

На правах рукопису

ЛІЩУК Іван Іванович

УДК 621.396.677.029.64 : 621.396.67

**ПЛОСКІ КОЛІМАТОРИ
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЮВАЧІВ**

- 05.12.21 - радіотехнічні системи спеціального призначення,
включаючи техніку НВЧ та технологію їх виготовлення
- 05.12.07 - антени та пристрої мікрохвильової техніки

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1995

324.24 Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському

О.С.Попова.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00761470 (P)

2.396.6
Наукові керівники:

- кандидат технічних наук,
доцент Марцафей В.В.
- кандидат технічних наук,
доцент Цалієв Т.А.

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук,
професор Власенко В.О.
- кандидат технічних наук,
доцент Саркісянц В.О.

Провідне підприємство:

- Український науково-дослідний
інститут стандартизації, сертифікації
та інформатики (м. Київ)

Захист дисертації відбудеться "14" листопада 1995 р. в 14 годин на засіданні Спеціалізованої Ради Д 05.06.05 в Одеському державному політехнічному університеті за адресою: 270044, Україна, м. Одеса, проспект Шевченка, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету

Автореферат розіслано "12" жовтня 1995 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої Ради,

к.т.н., доцент

Ермічой Ілля Миколаєвич

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тенденцією сучасного розвитку вимірювачів електродинамічних характеристик (ЕДХ) радіолокаційних цілей та антен є їх комплексування, що передбачає об'єднання певного числа вимірювачів в єдину автоматизовану вимірювально-інформаційну систему (АВІС).

До складу АВІС належить установка, яка дозволяє вимірювати ЕДХ атестуємих об'єктів у полі квазіплоскої хвилі, створеної спеціальним пристроєм - коліматором, розташованим у безвіддуковій камері (БВК) компактного радіополігону. Традиційно як коліматори використовуються НВЧ-пристрої квазіоптичного типу - лінзові та дзеркальні антени, профіль робочої поверхні яких є крива другого порядку, що обумовлює проблеми у процесі їх розробки та експлуатації; в окремих випадках, наприклад, при дослідженні ЕДХ об'єктів середніх і великих розмірів, витрати на виготовлення крупного лінзового або дзеркального коліматора можуть перевищити витрати на виготовлення контролюваного виробу, що економічно недоцільно.

У зв'язку з цим, актуальною є задача розробки та дослідження конструктивно нескладних, економічно ефективних та зручних для розміщення в БВК установок, формуючих квазіплоскі хвилі; одночасно набувають значність питання атестації вимірювальних комплексів з коліматорами.

Одним із можливих шляхів рішення даної проблеми є використання як коліматорів НВЧ-пристроїв з плоскою зонованою випромінюючою поверхнею - плоских зонованих коліматорів (ПЗК), найпростіші конструкції яких іноді називають антенами Френеля (АФ). До основних переваг ПЗК можна віднести: конструктивну простоту, високу технологічність при виготовленні, невеликі габарити та масу, низьку вартість, поліпшені характеристики узгодження та передачі у робочому діапазоні частот.

Мета роботи. Розробка та дослідження НВЧ-коліматорів з плоскою зонованою випромінюючою поверхнею; рішення задач, пов'язаних з підвищенням точності вимірювань та мінімізації вартості компактних вимірювальних полігонів АВІС.

Задачі дослідження, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети:

1. Створення на основі принципів системно-електродинамічного моделювання адекватних математичних моделей досліджуємих вимірювальних комплексів з ПЗК та розробка електродинамічно коректної методики їх аналізу.

2. Теоретичне дослідження фокусуючих, напрямлених, та розсіюючих властивостей ПЗК різноманітних типів з метою з'ясування їх потенційних можливостей та удосконалення конструкції.

3. Розробка методу корекції геометрії ПЗК з метою зменшення неоднорідності фазового розподілу поля у випромінюючому розкриві.

4. Розробка коректного алгоритму оцінки якості поля коліматора при вимірюваннях характеристик розсіювачів.

5. Чисельний аналіз характеристик еталонних розсіювачів у колімірованому полі з метою оцінки можливих похибок вимірювань.

6. Експериментальне дослідження характеристик ПЗК.

Методи дослідження. В роботі використовуються результати та методи слідуючих теорій: системного аналізу, дифракції, лінійної алгебри, інтегральних рівнянь, розповсюдження і розсіювання хвиль, спеціальних функцій, а також апарат теорії ймовірності. Значне місце займають методи експериментального дослідження пристроїв НВЧ та чисельні методи з широким застосуванням сучасних ЕОМ.

Наукова новизна роботи.

1. Запропонована електродинамічно коректна методика дифракційного аналізу коліматорних установок з плоскою зонованою випромінюючою поверхнею, яка враховує специфічні особливості НВЧ-пристроїв цього класу.

2. Розроблені, а також теоретично та експериментально досліджені: плоскі зоновані дзеркальні НВЧ-коліматори; плоскі та квазіплоскі зоновані лінзові НВЧ-коліматори.

3. Запропоновано метод фазової корекції геометрії плоских зонованих коліматорів, що дозволяє зменшити нерівномірність амплітудно-фазового розподілу (АФР) поля у робочій області коліматора.

4. Запропоновано алгоритм оцінки якості поля коліматора при вимірюваннях характеристик розсіювачів, заснований на ймовірностних критеріях.

5. Розроблені універсальні чисельні алгоритми та пакети прикладних програм, які дозволяють досліджувати роботу компактного полігону, а також інші системи розсіювачів.

Обґрунтованість та достовірність основних положень, результатів та висновків, отриманих в роботі, обумовлюють: використання адекватних математичних моделей, враховуючих основні фізичні процеси, які відбуваються в реальних пристроях; застосування коректного математичного апарату для вивчення явищ в моделях, які використовуються; узгодження теоретичних та експериментальних результатів. В процесі теоретичних досліджень здійснювались: контроль за виконанням граничних умов та умов на ребрі; аналіз внутрішньої збіжності чисельного рішення інтегральних рівнянь при змінній числа вузлів інтерполяції.

Практична цінність роботи.

