

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
радіотехнічних систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: *“Аналіз та метод підвищення якості каналу передачі сигналу T-2”*
(назва теми)

(назва теми)

Виконав: студент VI курсу групи *РРм-61*

Спеціальності (напряму підготовки): 172

“Телекомунікації та радіотехніка”

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

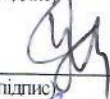
Керівник


(підпис)

С.В. Новосад

(ініціали, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

Б.І. Яворський

(ініціали, прізвище)

Завідувач кафедри


(підпис)

Л.В. Хвостівська

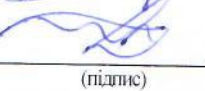
(ініціали, прізвище)

Рецензент


(підпис)

Димчук Б.Л.

(ініціали, прізвище)


(підпис)

Дегір Л.Є.

(ініціали, прізвище)

м. Тернопіль – 20 20 рік.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри, циклової комісії)

Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки: 172 "Радіотехніка"

(шифр і назва)

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва)

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

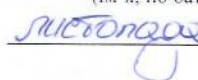
Завідувач кафедри



В.Л. Дунець

(ім'я, по батькові прізвище)

"24"



20 20 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Новосад Сергію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема: "Аналіз та метод підвищення якості каналу передачі сигналу T-2"

Керівник: Яворський Богдан Іванович, д.т.н., проф., професор кафедри РТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Затверджені наказом по університету від "24" листопада 20 20 року № 4/7-870

2 Термін подання студентом проекту (роботи): грудень 2020 р.

3 Вихідні дані роботи: Об'єкт дослідження: ефірні канали передачі сигналу T-2

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

Розділ 1 Аналітична частина

Розділ 2 Основна частина

Розділ 3 науково-дослідницька

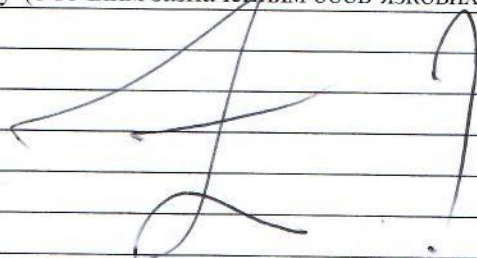
Розділ 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)



6 Консультанти розділів проекту (роботи)

[illegible]

7 Дата видачі завдання

“ 24 ” дустомога 20 20 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання	24.11.20	Виконано
2	Аналіз завдання	25.11.20	Виконано
3	Виконання розділу 1	27.11.20	Виконано
4	Виконання розділу 2	29.11.20	Виконано
5	Виконання розділу 3	01.11.20	Виконано
6	Виконання розділу 4	03.11.20	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	05.11.20	Виконано
8	Оформлення проєктного та розрахункового матеріалу	09.11.20	Виконано
9	Перевірка роботи на адекватність	12.12.20	Виконано
10	Попередній захист	15.12.20	Виконано
11	Захист		

Керівник проекту (роботи)

С.В. Навосад
(ініціали та прізвище)

Б.І. Яворський
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: “Аналіз та метод підвищення якості каналу передачі сигналу Т-2” // Дипломна робота // Новосад Сергій Васильович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя // факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, група РРм-61, // Тернопіль, 2020 // с – 86, рис. – 24, табл. – 8, додат. – 1, бібліогр. – 42.

Ключові слова: АЛГОРИТМ, АНТЕНА, КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ, РЕКУРСИВНИЙ МЕТОД.

У дипломній роботі магістра проведено дослідження та аналіз методів та алгоритмів, які дають можливість підвищити якість сигналу каналу передачі Т-2.

Розроблено технологію моделювання антен на основі комплексних математичних моделей, що описують антену і антено-щоголові спорудження одночасно як електродинамічну і механічну систему, заснована на інтеграції методів моделювання антен як електродинамічних і механічних систем і формуванні єдиної бази вимог і вихідних даних.

Розроблено рекурсивний метод проектування антен, заснований на розробленій технології моделювання та інтеграції частинних програмних засобів в єдиний обчислювальний комплекс, що забезпечує комплексне виконання вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог.

ANNOTATION

Theme of qualification work: “Analysis and method of improving the quality the transmission channel signal T-2” // Diploma paper // Novosad Serhii Vasylovych // Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, group RRm-61 // Ternopil 2010 // p. – 86, fig. – 24, tabl. – 8, appl. – 1, bibliogr. – 42.

Keywords: ALGORITHM, ANTENNA, COMPLEX MATHEMATICAL MODEL, MODELING TECHNOLOGY, RECURSIVE METHOD.

In the master's thesis analysis and method of improving the quality, the transmission channel signal T-2.

Developed antenna modelling technology based on complex mathematical models describing antenna and antenna-mast structures as both electrodynamic and mechanical system, based on integration of antenna modelling methods as electrodynamic and mechanical systems and formation of a single database of requirements and source data.

Developed a recursive method of antenna design, based on the developed technology of modeling and integration of partial software into a single computer system, which provides comprehensive implementation of the requirements of the purpose, resistance to external influences, design and technological requirements.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1. Основні технічні, конструктивні та технологічні рішення антен....	11
1.2. Методи і технології конструювання і проектування антен.....	13
1.3. Аналіз досягнень в області впливу кліматичних і механічних чинників на характеристики антен.....	17
1.4. Розробка класифікації антен з урахуванням особливостей конструкції та умов розміщення	20
1.5. Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	30
2.1. Аналіз методів електродинамічного моделювання антен. Вибір методів і програмного засобу електродинамічного моделювання антен	30
2.2. Аналіз методів математичного моделювання впливу кліматичних і механічних чинників на конструкції антен. Вибір методів і програмного засобу моделювання впливу кліматичних і механічних чинників на конструкції.....	37
2.3. Розробка технології моделювання антен на основі комплексних математичних моделей	44
2.4. Висновки до розділу 2	49
РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	51
3.1. Розробка та програмна реалізація рекурсивної методики проектування антен.....	51
3.2. Дослідження і розробка випромінювачів для антен з урахуванням впливу кліматичних і механічних чинників.....	56
3.3. Дослідження впливу геометричних параметрів конструктивних елементів антен на їх просторові і імпедансні характеристики.....	67
3.4. Висновки до розділу 3	69

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	70
4.1. Вимоги дотримання норм та правил з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерів та інших пристроїв.....	70
4.2. Організація управління цивільним захистом на підприємстві (цеху)	74
4.3. Висновки до розділу 4	78
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТКИ	85
Додаток А Копія тез конференції “Інформаційні моделі, системи та технології”.	86

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В даний час побудова інформаційного суспільства зумовлюється динамічним зростанням сфери інформаційних і комунікаційних технологій. При залученні наукомістких виробництв та інновацій істотну модернізацію зазнають і системи радіозв'язку, зокрема, в частині вдосконалення та оптимізації розробок нових антено-фідерних пристроїв (АФП). Існуючі системи радіозв'язку і радіодоступу, в залежності від призначення і приналежності, відносяться до різних служб, використовують різні частотні діапазони, архітектури мереж і телекомунікаційні технології. При цьому загальною особливістю всіх мереж є істотна залежність всіх основних характеристик об'єктів від типів і параметрів антено-фідерного обладнання і від проектних рішень по розміщенню антен.

Проектування є однією з основних частин загального процесу розробки антен і являє собою складний комплекс взаємопов'язаних завдань, вирішення яких можливе лише на основі системного підходу, з використанням знань в області декількох теоретичних і прикладних дисциплін. Якість антени як виробу залежить не тільки від базових технічних рішень, а й від методології проведення процесу проектування: крім того, що алгоритм вирішення задачі синтезу антени повинен бути ефективним з точки зору забезпечення необхідних характеристик, він повинен містити комплексність підходу до класів розв'язуваних завдань, що виникають в процесі проектування.

Мета і задачі дослідження. Розробка методу проектування антен, що забезпечує комплексний облік вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог на основі інтеграції різнорідних методів моделювання, і її практична реалізація при розробці конструкцій антен.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- аналіз основних наукових і технічних досягнень в галузі досліджень;
- аналіз особливостей різних конструктивних типів антен;
- розробка технології моделювання антен, що дозволяє враховувати вимоги призначення і стійкості;

- розробка рекурсивної методики проектування антен;
- дослідження і розробка випромінювачів антен з урахуванням впливу кліматичних і механічних чинників;
- дослідження і розробка антен з урахуванням впливу кліматичних і механічних чинників.

Об’єкт дослідження: ефірні канали передачі сигналу Т-2.

Предмет дослідження: методи і технології проектування.

Методи дослідження: аналіз та узагальнення – при проведенні аналізу існуючих методів і алгоритмів проектування; формалізації та математичного моделювання – при побудові моделей каналів передачі інформації; проектування та програмування – при розробці програмного комплексу; експеримент та розрахунок – для апробації запропонованого рекурсивного методу проектування антен.

Наукова новизна отриманих результатів. У магістерській роботі:

- розроблено розширену класифікацію антен з урахуванням особливостей конструкцій і умов розміщення, що включає класифікацію за типом антенного пристрою, по розміщенню на об’єкті, за ступенем заводської готовності, по стійкості до рівня негативного кліматичного впливу, за особливими умовами розміщення та монтажу, а також характеристики та додаткові рекомендації по основних класифікаційних ознаках;
- розроблено технологію моделювання антен на основі комплексних математичних моделей, що описують антену одночасно як електродинамічну і механічну систему, яка базується на інтеграції методів моделювання антен як електродинамічних і механічних систем і формуванні єдиної бази вимог і вихідних даних;
- розроблено рекурсивний метод проектування антен, який базується на розробленій технології моделювання та інтеграції програмних засобів в єдиний обчислювальний комплекс, що забезпечує комплексне виконання вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження результатів кваліфікаційної роботи дозволить:

1. Зменшити час на проектування та моделювання антен

2. Рекурсивний метод проектування антен, який базується на розробленій технології моделювання та інтеграції програмних засобів в єдиний обчислювальний комплекс, що забезпечує комплексне виконання вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог покращить технічні характеристики антен.

Публікації. Окремі результати роботи доповідались VIII науково-технічна конференція “Інформаційні моделі, системи та технології”. Тернопіль, ТНТУ, 9 – 10 грудня 2020 р.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, бібліографії. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 86 арк. формату А4.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Основні технічні, конструктивні та технологічні рішення антен

Технічні рішення антен поділяють за різними ознаками (за ступенем спрямованості, з виду поляризації, за характером сканування і т.д.). Незалежно від приналежності до класифікаційної підмножини кожна антена може містити прості випромінювачі і/або об'єднані в групи, які в свою чергу можуть бути об'єднані у великі антенні структури [1, 12]. Прості випромінювачі можуть використовуватися як самостійні антени, в складі одиночних антен або в складі антенних решіток.

Найбільш узагальнено по спільності принципу дії і конструктивному виконанню розрізняють лінійні (дротові, щілинні, антени поверхневих хвиль, смужкова), апертурні (хвильова, рупорна, лінзова, дзеркальна) і багатoeлементні антени (антенні решітки). За способом формування поля антени поверхневих хвиль [3, 4, 5, 6] виділяються в окремий клас і в деяких літературних джерелах відносяться до групи антен біжучої хвилі [7, 8, 9].

Всі три типи антен – лінійні, апертурні і поверхневих хвиль (антени біжучої хвилі) – можуть застосовуватися як одиночні антени або групуватися в багатoeлементні антени.

Для підвищення коефіцієнтів спрямованості і захисної дії (КСП і КЗД) лінійних антен досить часто використовуються аперіодичні або резонансні рефлектори різної конструкції.

Конструкція і принцип дії апертурних антен аналогічні відповідним прототипам – акустичним і оптичним системам. Апертурні антени застосовуються головним чином в високочастотних діапазонах, починаючи з ультрависоких частот (УВЧ) [10] і характеризуються гостроспрямованим випромінюванням.

Як спрямовані антени кругової поляризації в НВЧ і УВЧ діапазонах використовуються спіральні і директорні турнікетні антени з рефлекторами [11].

Для покращення спрямованих властивостей антен і реалізації гнучких можливостей управління їх просторовими характеристиками широко використовуються антенні решітки (АР) з різними видами просторового розміщення елементів: лінійні, кільцеві, площинні, циліндричні, сферичні і т. п. Як елементи АР, в залежності від призначення, діапазону частот і ін., використовуються різні типи випромінювачів [12]. Класичний приклад лінійної АР – колінеарна антена.

З урахуванням вимог, чинних міжнародних і національних стандартів, найбільш поширені типи антен побудовані на основі вібраторних випромінювачів (несиметричні і симетричні вібратори, антени Уда-Яги, логоперіодичні антени, панельні антени) вертикальної або змішаної (Т-Pole, Х-Pole) поляризації. В останньому випадку забезпечується випромінювання хвиль вертикальної поляризації і здвоєний прийом двох ортогональних поляризаційних складових.

Конструктивне виконання антен досить різноманітне. Конструктивні та технологічні рішення антен залежать від параметрів призначення (робочого діапазону, форми ДН, коефіцієнта підсилення (КП)), умов розміщення, особливостей експлуатації та пропонованих вимог стійкості до зовнішніх факторів впливу (ЗФВ).

Вимоги, які пред'являються до стійкості проти ЗФВ обумовлює установку ряду антен під спеціальними захищеними конструкціями.

В даний час тривають пошуки нових матеріалів і технологій, які могли б забезпечити якісне зростання ефективності процесів виробництва і експлуатації антенної продукції, затребувані ринком. Випромінююча частина антен, як правило, виготовляється із застосуванням матеріалів, які проводять електричний струм (алюміній, сталь, латунь і ін.), Для виготовлення антен також застосовуються діелектричні матеріали (конструкційні пластмаси та полімерні композиційні матеріали) [13], можуть застосовуватися напівпровідники і композитні середовища (метаматеріали) [14].

Необхідно зазначити, що вимоги, що пред'являються до антен, в більшості випадків не можуть бути задоволені за рахунок використання поданої на ринку готової продукції, призначеної для радіозв'язку є використання спеціалізованих (типових і знову розробляються) технічних, конструктивних і проектних рішень антен

та пристроїв. Особливо це відноситься до унікальних об'єктів, для яких, як правило, доводиться розробляти унікальні рішення.

1.2. Методи і технології конструювання і проектування антен

У сучасній літературі відомості по методах та технологіях конструювання та проектування різних систем носять, як правило, розрізнений характер і прив'язані в більшості випадків до їх галузевої приналежності. Методи проектування конструкцій антен відрізняються істотною особливістю: не представляється можливим роздільний розгляд питань встановлення механічних і складних електричних зв'язків.

Тривалий час радіоелектронна техніка різного рівня і призначення розроблялася на основі блочного методу конструювання [15], на зміну якому прийшов базовий (модульний) метод і його різновиди (функціонально-модульний, функціонально-вузловий і функціонально-блоковий метод) [16], що враховують принципи функціональної закінченості, електромагнітної, теплової, механічної сумісності та технологічності [17].

Методи конструювання радіоелектронних засобів (РЕЗ) (рис. 1.1) [18].

Автоматизований метод заснований на використанні комплексів технічних, програмних та інших засобів автоматизації та способах їх об'єднання в САПР. Досягнення в обчислювальній техніці призвели до прогресу в області електронного проектування. В сучасних умовах метод реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування об'єктів будь-якої складності і є найбільш затребуваним [19, 20, 21, 22]. На основі математичних теорій, методів і алгоритмів отримують інформаційні моделі реальних об'єктів (проеКТованих пристроїв).

Формалізація властивостей фізичного об'єкту дозволяє отримати безліч керованих параметрів різних фізичних процесів, які можна змінювати в процесі проектування для покращення розрахункових вихідних характеристик. Застосування САПР дозволяє підвищити рівень якості проектів при скороченні термінів їх проектування. Зазначені переваги досягаються реалізацією наступних факторів:

- спрощення системи пошуку аналогів інженерних рішень;

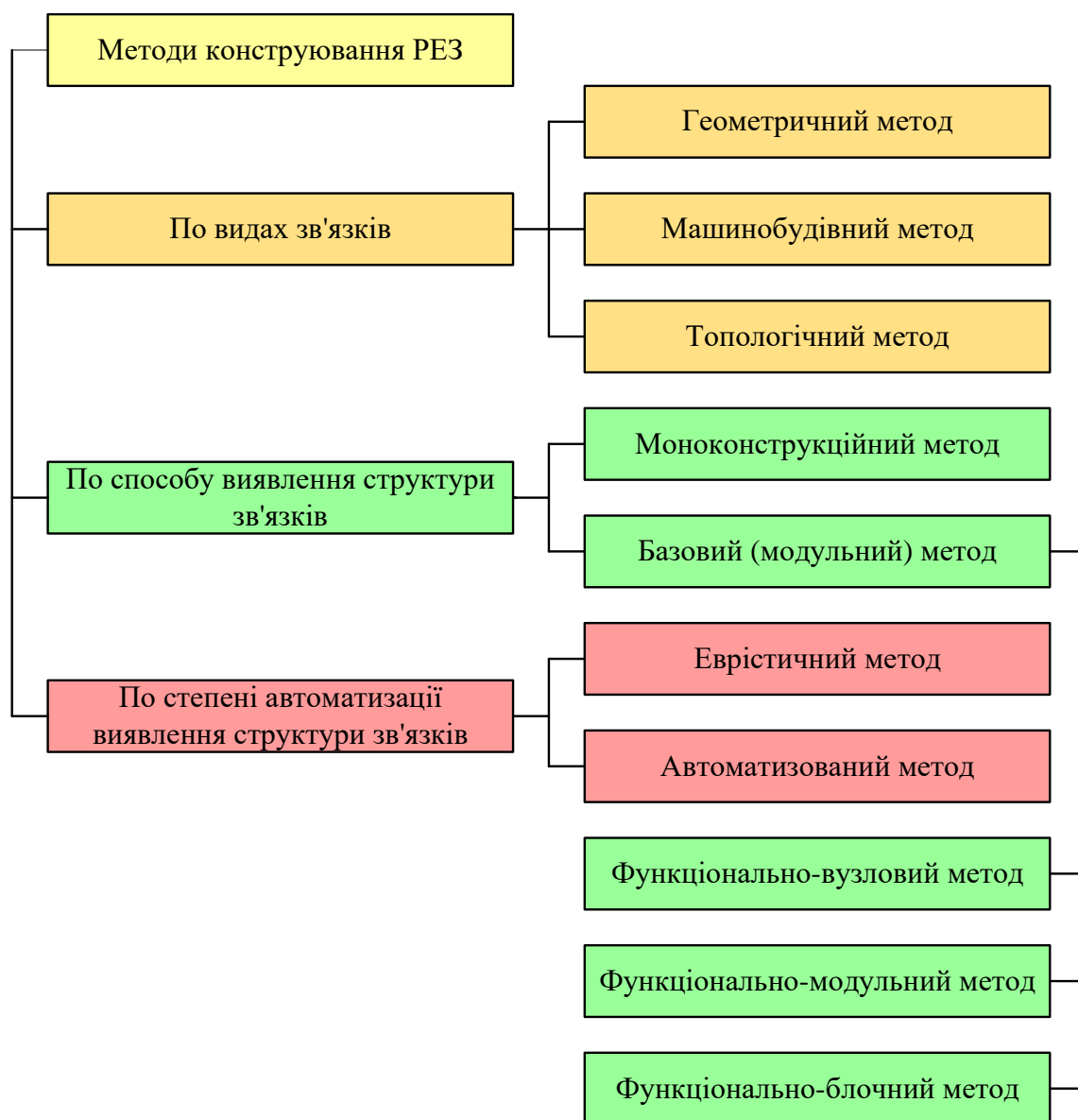


Рис. 1.1. Класифікація методів конструювання РЕЗ

- точне, якісне виконання креслень, багаторазове використання креслень, триразова економія часу на їх виконання при використанні САПР, в тому числі зменшення кількості помилок і творчих зусиль при вирішенні рутинних завдань (наприклад, оформлювальних процедур);
- зручність дослідження об'єкту за рахунок предметності засобів тривимірного моделювання, динамічного представлення процесів;
- прискорення розрахунків;

- полегшення типових проектних процедур удосконалення, оптимізації, а також дослідження ступеня впливу керованих параметрів на вихідні характеристики;
- інтеграція проектування з іншими видами діяльності: автоматизована система наукових досліджень, діяльності: автоматизована система технологічної підготовки виробництва, гнучке автоматизоване виробництво, виготовлення та збирання роботизованими системами, гнучкі виробничі системи, засоби автоматизованого тестування [23].

Сучасний етап розвитку техніки антенних систем характеризується актуалізацією цілого ряду науково-технічних проблем, включаючи інтенсифікацію в області технологій проектування антен. Двоїстий характер внутрішніх зв'язків такого технічного пристрою, як антена відбивається на технології її проектування. Сюди входить вирішення завдання синтезу і фізична реалізація виробу. Найбільш поширений двоетапний варіант вирішення завдання синтезу: структурний і параметричний синтез [24].

На етапі структурного синтезу здійснюється вибір класу антен, які відповідають спеціальним технічним і економічним вимогам. В рамках параметричного синтезу визначаються конкретні схемні і конструктивні рішення, що забезпечують задані електричні характеристики. На практиці пошук оптимального варіанту цільової функції заснований на багаторазовому розв'язанні задач аналізу, який виконується за допомогою електродинамічних і механічних методів розрахунку.

Фізична реалізація антен в технології створення – найбільш витратна частина процесу. Можливість виготовлення того чи іншого типу антен залежить від ступеня впровадження відповідної виробничої технології на підприємстві.

Відзначимо деякі основні напрямки, в яких розвиваються технології розробки антенних систем, що відносяться до першого етапу розв'язання задачі синтезу. Сюди входять досягнення в області електродинамічного аналізу антен, ефективні способи обробки сигналів, розробки сучасних антено-фідерних систем, а також завдання оптимізації проектних рішень при розміщенні антенних систем на об'єкті установки. Наприклад, опрацьовується технологія комбінування методів аналізу

електродинамічних систем, що дозволяє поєднати масштабованість і повне охоплення складних систем з точністю рішення [25].

