекте Смита-Парселла // Вісник Сумського державного університету.– 1999.– №1(12).– С. 34–37.

### АНОТАЦІЯ

**Рубан Анатолій Іванович. Електромагнітні взаємодії просторових гармонік черенковського та дифракційного випромінювань в електродинамічних системах пристроїв край високих частот. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 - фізика приладів, елементів і систем, Сумський державний університет, Суми, 1999р.

Дисертація присвячена вивченню електромагнітної взаємодії просторових гармонік черенковського та дифракційного випромінювань з полями відкритих електродинамічних систем пристроїв дифракційної електроніки. Проведено чисельний аналіз та експериментальне моделювання дифракційно-черенковського випромінювання в періодичних метало-діелектричних структурах. Експериментально досліджено багатозв'язні електродинамічні системи КВЧ. Побудовано лінійну одномірну теорію підсилювача на об'ємних хвилях та проаналізовано умови збудження плоско-паралельного відкритого хвилеводу дифракційним випромінюванням.

**Ключові слова:** гармоніка, дифракційне випромінювання, дифракційна ґратка, діелектричний хвилевід, метало-діелектрична структура, відкритий резонатор, черенковське випромінювання, електронний пучок.

### АННОТАЦИЯ

**Рубан Анатолий Иванович. Электромагнитные взаимодействия пространственных гармоник черенковского и дифракционного излучений в электродинамических системах устройств крайне высоких частот.– Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – физика приборов, элементов и систем, Сумский государственный университет, Сумы, 1999 г.

В данной работе развиты представления о физических процессах электромагнитного взаимодействия пространственных гармоник черенковского и дифракционного излучения в нерезонансных и резонансных периодических металло-диелектрических структурах.



Путем численного анализа и экспериментального моделирования дифракционно-черенковских гармоник излучения в системе полубесконечный диэлектрический слой – ленточная дифракционная решетка установлено, что определяющую роль в перераспределении энергии между ними играет коэффициент заполнения ленточной решетки.

Экспериментально промоделированы условия возбуждения дифракционно-черенковского излучения в металло-диэлектрической структуре конечной толщины. Построена физическая модель такой системы, основанная на представлении структуры в виде двумерного плоского волновода, связанного с источником возбуждения через распространяющиеся волны. Установлено, что существенное влияние на энергетические характеристики дифракционно-черенковского излучения оказывают толщина и диэлектрическая проницаемость призмы.

Теоретически и экспериментально показано, что в металло-диэлектрическом канале наблюдается резонансное взаимодействие гармоник излучения. Установлено, что возбуждение черенковской гармоники повышает резонансные свойства дифракционных гармоник. Получено качественное соотношение теории и эксперимента, указывающее на ограниченность модели заданного тока при описании взаимодействия гармоник излучения в металло-диэлектрическом канале.

Экспериментально исследованы механизмы возбуждения колебаний в многосвязных электродинамических системах типа связанных открытых резонаторов и резонаторов с металло-диэлектрическими структурами. Установлено, что максимальной полосы пропускания можно достичь при организации связи двух открытых резонаторов через ленточные дифракционные решетки. Многосвязная система, выполненная в виде открытого резонатора с металло-диэлектрической структурой и отражательной дифракционной решеткой, обладает качественно новыми электродинамическими свойствами.

Построена линейная одномерная самосогласованная теория модели усилителя на эффекте дифракционного излучения и экспериментально промоделированы режимы возбуждения колебаний в плоско-параллельном открытом волноводе с дифракционной решеткой. Установлено, что в режиме усиления передача энергии от пучка полю осуществляется посредством медленной волны пространственного заряда. Электродинамическая система усилителя на базе плоско-параллельного волновода обладает резонансными свойствами. В области резонансных частот наблюдается максимальное излучение через открытый конец плоско-параллельного волновода. При этом поле вдоль продольной оси имеет вид стоячей волны с равномерным распределением амплитуды на  $2/3$  его длины, что существенно отличает такую систему от ранее исследованного волновода с цилиндрическими зеркалами.

**Ключевые слова:** гармоника, дифракционное излучение, дифракционная решетка, диэлектрический волновод, металло-диэлектрическая структура, открытый резонатор, черенковское излучение, электронный пучок.

## ABSTRACT

**Ruban Anatoliy Ivanovich. Electromagnetic interaction of diffraction-Cherencov radiation spatial harmonics in electrodynamic system of extremely high-frequency devices.- Manuscript.**

The dissertation (manuscript) for the obtaining of the scientific degree of the candidate of science in the physics and mathematics corresponding to the speciality 01.04.01 - physics devices, elements and systems, Sumy State University, Sumy, 1999.

Dissertation is devoted investigation of electromagnetic interaction of diffraction-Cherencov radiation spatial harmonics with fields of opened electrodynamic systems of diffraction electronic devices. Numerical and experimental simulation of the diffraction-Cherencov radiation in periodic metal-dielectric structures is carried out. Many connection electrodynamic systems of extremely high-frequency are investigated experimentally. Linear one dimensional theory of amplifier on the volume waves is build and agitation conditions of plane-parallel open guide by diffraction radiation are analyzed.

**Key words:** harmonic, diffraction radiation, diffraction grating, dielectric guide, metal-dielectric structure, open resonator, Cherencov radiation, electron beam.

Підп. до друку 24.04.99      Формат 60x90.16      Папір друк.

Умовн. друк. арк. 1.0      Облік вид.арк. 1.0

Тираж 100 прим.      Замовлення №186

---

“Різоцентр” СумДУ, 244007, м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2