1. Розроблена електродинамічно коректна методика аналізу плоских лінзових та дзеркальних коліматорів, заснована на точних методах теорії дифракції у поєднанні з системним двохетапним підходом до аналізу характеристик досліджуваних коліматорів.

2. Визначені оптимальні параметри конструкцій та виявлені найбільш загальні закономірності поведінки характеристик лінзових та дзеркальних ПЗК. Встановлені переваги коліматорів з узагальненим дзеркалом Френеля та сформульовані пропозиції стосовно їх практичного використання.

3. Наведені формули та вироблені рекомендації для розрахунку геометрії плоских зонованих лінз та дзеркал різних типів. Сформульовані рекомендації відносно оптимальної компоновки НВЧ-елементів вимірювальної установки з ПЗК.

4. Запропонована конструкція модифікованої лінзи Френеля (МЛФ) з поліпшеними ЕДХ.

5. Досліджені та проаналізовані фокуруючі, розсіюючі та напрямлені властивості ПЗК. Проведено порівняння основних характеристик ПЗК з характеристиками параболічних коліматорів (антен (ПА)); оцінені переваги та недоліки.

6. Проведено дифракційний аналіз ЕДХ розфазованих рупорних антен зі зломом утворюючої, поворотом осі та косим зрізом розкриття, які призначені для опромінювання асиметричних дзеркальних коліматорів.

7. Визначені границі робочої області плоских коліматорів та оцінена максимальна очікувана похибка вимірювань характеристик розсіювання досліджуваних об'єктів у колімірованому полі.

8. Розроблено метод фазової корекції геометрії лінз та дзеркал ПЗК, що дозволяє проектувати коліматори з поліпшеними ЕДХ.

9. Розроблено алгоритм оцінки якості поля коліматора, заснований на ймовірностних критеріях, що дозволяє підвищити точність оцінки максимально очікуваної похибки в динамічному діапазоні вимірювань коліматора.

10. Досліджені характеристики розсіювання еталонних розсіювачів різних типів, "чутливих" до нерівномірності амплітуди та фази поля в робочій області коліматора.

Запропоновані способи зонування та корекції геометрії плоских лінз та дзеркал можуть бути перенесені до галузей акустики, оптики. Конструкції плоских дзеркал зі зкоректованою геометрією можуть знайти широке застосування на компактних радіополігонах, а також в супутникових системах зв'язку, як недорогі та легко адаптуємі до форми поверхні (на якій передбачається їх розміщення) антени для прийому сигналів безпосереднього телевізійного мовлення.

В цілому, приведені в дисертаційній роботі результати, оцінки та рекомендації можуть бути використані при проектуванні коліміруючих пристроїв НВЧ діапазону хвиль.

Реалізація результатів роботи. Результати експериментальних та теоретичних досліджень, приведені в дисертаційній роботі, знайшли практичне застосування в наукових розробках СКТБ інституту механіки Національної академії наук України, що підтверджується відповідним актом впровадження.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідались та обговорювались на 3-ій Кримській конференції та виставці "СВЧ-техніка і спутниковий прийом" (Севастополь, 1993 р.), Міжнародній конференції "Спутниковые системы связи и вещания. Перспективы развития в Украине" (Одеса, 1993 р.), 4-ій Кримській конференції та виставці "СВЧ-техніка і спутниковий прийом" (Севастополь, 1994 р.), Міжнародній НТК "Современная радиолокация" (Київ, 1994 р.), НТК професорсько-викладавчого складу УДАЗ ім. О.С.Попова (Одеса, 1991-1994 рр.), Міжнародному симпозиумі "Progress in Electromagnetics Research Symposium" PIERS-95 (Сіэтл, 1995 р.), II-ій Міжнародній конференції по радіозв'язку, звуковому та телевізійному мо-

вленню (Одеса, 1995 р.), на Технічних Радах СКТБ інституту механіки НАН України (Київ, 1994 г.).

Публікації. Основні наукові результати та висновки дисертації відображені в 15-ти публікаціях.

Основні положення, які виносяться на захист.

1. Автоматизована вимірювально-інформаційна система з плоским дзеркальним НВЧ-коліматором.

2. Конструкції плоских зонованих коліматорів з поліпшеними робочими характеристиками в зоні вимірювань. Результати теоретичного та експериментального дослідження ЕДХ плоских лінзових та асиметричних дзеркальних коліматорів.

3. Методика дифракційного аналізу коліматорів з плоскою зонованою випромінюючою поверхнею.

4. Метод фазової корекції геометрії плоскої зонованої випромінюючої поверхні. Дифракційний аналіз коліматорів зі зкоректованою геометрією.

5. Алгоритм оцінки якості поля коліматора при вимірюваннях характеристик розсіювачів, заснований на ймовірностних критеріях. Аналіз характеристик розсіювання еталонних розсіювачів у полі плоского коліматора.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, заключення, списку літератури - 119 назв, та двох додатків. Обсяг роботи - 166 сторінок. Основна частина складається з 106 сторінок машинописного тексту, 46 малюнків, 9 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи міститься обґрунтування актуальності розроблюємої теми, сформульовані мета та задачі досліджень, приведено короткий зміст роботи та перераховані нові наукові результати та основні положення, які виносяться на захист.

Перший розділ присвячений дослідженню можливості використання як коліматорів плоских зонованих дзеркальних систем. Проведено аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури, що дозволив охарактеризувати стан проблеми, а також розглянуті фізичні принципи та геометричні співвідношення для розрахунку дзеркальних зонованих поверхней різних типів.

Розглядається АВІС з ПЗК (рис. 1). Робоча поверхня ПЗК поєднана з однією з торцевих стінок екранованої БВК компактного радіополігону, який належить до складу АВІС. Як коліматор використовується спеціальна асиметрична АФ. Дзеркало коліматора опромінюється розфазованим рупором зі зломом утворюючої, поворотом осі та косим зрізом розкриву.

Ідея утворення класичних ПЗК базується на принципі Гюйгенса-Френеля та понятті зон Френеля. Найпростіша ПЗК містить плоский зонований рефлектор, який складається з тонкої діелектричної підложки з металізованими кільцевими полосами та трансформує сферичний (чи циліндричний) фронт хвилі опромінювача, розташованого у фокусі, у квазіплоский.