В області техніки антен необхідно зазначити впровадження і розширення області використання схемно-просторової мультиплексії в нових розробках АФП [26]. Великого поширення набули багатодіапазонні антено-фідерні системи [27]. Досліджуються методи створення багатодіапазонних антен в протяжних екранованих спорудах [27]. Актуальна потреба в адаптивних АФП. Безсумнівний інтерес представляє вивчення підходів до реалізації конформних (гнучких) антен.

Тривають науково-дослідні та конструкторсько-технологічні роботи з вибору типу АФП і місця його розміщення, формування властивостей спрямованості антен за рахунок використання елементів металоконструкцій опор і монтажних комплектів [28, 29]. В роботі [28] існуючі технології проектування антенних решіток для розміщення на опорах класифікуються наступним чином:

- технологія прямого проектування, що зводиться до прив'язки типового проекту до існуючого об'єкту експлуатації;
- оптимізаційне проектування, яка передбачає оптимізацію рішення вибору місця установки із застосуванням методів обчислювальної електродинаміки [30];
- інженерне проектування, що включає в себе розробку проектної документації з обґрунтуванням вибору конкретної антенної системи для заданого місця установки;
- комбіноване проектування, що об'єднує в собі принципи інженерного і оптимізаційного проектування.
- інтелектуальне проектування, що включає в себе “теоретичне створення антен під найбільш підходящі вільні ділянки опори з урахуванням тактичних, технічних і експлуатаційних факторів, а також перспектив розвитку”;
- реконструкційне проектування, яке доповнює інтелектуальне проектування методикою пошуку компонованого рішення, заснованого на оцінці характеристик спрямованості систем [31];
- аналітичне проектування утворює систему, що включає інтелектуальне і реконструкційне проектування.

Антени, які використовуються повинні забезпечувати не тільки впевнений прийом і передачу сигналів, а й володіти стабільними електричними і механічними характеристиками при підвищених навантаженнях і в різних умовах роботи. Це передбачає максимальну стабільність характеристик у часі, а також при впливі кліматичних і механічних чинників: робітників і граничних температур, вологості, опадів, вібрацій і ударів, повітряного потоку, хімічно агресивних речовин, пилу та ін.

Для вирішення зазначених вище проблем необхідно, перш за все, використовувати системний підхід, тобто вирішувати всі необхідні завдання спільно. Такий підхід може розглядатися як розвиток ідей і методів аналітичного проектування [32].

В ході здійснення даного підходу необхідна розробка методів проектування антен, які передбачають комплексне вирішення питань забезпечення всіх тактико-технічних вимог, одночасне проектування антени як цілісної електричної і механічної системи з урахуванням електрофізичних, теплофізичних, механічних та інших істотних властивостей матеріалів.

Кожен допоміжний елемент антени (наприклад, елементи кріплення або корпус) в тій чи іншій мірі робить свій вплив на її характеристики, і, як правило, цей вплив виявляється негативним (паразитним) [33]. Виникаючі паразитні зв'язки необхідно зводити до мінімуму.

1.3. Аналіз досягнень в області впливу кліматичних і механічних чинників на характеристики антен

Методам синтезу РЕЗ, в тому числі параметричного [34, 35, 36], присвячена велика науково-технічна література. Основна увага до властивостей, методів визначення і особливостям взаємодії з конструкціями кліматичних і механічних впливів різного роду піддається РЕЗ та АМС [37, 38, 39, 40, 41].

Пропонуються різні методи обліку механічних і електродинамічних властивостей при проектуванні АФП, що враховують вплив наступних факторів на характеристики антен:

- вібраційних впливів;
- радіопрозорих діелектричних укриттів і радіопоглинаючих покриттів;
- снігового покриву;
- асиметричного шару води;
- обмерзання;
- теплових впливів.

Проведений моніторинг програмних продуктів, що використовуються в дослідженнях впливу ЗФВ на роботу антен, показав відсутність єдиного програмного забезпечення (ПЗ) в даній сфері наукових досліджень. Для моделювання процесів можливе застосування різних програмних систем, наприклад, універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу ANSYS [127, 217], ПК САПР промислового підприємства SolidWorks [42, 43].

Зокрема, в програмному пакеті SolidWorks виконувалося модельне дослідження вібраційних впливів на хвильоводно-щілинну антену [201], а також розрахунки впливу температурних деформацій [44]. В системі ANSYS проводилися оцінка результатів методики побудови матриць жорсткості для стрижнево кінцево-елементної моделі мікросмужкової антени [45], дослідження впливу вібрацій на параболічну антену [46].

Антенa, як радіоелектронний пристрій в складі радіотехнічної системи, визначає якісні і кількісні характеристики передачі інформації по радіоканалу і в найбільшій мірі схильна до зовнішніх впливів. Результатом дій може з'явитися відхилення електричних характеристик випромінювання щодо розрахункових, аж до руйнування самої конструкції антени внаслідок деформації від теплових і механічних навантажень.

При конструюванні (проектуванні) працездатність забезпечують вибором матеріалів і розрахунком розмірів за основним критерієм (міцність, жорсткість, теплостійкість, вібростійкість). Виходячи з теоретичної моделі антени і умов експлуатації, в тому числі кліматичних [41], виконується попередній вибір профілів і марок матеріалів конструкції антени. Положення розрахунку проводяться за методом гра-

ничних станів, а також за методом допустимих напружень [35]. На практиці застосовують розрахунки за будівельними нормами і правилами (СНіП) і їх актуалізовані версії [24, 25]. Основною характеристикою опору матеріалів силових дій є нормативне опір, яке встановлюється СНіП з урахуванням контролю і статичної мінливості механічних властивостей матеріалу. Як нормативного опору машинобудівних сталей і алюмінієвих сплавів приймають найменше значення межі течучості або тимчасового опору. Ці значення встановлюються стандартами або технічними умовами на метал.

Рівень надійності конструкції і окремих її елементів у високій мірі залежить від точного обліку величин навантажень і впливів. Основні положення і правила щодо визначення та обліку постійних і часових навантажень і впливів, а також їх поєднань встановлює [40]. Використовуючи методи опору матеріалів, складається розрахункова схема реальної моделі антени з впливом вітрової, навантаження обледеніння і навантаження від власної ваги конструкції, проводиться розрахунок перетинів в елементах конструкції, що піддаються найбільшим за величиною навантажень і переміщенням.

Істотну роль грають процеси “втоми” матеріалів. Існуючі методи [15, 41] дозволяють виконати розрахунок на міцність від втоми стосовно до сталевих конструкцій антен, в той час як на практиці часто для виготовлення антен використовуються деформуються алюмінієві сплави, властивості яких мають ряд переваг. Розрахункові (непрямі) методи оцінки характеристик опору втомного руйнування алюмінієвих сплавів представлені, наприклад, в [44].

Використання програмних засобів дозволяє проводити розрахунки як задач статичного аналізу, так і специфічні розрахунки, наприклад, розрахунок власних (резонансних) частот коливань конструкцій і відповідних їм форм коливань, розрахунок міцності при впливі синусоїдальної вібрації.

Для знаходження частот і власних форм коливань використовується класичне рішення узагальненої задачі про власні значення системи лінійних алгебраїчних рівнянь виду [17].

Рівень вібраційних впливів для технічних виробів визначаються нормами, що містять єдині вимоги по стійкості до механічних зовнішніх впливів [14, 23, 39]. Умова вібростійкості досягається зміною значення власної частоти коливань системи (змінюючи жорсткість системи i / або її масу). Оцінка вібростійкості системи проводиться за результатами розрахунку амплітуди переміщень, віброприскорень і віброперевантажень для заданого діапазону частот змушують впливів.

Розрахунок на ударне навантаження обмежується енергетичним методом, що володіє достатньою для практики точністю [34].

Зв'язок між напруженнями і деформаціями визначається з урахуванням термомпружного деформування [10].

Формування вихідних даних при оцінці впливу на характеристики випромінювання таких параметрів середовища, як обмерзання і дощові опади передбачає врахування електричних властивостей води і льоду, а також товщини шару в різних умовах експлуатації [15, 21, 37, 44].

Для практичних розрахунків найбільш часто використовується четверта теорія міцності – критерій Мізеса (von Mises).

Взаємне пов'язування технічних розрахунків з використанням сучасних методів і програмних засобів дозволяє скоротити витрати на проектування і, покращити механічні характеристики, підвищити стійкість конструкцій антен до зовнішніх впливів.

1.4. Розробка класифікації антен з урахуванням особливостей конструкції та умов розміщення

Умовами ефективного вирішення завдань проектування антенних пристроїв крім представлення вимог до показників призначення є визначення вихідних даних за місцем розміщення, умов експлуатації, ступеня заводської готовності конструкцій і ряд інших. Класифікація знань по перерахованим критеріям сприяє організації

нових напрямків оптимізації проектування, зменшує ймовірність неправильних рішень через суперечливість відправних відомостей, істотно спрощує завдання відповідних вимог в антенною технікою.

До теперішнього часу класифікація антен за окремими показниками, наприклад, по діапазону ознакою, за характером випромінюючих елементів, виду радіотехнічної системи, в якій залежить вид антени, визначена досить строго (повномірного) [7, 21, 22, 23, 24, 28]. Основоположною ознакою в класифікаційному просторі є функціональне призначення антени і зумовлює інший поділ за різними умовами і вимогам.

Антени, згідно ОК 034-2014 (КПЕС 2008) «Класифікація продукції за видами економічної діяльності», є підгрупою комунікаційного обладнання: «Антени та відбивачі антенні всіх видів та їх частини» (код 26.30.40.110). Комунікаційне обладнання – термін, який включає в себе досить велике коло пристроїв і засобів зв'язку та виділення кваліфікаційних ознак антенних пристроїв з даної групи представляється скрутним.

Антенa – радіoeлектронна функціональна одиниця (РЕФО): радіoeлектронний засіб, що представляє собою функціонально і конструктивно завершену складальну одиницю, яка виконує радіотехнічну і / або електронні функції (ію) і не має самостійного застосування. РЕФО є нижчим рівнем розукрупнення РЕЗ. Таким чином, широко узагальнені кваліфікаційні ознаки РЕЗ (класи і групи використання, діючі фактори зовнішнього середовища) [20, 28] застосовні і до антен. Так, антени відносяться до наземного класу РЕЗ і можуть відрізнятися групами використання: стаціонарні, рухомі (возяться) і носимі (переносні). У той же час класифікація РЕЗ за функціонально-конструктивними ознаками, об'єкту і умов експлуатації в різних джерелах дається по-різному [38].

Аналіз проблем дослідження і розробки шляхів зниження впливу факторів навколишнього середовища на характеристики антен мобільного радіозв'язку ДВЧ і УВЧ діапазонів формує необхідність класифікації антен за такими класифікаційними ознаками. Для антен міських і лінійних радіоцентрів це:

- за типом антенного пристрою;

- по розміщенню на об’єкті;
- за ступенем заводської готовності;
- по стійкості до рівня негативного кліматичного впливу;
- за особливими умовами розміщення майданчика будівництва та монтажу.

Наведена класифікація антен у вигляді блок-схеми (рис. 1.2).

Класифікація антен по типу має на увазі відмінність антен за функціональним призначенням і за ознаками зовнішньої будови та внутрішньої структури виробу, обумовлені технологією виготовлення і матеріалів, які використовуються. Антени виготовляють з профільного металопрокату (сортового і фасонного), з трубного прокату, листового прокату з використанням операцій згину (штампування), друкованої технології, виготовлення елементів антен із пластмас і композиційних матеріалів.

Існують наступні типи антен:

- панельні антени;
- вібраторні антени;
- колінеарні антени;
- антени типу “хвильовий канал”;
- логоперіодичні;
- антени змішаної поляризації зі схрещеними вібраторами;
- спіральні;
- параболічні.

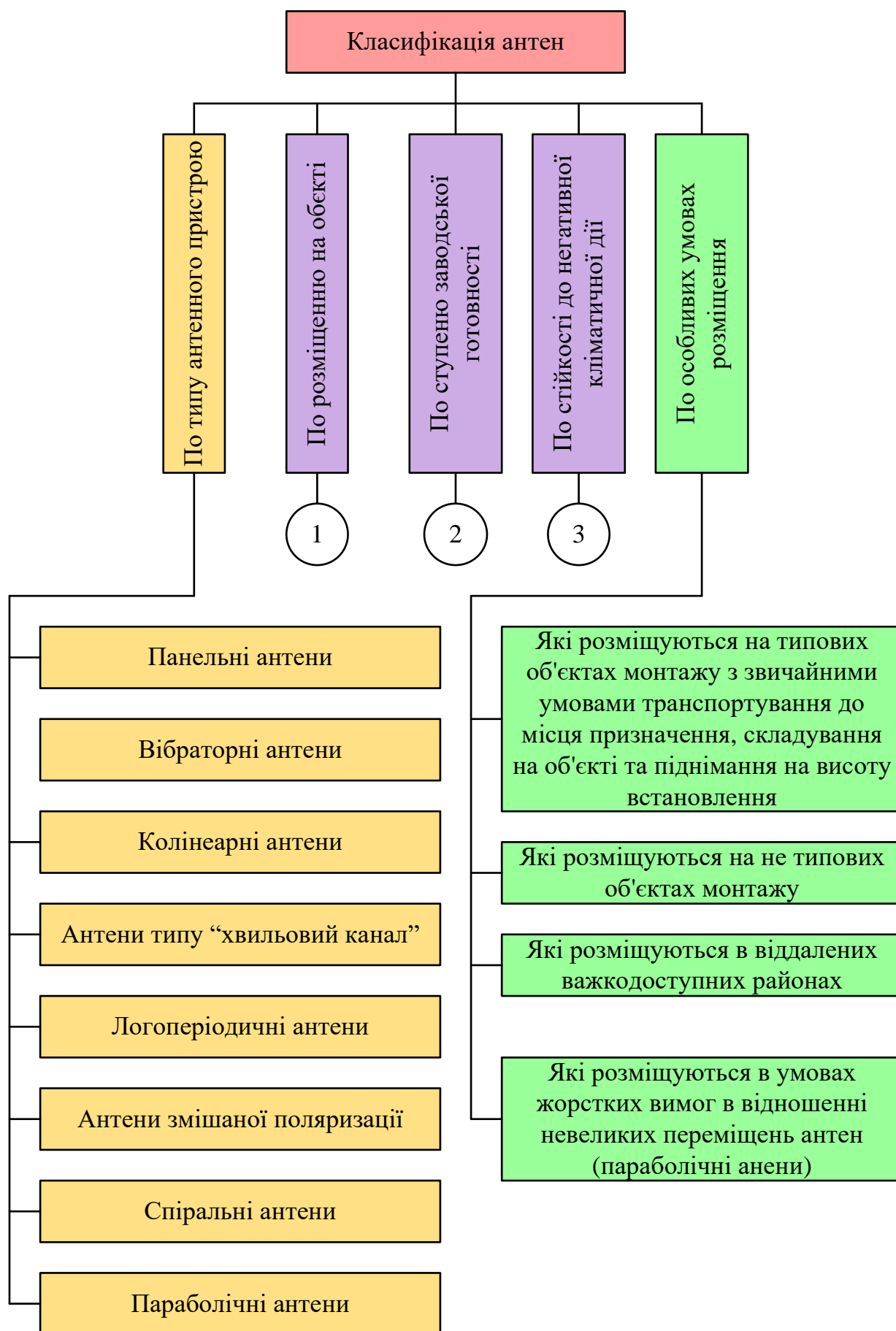


Рис. 1.2. Класифікація конструктивних типів антен (лист 1 з 2)

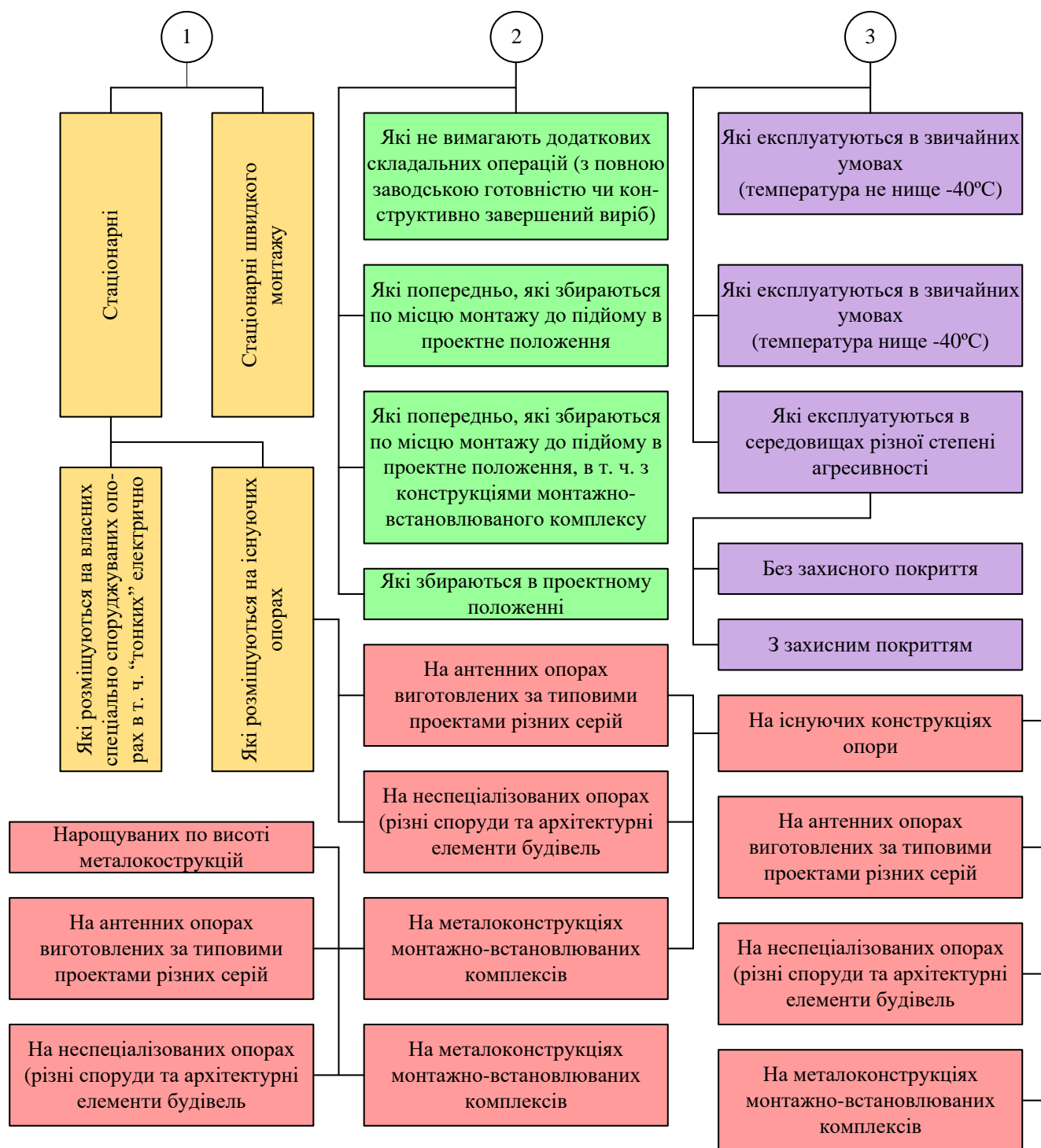


Рис. 1.2. Класифікація конструктивних типів антен (лист 2 з 2)

Потреба в збільшенні числа каналів радіозв'язку призвело до необхідності оптимізації використання існуючих опорних споруд в різних варіантах ущільнення антенних пристроїв, які розміщують.

Класифікація антен по розміщенню на об'єкті дозволить уніфікувати рішення при розробці монтажних комплектів антен мобільного радіозв'язку.

За розміщення на об'єкті виділяються такі класи антен:

- антени стаціонарні, що розміщуються:
 - на існуючих опорах, в тому числі:
 - ✓ на антенних опорах, виготовлених за типовими проектами різних серій, спочатку призначених для антенних систем;
 - ✓ на неспеціалізованих опорах (різні споруди і архітектурні елементи будівель, наприклад, не використовуються за прямим призначенням опори ліній електропередачі, бурові та геодезичні вишки, труби теплоелектростанцій, котелень і т. п.);
 - на власних (спеціально споруджених) опорах, в т. ч. електрично “Тонких” опорах (розмір перетину не більше $0,1 \dots 0,2 \lambda$) [16];
- антени стаціонарні в складі польових вузлів зв'язку.

Для розміщення антени на висотних спорудах можливі кілька варіантів розташування антени:

- на існуючих конструкціях опори:
 - на верхньому майданчику (покрівлі);
 - на поясі гранчастій опорі;
 - навколо стовбура опори;
- на металоконструкціях монтажно-інсталяційних комплектів:
 - на металоконструкціях, які нарощують опору по висоті;
 - на металоконструкціях, змонтованих навколо стовбура опори;
 - на металоконструкціях з горизонтальним виносом майданчики закріплення антени за огорожу майданчика опори;
- на щоглах, вежах або опорах змішаного типу, що встановлюються на покрівлі будівель.

Рішення задач оптимальної організації робіт по розгортанню антен швидкого розгортання і монтажу стаціонарних антенних пристроїв найчастіше вимагають членування антени на складові (відправні) елементи, що закладається в конструктивну форму на етапі проектування. В цьому випадку шляхом перенесення трудо-

містких операцій складання і зварювання з монтажного майданчика в умови заводу-виготовлювача досягається максимальна швидкість і найменша трудомісткості при виготовленні і монтажі антенних конструкцій. Рациональне членування антен залежить від вибору схеми транспортування, варіантів шляхів підйому на висотну позначку, а також місць розміщення (складування) виробів на об'єкті монтажу. Зазвичай для перевезення АФП використовують автомобільний (вантажні автомобілі загального призначення) і залізничний транспорт. Маса перевезених конструкцій визначається вантажопідйомністю транспортного засобу і характеристиками траси проходження. Граничний розмір елемента членування розраховується залежно від габаритів рухомого складу, розмірів дверних прорізів, коридорів і сходових проходів споруд, які є об'єктом монтажу. Таким чином, за ступенем заводської готовності можна виділити наступні варіації (групи) конструкцій антен, що встановлюються в проектне положення на монтажі:

- які не потребують додаткових складальних операцій (з повною ступенем заводської готовності або конструктивно закінчений виріб [36]);
- попередньо зібрані у місця монтажу до підйому в проектне положення;
- попередньо зібрані у місця монтажу до підйому в проектне положення, в тому числі з металоконструкціями монтажно-інсталяційного комплексу;
- збираються в проектному положенні.