На відміну від традиційних способів зонування в дисертаційній роботі пропонується новий і, як встановлено, більш ефективний принцип зонування

ABIC

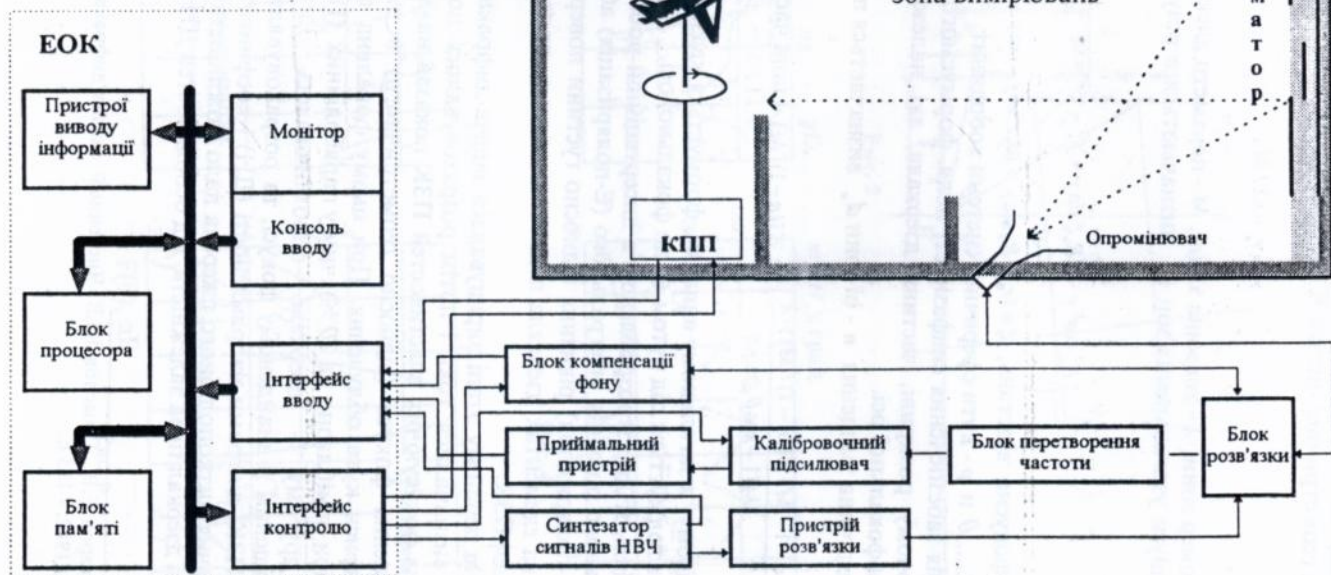


Рис. 1. Автоматизована вимірювально-інформаційна система з плоским коліматором

дзеркала, відповідно з яким, поверхня дзеркала розбивається відносно точки F (фокуса) на, так звані, узагальнені зони Френеля. При цьому, згідно з положенням геометричної оптики (ГО), повинна виповнюватись умова (рис. 2):

$$r_n = r_0 + n\lambda / M, \quad (1)$$

де n - номер зони, λ - довжина хвилі, M - параметр дискретизації фази.

Радіуси узагальнених зон R_n визначаються в результаті розв'язання рівняння:

$$R_n^2 \cos^2 \gamma - 2R_n \xi \sin \gamma + f^2 - \xi^2 = 0, \quad (2)$$

де f - фокусна відстань, $\xi = (r_0 - R_0 \sin \gamma + n\lambda / M)$; $\sin \gamma = \sin \theta_0 \sin \varphi$; $n = 1, 2, \dots, N$. $M = 2, 3, \dots$. θ и φ - кути сферичної системи координат.

Для забезпечення синфазності поля, формуємого цими зонами в випромінюючому розкритті, частини дзеркала, які належать зонам, зміщуються вздовж фокальної осі.

Величина зміщення n -ої зони d_n визначається по формулі:

$$d_n = \frac{(n-1 - M \cdot E\{(n-1)/M\}) \cdot \lambda}{M(1 + \cos \theta_0)}, \quad \text{де } E\{(n-1)/M\} - \text{ціла частина від } \{(n-1)/M\}. \quad (3)$$

При цьому, в загальному випадку, формується квазіплоский фронт хвилі, яка розповсюджується під кутом θ_0 до фокальної осі.

Далі, згідно з розробленою в дисертаційній роботі методикою, на основі чисельного рішення інтегрального (Е-поляризація) або інтегродиференційного (Н-поляризація) рівняння відносно густини поверхневого струму, наведеного на елементах дзеркала падаючим полем*, проводився аналіз двумірних моделей ПЗК.

На першому етапі вирішувалася задача дифракції плоскої хвилі на дзеркалі, визначалися токи і потім розраховувалось поле в фокальній області. Аналіз фокусуєчих властивостей ПЗК показав наявність зміщення дійсного положення фокуса (відносно геометричного) в сторону дзеркала вздовж бісектриси кута облучення. При цьому фокальна пляма у ПЗК має менші розміри (приблизно на 10%), чим у параболічних (ПА).

На другому - дзеркало опромінювалось ниткоподібним джерелом, розміщеним у знайденому фокусі, та розраховувались АФР поля в ближній зоні ПЗК, діаграми напрямленості (ДН) і коефіцієнт підсилення (КП). Використання ниткоподібного джерела дало можливість досліджувати характеристики дзеркал поза залежністю від особливостей ДН та частотних властивос-

*) Захаров Е.В., Пименов Ю.В. Численный анализ дифракции радиоволн. - М.: Радио и связь, 1982. - 183 с.

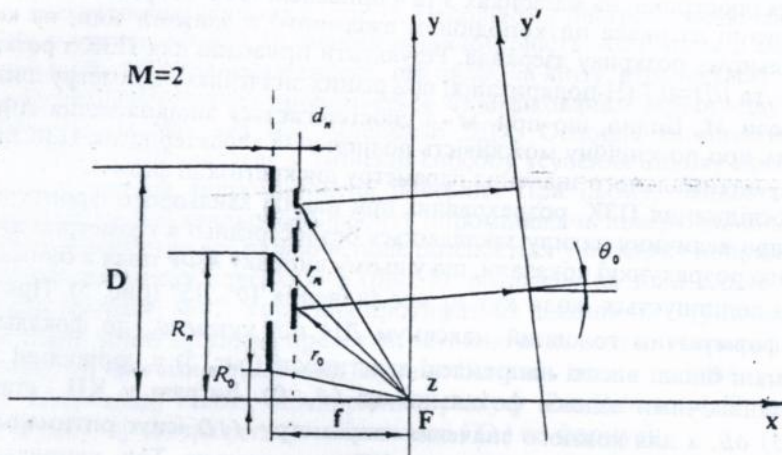


Рис. 2

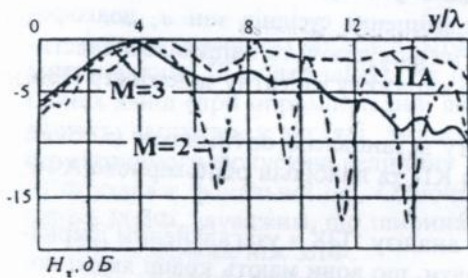


Рис. 3

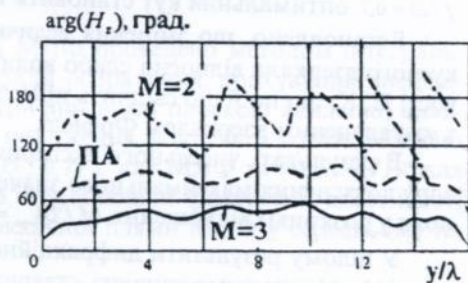


Рис. 4

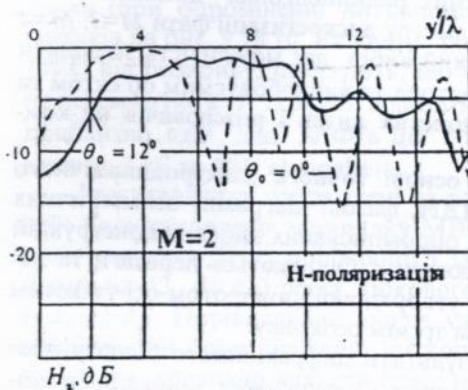


Рис. 5

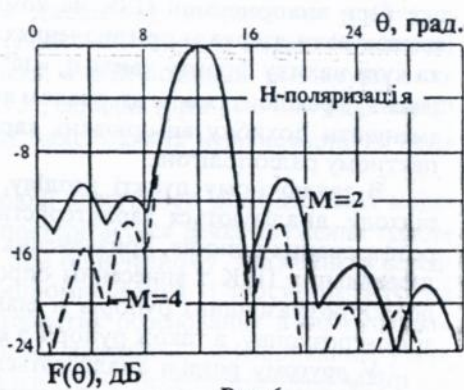


Рис. 6

тей конкретно використовуємого опромінювача.

Для ілюстрації, на малюнках 3 та 4 приведені АФР вторинного поля (при опроміненні дзеркала ниткоподібним джерелом) в ближній зоні, на контури паралельному розкриву дзеркала. Результати приведені для ПЗК з розкривом $D = 15\lambda$ та $f/D = 0,7$ (Н-поляризація) при різних значеннях параметру дискретизації фази M . Видно, що при $M = 3$ спостерігається вирівнювання АФР, що свідчить про потенційну можливість поліпшення характеристик ПЗК шляхом підбору оптимального значення параметру дискретизації фази M .

Дослідження ПЗК, розрахованих при нахилі хвильового фронту (інформація про величину нахилу закладається безпосередньо в геометрію дзеркала при його розрахунку) показали, що у цьому випадку АФР поля в ближній зоні значно поліпшується, коли кут θ_0 має значення $10^\circ \dots 15^\circ$ (рис. 5). При цьому ПЗК, формуючим головний максимум ДН під кутом θ_0 до фокальної осі притамані більш високі напрямлені властивості (рис. 5) у порівнянні з ПЗК, випромінюючими вздовж фокальної осі ($\theta_0 = 0$). Виграш у КП становить $(1 \dots 1,5)$ дБ, а для кожного значення параметру f/D існує оптимальне значення кута $\theta_{\text{опт}}$ при якому значення КП максимальне. Так, наприклад, для $f/D = 0,7$ оптимальний кут становить 12° (див. рис. 6).

Встановлено, що змінення величини зміщення сусідніх зон d_n довгофокусного дзеркала відносно слабо впливає на фокусуєчі та напрямлені властивості ПЗК, що побічно свідчить про слабо виражену частотну залежність ПЗК з узагальненим дзеркалом Френеля.

В результаті чисельного експерименту встановлено оптимальне (з точки зору досягнення максимального значення КП та найбільш рівномірного АФР поля у розкриві) відношення $(f/D)_{\text{опт}} = 0,7$.

У цілому результати дифракційного аналізу ПЗК з узагальненим дзеркалом ($M > 2$) дають можливість стверджувати, що вони мають кращі якісні показники, ніж ПЗК, зоновані у звичайний спосіб ($M = 2$).

При використанні ПЗК на компактних радіополігонах доцільно використовувати дзеркала при значеннях параметру дискретизації фази $M = 3$, $M = 4$ та кута нахилу фронту хвилі $\theta_0 \approx 10^\circ$. Такий вибір дає можливість зменшити рівень перевідбиття між дзеркалом коліматора та випробовуєчим об'єктом та зменшити похибку вимірювань характеристик антен і розсіювачів на компактному радіополігоні.

В заключному пункті розділу, на основі точного електродинамічного підходу, аналізуються характеристики (ДН, фазові діаграми) асиметричних розфазованих рупорів, призначених для опромінювання плоских конструкцій дзеркальних ПЗК з винесеним опромінювачем. Оцінюються переваги та недоліки розфазованих рупорів зі зломом утворюючої, поворотом осі та косим зрізом розкриву, а також рупорів з косим зрізом розкриву.