Стандартизація макрокліматичного районування земної кулі (крім Центральної Антарктиди) за кліматичними зонами і категоризація з регулювання кліматичних умов для всіх видів машин, приладів та інших технічних виробів встановлюються стандартами [66]. Класифікація антенних пристроїв по стійкості до рівня негативного кліматичного впливу істотно спрощує завдання відповідних вимог до використовуваних матеріалів, раціональності конструктивних форм, технологічним режимам виготовлення, обліку характеру навантаження, при якому антена працює в практичних умовах.

За стійкістю до рівня негативного кліматичного впливу пропонується поділ антен на такі групи:

- експлуатовані в звичайних температурних умовах (розрахункова температура не нижче мінус 40° С);
- експлуатовані при розрахунковій температурі нижче мінус 40° С (“північне виконання”);
- експлуатовані в середовищах різного ступеня агресивності;
- з захисними покриттями;
- без захисних покриттів.

За особливими умовами розміщення майданчика монтажу антенні пристрої можна розділити на види:

- розміщуються на типових об’єктах монтажу зі звичайними умовами транспортування до місця призначення, складування на об’єкті і підйому на експлуатаційну висотну позначку;
- розміщуються в умовах нетипових рішень об’єктів будівництва;
- розміщуються у віддалених і важкодоступних районах;
- розміщуються в умовах жорстких вимог відносно найбільших переміщень антен (параболічні антени).

Умови розміщення майданчика монтажу визначають основні вимоги до конструкцій антен з урахуванням особливостей розміщення:

- розбивка конструкцій на елементи повинна враховувати зручність підходу до місця установки, а також найбільш ефективне використання транспортних засобів для доставки і засобів механізації підйомно-транспортних робіт;
- членування на монтажні елементи повинно відповідати виконання вантажно-розвантажувальних робіт з меншою трудомісткістю з урахуванням технологічних можливостей;
- виробництво монтажу, зручність виконання з’єднань, швидкість вивірки конструкцій, перевірка працездатності повинні вимагати відповідної уніфікації та типізації конструктивних елементів, використання відповідних пристосувань;
- регулювання періодичності планових і позапланових робіт з профілактики, обслуговування і ремонту антен забезпечувати застосуванням раціональних

конструктивних форм, вибором марки і стану сплаву застосовуваних матеріалів, призначенням захисних покриттів для стійкості до ЗФВ;

- зниження трудомісткості і вартості виконання земляних робіт.

1.5. Висновки до розділу 1

Даний розділ присвячений аналізу основних наукових і технічних досягнень в області дослідження впливу кліматичних і механічних чинників на параметри антен, а також розробці класифікації антен.

Розглянуто основні технічні, конструктивні та технологічні рішення антен.

Показано, що технічні рішення антен поділяються за різними ознаками (за ступенем спрямованості, видом поляризації, за характером сканування і т.д.). Відзначено, що конструктивні та технологічні рішення антен залежать від параметрів призначення, умов розміщення, особливостей експлуатації та пропонованих вимог стійкості до ЗФВ.

Розглянуто основні методи і технології конструювання і проектування антен. Відзначено, що основним методом при проектуванні сучасних систем є базовий метод. Розподіл даного методу на різновиди обумовлений ступенем уніфікації структурних підрівнів. Відзначено, що процеси автоматизації супроводжують всі етапи проектування за допомогою впроваджених комп'ютерних технологій у вигляді систем, прив'язаних до тих чи інших етапів життєвого циклу виробів.

Виконано аналіз досягнень в області обліку впливу кліматичних і механічних чинників на характеристики антен.

Запропоновано класифікацію конструктивних типів антен з урахуванням особливостей конструкцій і матеріалів складових частин. Обґрунтовано наступні класифікаційні ознаки:

- за типом антенного пристрою;
- по розміщенню на об'єкті;
- за ступенем заводської готовності;
- по стійкості до рівня негативного кліматичного впливу;

- за особливими умовами розміщення майданчика будівництва та монтажу.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз методів електродинамічного моделювання антен. Вибір методів і програмного засобу електродинамічного моделювання антен

Як вже було зазначено у вступі, антени можуть працювати в різних частотних діапазонах, бути істотно різними по геометричним параметрам, розміщуватися в самих різних місцях установки. Все це обумовлює складність вибору методів електродинамічного моделювання таких антен з урахуванням оточення. У вступі для електродинамічного аналізу таких систем було обґрунтовано використання методів ІУ і наближених методів. В даному підрозділі розглянемо докладніше застосування методів інтегральних рівнянь і наближених методів для вирішення зазначених завдань, а також застосування ПК Skater.

Застосування конкретних видів інтегральних рівнянь залежить, перш за все, від геометричних параметрів антен (сторонніх розсіювачів). З усього різноманіття антен і розсіювачів на об'єктах виділимо кілька найбільш поширених типів:

- тонкі провідники (вібраторні антени і ін.);
- товсті провідники (фермові опори тощо.);
- невеликі поверхневі металеві розсіювачі (пристрої узгодження і фазування, та ін.);
- протяжні поверхневі металеві розсіювачі (дзеркала антен, які проводять підстилають поверхні та ін.) [43].

Для аналізу тонких провідників найбільш широко використовується метод інтегральних рівнянь першого роду в тонкодротовому наближенні. Такі інтегральні рівняння мають фізичний зміст граничної умови для тангенціальної компоненти електричного поля. Зокрема, до таких рівнянь відноситься рівняння Поклінгтона, яке можна записати в наступному вигляді [25, 28, 40]:

$$f_{01}(l) = i \int_L K_1(l, l') j(l') dl' \quad (2.1)$$

де $f_{01}(l) = E_{\tau}^0(l)$ – задана функція, що має фізичний зміст тангенціальної компоненти стороннього електричного поля;

i – уявна одиниця;

$j(l')$ – функція лінійного електричного струму, яку потрібно знайти;

$K_1(l, l')$ – ядро інтегрального рівняння першого роду.

Ядро інтегрального рівняння першого роду $K_1(l, l')$ визначається відомим чином:

$$K_1(l, l') = \omega \mu_0 (\vec{\tau}(l) \vec{\tau}(l')) G(l, l') - \frac{1}{\omega \varepsilon_0} \frac{\partial G(l, l')}{\partial l \partial l'} \quad (2.2)$$

де ω – кругова частота;

ε_0 – електрична постійна;

μ_0 – магнітна постійна;

$\vec{\tau}(l)$ – тангенціальний орт до контуру антени L ;

$G(l, l') = \frac{e^{-i\beta R(l, l')}}{4\pi R(l, l')}$ – функція Гріна вільного простору;

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильове число;

λ – довжина хвилі у вільному просторі;

$R(l, l')$ – відстань від точки джерела до точки спостереження.

Даний метод є добре апробованим, не має обмежень на форму контуру інтегрування і, навпаки, має відносно невелику ресурсомісткість. Однак, як відомо, постановка задачі в формі інтегральних рівнянь першого роду є некоректною по Адамара і, крім того, має серйозні обмеження на величину радіусів провідників [220].

У зв'язку з цим для більш товстих провідників (радіусом більше 1% від довжини хвилі) пропонується використовувати інтегральних рівнянь другого роду також в тонкодротовому наближенні. Такі інтегральні рівняння мають фізичний зміст граничної умови для азимутальної компоненти магнітного поля. Інтегральні рівняння другого роду можна записати в такий спосіб [46]:

$$f_{02}(l) = j(l) - a(l) \int_L K_2(l, l') j(l') dl' \quad (2.3)$$

де $f_{02}(l) = a(l) \int_0^{2\pi} \bar{\varphi}_{0l}(l, \varphi) \bar{H}^0(l, \varphi) d\varphi$ – задана функція, що має фізичний сенс усередненої азимутальної компоненти стороннього магнітного поля;
 $a(l)$ – радіус провідника (який в загальному випадку може бути змінним);
 $\bar{\varphi}_{0l}(l, \varphi)$ – азимутальний орт в циліндричній системі, пов'язаної з провідниками в точці l ;
 φ – азимут в циліндричній системі, пов'язаної з провідником.

ядро інтегрального рівняння $K_2(l, l')$ також визначається відомим чином:

$$K_2(l, l') = \int_0^{2\pi} \bar{\varphi}_{0l}(l, \varphi) \bar{H}^0(l, \varphi) d\varphi \frac{\sqrt{|\vec{r}(l, \varphi) - \vec{r}_L(l')|^2 - l_0(l')(\vec{r}(l, \varphi) - \vec{r}_L(l'))}}{\partial l \partial l'} \times \left(\frac{i\beta}{|\vec{r}(l, \varphi) - \vec{r}_L(l')|^2} + \frac{i\beta}{|\vec{r}(l, \varphi) - \vec{r}_L(l')|^3} \right) \exp(-i\beta |\vec{r}(l, \varphi) - \vec{r}_L(l')|) d\varphi, \quad (2.4)$$

де $l_0(l')$ – орт контуру L в точці l' ;

$\vec{r}(l, \varphi)$ – радіус-вектор точки l, φ на поверхні провідника;

$\vec{r}_L(l')$ – радіус-вектор точки l' на осі провідника (на контурі L).

До недоліків інтегральних рівнянь другого роду необхідно віднести велику ресурсомісткість в порівнянні з інтегральними рівняннями першого роду, тому що в даному випадку необхідно виконувати інтегрування по контуру поперечного перерізу провідника.

У багатьох з розглянутих в даній роботі завдань при розміщенні антен на об'єктах виникають ситуації, коли в складі антенних комплексів присутні провідники різних радіусів. Для їх електродинамічного аналізу рівняння (2.1), (2.3) можуть використовуватися спільно, утворюючи загальну систему [46].

Для аналізу поверхневих розсіювачів з невеликими електричними розмірами широко використовуються інтегральні рівняння першого роду з поверхневим інтегралом. Такі рівняння мають фізичний зміст граничної умови для тангенціальної компоненти електричного поля [34, 40]. Таке інтегральне рівняння може бути записано таким чином [40]:

$$\begin{aligned} \vec{s}(\vec{r}) E^0(\vec{r}) = i \omega \mu_0 \vec{s}_2(\vec{r}) \int_S G(\vec{r}, \vec{r}') \vec{j}(\vec{r}') d s - \\ - \frac{1}{i \omega \varepsilon_0} \vec{s}_2(\vec{r}) \operatorname{grad} \int_S G(\vec{r}, \vec{r}') \operatorname{div} \vec{j}^0(\vec{r}') d s, \vec{r}, \vec{r}' \in S \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\text{де } \vec{s} = \begin{bmatrix} (1 - n_x^2) & -n_x n_y & -n_x n_z \\ -n_y n_x & (1 - n_y^2) & -n_y n_z \\ -n_z n_x & -n_z n_y & (1 - n_z^2) \end{bmatrix} - \text{тензор, що проектує вектор на поверхню}$$

S ;

n_x, n_y, n_z – компоненти орта нормалі до S в базовій декартовій системі координат;

$E^0(\vec{r})$ – стороннє електричне поле;

$G(\vec{r}, \vec{r}')$ – функція Гріна вільного простору;

$\vec{j}(\vec{r})$ – функція щільності поверхневого струму, наведеного на по поверхні S під дією стороннього поля $E^0(\vec{r})$, яку необхідно знайти.

Для електродинамічного аналізу протяжних поверхневих розсіювачів наявні обчислювальні ресурси, як правило, не дозволяють використовувати метод інтегральних рівнянь (2.5). Тому для їх аналізу використовуються різного роду наближені методи. В даному випадку в якості такого був обраний метод фізичної оптики [43]. Відповідно до цього методу, струм на поверхні провідника пропорційний тангенціальній компоненті стороннього магнітного поля:

$$\vec{j}(\vec{r}) = 2 \left[\vec{n}_0(\vec{r}) \times \vec{H}^0(\vec{r}) \right], \quad (2.6)$$

де $\vec{n}_0(\vec{r})$ – орт нормалі до поверхні;

$\vec{H}^0(\vec{r})$ – стороннє магнітне поле.

До переваг даного методу необхідно віднести простоту реалізації і високу швидкість розрахунків. До недоліків – наближений характер рішення, неможливість обліку крайових ефектів, обмежену сферу застосування.

Визначившись з використовуваними методами електродинамічного аналізу, розглянемо, в яких ПК вони реалізовані. У вступі вже був даний короткий огляд ПК, призначених для електродинамічного моделювання АФП. Розглянемо тут дане питання докладніше.

Серед ПК, в яких реалізовані методи інтегральних рівнянь, необхідно зазначити ПК FEKO, SuperNEC, EMC Studio, EDEM, Samant, Scater і ін. [31, 32, 231, 36]. Серед іноземних ПК найбільшою популярністю, користується ПК FEKO [36]. У ньому реалізовані методи на основі лінійних, поверхневих, об'ємних інтегральних рівнянь, а також комбінований метод на основі інтегральних рівнянь і фізичної оптики. В якості базисних функцій використовуються кусково-лінійні функції для дріотяних розсіювачів і RWG-функції для поверхневих розсіювачів. Є можливість

обліку діелектриків, а також поверхні землі за допомогою інтегралів Зоммерфельда. Програмний комплекс підтримує режим паралельних обчислень і тому може використовуватися на різних обчислювальних платформах.

За допомогою даного програмного комплексу, в принципі, можна розраховувати характеристики АФП систем рухомого радіозв'язку з урахуванням оточення. Однак, подібні розрахунки не завжди можна вважати цілком прийнятними. По-перше, даний програмний комплекс не може вважатися достатньою мірою доступним через високу вартість. По-друге, мова йде про закордонний продукт, використання якого в сучасних умовах, особливо для потреб оборони і безпеки, пов'язане з певними ризиками. По-третє, ефективність закладених в програмних комплексах методів в ряді випадків, особливо при вирішенні оптимізаційних задач, вже не цілком задовольняє сучасним вимогам.

Вітчизняної альтернативою програмний комплекс FEKO є програмний комплекс Scater. Він призначений для електродинамічного аналізу довільних антенних систем за допомогою системи комбінованих методів аналізу [35]. У програмних комплексах реалізовані методи на основі ІУ (2.1), (2.3), (2.5), (2.6), а також комбіновані методи на їх основі. В якості базисних функцій використовуються кусочно-синусоїдальні функції для дротяних розсіювачів і RWG-функції для поверхневих розсіювачів. Є можливість розрахунку всіх необхідних антенних характеристик, включаючи ДН, КНД і ін.

До недоліків даного програмного комплексу необхідно віднести відсутність можливості обліку діелектриків, однак, для розглянутих в даній роботі завдань ця обставина є несуттєвим.

Проаналізувавши переваги і недоліки розглянутих програмних комплексів, як засіб електродинамічного моделювання автором був обраний програмний комплекс Scater.

Графічний інтерфейс програмного комплексу Scater (рис. 2.1).

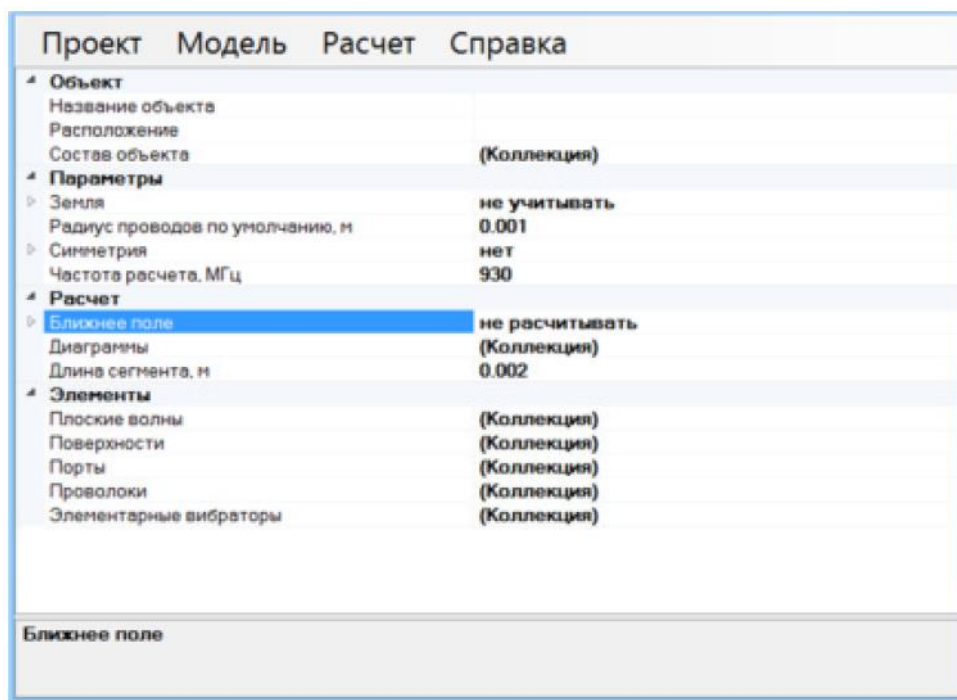


Рис. 2.1. Графічний інтерфейс ПК Scater

Побудова геометричної моделі АФП, розбиття на сегменти і візуалізація результатів розрахунків в програмному комплексі Scater здійснюється за допомогою вільно поширюваного додатки GMSH. Приклад результатів розрахунків струмів і ДС АФП (рис. 2.2). Приклад зовнішнього вигляду моделі АФП (рис. 2.3).

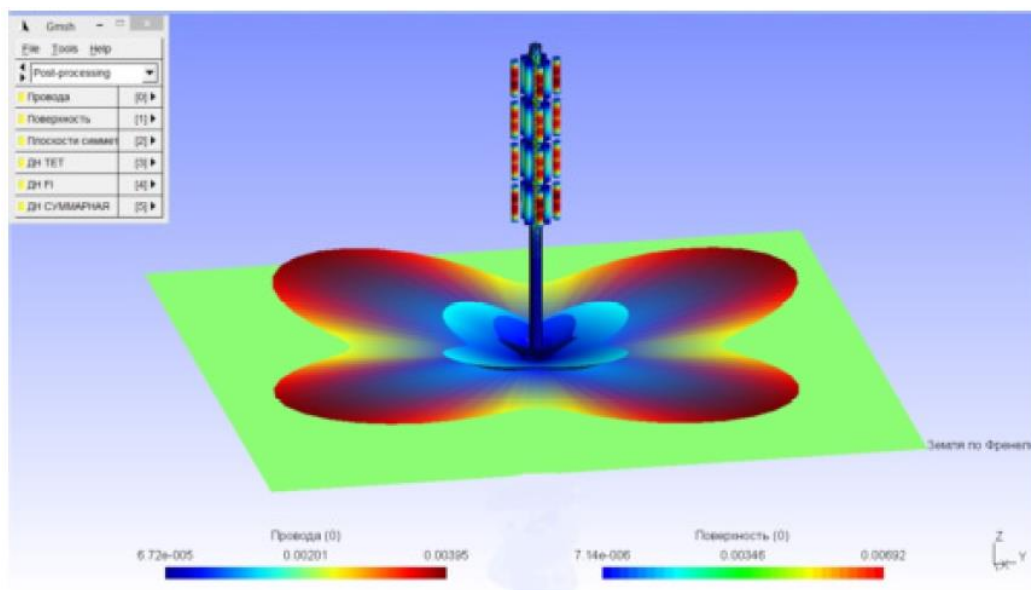


Рис. 2.2. Приклад результатів розрахунків струмів і ДС АФП

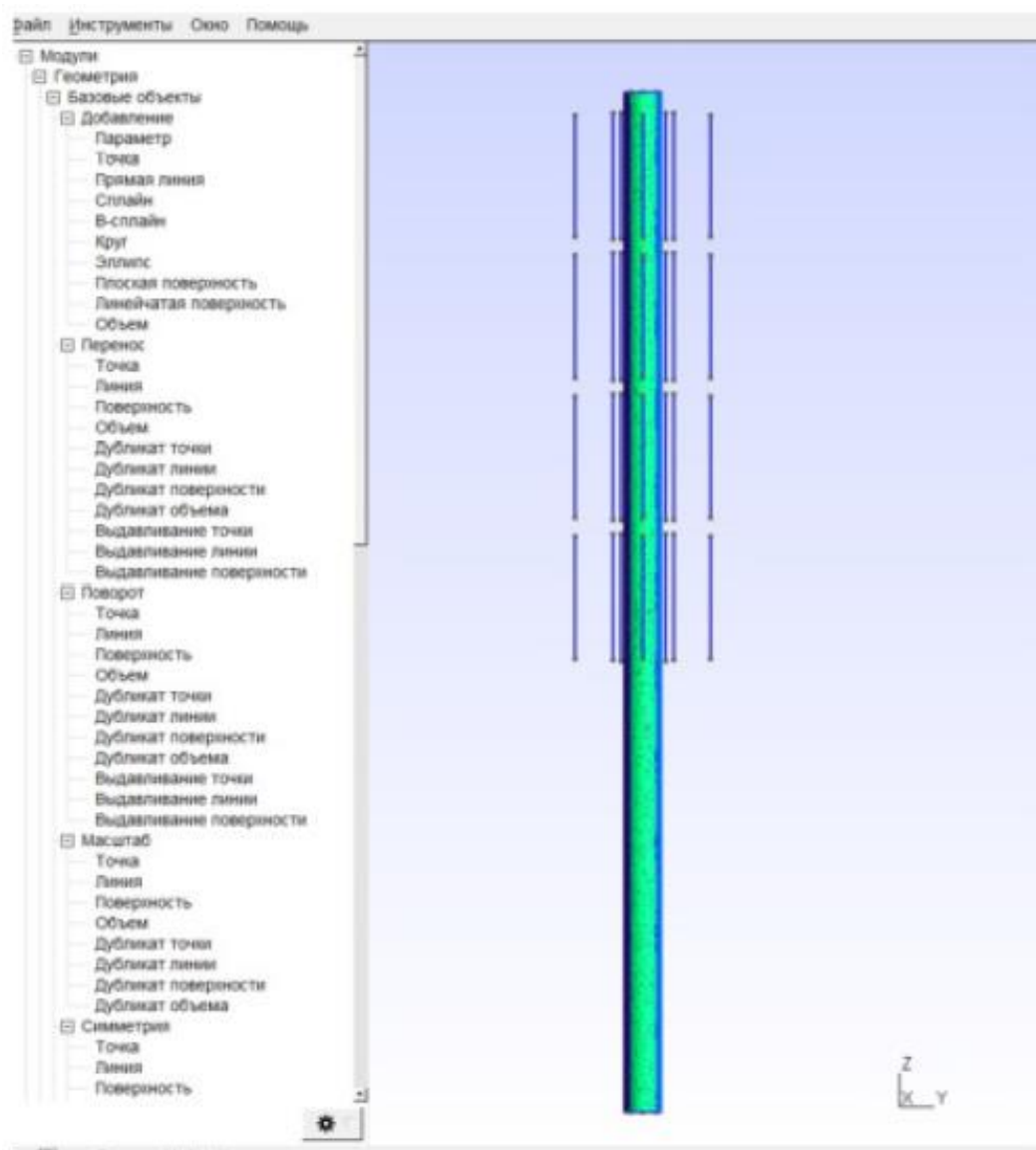


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд моделі АФП

2.2. Аналіз методів математичного моделювання впливу кліматичних і механічних чинників на конструкції антен. Вибір методів і програмного засобу моделювання впливу кліматичних і механічних чинників на конструкції

Як відомо, завдання механіки знаходять рішення за допомогою методів інженерного аналізу, які можуть бути розділені на дві категорії класичних і чисельних методів. Класичні методи в свою чергу діляться на точні (аналітичні) і наближені і, як правило, включають рішення для найпростіших випадків геометрії, умов закріплення і прикладання навантажень.