У другому розділі аналізуються результати дифракційного аналізу плоских зонованих лінзових коліматорів. Поряд з класичними зонованими лінзами Френеля (ЗЛФ) розглядаються лінзи принципово нового типу, так звані модифіковані лінзи Френеля (МЛФ).

У найпростішому варіанті випромінююча поверхня ЗЛФ створена системою плоских металічних кільцевих елементів, нанесених у вигляді покриття на тонку діелектричну підложку (рис.7). Недоліком пристроїв, включаючих у себе ЗЛФ, є невисокий КП та значна нерівномірність АФР поля в ближній зоні, оскільки більше половини енергії, що падає на лінзу, втрачається.

В дисертаційній роботі пропонується модифікований варіант двумірної лінзи Френеля (МЛФ), яка має поліпшені ЭДХ. Основна відмінність конструкцій ЗЛФ і МЛФ полягає у змінненні способу усунення впливу протифазності сусідніх зон на випромінюючій поверхні. При цьому, змінюється механізм трансформації хвильового фронту опромінювача поверхнею лінзи, тому що тепер практично все падаюче поле розсіюється у пряму напрямку.

Розглянемо плоску поверхню S (рис. 8), розділену на зони згідно з умовою (1) при значенні $M=2$. Усунення протифазних ділянок на S (у даному випадку це парні зони) можливо провести, затінюючи їх розташуванням поблизу цієї поверхні системи металічних екранів. Відстань до m -го екрану можна вибрати, наприклад, такою, що дорівнює радіусу $(2m-1)$ -ої зони Френеля, а ширину екрану l_m визначити (в наближенні ГО) по формулі:

$$l_m = (R_{2m} - R_{2m-1}) / \operatorname{tg} \psi_{2m}. \quad (4)$$

Аналіз двумірних моделей ЗЛФ та МЛФ проведено методом інтегрального рівняння (Е-поляризація). Як показали розрахунки, урахування дифракційних явищ (при опромінюванні симетричної лінзи плоскою хвилею) виявляється, частково, у вигляді зміщення положення фокальної точки відносно геометричного фокусу на величину $(0,05...0,1) \lambda$ для МЛФ та $(0,4...0,7) \lambda$ для ЗЛФ вздовж фокальної осі. Одночасно, порівнюючи фокусуєчі властивості ЗЛФ і МЛФ, зауважим, що ширина фокальної плями МЛФ у середньому на $(5...10) \%$ менше ніж ЗЛФ.

Про ефективність використання досліджуваних лінз в якості коліміруючих пристроїв можна судити по характеру АФР поля у площині паралельно розкриву (при опромінненні ниткоподібним джерелом), зображених у вигляді графіків на рис. 9 та 10. Як видно, розрахунки АФР поля на подвійній відстані (30λ) від розкриву, показують, що область, в якій осциляції амплітуди поля не перевищують $(1...1,5) \text{ дБ}$, а фази $10^\circ...15^\circ$, складає (при $f/D=0,4$) для МЛФ приблизно $0,6D$, для ЗЛФ в цій області максимальна нерівномірність поля досягає 7 дБ та 20° відповідно.

Розглядаються напрямлені та розсіюючі властивості досліджуваних моделей. Як встановлено, у випадку МЛФ спостерігається деяке звуження головного пелюстка ДН (у порівнянні з ЗЛФ) при одночасному зниженні (в середньому на $(2...3) \text{ дБ}$) рівня бокового випромінювання і зростанні КП на $(1,5...2) \text{ дБ}$. Порівняльний аналіз характеристик розсіювання в полі плоскої хвилі та при опромінюванні ниткоподібним джерелом, розташованим у фокусі лінзи, дозволив виявити певні переваги МЛФ перед ЗЛФ. Для МЛФ характерний знижений рівень поля розсіяного в зворотньому напрямку. Так, при опромінюванні плоскою хвилею амплітуда поля в області зворотнього