Аналітичні формулювання завдань механіки для різних конфігурацій антен знаходять рішення за допомогою наближених, але досить загальних, і тому набувають особливо важливе значення в інженерній практиці чисельних методів. Серед використовуваних чисельних методів моделювання можна відзначити варіаційні методи, варіаційно-різницеві методи, методи імітаційного моделювання, статистичні методи, МСЕ та інші [20, 21, 24, 32, 38]. В основі чисельних методів лежить заміна континуальної розрахункової моделі з безперервним розподілом параметрів і нескінченним числом ступенів свободи дискретної моделі, що має скінчене число невідомих [20].

В основі багатьох чисельних методів лежать варіаційні рівняння. Отримується варіаційне рівняння еквівалентно повній системі диференціальних рівнянь теорії пружності і граничним умовам задачі. Наприклад, для випадку просторової задачі теорії пружності в напруженнях рівняння рівноваги, рівняння спільності деформацій і статичні умови на поверхні, також звані граничними умовами, в декартових координатах мають вигляд [5, 25]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2.7)$$

$$\Delta (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = - \left(\frac{1+\mu}{1-\mu} \right) \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} \right), \quad (2.8)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{X} &= \sigma_x \cos(v, x) + \tau_{xy} \cos(v, y) + \tau_{xz} \cos(v, z) \\ \bar{Y} &= \tau_{yx} \cos(v, x) + \sigma_y \cos(v, y) + \tau_{yz} \cos(v, z) \\ \bar{Z} &= \tau_{zx} \cos(v, x) + \tau_{zy} \cos(v, y) + \sigma_z \cos(v, z) \end{aligned} \right\}, \quad (2.9)$$

де $\frac{\delta^2}{\delta x^2} + \frac{\delta^2}{\delta y^2} + \frac{\delta^2}{\delta z^2}$ – оператор Лапласа;

$$\sigma_x(x, y, z), \sigma_y(x, y, z), \sigma_z(x, y, z), \tau_{xy}(x, y, z), \tau_{yz}(x, y, z), \tau_{zx}(x, y, z)$$

– компоненти тензора напружень;

X, Y, Z – проекції об'ємних сил, віднесених до одиниці об'єму;

$\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ – проекції поверхневих сил, віднесених до одиниці об'єму;

μ – коефіцієнт Пуассона;

ν – зовнішня нормаль до поверхні тіла;

$\cos(\nu, x), \cos(\nu, y), \cos(\nu, z)$ – косинуси кутів між зовнішньою нормаллю і осями координат.

При відсутності об'ємних сил – на практиці часто можна знехтувати впливом власної ваги – аналітичне рішення об'ємної задачі зводиться до знаходження компонент тензора напружень.

Варіаційне рівняння вирішується для деякого класу заздалегідь вибраних функцій, що задовольняють кінематичним граничним умовам. Для тіл складної форми вибір апроксимуючих функцій є досить непросте завдання. Тому тіло розбивається на малі, пов'язані між собою області, в межах яких обираються апроксимуючі функції. За таким принципом будуються варіаційно-різницеві методи та методи скінчених елементів [20].

Метод скінчених різниць (метод сіток) – перший чисельний метод, який використовували для розв'язку диференціальних рівнянь в частинних похідних. Теорія методу вивчена досить докладно через важливість практичного значення для чисельного моделювання фізичних процесів, що в підсумку призвело до створення великої кількості модифікацій [17, 30, 38]. Його основна ідея зводиться до наступного. Простір координат покривається сіткою, таким чином область безперервної зміни аргументу замінюється дискретною безліччю точок. Найчастіше використовуються сітки з рівномірним кроком. Винятки становлять випадки, коли досліджуються функції, які сильно різняться швидкістю (похідною) на різних ділянках. Крок

сітки вибирається досить малим, щоб точно описати особливості поведінки функції. Для того щоб знайти значення функції в вузлах, необхідно дискретизувати саме рівняння в частинних похідних, записавши його для інтервалів, з яких складається сітка. Запис рівнянь в частинних похідних в дискретному вигляді призводить до того, що замість диференціального рівняння виходить система алгебраїчних рівнянь, в яких невідомими будуть вже не функції, а значення сіткової функції в вузлах. Далі необхідна реалізація різницевої схеми тим чи іншим чисельним методом; проміжні значення функції виходять інтерполяцією вузлових значень. Істотною перевагою методу є зручність побудови алгоритму і його програмної реалізації, особливо для простих завдань. До недоліків методу відноситься трудність його використання при вирішенні задач про сполученні конструкцій різної розмірності, проблематичність використання на нерегулярних сітках, значне зростання обчислювань при збільшенні розмірності задачі, складність аналітичного дослідження властивостей різницевої схеми [14].

Метод граничних елементів (МГЕ) (метод потенціалу, метод граничних інтегральних рівнянь) з'явився альтернативним підходом у чисельному рішенні крайових задач [12, 19, 17, 26]. Реалізація МГЕ в різних формулюваннях пов'язана з скінченно-елементним розбиттям кордонів даного об'єкту. Таке спрощення досягається шляхом перетворення вихідної системи диференціальних рівнянь теорії пружності в основний об'єкт апроксимації – граничне інтегральне рівняння (ГІР). Таким чином, у порівнянні з методами, які використовують дискретизацію всередині області, знижується порядок розмірності задачі. Для двовимірних задач виходить одновимірне ГІР, для тривимірних задач – двовимірне ГІР по поверхні [19]. Для розв'язку ГІР застосовується граничне розбиття на елементи, в межах яких складові напружено-деформованого стану інтерполюються за допомогою поліноміальної функцій через значення в вузлових точках. З системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) на границі області визначаються переміщення і зусилля, а стан у внутрішніх точках обчислюється з інтегральних рівнянь [12]. Основна перевага МГЕ – точне задоволення вихідного диференціального рівняння всередині розрахункової

області, а також ефективність в разі опису подовжених областей. До недоліків методу відноситься складність застосовуваного математичного апарату, зокрема, обчислення сингулярних інтегралів [15]. В області інженерних рішень існують значні обмеження на форми досліджуваної області з зонами швидкої зміни властивостей. Обмеженість використання методу пов'язана і з тим, що програмні продукти, що використовують МГЕ, в даний час написані в основному для вирішення часткових завдань і призначені лише для певних груп користувачів [17].

МСЕ [7, 18, 19] – один з найпоширеніших в даний час методів розв'язання задач математичної фізики. Стосовно до механіки деформування МСЕ можна розглядати як узагальнення традиційних методів будівельної механіки стрижневих систем стосовно розрахунку континуальних систем. Розрахунок напружено-деформованого стану моделей може виконуватися на основі будь-якого з методів будівельної механіки (методом сил, переміщень або змішаним). З огляду на більш просту алгоритмізацію вирішення найбільш загальноприйнятою виявилася формулювання МСЕ в переміщеннях. Вона пов'язана з варіаційним принципом Лагранжа (принцип мінімуму потенційної енергії системи) і може бути витлумачена як вдосконалена модифікація методу Рітца [19].

Суть МСЕ полягає в заміні вихідної просторової конструкції складної форми на дискретну математичну модель, належним чином відображає фізичну сутність і властивості вихідного виробу. В рамках методу розрахункова область розбивається на скінчене число малих підобластей – скінчених елементів (СЕ). Існує велика кількість різноманітних типів СЕ. Як правило, для плоских задач використовуються трикутні елементи, а для просторових – багатогранники (тетраедри), що дозволяють з дуже великою точністю апроксимувати як завгодно складну форму виробу. Зовнішні навантаження, що діють на конструкцію, прикладаються до вузлів СЕ у вигляді еквівалентних сил. Обмеження на переміщення конструкції (закріплення) також переносяться на кінцеві елементи. Залежно від числа ступенів свободи у вузлі скінченого елемента формується матриця жорсткості скінченого елемента, що описує пружні властивості як окремих елементів, так і всієї системи в цілому. При цьому матриці жорсткості окремих елементів об'єднуються в матрицю жорсткості

всієї системи. В межах елемента переміщення представляють з допомогою суми апроксимуючих функцій [20]. Зв'язок між вузовими зусиллями і переміщеннями здійснюється за допомогою матриці жорсткості по рівнянню:

$$\{F\} = [K] \{\Delta\}, \quad (2.10)$$

де $\{F\}$ – вектор вузовий навантаження;

$[K]$ – матриця коефіцієнтів жорсткості в глобальній системі координат;

$\{\Delta\}$ – вектор невідомих вузових переміщень.

Шуканою роздільною функцією в цьому випадку служить переміщення, напруги вузових точок дискретної схеми, які визначаються шляхом чисельного диференціювання переміщень.

Основна перевага МСЕ полягає в його універсальності. Добре розроблені підходи і методи МСЕ у вигляді готових програмних засобів дозволяють досить точно моделювати геометрію конструкції, будь-які граничні умови, фізичні властивості матеріалів і т. п., тобто можливості вирішувати практично будь-які граничні задачі. МСЕ програє, в першу чергу, через великий час вирішення завдань, який збільшується при подібненні сітки, ускладненні постановки і т. п.

Розглянемо далі основні популярні системи, пропоновані САПР-компаніями на сучасному ринку, що задовольняють потребам в дослідженні антенних систем.

САПР умовно можна розділити на категорії (класи) за рівнем функціональності системи і можливості роботи з великим обсягом даних. Базові або легкі САПР призначені для автоматизованого креслення і створення тривимірних моделей. У зв'язку з інтенсивним розвитком комп'ютерної техніки САПР середнього рівня дають можливість вирішувати переважну кількість проектних завдань: 3D-моделювання, проведення розрахунків різних допоміжних систем, наявність єдиного середовища електронного документообігу та управління даними. САПР верхнього рівня відрізняються від середніх систем архітектурою і алгоритмами роботи, що до-

звояють працювати з великомасштабними виробами-комплексами, та забезпечують повний цикл проектування. Найменування основних комерційних програмних продуктів для розв'язання задач конструювання антенних систем, з урахуванням стану сучасного ринку САПР у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні комерційні програмні продукти для розв'язання задач конструювання антенних систем

Клас/рівень САПР	Продукт	Компанія
Легкий/базовий	AutoCAD	Autodesk, Inc. США
	BricsCAD	Bricsys, Бельгія
	GStarCAD	Great Star Technology Development Co., Ltd, Китай
	NanoCAD	«Нанософт», Москва
Середній	Autodesk Inventor	Autodesk, Inc, США
	SolidWorks	Dassault Systems, Франція
	Solid Edge	Siemens PLM Software, Німеччина
	T-FLEX	АСКОН, Санкт-Петербург
	SCAD Office	Топ Системи, Москва
Високий/верхній	PTC Creo	PTC, Inc.
	NX	Siemens PLM Software, Німеччина
	CATIA	Dassault Systems, Франція
	ANSYS	ANSYS, Inc, США

Відображаючи сформовану практику процесів розробки і проектування антен, САПР прийнято ділити на засоби автоматизації інженерних розрахунків, що включають симуляцію і аналіз фізичних процесів, і засоби проектування, які включають створення конструкторської документації. Скоротити витрати на вартість ліцензій програмних продуктів дозволяє розвинений сектор вільних і відкритих систем на ринку ПЗ [4]. До найбільш поширених альтернативним препаратом для моделювання та аналізу широкого спектра механічних завдань відноситься відкритий кінцево-елементний пакет CalculiX.

Далі розглянемо питання вибору програмного засобу, що застосовується в даній роботі для моделювання антенних систем при вирішенні задач конструкційної міцності. Для цього визначимо основні вимоги, що пред'являються до програ-

много продукту. Перш за все, САПР повинна мати підсистему конструювання з інструментами для оформлення проектної та конструкторської документації відповідно до чинних нормативів, тому що кінцева мета процесу проектування полягає в розробці технічної документації для виготовлення і монтажу об'єкту проектування. Функціонал САПР повинен повною мірою відповідати потребам підприємства і важливості інженерних завдань, які стоять перед користувачами (розрахунками, симуляції та аналізу фізичних процесів). Витрати на придбання засобів автоматизації в процесі виробничого процесу повинні окупитися в більш короткі терміни. САПР повинен успішно розвиватися в своєму сегменті ринку, чим забезпечується його технічна підтримка і оновлення.

Проектування антенних систем не представляє особливих складнощів для машинобудівних САПР як за кількістю деталей, так і по поверхневому моделюванню. Але існує специфіка призначення даної продукції, яка вимагає наявності спеціалізованих CAD/CAE додатків в областях електроніки, телекомунікацій, приладобудування і будівництва. Рішення задач комплексного моделювання антенних систем з урахуванням вимог призначення та стійкості додатково вимагає наявності окремого програмного забезпечення для електродинамічного моделювання. З точки зору інтеграції електродинамічних і механічних симуляторів доцільно використання САПР з відкритим вихідним кодом.

З урахуванням перерахованих вище міркувань в якості основного засобу моделювання при побудові комплексних математичних моделей антен, які враховують вплив кліматичних і механічних чинників, обрано програмний пакет CalculiX.

2.3. Розробка технології моделювання антен на основі комплексних математичних моделей

Зростання функціональної складності сучасних АФП призвело до того, що системний підхід стає все більш необхідним методом дослідження. З теорії системних досліджень відомо, що результуюча поведінка системи може виявитися неоптимальним внаслідок взаємодії між її окремими частинами, навіть якщо кожен її

елемент (підсистема) має оптимальні конструктивні або функціональні характеристики [16]. До підсистем в даному випадку відносять деякі самостійно функціонуючі частини системи. Вузькоспеціальний підхід в аналізі систем часто призводить до неправильної оцінки технічної і економічної ефективності і перевитрати ресурсів [15]. Отже, завдання синтезу антени повинна містити комплексність підходу до класів розв'язуваних завдань, що виникають в процесі проектування.

До антени, як до одного з найбільш важливих компонентів будь-якої системи радіозв'язку, пред'являються високі вимоги до функціональних параметрів (показників призначення) і стійкості в умовах впливу факторів навколишнього середовища. Основоположним етапом проектування антен є проведення електродинамічних розрахунків і експериментальних досліджень. В межах значень параметрів, де-стабілізуючих зовнішніх факторів антена повинна зберігати свою працездатність з можливістю часткового погіршення своїх просторових і імпедансних характеристик. У цьому випадку особливу увагу при проектуванні приділяється механічним характеристикам конструкції антени.

Застосування електродинамічного моделювання та моделювання механічних процесів на етапі проектування дозволяє аналізувати варіанти проектних рішень, визначати працездатність і приймати рішення щодо раціональної зміни складу і структури АФП.

На практиці для дослідження механічних та електродинамічних процесів при розробці антенної техніки застосовуються чисельні методи математичного моделювання, засновані на дискретизації області, займаної конструкцією. Методи, які використовують дво- і тривимірну дискретизацію, дозволяють використовувати єдиний підхід до формалізації геометричної моделі. Це дозволяє об'єднати електродинамічну модель з моделлю механічної системи.

У даній роботі об'єднані механічні та електродинамічні моделі пропонується називати комплексними математичними моделями. Розглянемо далі принципи побудови комплексних математичних моделей антен, які враховують вплив кліматичних і механічних чинників.

Загальна задача синтезу математичних моделей антен, як в теоретичному, так і в практичному плані, буде полягати у взаємопов'язаному вирішенні двох нерозривно пов'язаних між собою в рамках проектування приватних завдань:

- розробка нових конструкцій антен, що забезпечують максимальне значення КП антени в необхідній ширині смуги пропускання, мінімальне значення коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі (КСХН) і необхідні характеристики спрямованості;
- розробка нових конструкцій антен, що забезпечують високий ступінь фізичного захисту від зовнішніх факторів впливу.

Аналіз вітчизняних і зарубіжних розробок [6, 34, 43] показав, що при вирішенні задач проектування антенної техніки в більшості випадків вдаються до класичного підходу, орієнтуючи роботу в роздільному послідовному режимі. У цьому випадку контроль кількох різних груп факторів і обмежень в пошуках оптимального рішення здійснюється на різних етапах проектування (розробка структурної і принципової схем, конструювання, розробка технологічного процесу).

Як електродинамічні моделі антени в даній роботі розглядається сукупність рівнянь (2.1), (2.3), (2.5), (2.6). Алгоритм електродинамічного моделювання антен на етапі проектування включає в себе ряд складових [13]:

1. Аналіз вимог і вихідних даних на проектування, які визначаються тактико-технічним завданням (ТТЗ) (діапазон робочих частот, ширина робочої смуги, параметри збудження, імпедансні характеристики, діаграма спрямованості, геометричні розміри).
2. Вивчення типових конструкцій антен, вибір моделі антени з наявної номенклатури з початковим набором параметрів, формування технічних рішень.
3. Вибір методів електродинамічного аналізу за критерієм використання тих чи інших припущень.
4. Розрахунок електричних характеристик поточного варіанту моделі, аналіз результатів поточного варіанту.
5. Зміна геометричних і електричних параметрів моделі, в т. ч. числа варіюваних параметрів.

6. Повторення моделювання, аналіз результатів оптимізації, рішення про продовження оптимізації моделі.

7. Кінцевий розрахунок. Перевірка адекватності моделі.

8. Звіт за розрахунком, візуалізація результатів (ДС, КС, КСХН та ін.).

Як механічні моделі антен в даній роботі розглядається рівняння (2.7-2.10).
Процес моделювання антени як механічної системи також виконується поетапно:

1. Аналіз вимог і вихідних даних на проектування, які визначаються ТТЗ (геометричні розміри, зовнішні впливові фактори, об'єкт монтажу, спеціальні вимоги).

2. Вивчення типових конструкцій, формування технічних рішень, побудова розрахункової схеми і ескізу конструкції (вибір матеріалів, профілів і розмірів перетинів, способів з'єднання елементів).

3. Визначення величин ВЗФ.

4. Вибір типу впливу (статичне навантаження, модальний аналіз, синусоїдальна вібрація і ін.) і граничних умов, вибір методу вирішення механічних характеристик (аналітичні методи, методи на базі САПР, комбіновані методи).

5. Побудова тривимірної моделі, введення даних конструкції (матеріали, розміри, способи зчленування елементів і т. п.).

6. Нормативна перевірка забезпечення стійкості до ВВФ, аналіз результатів поточного варіанту, вибір варіанта технічного рішення.

7. Розрахунок відгуку системи на вплив.

8. Оптимізаційний цикл (вибір варіанта технічного рішення мінімізації негативних чинників, повторення моделювання впливу зміненої конструкції).

9. Перевірка результатів на виконання вимог ТТЗ, на збіжність.

10. Звіт за розрахунком, візуалізація результатів (напруги, переміщення, власні частоти коливань, параметри теплового стану, коефіцієнти запасу міцності).

З метою зниження трудомісткості робіт пропонується використання комплексних математичних моделей антенних систем. В існуючих умовах комплексний підхід до моделювання допоможе усунути протиріччя між фахівцями різного про-

філю (розробниками антенної техніки і конструкторами), виключити слабе стикування і недостатнє опрацювання математичних моделей, дає можливість інженеру-розробнику краще оцінити реакцію моделі на різні комбінації явищ. На основі проведеного аналізу принципи побудови комплексних математичних моделей антен, які враховують вплив кліматичних і механічних чинників, узагальнено можна зобразити у вигляді технології комплексного математичного моделювання (рис. 2.7), яка, в свою чергу, включена як складова частина в методику проектування АФП.