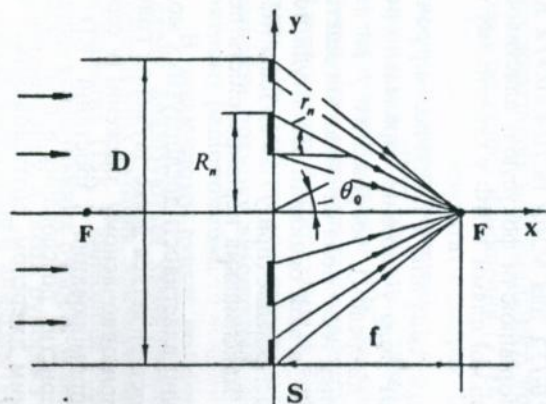


Рис. 7

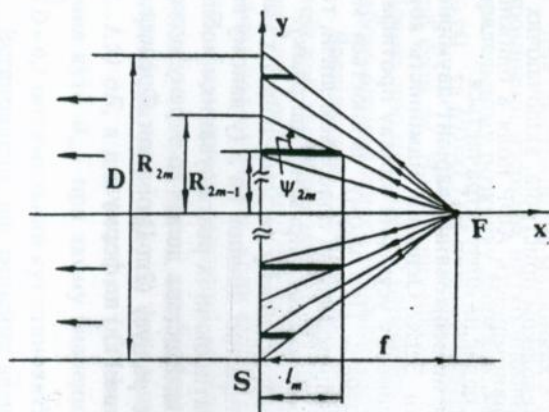


Рис. 8

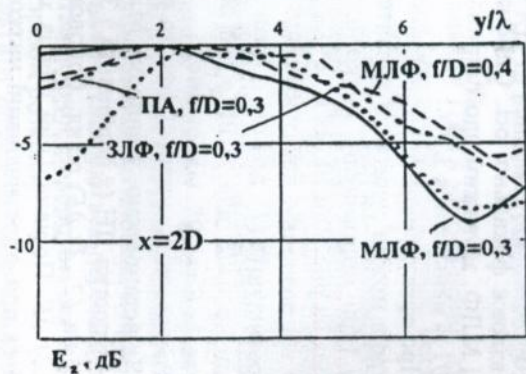


Рис. 9

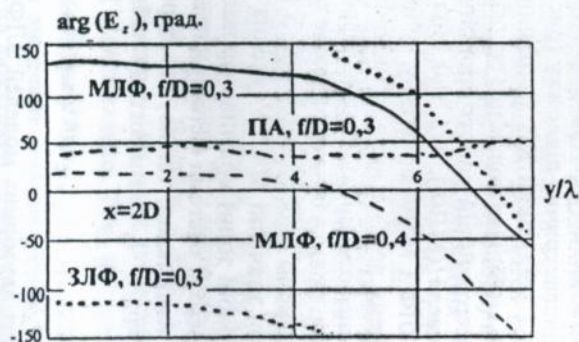


Рис. 10

розсіювання в середньому на (10...15) дБ нижче ніж для ЗЛФ, що свідчить про меншу радіолокаційну помітність МЛФ. В полі циліндричної хвилі, коли джерело розташоване у фокусі лінзи, спостерігається перерозподілення розсіяного поля: в прямому напрямку амплітуда поля для МЛФ зростає (в порівнянні з ЗЛФ), одночасно зменшуючись в зворотньому. Це дозволяє вважати, що "реакція лінзи" на опромінювач у випадку МЛФ буде меншою, а коефіцієнт використання поверхні вищим ніж у ЗЛФ.

Пропонується використовувати ЗЛФ і МЛФ як недорогі та конструктивно нескладні фокуруючі, колімуруючі та випромінюючі пристрої в різноманітних галузях науки та техніки. У випадку використання лінз як коліматорів, перевагу необхідно віддавати МЛФ.

Третій розділ присвячений питанням атестації антен та розсіювачів коліматорним методом; розробці алгоритма корекції геометрії лінз та дзеркал плоских зонованих коліматорів; розробці метода оцінки якості поля коліматорів, оснований на ймовірностних критеріях.

Пропонується новий метод оцінки якості поля коліматора при вимірюваннях характеристик антен та розсіювачів. Показано, що в силу статистичної природи факторів, впливаючих на якість поля в робочому об'ємі вимірювального комплексу, об'єктивними можна рахувати тільки оцінки, основані на ймовірностних критеріях.

Розглянемо еталонний об'єкт (антену або розсіювач), для якого на основі точних електродинамічних методів розрахована задана зовнішня характеристика $f_0(\varphi)$. Шляхом дискретизації $f_0(\varphi)$ по φ можливо утворити сукупність значень x_1, x_2, \dots, x_n , де $x_n = f_0(\varphi_n)$, а $n = 1, 2, 3, \dots, N$, та розглядати ці вибіркові значення, як значення дискретної випадкової величини ξ .

Нехай $f_1(\varphi)$ є вимірена характеристика цього самого об'єкту. Можливо розглядати сукупність вибірових значень y_1, y_2, \dots, y_n , де $y_n = f_1(\varphi)$, як значення дискретної випадкової величини η , при тих же значеннях φ .

Статистичні властивості двох випадкових величин ξ та η , що приймають значення x_1, x_2, \dots, x_n і y_1, y_2, \dots, y_n , відповідно, характеризуються густиною ймовірності кожної з них $w_{1\xi}(x)$ та $w_{1\eta}(y)$, їх спільною густиною ймовірності $w_2(y/x)$, а також умовними густинами ймовірності $w_2(x/y)$ та $w_2(y/x)$, при чому має місце співвідношення :

$$w_2(y/x) = w_2(x,y) / w_{1\xi}(x). \quad (5)$$

Розбиваючи весь діапазон можливих значень величин ξ та η на N однакових інтервалів шириною Δ , розрахувавши відповідні густини ймовірності, можливо знайти оцінки числових характеристик розглядаємих дискретних випадкових величин. Для цього використаємо вираз для умовного математичного очікування

$$m_1\{\eta/x_i\} = \sum_{r=1}^N y_r w_2(y_r/x_i) \Delta, \quad (6)$$

та умовної дисперсії

$$M_2\{\eta/x_i\} = \sum_{r=1}^N [y_r - m_1\{\eta/x_i\}]^2 \Delta w_2(y_r/x_i). \quad (7)$$

Приведені співвідношення дають можливість розрахувати для кожного i -го інтервала ($i=1,2,\dots,N$) математичне очікування та дисперсію величини η , при умові, що величина ξ приймає значення x , із цього інтервала. Потрібний об'єм вибірки та статистична достовірність одержуваних оцінок може бути забезпечена шляхом відповідного вибору кількості точок при дискретизації, вивчення послідовних серій розрахунків (та відповідних їм вимірювань) на різних еталонних об'єктах і частотах.

Можливим критерієм для оцінки якості вимірювального комплексу може служити величина

$$\delta_i = |m_1\{\eta/x_i\} - x_i|, \quad (8)$$

яку назвемо очікуваною похибкою вимірювань в i -ому інтервалі динамічного діапазону значень вимірюємої характеристики. При цьому величина $M_2\{\eta/x_i\}$ буде характеризувати (в статистичному розумінні) потужність розсіювання виміреної характеристики в i -ому інтервалі.

Для ілюстрації, на рис. 13, у вигляді графіків зображені розраховані очікувані похибки δ_i для кожного із $N=40$ інтервалів ($\Delta=1\text{дБ}$) динамічного діапазону вимірювань комплексу з ПЗК. На осі абсцис відкладені значення рівня L_i , який відповідає середині i -го інтервала.

Приведені графіки дають можливість оцінити максимально очікувану похибку δ_i в динамічному діапазоні, позначеному величиною L_i , при вимірюваннях характеристик розсіювання атестуємих об'єктів у заданому неоднорідному полі вимірювального комплексу з параболічним коліматором (штрихова лінія) та ПЗК (безперервна лінія). Так, наприклад, максимально очікувана похибка у динамічному діапазоні 25 дБ для ПЗК не перевищує 1 дБ . Осцилюючий характер кривих можна пояснити недостатнім об'ємом вибірки при чисельному моделюванні.