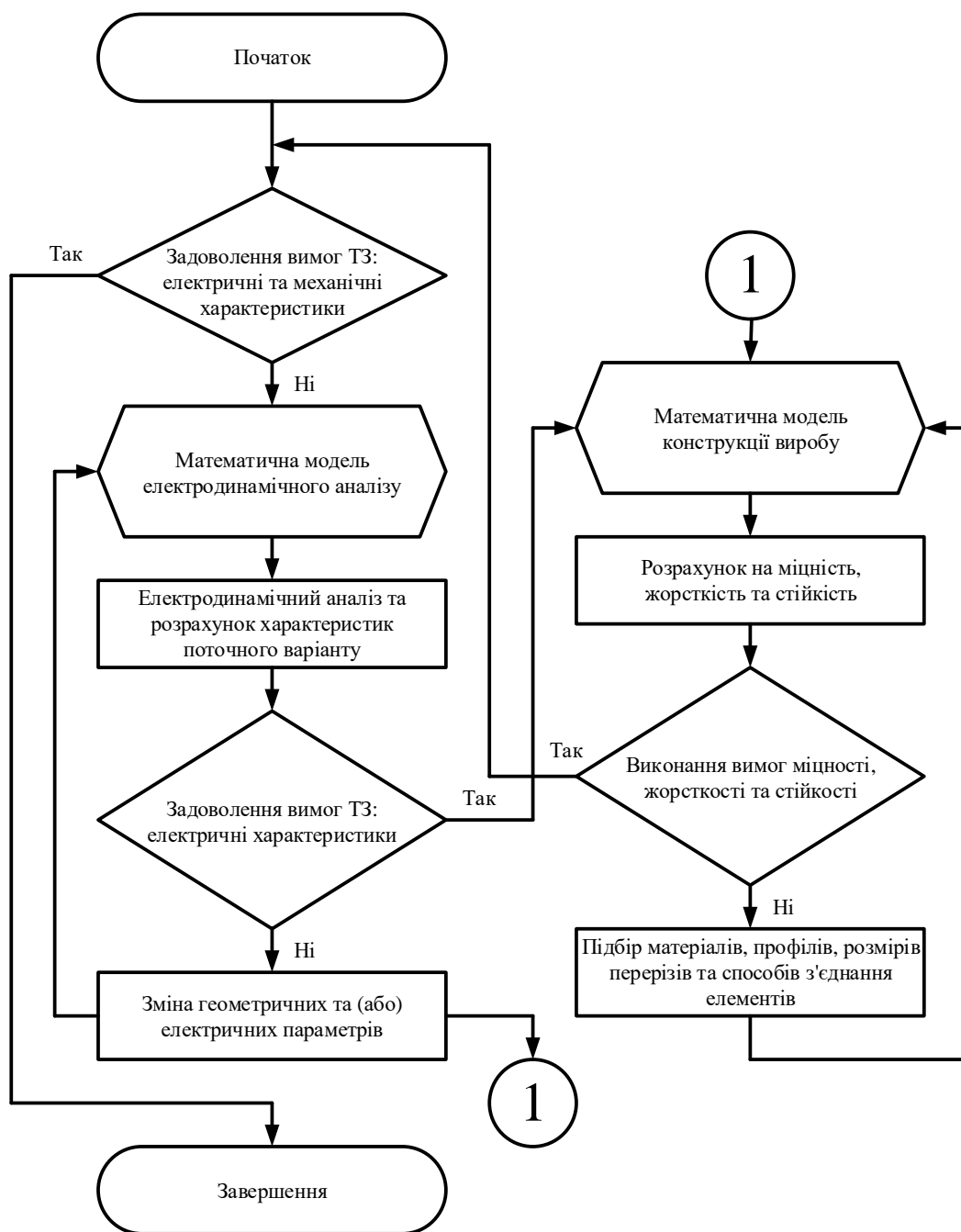


Рис. 2.4. Блок-схема технології комплексного математичного моделювання

На основі описаних вище комплексних математичних моделей АФП розроблено технологію моделювання антенних систем. Пропонована технологія моделювання антенних систем на основі комплексних антенних моделей являє собою сукупність процесів з використанням чисельних методів і комп'ютерних технологій для вирішення задач аналізу і проектування антен, і антенних систем. Розроблена технологія ґрунтується на наступних базових етапах моделювання [162, 184]:

1. Постановка завдання:
 - визначення (формулювання) мети моделювання.
2. Формалізація завдання:
 - побудова концептуальної моделі (укрупненої схеми моделює алгоритму);
 - підготовка вихідних даних.
3. Розробка комп'ютерної моделі:
 - розробка математичної моделі;
 - вибір методу моделювання;
 - вибір засобів моделювання;
 - розробка програмного забезпечення.
4. Комп'ютерний експеримент:
 - перевірка адекватності і коректування моделі;
 - планування машинних експериментів;
 - моделювання на обчислювальному комплексі.
5. Аналіз результатів моделювання.

Розроблена технологія комплексного моделювання як складова частина увійшла в рекурсивну методику проектування антен.

2.4. Висновки до розділу 2

Виконано аналіз, обґрунтування і вибір методів і програмного засобу для проведення електродинамічного моделювання антен. Розглянуто найбільш поширені методи електродинамічного аналізу антен на основі інтегральних рівнянь, а також широко використовуються програмні комплекси аналізу антен на їх основі.

Обґрунтовано вибір ПК Scater в якості основного засобу електродинамічного моделювання.

Виконано аналіз, обґрунтування і вибір методів і програмного засобу для моделювання впливу кліматичних і механічних чинників на конструкції антен. Розглянуто метод скінчених елементів як найбільш широко поширений на сьогоднішній день чисельний метод вирішення механічних завдань. Розглянуто основні використовувані САПР, що задовольняють потребам в дослідженні антенних систем. Обґрунтовано вибір відкритого кінцево елементного САПР CalculiX в якості основного засобу для моделювання та аналізу широкого спектру механічних завдань.

Введено поняття комплексних математичних моделей антен. Описано алгоритми електродинамічного моделювання антен і моделювання антен як механічних систем на етапі їх проектування. Розроблено технологію моделювання антен на основі комплексних математичних моделей. Пропонована технологія являє собою сукупність процесів з використанням чисельних методів для вирішення задач аналізу і проектування антен та антенних систем. Представлені основні етапи технології моделювання.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Розробка та програмна реалізація рекурсивної методики проектування антен

Запропонована технологія комплексного математичного моделювання антен дозволила обґрунтувати рекурсивну методику проектування антен, що забезпечує комплексне врахування і реалізацію вимог призначення та стійкості до зовнішніх впливів.

Традиційно процес проектування антен включає (рис.3.1) основні етапи, за результатами послідовного виконання яких забезпечується реалізація вимог призначення та стійкості.

Вихідним пунктом методики є технічні вимоги на проектування блок 1 див. рис. 3.1. Зі складу цих вимог в даному випадку використовуються ті вимоги призначення і стійкості до зовнішніх впливів, реалізація яких забезпечується прийнятими при проектуванні варіантами рішень принципового, конструктивного і технологічного характеру.

На наступному етапі (блок 2 див. рис. 3.1.) виконується конкретизація і формалізація об'єкту проектування як електродинамічної системи (ідеалізація об'єкту дослідження в постановці електродинамічного аналізу). В рамках цього етапу проектувальником здійснюється вибір типу антени і представлення структури відповідного електродинамічного об'єкту у вигляді математичної моделі (ММ). Для моделювання зазвичай використовується відповідний універсальний або спеціалізований програмний продукт.

На етапі розрахунку електродинамічних характеристик і параметрів математичної моделі антени (блок 3 див. рис. 3.1.), що виконується в раніше обраному програмному середовищі, задаються необхідні додаткові параметри (метод розрахунку, параметри середовища, джерела збудження, частоти і ін.).

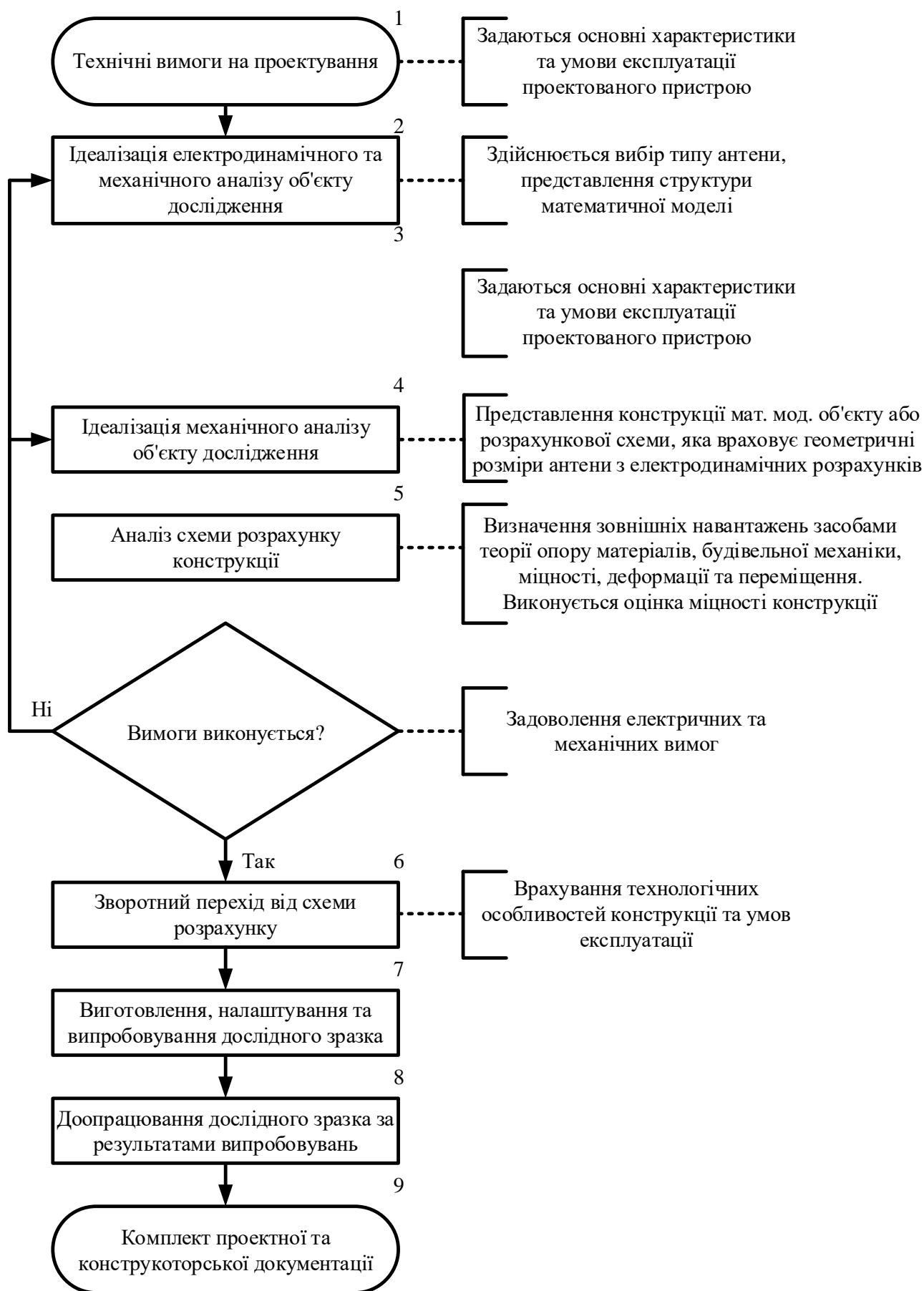


Рис. 3.1. Традиційна методика проектування антен

Крім розрахунку характеристик, зазвичай проводиться їх параметрична оптимізація з метою забезпечення виконання вимог призначення. Метод оптимізації вибирається залежно від складності завдання («ручна» оптимізація методом послідовних наближень, автоматизована оптимізація градієнтними методами, методами випадкового пошуку, координат що обертаються і т. п.). Як варійовані параметри виступають зазвичай геометричні параметри моделі.

Після досягнення необхідних електродинамічних (антенних) характеристик математичної моделі здійснювався перехід до моделювання та розрахунку об'єкту як механічної системи. Першим етапом тут, як і для електродинамічної системи, була ідеалізація об'єкту дослідження в постановці механічного аналізу (блок 4 див. рис. 3.1.). Тут здійснюється вибір типовий або оригінальної механічної схеми, типів елементів і формування математичної моделі (розрахункової схеми) об'єкту, що реалізує геометричні характеристики антени, отримані в результаті електродинамічного розрахунку.

Аналіз розрахункової схеми конструкції (етап 5 4 див. рис. 3.1.) проводиться методами теорії опору матеріалів, будівельної механіки, теорії пружності і ін. При цьому визначаються навантаження, напруження, деформації та зміщення в заданому діапазоні механічних і кліматичних впливів, виконується оцінка міцності, жорсткості і стійкості конструкції.

При виконанні заданих вимог здійснюється зворотний перехід від розрахункової схеми до реальної конструкції (етап 6 4 див. рис. 3.1.) і розробка відповідної конструкторської, проектної та іншої документації. В іншому випадку необхідне коригування механічної або/та електродинамічної моделі.

Заключні етапи (7 ... 9 4 див. рис. 3.1.) в особливих коментарів не потребують.

Суттєвою особливістю традиційної методики проектування антен є роздільне виконання основних операцій виконавцями (групами виконавців) різного профілю, з використанням високотехнологічних робочих місць, оснащених відповідними САПР. Блоки 2 і 3 виконують розробники АФП (фахівці в області електродинаміки і антенної техніки), а блоки 5 і 6 – конструктори і/або проектувальники.

Істотно вдосконалити процес дозволяє використання методики проектування на основі комплексної технології моделювання (див. рис. 3.2).

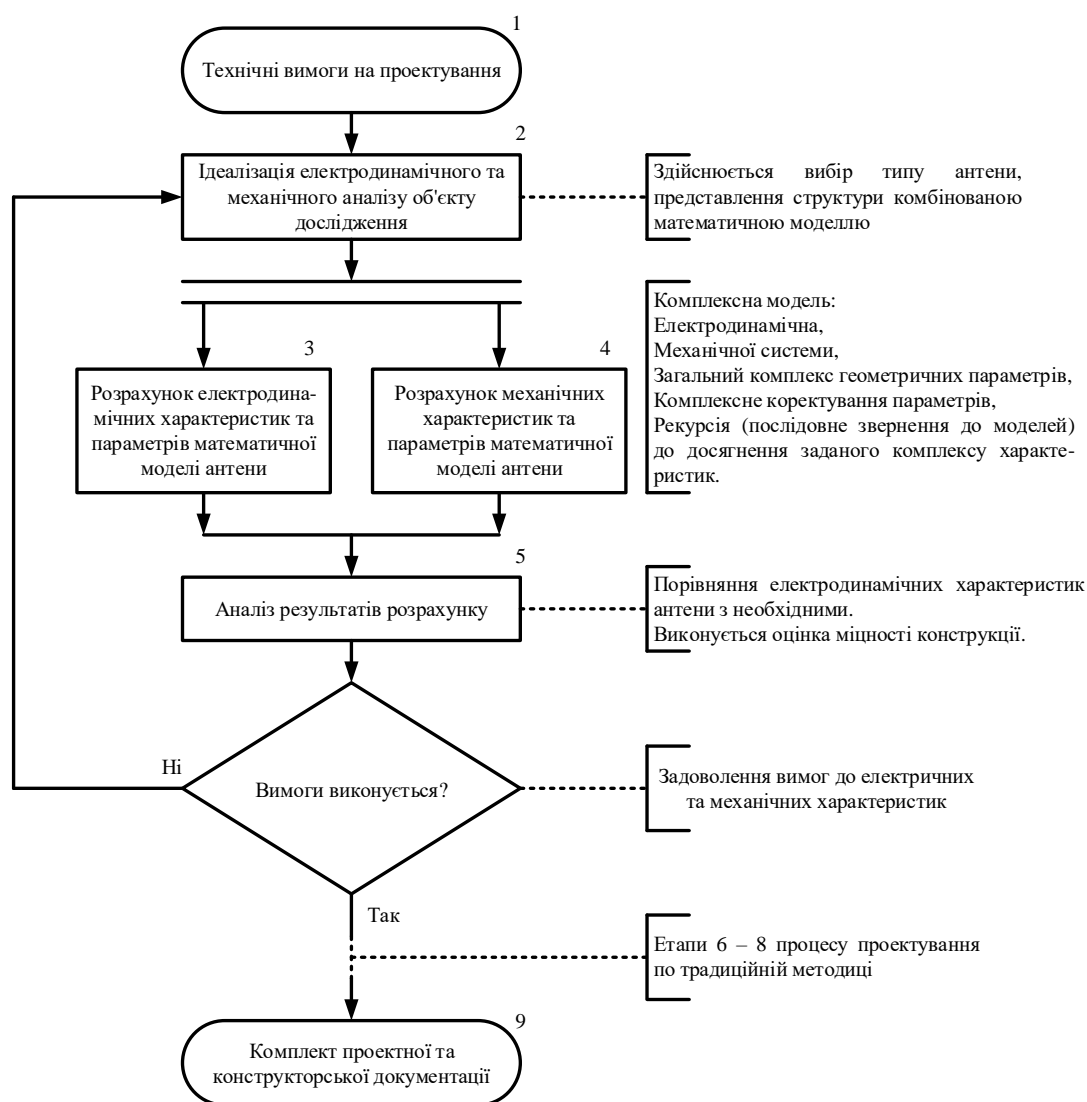


Рис. 3.2. Методика проектування антен на основі комплексної технології моделювання

Однією з характерних особливостей пропонованої методики є використання загальної геометричної форми і структури в рамках єдиної обчислювальної конструкції, що об'єднує електродинамічні і механічні розрахунки. В рамках комплексного завдання не повинно міститися припущень, що обмежують застосування ме-

тодів, що відносяться до різних розділів фізичних задач. В основному це відноситься до дотримання суцільності моделі (відсутність розривів) і правильності застосування і установки граничної умови типу джерело збудження.

На відміну від традиційного підходу (див. рис. 3.1), методика проектування (див. рис. 3.2) передбачає роздільне послідовне (рекурсивне) проектування антени (включаючи АМС) як електродинамічної та механічної систем. Комплексна технологія являє собою загальний модуль з сукупністю геометричних даних, модуль з умовами збудження моделі джерелом напруги і модуль, що описує обмеження на переміщення елементів моделі та додані механічні навантаження.

Методика проектування, що використовує такий підхід, припускає інтерактивне виконання рекурсивної процедури розрахунків із зупинкою по досягненню заданих критеріїв збіжності результатів в середовищі програмних пакетів, які використовують чисельні методи для вирішення задач електродинаміки і механіки.

Рекурсивна методика проектування антен на основі комплексної технології моделювання реалізована за допомогою інтеграції ПК електродинамічного моделювання Scater [16] і вільно поширюваного ПК CalculiX [33]. Як засіб інтеграції зазначених програм був розроблений ПК, який є своєрідним ядром програмної реалізації методики і одночасно забезпечує взаємодію оператора (проектувальника) з усіма ресурсами автоматизованого робочого місця проектувальника (див. рис. 3.3).

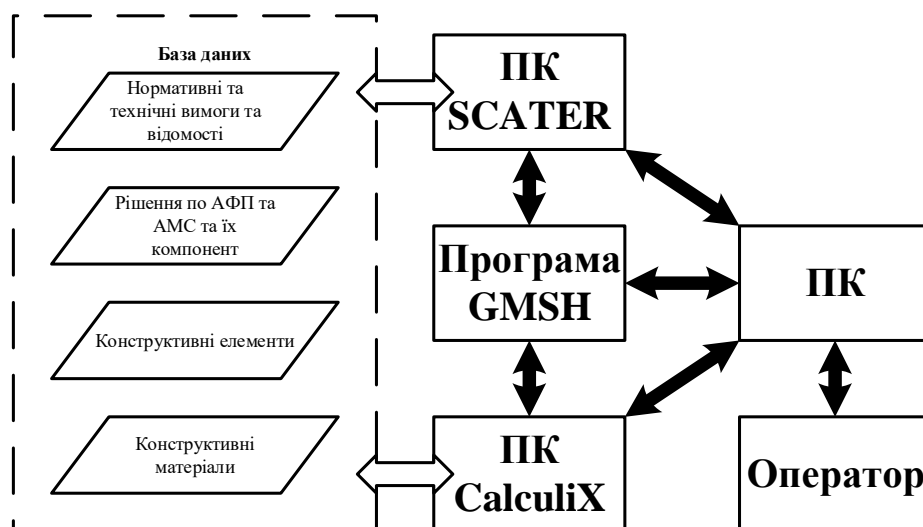


Рис. 3.3. Реалізація рекурсивної методики проектування на ресурсах робочого місця проектувальника

Запропонована і розроблена рекурсивна методика проектування антен заснована на розробленій в розділі 2 технології моделювання. Реалізація зазначеної методики забезпечується за допомогою інтеграції програмних засобів електродинамічного моделювання та моделювання механічних процесів в єдиний обчислювальний комплекс за допомогою спеціально розробленого програмного продукту. Використання методики забезпечує комплексне виконання вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог.

3.2. Дослідження і розробка випромінювачів для антен з урахуванням впливу кліматичних і механічних чинників

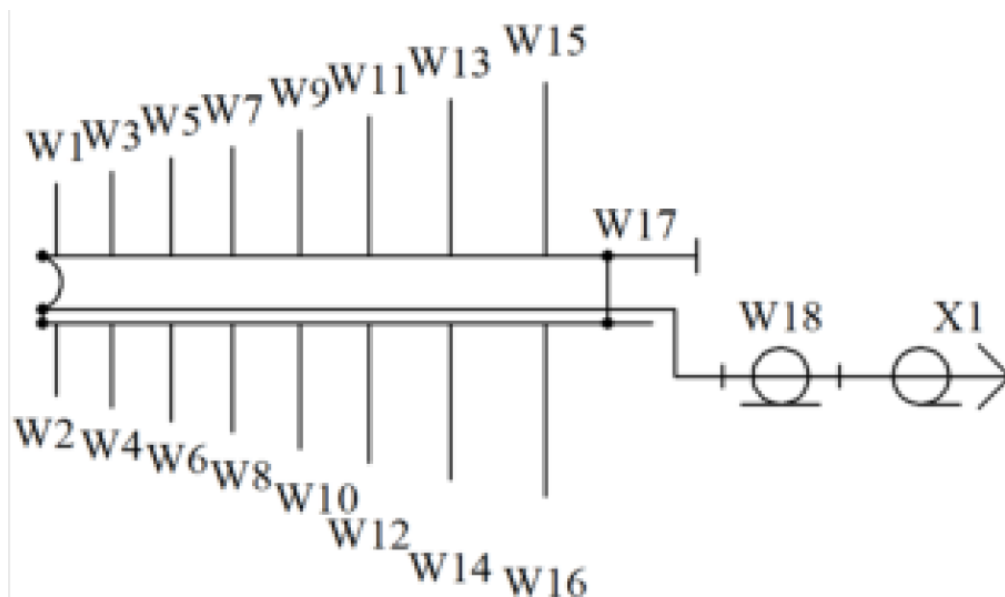
В даному підрозділі на основі запропонованої технології моделювання, що використовує побудову комплексної математичної моделі, і розробленої рекурсивної методики проектування проведені дослідження і розробка різних типів випромінювачів для антен, в ході яких були виявлені переваги розробленої методики проектування та її ефективність.

Як перший приклад реалізації розглянемо проектування випромінювача –антени, що представляє собою вібраторну логоперіодичну антену. Схема електрична принципова логоперіодичної антени (рис. 3.7).

Початкові розрахункові довжини вібраторів: 274 мм, 235 мм, 202 мм, 173 мм, 148 мм, 127 мм, 109 мм, 93 мм. Відстані між осями проєкцій вібраторів уздовж траверси: 112 мм, 96 мм, 82 мм, 71 мм, 61 мм, 52 мм, 45 мм.

Розрахунки механічної стійкості антени проводилися за розробленою рекурсивної методикою, з використанням запропонованого ПК (п.3.1). Облік і визначення величин навантажень і впливів, а також їх поєднань на логоперіодичну антену при цьому відповідав положенням СП 20.13330.2011 [188].

Отримані значення вітрових навантажень на вібратори випромінювача МА для І вітрового району та допоміжних фізичних величин, використаних для їх розрахунку, наведені в табл. 3.1.



W1 ... W16 – вібратори (елементи конструкції), W17 – короткозамикачем, W18 – кабель РК 50-4- 11 ГОСТ 11326.3-79, X1 – вишка СР-50-814ФВ ВР0.364.018 ТУ.

Рис. 3.4. Схема електрична принципова логоперіодичної антени

Таблиця 3.1

Вітрові навантаження на елементи випромінювача антени для I вітрового району та допоміжні фізичні величини (вихідний варіант)

Елемент випромінювача антени	Довжина елемента l_i , м	Невітрова площа елемента A_i , м ²	Вітрове навантаження $P_i^{випр.}$, Н
Вібратор	1	0,274	0,00274
	2	0,235	0,00235
	3	0,202	0,00202
	4	0,173	0,00173
	5	0,148	0,00148
	6	0,127	0,00127
	7	0,109	0,00109
	8	0,093	0,00093
Траверса		0,632	0,02

Аналогічні результати розрахунку ожеледних навантажень для II ожеледного району наведені в табл. 3.2.

Аналіз суми моментів прикладених сил щодо точки закріплення для розрахункових випадків навантаження показав, що найбільш напружений стан конструкція антени відчуває при впливі вітрового і ожеледного навантаження.

Таблиця 3.2

Ожеледні навантаження для II ожеледного району

Елемент випромінювача антени		Довжина елемента l_i , м	Невітрова площа елемента A_i , м ²	Вітрове навантаження $P_i^{ожел.}$, Н
Вібратор	1	0,274	-	30,0
	2	0,235	-	25,7
	3	0,202	-	22,1
	4	0,173	-	18,9
	5	0,148	-	16,2
	6	0,127	-	13,9
	7	0,109	-	11,9
	8	0,093	-	10,2
Траверса	-	0,632	0,222	68,2

В результаті ітеративного процесу перерахунку з варіюванням геометричних параметрів моделі і фізичних характеристик матеріалів моделі було отримано рішення для антени з задовільними електродинамічними і механічними характеристиками. Можливість ефективного застосування показали наступні марки і сортамент матеріалів: пруток АД31 КР10 ГОСТ 21488-97 (розрахунковий опір по [186] $R_y = 54,5$ МПа) – вібратори; труба АД31.КВ 30х3 ГОСТ 18475-82 ($R_y = 62,7$ МПа) – траверса; лист АМг3.М 5 ГОСТ 21631-76 ($R_y = 72,7$ МПа) - фланець; склотекстоліт ВФТ-С ГОСТ 10292-74 ($R_y = 220$ МПа) – діелектричні елементи конструкції. Результати механічних розрахунків антени для всіх можливих поєднань впливів в частині порівняння отриманої надлишкової міцності (металоємності) у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Коефіцієнти запасу по еквівалентних напруженнях при різних поєднаннях навантаження змодельованої конструкції логоперіодичної антени

	Вітрове навантаження, власна вага конструкції	Снігове навантаження, власна вага конструкції	Поєднання вітрового і ожеледного навантаження, власна вага конструкції
Коефіцієнт надійності за навантаженням, γ_f	1,4	1,4	1,3
Розрахунковий коефіцієнт запасу по еквівалентних напруженнях, min	8,24	4,71	1,38

Просторові і імпедансні характеристики антени, отримані в ході електродинамічного аналізу (рис. 3.5, 3.6). Як видно з графіка залежності КСХН від частоти (див. рис. 3.6), прийнятний рівень КСХН забезпечується у всьому розглянутому діапазоні частот. Коефіцієнт підсилення в напрямку максимуму випромінювання має значення 12 дБ.

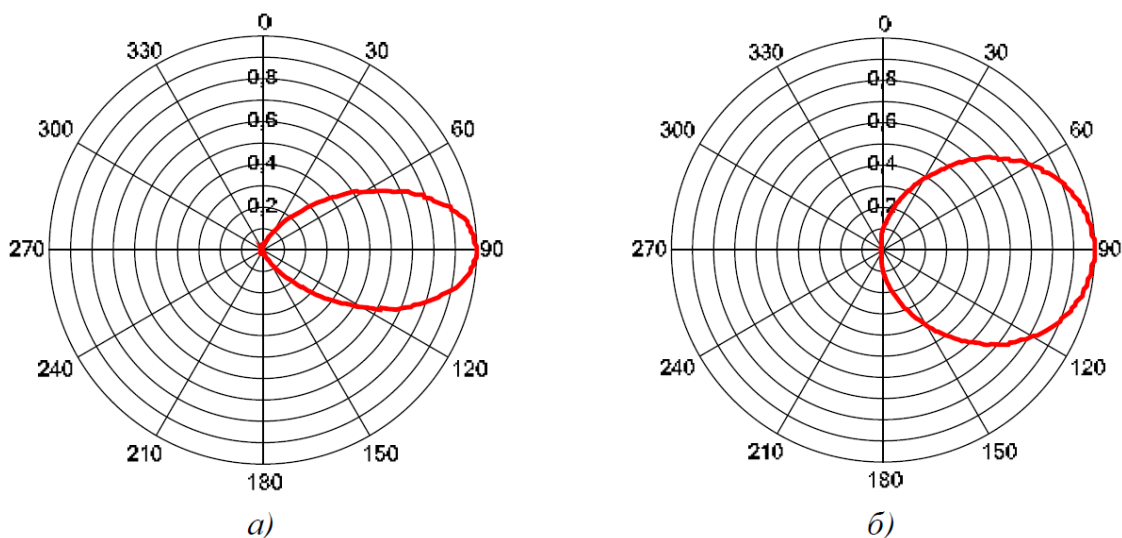


Рис. 3.5. ДС логоперіодичної антени (вихідний варіант): у вертикальній (а) і горизонтальній (б) площинах ($f = 300$ МГц)

Однак, у зв'язку з невиконанням вимоги, пов'язаної з розміщенням даної антени на об'єкті монтажу, були зменшені її лінійні розміри.

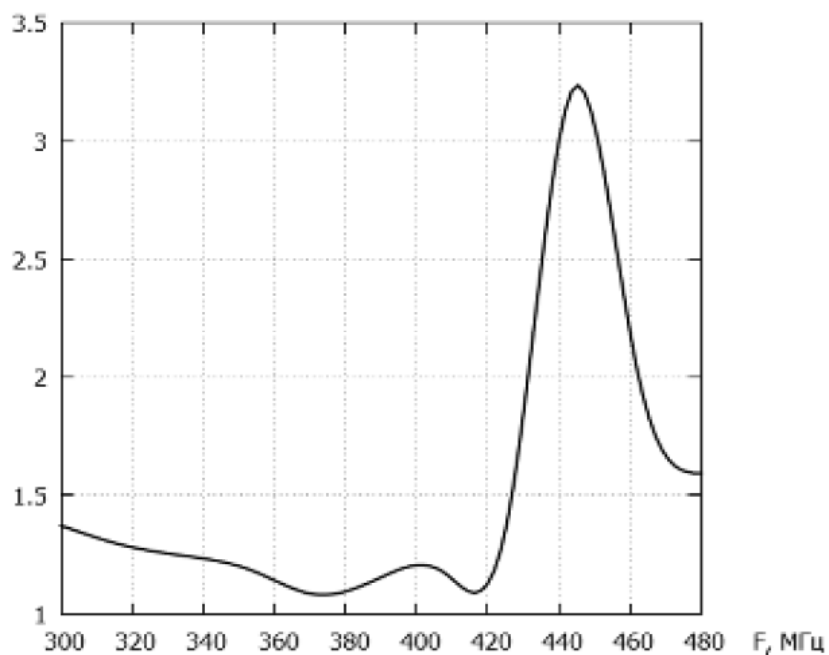


Рис. 3.6. Розрахунковий КСХН логоперіодичної антени (вихідний варіант)

Зменшилася кількість вібраторів ($W1 \dots W14$), скоротилися їх розрахункові довжини (250 мм, 214 мм, 184 мм, 159 мм, 137 мм, 118 мм, 101 мм), а також загальна довжина антени (відстані між осями проекцій вібраторів уздовж траверси: 100 мм, 86 мм, 74 мм, 64 мм, 55 мм, 47 мм). Стало необхідним проведення повторного електродинамічного і механічного аналізу, що підтверджує (або не підтверджує) задоволення вимог до характеристик антени. Навантаження для зміненого варіанту випромінювача антени у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Ожеледні навантаження для II ожеледного району

Елемент випромінювача антени		$P_i^{випр.}$, Н	$P_i^{ожел.}$, Н	$P_{зм.ожел.}^{випр.}$, Н
Вібратор	1	4,1	27,3	172,7
	2	3,5	23,4	
	3	3,0	20,1	
	4	2,6	17,4	
	5	2,2	15,0	
	6	1,9	12,9	
	7	1,6	11,1	
Траверса	-	37,5	59,3	

У нашому випадку електричні характеристики практично не змінилися (рис. 3.7, 3.8), випромінювач антени без обмерзання.

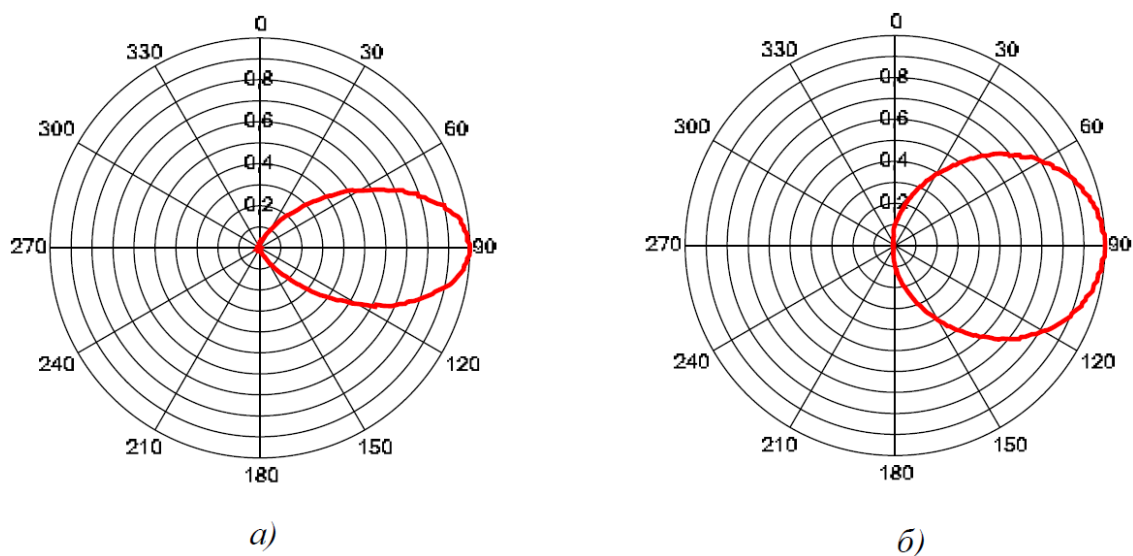


Рис. 3.7. ДС логоперіодичної антени (змінений варіант): у вертикальній (а) і горизонтальній (б) площинах ($f = 300$ МГц)

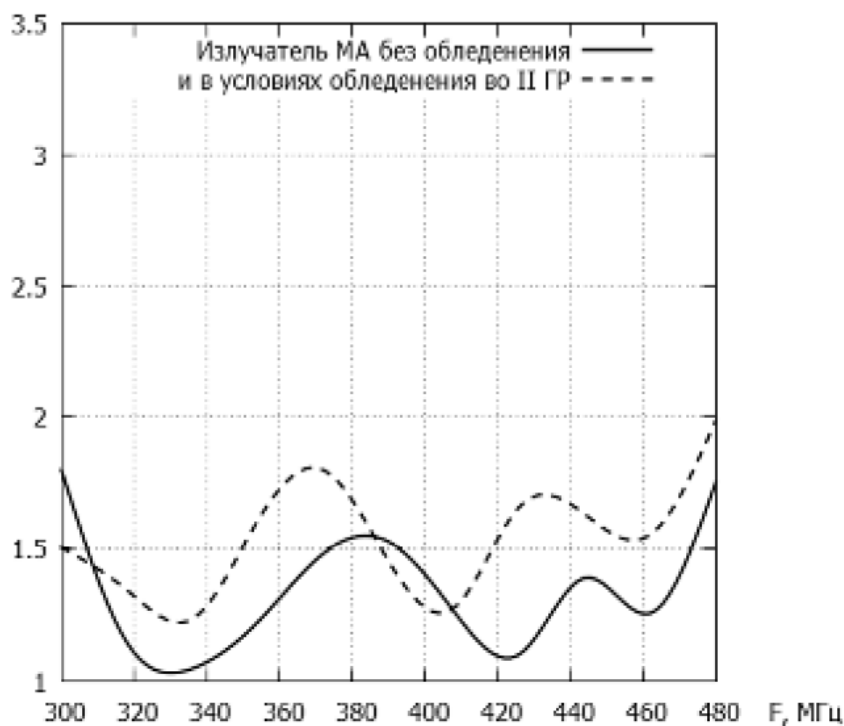


Рис. 3.8. Розрахунковий КСХН логоперіодичної антени (змінений варіант)

Для оцінки достовірності отриманих результатів розрахунок проводився також в середовищі програмних продуктів FEKO [164] і T-FLEX Аналіз [163]. Графічні зображення отриманих амплітудних характеристик спрямованості на частоті 300 МГц (рис. 3.9).

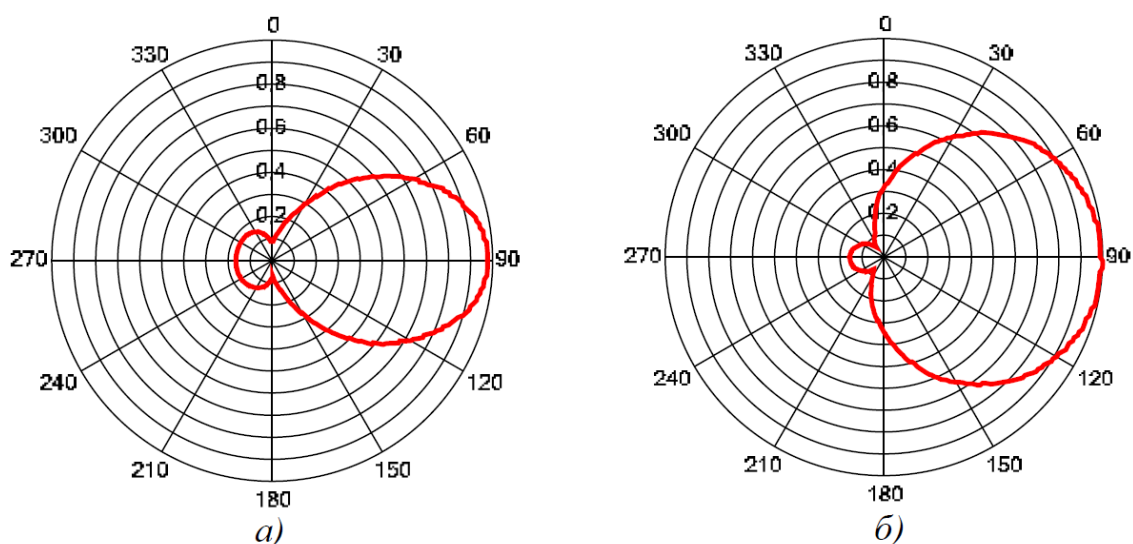


Рис. 3.9. ДС логоперіодичної антени (змінений варіант) в середовищі ПК FEKO: у вертикальній (а) і горизонтальній (б) площинах ($f = 300$ МГц)

Порівняння результатів розрахунків деяких характерних величин електродинамічного і механічного аналізу наведено в таблиці 3.5. При нормі подібності результатів в інженерно-технічних розрахунках 5-10% похибки результатів цілком задовільні.

Таблиця 3.5

Коефіцієнти запасу по еквівалентних напруженнях при різних поєднаннях навантаження змодельованої конструкції логоперіодичної антени

Величина	ПК пропонуваній	ПК FEKO,T-FLEX
Коефіцієнт спрямованої дії	8,95	9,00
Прогин першого найбільшого вібратора, мм	0,19	0,27

Фрагменти вікон візуалізаторів з підсумками розрахунків значень напруг і переміщень (рис. 3.10, 3.11).

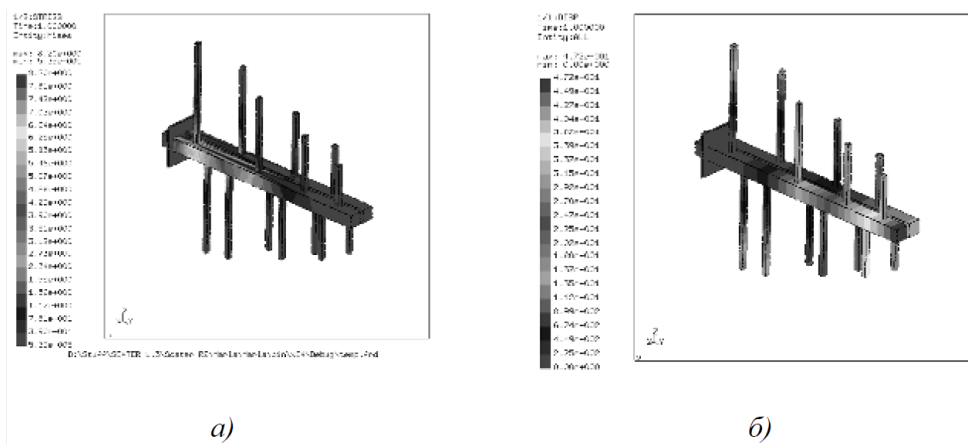


Рис. 3.10. Еквівалентні напруги (а) і переміщення (б) ЛНА в пропонуваному середовищі ПК

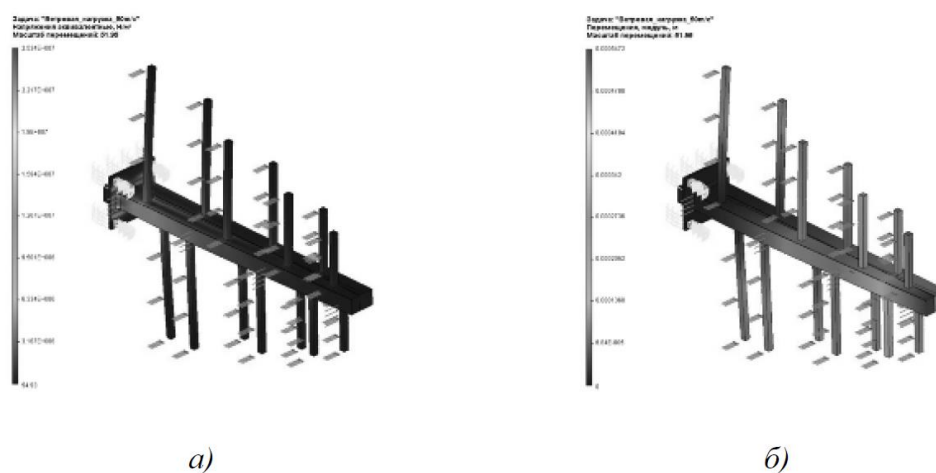


Рис. 3.11. Еквівалентні напруги (а) і переміщення (б) ЛНА в середовищі ПК FEKO,T-FLEX

Умови зледеніння (товщина стінки ожеледі для заданих умов експлуатації може досягати 60 мм) можуть робити істотний вплив на електродинамічні характеристики антени. У зв'язку з цим була виконана ще одна ітерація розрахунків для уточнення параметрів конструкції. Оцінка впливу обмерзання виконувалася введенням в випромінюючу структуру моделі області з відносною діелектричною проникністю льоду на високих частотах $\varepsilon = 3,2$ [9]. Аналіз результатів моделювання (див. рис. 3.8), в умовах обмерзання в II ожеледних районі (ГР)) показав допустимий рівень погіршення характеристик антени, при цьому характеристика спрямованості не змінилася (рис. 3.12).