Далі наводиться метод фазової корекції геометрії лінз та дзеркал плоских коліматорів, який дозволяє значно зменшити нерівномірність АФР поля в робочій області коліматора та розширити розміри його робочої області, що ілюструють рис. 11 та 12. При цьому для ПЗК зі зкоректованою геометрією спостерігається (рис. 14) зменшення асиметрії ДН, пониження рівня бокового випромінювання, "прорізання" нулів, а також зростання (на $1\dots 1,5\text{ дБ}$) КП. Показано, що особливості геометрії ПЗК з плоскою зонованою випромінюючою поверхнею принципово дозволяють здійснювати їх конструктивний синтез з метою оптимізації ЕДХ та удосконалення конструкції.

У четвертому розділі дисертації приводяться та аналізуються результати експериментального дослідження ЕДХ дзеркального коліматора з узагальненим дзеркалом ($M=3$), а також зонованої лінзи Френеля і модифікованої лін

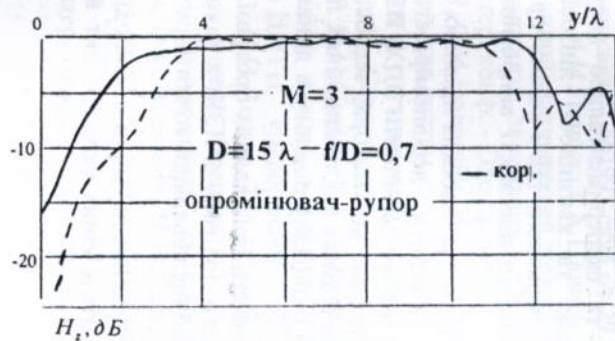


Рис. 11

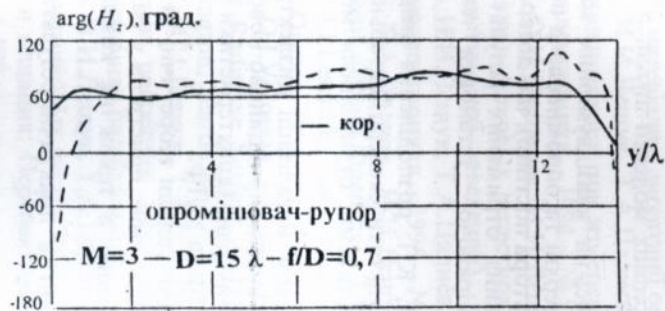


Рис. 12

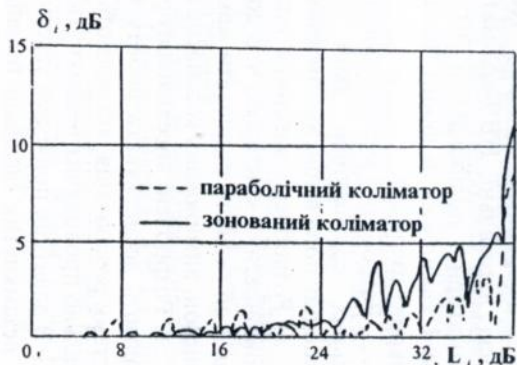


Рис. 13

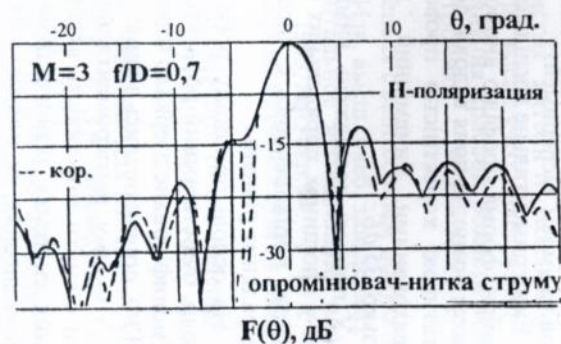


Рис. 14

зи. Описані технологія виготовлення досліджуваних моделей антен, а також метод та умови експерименту.

Експериментальне дослідження проводилось на "квазидвумірних" макетах (розміри, форма профілю випромінюючої поверхні та опромінювача антени, а також розподіл поля вздовж довжини коліматора постійні), що дозволило з достатньою коректністю проводити порівняння отриманих результатів з розрахованими. Динамічний діапазон вимірюючої установки складав близько 35 дБ.

У процесі досліджень вимірювались ДН, КП, розподілення амплітуди поля у площинах паралельних розкриву. Результати експериментальних досліджень порівнювались з чисельними результатами, отриманими методом інтегральних рівнянь.

На основі принципу роботи МЛФ, шляхом металізації діелектричної основи, був створений рефлектор дзеркальної антени принципово нового типу (модифіковане дзеркало Френеля (МЗФ)). Виміряні характеристики антени з МЗФ, порівнювались з характеристиками ЗЛФ та МЛФ.

У цілому, експериментальні результати підтвердили теоретичні та дозволили оцінити можливість використання досліджуваних пристроїв у радіотехнічних системах різного цільового призначення, а також на компактних радіополігонах, як коліматорів.

В заключенні зформульовані основні научні та практичні результати дисертаційної роботи.

1. Запропонована електродинамічно коректна методика дифракційного аналізу коліматорних установок з плоскою зонованою випромінюючою поверхнею, створена на основі методу інтегральних рівнянь.

2. Розроблені, а також теоретично та експериментально досліджені: плоскі дзеркальні НВЧ-коліматори, плоскі та квазіплоскі лінзові НВЧ-коліматори з поліпшеними ЕДХ, плоскі дзеркальні НВЧ-коліматори, формуючі квазіплоский фронт хвилі під кутом до плоскості випромінюючого розкриву дзеркала.

3. Розроблено метод фазової корекції геометрії плоских лінзових та дзеркальних коліматорів, який дозволяє зменшити нерівномірність АФР розподілу поля в зоні вимірювань, а також значно поліпшити ЕДХ ПЗК.

4. Розроблено алгоритм оцінки якості поля коліматора, заснований на ймовірностних критеріях, що дозволяє, на відміну від традиційних підходів, більш об'єктивно оцінювати максимально очіковувану похибку в динамічному діапазоні вимірювань коліматора.