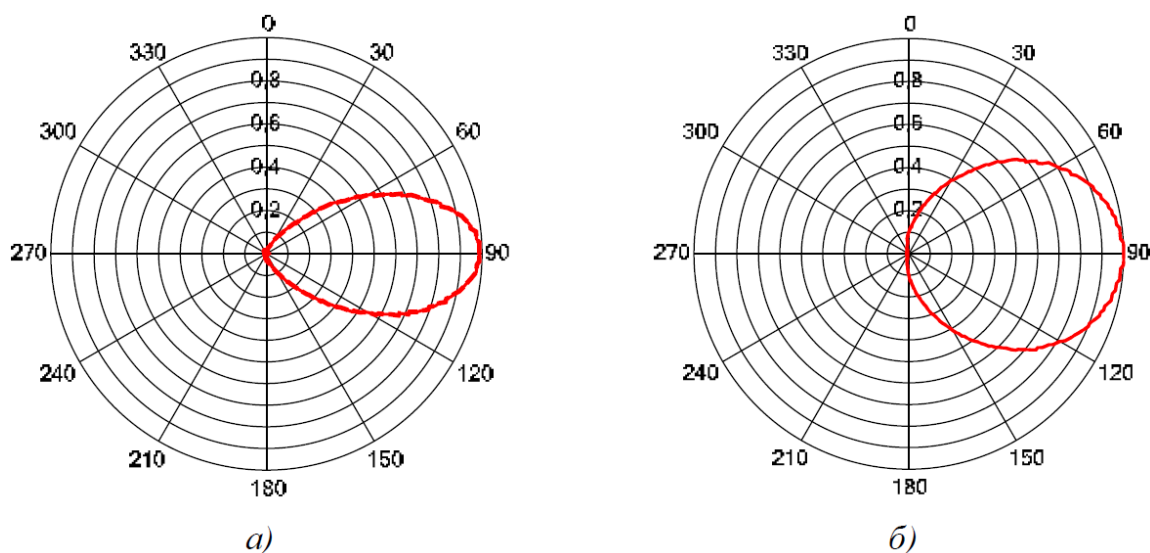


Рис. 3.12. ДС логоперіодичної антени: у вертикальній (а) і горизонтальній (б) площинах ($f = 300$ МГц) без льоду та з льодом

Як другий приклад розглянемо випромінювач, який представляє собою симетричний півхвильовий вібратор. Значення вітрових навантажень на випромінювач для Ia-VII вітрових районів і додаткових для їх розрахунку фізичних величин наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Вітрові навантаження на елементи випромінювача для Іа-VII вітрових районів

Вітровий район	W_0 , кПа	W , Па	$P_{гориз.}$, Н	$P_{вібр.}^{20}$, Н	$Re / 10^5$	$c_{натр.}$	$P_{натр.}$, Н	$P_{вібр.}^{52}$, Н
Іа	0,17	490,4	20,2	8,7	0,74	0,708	1,6	26,0
I	0,23	663,5с	27,3	11,7	0,86	0,708	2,2	35,1
II	0,30	865,5с	35,6	15,3	0,99	0,708	2,8	45,8
III	0,38	1096,0	45,1	19,3	1,10	0,708	3,6	58,0
IV	0,48	1385,0	57,0	24,4	1,25	0,708	4,5	73,3
V	0,60	1731,0	71,2	30,5	1,39	0,708	5,7	91,6
VI	0,73	2106,0	86,7	37,1	1,54	0,649	6,3	111,4
VII	0,85	2452,0	100,9	43,3	1,66	0,561	6,4	129,8

де:

$P_{гориз.}$ – вітрове навантаження до горизонтальному ділянці випромінювача, спрямована по нормалі до його поверхні в плані;

$P_{вібр.}^{20}$ – вітрове навантаження на вібратори (на полицю профілю шириною 20 мм);

$P_{натр.}$ – вітрове навантаження на патрубков;

$P_{вібр.}^{52}$ – вітрове навантаження на вібратори (на полицю профілю шириною 52 мм).

При визначенні аеродинамічних коефіцієнтів лобового опору для різних ділянок конструкції випромінювача використовувалися дані [19].

Чи є розрахунковим випадком вітрове навантаження на вкриті ожеледдю елементи конструкції, визначимо на прикладі розрахунку випромінювача в районі з максимально можливими зовнішніми впливають факторами (VII вітрової та V ожеледних район). За картками районування території України по кліматичних характеристиках. Значення вітрових навантажень на випромінювач для VII вітрової та V ожеледного районів і допоміжних для їх розрахунку фізичних величин наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Вітрові навантаження на елементи випромінювача для Іа-VII вітрових районів

Кліматичний район	w_0 , кПа	w , Па	$P_{гориз.}$, Н	$P_{вібр.}^{20}$, Н	$Re / 10^5$	$c_{напр.}$	$P_{напр.}$, Н	$P_{вібр.}^{52}$, Н
VII вітровий	0,85	2452,0с	100,9	43,3	1,66	0,561	6,4	129,8
VII вітровий V ожеледь	0,2125	612,8с	40,84	34,83	1,66	0,415	2,9	62,5

Розрахунок міцності та деформацій елементів конструкції в середовищі скінчено елементного моделювання пропонуваному ПК Е показав, що навантаження від ожеледі з урахуванням 25% вітрового навантаження для даного кліматичного району не є розрахунковим сполученням.

В результаті оптимізації характеристик розроблюваного випромінювача в пропонуваному ПК були визначені наступні його конструктивні параметри. Лінія передачі і плечі випромінювача утворені у вигляді зігнутого з листа А6. М 3 ГОСТ 21631-76 профілю швелерного перетину 20х52 мм. Плечі вібратора кріпляться до фланця звареним з'єднанням на відстані 40 мм. Шлейф, що виконує функцію узгоджувальної та симетруючої лінії живлення, виконаний з листа АМц. М 1,5 ГОСТ 21631-76. Простір між плечима вібратора ізолюється пластинами з листового скло-текстоліту товщиною 1,5 і 3,0 мм. Вхід випромінювача (розетка СР-75-166ФВ ВРО.364.007 ТУ) захищений патрубком з труби АМг6.КР 40х3 ГОСТ 18475-82. Виліт плеча випромінювача складає 260 мм, розмір симетричного вібратора 520 мм.

Переміщення крайніх точок плечей вібратора від максимального вітрового навантаження склало 0,2 мм; мінімальний коефіцієнт запасу по еквівалентним напруженням – 1,7 (рис. 3.13).

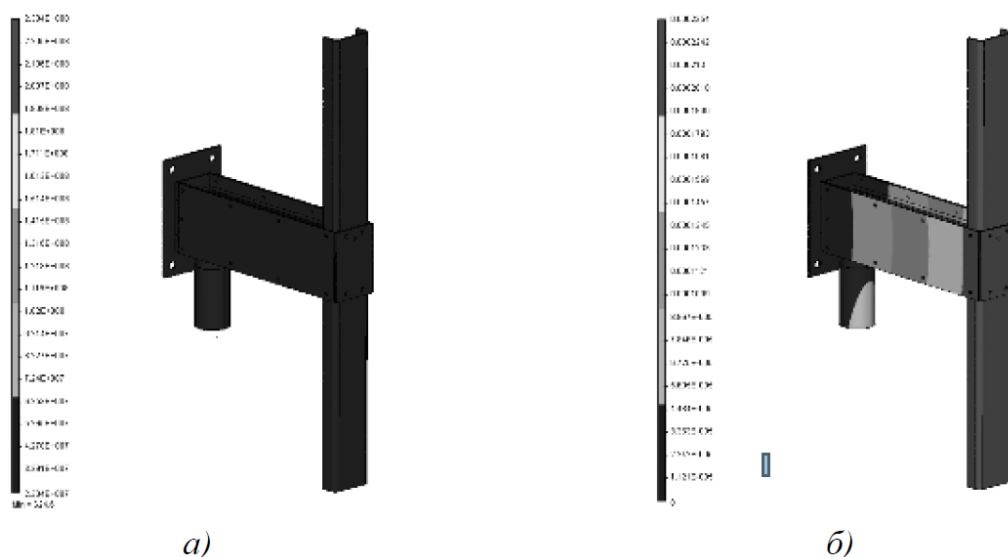


Рис. 3.13. Еквівалентні напруження (а) і переміщення (б) випромінювача в середовищі пропонуваному ПК

Також була проведена оцінка впливу обмерзання з урахуванням умовної товщини стінки ожеледі% при розміщенні випромінювача у всіх виділених ожеледних районах (I - V ГР) (рис. 3.14, 3.15).

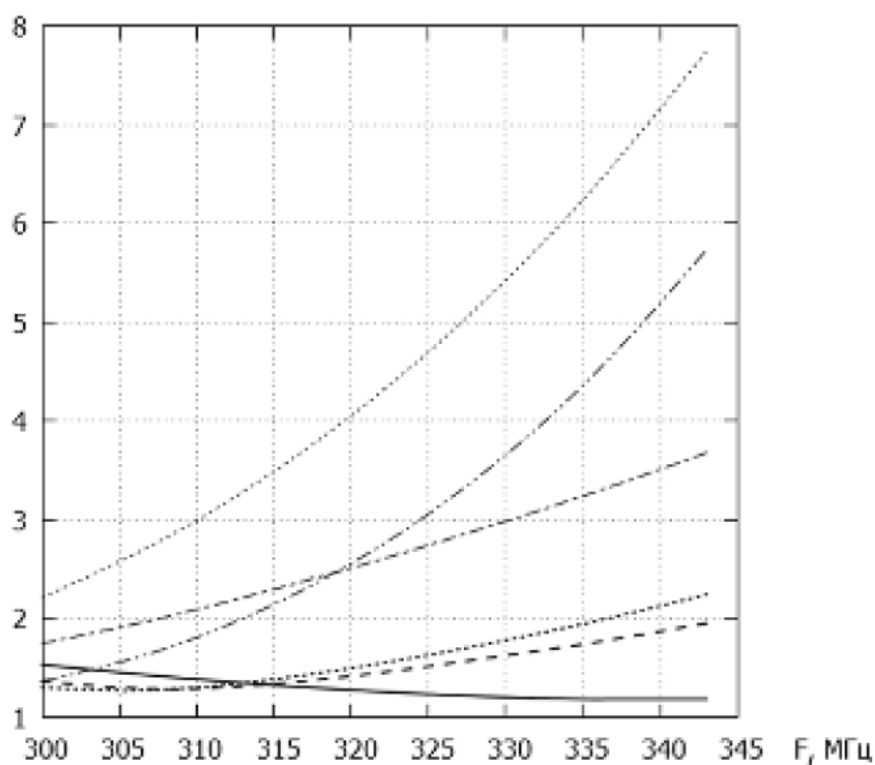


Рис. 3.14. Розрахунковий КСХН випромінювача: -- - без льоду; - - I ГР (b = 3 мм); ··· II ГР (b = 5 мм); - · III ГР (b = 10 мм); - - - IV ГР (b = 15 мм); ··· V ГР (b = 20 мм)

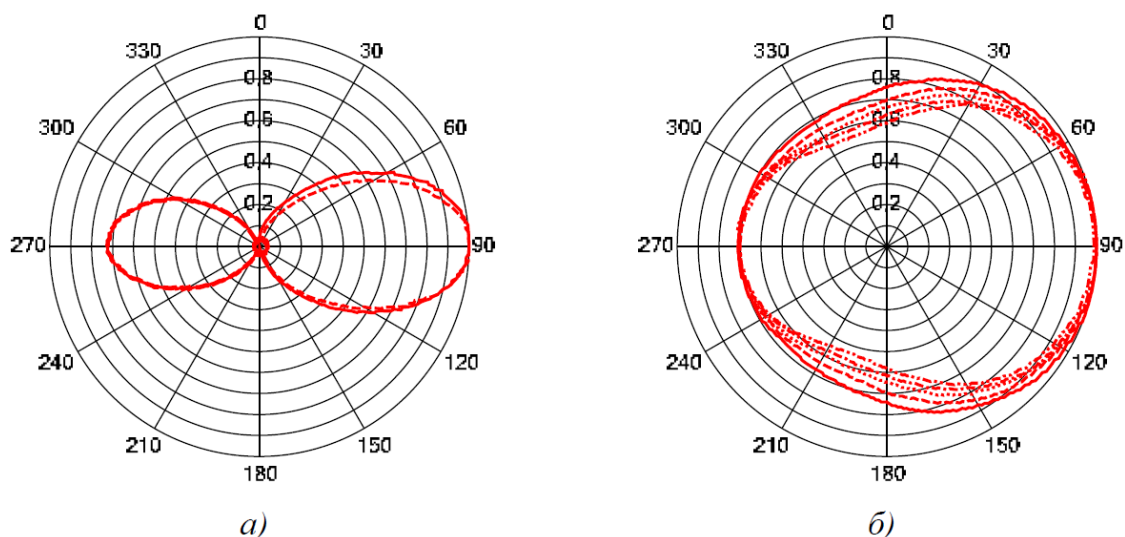


Рис. 3.15. ДС випромінювача ($f = 300$ МГц): --- — без льоду; - - - I гр ($b=3$ мм); · · — II гр ($b=5$ мм); - · - · — III гр ($b=10$ мм); - · - · - · — IV гр ($b=15$ мм); · · · — V гр ($b=20$ мм)

3.3. Дослідження впливу геометричних параметрів конструктивних елементів антен на їх просторові і імпедансні характеристики

На основі розробленої методики було проведено ряд досліджень в області обліку впливу опори на характеристики антен. Деякі приклади розрахунків наведені в цьому підрозділі.

Як перший приклад розглянемо задачу про вплив параметрів близько розташованої опори на характеристики півхвильового вібратора. Геометрія задачі показана на рис. 3.16.

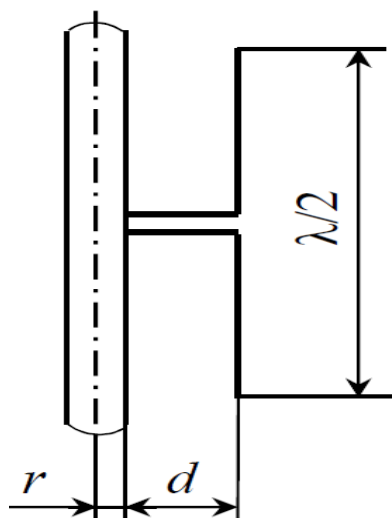


Рис. 3.16. Симетричний вібратор біля опори

Виконано серію розрахунків ДС вібратора в залежності від відстані від вібратора до опори (рис. 3.17) і в залежності від радіуса опори (рису. 3.18). Як видно з представлених результатів, дані параметри істотно впливають на просторові характеристики вібратора.

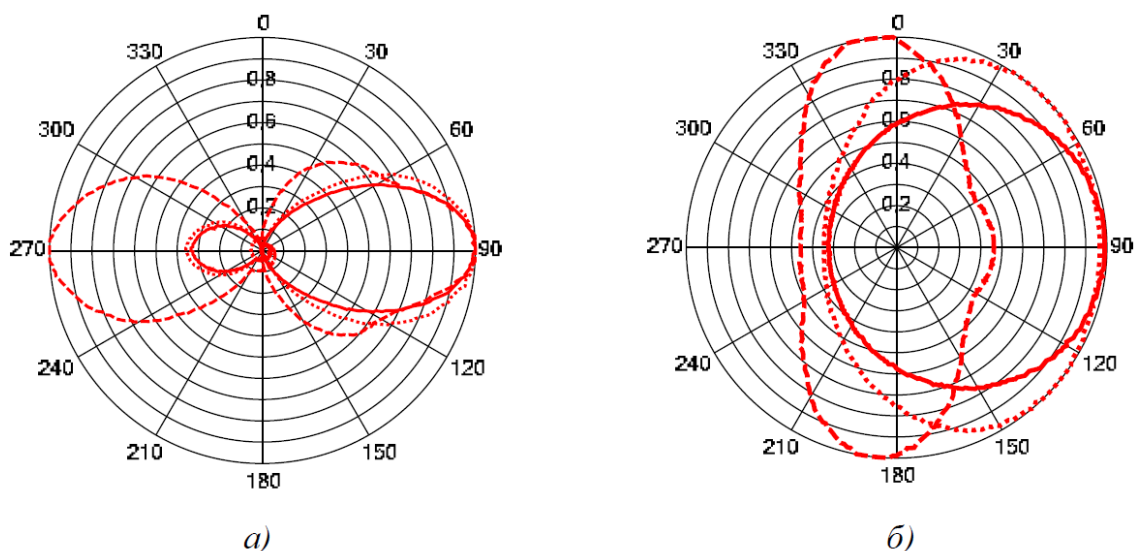


Рис. 3.17. ДС вібратора біля опори: вертикальна площину (а); горизонтальна площина (б); $r = 0,01\lambda$; ----- $d = 0,01\lambda$; \cdots - $d = 0,25\lambda$; - · - - $d = 0,5\lambda$

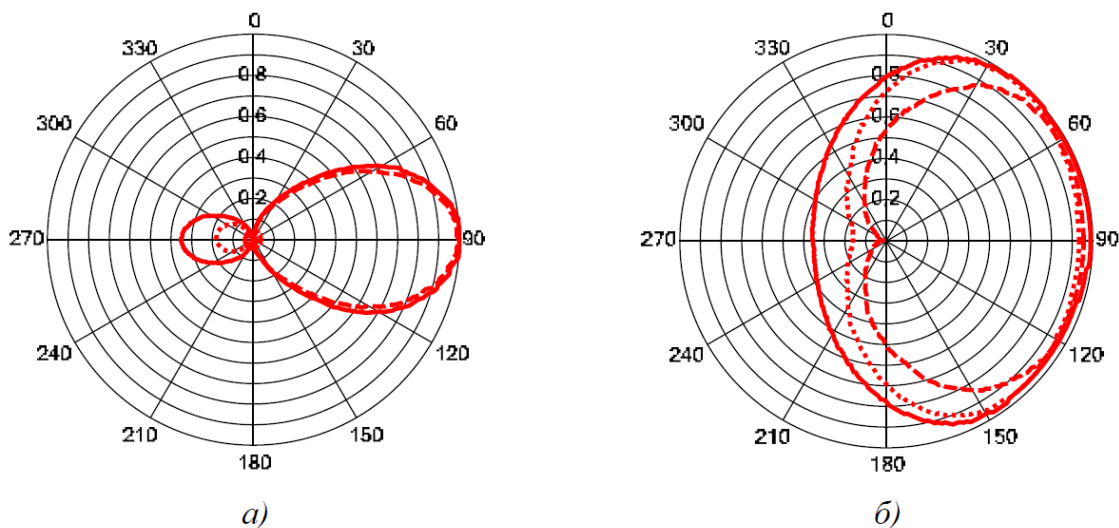


Рис. 3.18. ДС вібратора біля опори: вертикальна площину (а); горизонтальна площина (б); $d = 0,25\lambda$; ----- $r = 0,01\lambda$; \cdots - $r = 0,05\lambda$; - · - - $r = 0,2\lambda$

3.4. Висновки до розділу 3

Розроблено рекурсивний метод проектування антен, заснований на запропонованій технології комплексного математичного моделювання. Реалізація зазначеного методу забезпечується за допомогою інтеграції програмних засобів електродинамічного моделювання та моделювання механічних процесів в єдиному обчислювальному комплексі. Використання методу забезпечує комплексне виконання вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог.

Проведено дослідження та розробку випромінювачів для антен різних типів: вібраторної логоперіодичної антени, симетричного напівхвильового вібратора. Визначено навантаження на елементи антен для наступних розрахункових сполучень навантажень з урахуванням власної ваги конструкції антени: дія вітрового навантаження, одночасну дію вітрового і ожеледного навантажень і дію снігового навантаження. Отримані рішення антен з задовільними електродинамічними і механічними характеристиками. Наведено деякі результати розрахунків. Для оцінки достовірності отриманих результатів розрахунок випромінювача антен проводився також в середовищі програмних продуктів FEKO і T-FLEX.

Виконано ряд досліджень впливу геометричних параметрів конструктивних елементів антен на їх просторові і імпедансні характеристики. Розглянуто завдання про вплив параметрів близько розташованої опори на характеристики півхвильового вібратора; про вплив розтяжок на характеристики двох схрещених (взаємно ортогональних) вібраторів. В результаті проведених досліджень було встановлено, що геометричні параметри конструктивних елементів антен в значній мірі визначають їх просторові і імпедансні характеристики.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Вимоги дотримання норм та правил з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерів та інших пристроїв

Оскільки, важливим чинником якості систем будь-якого класу є безпека користувачів, то необхідним є врахування та дотримання норм та правил з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерів та інших пристроїв. Окрім цього, супровід та налаштування системи проводить спеціаліст, який також відповідає за дотримання техніки безпеки та охорони праці при використанні ПК.

Основним нормативним документом, який регламентує норми і правила експлуатації електронно-обчислювальної техніки є НПАОП 0.00–1.28–10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Правила встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць операторів ЕОМ. Вимоги НПАОП 0.00–1.28–10 є обов'язковими для роботодавців, операторів електронно-обчислювальних машин, операторів комп'ютерного набору, операторів комп'ютерної верстки та працівників інших професій, які у своїй роботі застосовують ЕОМ з ВДТ і ПП [14].

Згідно з [14, 15] площа, на якій розташовується одне робоче місце, облаштоване комп'ютером, повинна становити не менше як 6.0 м^2 , об'ємом не менше як 20 м^3 .

Робочі місця працівників, які використовують ПК, розташовуються на відстані від стін – на 1 м; між собою на відстані 1,7 м, що відповідає вимогам до організації робочих місць, обладнаних комп'ютерами.

З метою запобігання нещасним випадкам та організації охорони праці на виробництві розробляються інструкції з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерної техніки. Дія інструкції поширюється на всі структурні підрозділи даної установи.

До роботи на ПК допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.