5. Розроблені чисельні алгоритми та пакети прикладних програм, що дозволяють досліджувати роботу компактного полігону з ПЗК, а також другі системи розсіювачів, які являють собою з обчислювальної точки зору системи ідеально проводячих незамкнених екранів.

В додатках приведені тексти програм рішення двумірних задач дифракції на незамкнених ідеально проводячих багатозв'язних екранах, акт впровадження результатів роботи.

По матеріалам дисертації опубліковані наступні праці:

1. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Вероятностные критерии в оценке качества поля коллиматора при измерениях характеристик антенн и рассеивателей. // Радиоэлектроника. - 1994. - № 9. - с. 77-80. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. О.И.Волошин, И.И.Лещук. Анализ влияния краевой области зеркала на уровень боковых лепестков. // Радиоэлектроника. - 1993. - №9. - с. 53-56 (Изв. высш. учеб. заведений).
3. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Антенны Френеля с вынесенным облучателем // Радиоэлектроника. - 1995. - № 9. - с. 37-41. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Т.А.Цалиев, И.И.Лещук. Экспериментальное исследование плоских линзовых антенн Френеля. - Труды УНИИРТ, 1995, №1, стр.94.
5. I.I.Leschuk. The Fresnel Collimators. Сборник научных статей Академии связи. Одесса, 1994, стр. 42-44, англ.
6. O.I.Voloshin, I.I.Leschuk, T.A.Tsaliev. Investigation of the Antennas with Zoned Radiative Surface. // Proceedings PIERS-95, July 24-28, 1995, Univ. of Washington, Seattle, W. USA, p. 721.
7. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Коллиматоры Френеля для измерения характеристик рассеяния радиолокационных целей. // Тр. Междунар. конф. "Современная радиолокация". Киев, 18-23 ноября 1994 г.
8. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Антенны Френеля с вынесенным облучателем для спутниковых систем связи. // Тр. Междунар. конф. "Спутниковые системы связи и вещания: Перспективы развития в Украине", Одесса, 20-24 сентября. 1993, - с.180.
9. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Исследование характеристик коллиматоров с плоскими зонированными зеркалами Френеля. - Деп. в ЦНТИ "Информсвязь", №1993-св93 от 29.11.93 г.
10. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Метод фазовой коррекции для антенн с зонированной излучающей поверхностью. // II-я Международная конференция по радиосвязи, звуковому и телевизионному вещанию, Одесса, сентябрь, 1995 г.: Матер. конф. - Одесса, 1995.
11. О.И.Волошин, И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Плоские зеркальные антенны Френеля для систем спутниковой связи. // 3-я Крым. конф. и выставка "СВЧ-техника и спутниковый прием", Севастополь, 20-23 сент., 1993 г.: Матер. конф. т.5. - Севастополь, 1993, с. 617.
12. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Численный анализ и экспериментальное исследование линзовых антенн Френеля / УГАС им. А.С.Попова. Одесса, 1994. Деп. в ЦНТИ "Информсвязь", 25.10.94, №2026-св94.
13. И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Экспериментальное исследование асимметричных антенн Френеля / УГАС им. А.С.Попова. Одесса, 1994 г. Деп. в ЦНТИ "Информсвязь", 25.10.94, №2027-св94.
14. О.И.Волошин, И.И.Лещук, Т.А.Цалиев. Экспериментальное исследование антенн с плоским зонированным зеркалом. // 4-я Крым. конф. и выставка "СВЧ-техника и спутниковый прием", Севастополь, 26-28 сент., 1994 г.: Матер. конф. - Севастополь, 1995, с. 94.

15. И.И.Лешук, Т.А.Цалиев. Численный анализ асимметричных расфазированных рупорных антенн. Деп. в ЦНТИ "Информсвязь", №20003-св94, от 21.06.94 г.

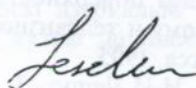
И.И.Лешук. "Плоские коллиматоры для измерения электродинамических характеристик рассеивателей." Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.12.21 - радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства; 05.12.07 - антенны и устройства микроволновой техники.

Аннотация. Анализируются результаты теоретического и экспериментального исследования линзовых и асимметричных зеркальных коллиматоров с плоской зонированной излучающей поверхностью.

I.I.Leschuk. "The plate collimators for the measurement of the electrodinamical characteristics of the scatterers". Dissertation for a Candidate of Science (Engineering) degree in specialities: 05.12.07 - "antennas and devices of microwave engineering", 05.12.21 - "radiotechnical special systems including microwave engineering and technology".

Abstract. The results of the numerical and experimental investigations of the lens and the reflector collimators with the plane zone radiative surface have been analyzed.

Ключові слова: автоматизована вимірювально-інформаційна система, компактний радіополігон, атестація безвіддукових камер, плоскі коліматори, дзеркала Френеля, лінзи Френеля, зони Френеля, чисельний аналіз, метод інтегрального рівняння, дифракційний аналіз, ймовірнісні критерії, оцінка якості поля, корекція фазового фронту, амплітудно-фазове розподілення поля, експериментальне дослідження.



Підписано до друку 5.10.1995р. Обсяг I, I2 друк. арк.

Формат 60x84¹/16. Зам. I59. Тираж 70.

Друкарня УДАЗ ім. О.С.Попова. Одеса, Старопортофранківська, 61

9465211

AB 33 320

AB 33.320

15. И. В. Давыдов. "Изучение влияния температуры на свойства полимеров".

И. В. Давыдов. "Изучение влияния температуры на свойства полимеров".

Аннотация. Анализированы результаты экспериментов по изучению влияния температуры на свойства полимеров.

И. В. Давыдов. "The effect of temperature on the mechanical characteristics of the polymers".

Аннотация. Изучено влияние температуры на механические свойства полимеров.

И. В. Давыдов. "Изучение влияния температуры на свойства полимеров".

Напечатано на бумаге 3-го сорта. Объем 1,12 стр. вкл.
Формат 60x84/16. Бум. 900. Тираж 70.

Редакция ИЛС: им. Г. С. Плещинского, Одесса, Орлеанская ул., 51