Згідно із розробленою інструкцією, відповідальний працівник за охорону праці і техніку безпеки при експлуатації системи підтримки процесу оцінювання якості систем дистанційного навчання, повинен дотримуватись правил внутрішнього трудового розпорядку, не допускати в робочу зону сторонніх осіб, не виконувати вказівок, які суперечать правилам охорони праці та пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.

Для усіх працівників поставлено вимоги щодо вміння надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків, користування первинними засобами пожежогасіння та дотримання правил особистої гігієни.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, які впливають на користувачів ПК є:

- підвищений рівень шуму на робочому місці (від вентиляторів, процесорів та аудіоплат);
- можливе підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінення;
- підвищена напруженість електричного поля;
- прямий та відбитий від екранів блиск; несприятливий розподіл яскравості в полі зору;
- фізичні перевантаження статичної та динамічної дії;
- нервово–психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

При виборі кімнат для розміщення робочих місць ПК враховано ступінь відбиття світла на екранах дисплеїв, яке проходить через вікна і яке може викликати значне осліплення в тих, хто сидить перед ними, особливо влітку та в сонячні дні.

Тому, ПК і оргтехніка розміщені біля стін, які не знаходяться біля вікон або навпроти них.

Оскільки, при незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, і можливі негативні впливи на здоров'я такі, як короткозорість, швидка втомленість, тому всі приміщення мед закладу, які облаштовані робочими місцями з ПК, мають природне і штучне освітлення.

Розміщення робочих місць користувачів ПК повинні відповідати ГОСТ 22269–76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места». Не допускається розташування робочих місць з ПК в підвальних приміщеннях.

Робочі місця з ПК при виконанні творчої роботи, яка потребує значної розумової напруги чи великої концентрації уваги, ізольовано одне від одного перегородкою висотою 1,6 м.

Поверхня підлоги у приміщеннях повинна бути оздоблена керамічною плиткою і бути рівною та зручною для очищення та вологого прибирання.

Штучне освітлення у приміщеннях повинно бути виконано у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовувати над робочими поверхнями у рівномірно–прямокутному порядку. Штучне освітлення забезпечує на робочих місцях з ПК освітленість 300 – 500 лк.

Для запобігання засвітленню екранів ПК прямими світловими потоками лінії світильників розташовані з достатнім бічним зміщенням відносно рядів робочих місць, а також паралельно до світлових отворів. При цьому кожне вікно повинно мати світлорозсіюючі штори з коефіцієнтом відбивання 0,7.

У приміщенні також необхідно забезпечити і природне освітлення, при цьому на кожному вікні закріплені жалюзі з вертикальними ламелями, що регулюються для зменшення прямого попадання сонячного світла на екран комп'ютерів.

Згідно [18] світлових відблисків з клавіатури, екрана та від інших частин ВДТ у напрямку очей оператора не повинно бути. Усі робочі місця з ПК повинні бути розташовані таким чином, щоб в поле зору користувача не потрапляли вікна або

освітлювальні прилади.

З метою мінімізації відблисків від клавіатури та екрану застосовуються спеціальні захисні козирки і джерела штучного світла розташовано паралельно напрямку погляду на екран ПК з обох сторін.

Для запобігання засліпленню користувачів світильники місцевого освітлення молочного кольору. Захисний кут відбивача світильника становить 60° .

Для оздоблення приміщень використовують дифузно–відзеркалюючі матеріали з коефіцієнтами відбиття: стелі – 0,8; стін – 0,5; підлоги – 0,3, що відповідає чинним вимогам [14].

Вміст шкідливих хімічних речовин у приміщеннях з ПК не перевищує концентрацій вказаних у ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

На робочому місці користувачів ПК розміщується монітор, клавіатура, робочий стіл, крісло. При розташуванні елементів робочого місця враховано наступні фактори:

- робочу позу користувача;
- простір для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця;
- можливість огляду простору за межами робочого місця;
- можливість робити записи, розміщення документації і матеріалів, які використовує користувач.

Взаємне розташування елементів робочого місця не заважає виконанню всіх необхідних рухів та переміщень для експлуатації ПК. Отже, при розробці моделей, методів і системи підтримки процесу оцінювання якості систем дистанційного навчання, враховано необхідні вимоги щодо охорони праці при використанні електронно–обчислювальної техніки і забезпечено умови для зручної та ефективної роботи працівників.

4.2. Організація управління цивільним захистом на підприємстві (цеху)

Об'єкт господарювання (підприємство, установа, організація) є основною ланкою в системі ЦЗ держави. На об'єкті, де зосереджені людські і матеріальні ресурси, здійснюються економічні і захисні заходи. У відповідності до законодавства, керівництво підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і підпорядкування забезпечує своїх працівників засобами індивідуального та колективного захисту, місцем в захисних спорудах, організовує здійснення заходів по евакуації, створює сили для ліквідації наслідків НС та забезпечує їх готовність, виконує інші заходи з ЦЗ і несе пов'язані з цим матеріальні та фінансові витрати. Власники потенційно небезпечних об'єктів відповідають також за оповіщення і захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах. Начальником ЦЗ об'єкту є керівник. Він несе особисту відповідальність за організацію і стан цивільного захисту об'єкту, керує діями органів і сил ЦЗ при проведенні рятувальних робіт на ньому. Заступники начальника ЦЗ об'єкту допомагають йому з проблемами евакуації, матеріально-технічного постачання, інженерно-технічного забезпечення тощо. Органом повсякденного управління ЦЗ є відділ (сектор) з питань НС та ЦЗ, який організовує і забезпечує повсякденне керівництво виконанням завдань ЦЗ на об'єкті. Для підготовки та втілення в життя заходів з окремих напрямків створюються служби зв'язку і оповіщення, сховищ і укриттів, протипожежної охорони, охорони громадського порядку, медичної допомоги, протирадіаційного і протихімічного захисту, аварійно-технічного й матеріально-технічного забезпечення та інші. Начальниками служб призначаються начальники установ, відділів, лабораторій, на базі яких вони утворюються. Служба зв'язку та оповіщення створюється на базі вузла зв'язку об'єкту. Головні завдання служби – забезпечити своєчасне оповіщення керівного складу та службовців про загрозу аварії, катастрофи, стихійного лиха, нападу противника; організувати зв'язок і підтримувати його в стані постійної готовності. Протипожежна служба створюється на базі підрозділів відомчої пожежної охорони. Служба розробляє протипожежні профілактичні заходи і контролює їх виконання; організовує локалізацію і гасіння пожежі.

Медична служба формується на базі медичного пункту, поліклініки об'єкту. На неї покладається організація проведення санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, надання медичної допомоги потерпілим та евакуація їх у лікувальні установи, медичне обслуговування робітників, службовців і членів їхніх сімей в місцях розосередження. Служба охорони громадського порядку створюється на базі підрозділів відомчої охорони. Її завдання ~ організація і забезпечення надійної охорони об'єкта, громадського порядку в умовах НС, при ліквідації наслідків аварії, стихійного лиха, а також у воєнний час. Служба протирадіаційного і протихімічного захисту організовується на базі хімічної лабораторії чи цеху. На неї покладається розробка та здійснення заходів щодо захисту робітників і службовців, джерел водозабезпечення, радіаційного і хімічного спостереження, проведення заходів з ліквідації радіаційного і хімічного зараження та здійснення дозиметричного контролю. Служба сховищ та укриттів організовується на базі відділу капітального будівництва, житлово-комунального відділу. Вона розробляє план захисту робітників, службовців та їх сімей з використанням сховищ та укриттів, забезпечує їх готовність та правильну експлуатацію. Аварійно-технічна служба створюється на базі виробничо-технічного відділу або відділу головного механіка. Служба розробляє та здійснює попереджувальні заходи, що підвищують стійкість основних споруд, інженерних мереж та комунікацій в надзвичайних ситуаціях, організовує проведення робіт по ліквідації і локалізації аварії на комунально-енергетичних мережах. Служба матеріально-технічного забезпечення створюється на базі відділу матеріально-технічного забезпечення об'єкта. Вона організовує своєчасне забезпечення формувань усіма засобами оснащення, постачання продуктів харчування і предметів першої необхідності робітників та службовців на об'єкті й у місцях розосередження, ремонт техніки і майна. Транспортна служба створюється на базі транспортного відділу, гаражу об'єкту. Вона розробляє і здійснює заходи з забезпечення перевезень, пов'язаних із розосередженням працівників та доставкою їх до місця роботи, проведення рятувальних робіт. Кожна служба створює, забезпечує, готує формування служби (команди, групи, ланки) і керує ними при виконанні робіт. Формування загального призначення - рятувальні загони (команди, групи,

ланки), зведені рятувальні загони (команди) підпорядковані безпосередньо начальнику ЦЗ об'єкту. Кожне з них має свою структуру і можливості. Наприклад: Зведена рятувальна команда (ЗРК) у своєму складі має підрозділи різного призначення, такі, як ланка зв'язку і розвідки, дві рятувальні групи, група механізації, санітарна дружина тощо. ЗРК може самостійно виконувати основні рятувальні та інші невідкладні роботи (РНР) в осередку ураження.

Заходи радіаційної безпеки використовуються на підприємствах і, як правило, потребують проведення цілого комплексу різноманітних захисних заходів, що залежать від конкретних умов роботи з джерелами іонізуючих випромінювань і, передусім, від типу джерела випромінювання.

Закритими називаються будь-які джерела іонізуючого випромінювання, устрій яких виключає проникнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище при передбачених умовах їхньої експлуатації і зносу.

Це – гамма-установки різноманітного призначення; нейтронні, бета і гамма-випромінювачі; рентгенівські апарати і прискорювачі заряджених часток. При роботі з закритими джерелами іонізуючого випромінювання персонал може зазнавати тільки зовнішнього опромінення.

Захисні заходи, що дозволяють забезпечити умови радіаційної безпеки при застосуванні закритих джерел, ґрунтуються на знанні законів поширення іонізуючих випромінювань і характеру їхньої взаємодії з речовиною. Головні з них такі:

- доза зовнішнього опромінення пропорційна інтенсивності випромінювання і часу впливу;
- інтенсивність випромінювання від точкового джерела пропорційна кількості квантів або часток, що виникають у ньому за одиницю часу, і обернено пропорційна квадрату відстані;
- інтенсивність випромінювання може бути зменшена за допомогою екранів.

З цих закономірностей випливають основні принципи забезпечення радіаційної безпеки:

- зменшення потужності джерел до мінімальних розмірів (“захист кількістю”);
- скорочення часу роботи з джерелом (“захист часом”);
- збільшення відстані від джерел до людей (“захист відстанню”);
- екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання (“захист екраном”).

Найкращими для захисту від рентгенівського і гамма-випромінювання є свинець і уран. Проте, з огляду на високу вартість свинцю й урану, Можуть застосовуватися екрани з більш легких матеріалів – просвинцьованого скла, заліза, бетону, залізобетону і навіть води. У цьому випадку, природно, еквівалентна товща екрану значно збільшується.

Для захисту від бета-потоків доцільно застосовувати екрани, які виготовлені з матеріалів з малим атомним числом. У цьому випадку вихід гальмівного випромінювання невеликий. Звичайно як екрани для захисту від бета-випромінювань використовують органічне скло, пластмасу, алюміній.

Відкритими називаються такі джерела іонізуючого випромінювання, при використанні яких можливе потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Джерелами аерозолів можуть бути не тільки виконувані виробничі операції, але і забруднені радіоактивними речовинами робочі поверхні, спецодяг і взуття.

Основні принципи захисту:

- використання принципів захисту, що застосовуються при роботі з джерелами випромінювання у закритому виді;
- герметизація виробничого устаткування з метою ізоляції процесів, що можуть стати джерелами надходження радіоактивних речовин у зовнішнє середовище;
- заходи планувального характеру;
- застосування санітарно-технічних засобів і устаткування, використання спеціальних захисних матеріалів;

- використання засобів індивідуального захисту і санітарної обробки персоналу;
 - дотримання правил особистої гігієни;
 - очищення від радіоактивних забруднень поверхонь будівельних конструкцій, апаратури і засобів індивідуального захисту;
- використання радіопротекторів (біологічний захист). Висновки

Радіація на сьогодні є чи не найнебезпечнішим фактором впливу не тільки на людину, але й на усі живі організми на планеті. Неконтрольовані ядерні реакції, ядерні війни та ряд інших можливих результатів людської діяльності, пов'язаних із радіацією негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Дотримання рекомендацій щодо захисту персоналу від впливу радіації, які проаналізовано вище, дає змогу мінімізувати ризики, пов'язані із загибеллю великої кількості людей, а також зберегти їхнє здоров'я.

4.3. Висновки до розділу 4

Зроблено аналіз вимог які пред'являються до користувачі комп'ютерів, для безпечної роботи.

Проведено аналіз організації цивільного захисту на підприємстві.

ВИСНОВКИ

В даній роботі отримані наступні основні результати.

1) Розроблено розширену класифікацію антен з урахуванням особливостей конструкцій і умов розміщення, що включає класифікацію за типом антенного пристрою, по розміщенню на об'єкті, за ступенем заводської готовності, по стійкості до рівня негативного кліматичного впливу, за особливими умовами розміщення майданчика будівництва та монтажу. Класифікація розроблена на основі аналізу основних технічних, конструктивних і технологічних рішень антен, а також методів і технологій їх конструювання та проектування.

2) Розроблено технологію моделювання антен на основі комплексних математичних моделей, що описують антену і антено-щоголові спорудження одночасно як електродинамічну і механічну систему, заснована на інтеграції методів моделювання антен як електродинамічних і механічних систем і формуванні єдиної бази вимог і вихідних даних. Технологія розроблена на основі аналізу, обґрунтування і вибору методів і програмних засобів для проведення електродинамічного моделювання антен і моделювання впливу кліматичних і механічних чинників на конструкції антен. В якості основного засобу електродинамічного моделювання обґрунтований вибір ПК Scater. В якості основного засобу для моделювання та аналізу механічних завдань обґрунтований вибір САПР CalculiX.

3) Розроблено рекурсивний метод проектування антен, заснована на розробленій технології моделювання та інтеграції частинних програмних засобів в єдиний обчислювальний комплекс, що забезпечує комплексне виконання вимог призначення, стійкості до зовнішніх впливів, конструктивних і технологічних вимог.

4) Отримано нові результати досліджень впливу кліматичних і механічних чинників на електричні характеристики антен, а також характеристики міцності антен та антено-щоголових споруд. Проведено дослідження та розробка рішень випромінювачів для антен різних типів: вібраторної логіперіодичної антени, симетричного напівхвильового вібратора і вертикального несиметричного четвертьхвильового вібратора з противагами. Запропоновано конструктивно-технологічні рішення

опори для АФП, що дозволяють знизити матеріальні і фінансові витрати на проектування, монтаж, пусконаладжувальні роботи та експлуатацію. Виконано ряд досліджень впливу геометричних параметрів конструктивних елементів антен на їх просторові і імпедансні характеристики.

Таким чином, в дисертаційній роботі були вирішені всі поставлені завдання.

Напрямки подальших досліджень в інтересах вдосконалення антенних систем (комплексів), а також методів і засобів їх проектування з урахуванням різноманітних пропонованих вимог визначаються потребами в розширенні номенклатури типів проєктованих антен і оточуючих розсіювачів, класів одночасно пропонованих вимог, видів конструкційних матеріалів. Представляється перспективним поширення застосованих в роботі підходів на смужкові та апертурні антени, в тому числі – з діелектричними і композитними укріпленнями. У число вимог, одночасний комплексний облік яких необхідний, повинні увійти вимоги радіоелектронного захисту, надійності та інші. На основі результатів цих досліджень повинна бути створена досить універсальна автоматизована система проектування антенно-фідерних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нефедов, Е.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е.И. Нефедов. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
2. Нефедов, Е.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е.И. Нефедов. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с.
3. Нефедов, Е.И. Устройства СВЧ и антенны: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е.И. Нефедов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 384 с.
4. Драбкин, А.Л. Антенны / А.Л. Драбкин, Е.Б. Коренберг. – М.: Радио и связь, 1992. – 144 с.: ил.
5. Лобкова, Л.М. Проектирование антенн и устройств СВЧ: учеб. пособие для вузов / Л.М. Лобкова. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 178 с.: ил.
6. Фельд, Я.Н. Антенно-фидерные устройства. Ч. 2 / Я.Н. Фельд, Л.С. Бененсон. – М.: Изд-во ВВИА им. Н.Е. Жуковского, – 1959. – 551 с.
7. Фрадин, А.З. Антенно-фидерные устройства: учеб. пособие для вузов связи / А.З. Фрадин. – М.: Связь, 1977. – 440 с.: ил.
8. Воскресенский, Д.И. Устройства СВЧ и антенны / Д.И. Воскресенский [и др.]; под ред. Д.И. Воскресенского. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2006. – 376 с.: ил.
9. Марков, Г.Т. Антенны: учеб. для студентов радиотехнических специальностей вузов / Г.Т. Марков, Д.М. Сазонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.: ил.
10. Никитин, В.А. «100 и одна» конструкция антенн: телевизионных, радиовещательных, СИ-БИ-радиосвязи / В.А. Никитин, Б.Б. Соколов, В.В. Щербаков. – М.: Символ-Р, 1996. – 167 с.: ил.
11. Драбкин, А.Л. Антенны / А.Л. Драбкин, Е.Б. Коренберг. – М.: Радио и связь, 1992. – 144 с.: ил.

12. Ротхаммель, К. Энциклопедия современных антенн: пер. с нем. / К. Ротхаммель, А. Кришке. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 416 с.: ил.

13. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: учеб. пособие для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.: ил.

14. Машков, Ю.К. Конструкционные пластмассы и полимерные композиционные материалы: учеб. пособие / Ю.К. Машков, М.Ю. Байбарацкая, Б.В. Григоревский. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – 129 с.

15. Нещерет А.М. Применение сингулярных интегральных уравнений для анализа микрополосковых антенн, расположенных на киральной структуре из левовинтовых спиралей / А.М. Нещерет // Радиотехника. – 2016. – № 4. – С.118-123.

16. Деньдобренко, Б.Н. Автоматизация конструирования РЭА: учебник для вузов / Б.Н. Деньдобренко. – М.: Высш. школа, 1980. – 384 с.: ил.

17. Кротова, Е.И. Основы конструирования и технологии производства РЭС: учеб. пособие / Е.И. Кротова; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 192 с.

18. Молотов, П.Е. Конструирование РЭС: учеб. пособие / П.Е. Молотов, А.Н. Чекмарев. – Куйбышев: КуАИ, 1991. – 92 с.

19. Парфенов, Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов / Е.М. Парфенов [и др.]. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.: ил.

20. Аронов, В.Ю. К вопросу применения параллельных вычислений в задачах антенной электродинамики и проектирования антенно-фидерных устройств / В.Ю. Аронов [и др.] // Вестник СОНИИР. – 2009. – № 3(25). – С. 4-9.

21. Бузов, А.Л. Принципы построения автоматизированных систем проектирования антенно-фидерного оборудования / А.Л. Бузов [и др.] // Вестник СОНИИР. – 2004. – № 2(6). – С. 27-31.

22. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. / О. Зенкевич – М: Мир, 1975. – 544 с.

23. Носов, Н.А. Аналитическое проектирование приемопередающих антенных систем для малых подвижных объектов с учетом специфики мест установки / Н.А. Носов // Вестник СОНИИР. – 2008. – № 3(21). – С. 75-80.

24. Зыков, А.Г. Алгоритмы конструкторского проектирования ЭВМ: учеб. пособие / А.Г. Зыков, В.И. Поляков. – СПб.: Университет ИТМО, 2014. – 136 с.

25. Красильников, А.Д. Проблемы и перспективы технологий разработки антенн радиосвязи и телерадиовещания / А.Д. Красильников // Вестник СОНИИР. – 2005. – № 1(7). – С. 4-8.

26. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.: ил.

27. Минкин, М.А. Моделирование радиоизлучающего кабеля в рамках расчетов внутриобъектовой электромагнитной совместимости радиосредств сложных комплексов тоннельной подвижной радиосвязи / М.А. Минкин, С.С. Телегин // Радиотехника. – 2016. – № 4. – С.113-117.

28. Бондарь, Е.В. Проектирование антенных решеток для размещения на существующих опорах / Е.И. Бондарь, И.В. Бондарь, Н.А. Носов // Электросвязь. – 2011. – № 8. – С.34-37.

29. Бузов, А.Л. Выбор оптимального варианта АФУ с круговой ДН с учетом ее эксплуатационных характеристик / А.Л. Бузов, А.Д. Красильников, Н.А. Носов // Вестник СОНИИР. – 2008. – № 2(20). – С.44-49.

30. Бузова, М.А. Оптимизация размещения вновь вводимого антенно- фидерного устройства на действующих локальных стационарных объектах с различными видами радиосвязи / М.А. Бузова [и др.] // XV международная научно- техническая конференция: Радиолокация, навигация, связь. – Т.1. – Воронеж, 2009. – С.496-502.

31. Бузова, М.А. Оптимизация размещения большого количества антенн подвижной радиосвязи на верхних площадках башен / М.А. Бузова [и др.] // Вестник СОНИИР. – 2006. – № 1(11). – С.33-37.

32. Носов, Н.А. Аналитическое проектирование приемопередающих антенных систем для малых подвижных объектов с учетом специфики мест установки / Н.А. Носов // Вестник СОНИИР. – 2008. – № 3(21). – С. 75-80.

33. Колояров, И.А. Вопросы обеспечения термостабильности характеристик антенн, размещаемых в диэлектрических укрытиях / И.А. Колояров // Труды НИИР. – 2011. – № 4. – С. 25-32.
34. Гуткин, Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л.С. Гуткин. – М.: Советское радио, 1975. – 368 с.
35. Дегтярев, Ю.И. Методы оптимизации / Ю.И. Дегтярев. – М.: Советское радио, 1980. – 272 с.
36. Фиакко, А. Нелинейное программирование. Методы последовательной безусловной минимизации / А. Фиакко, Г. Мак-Кормик; пер. с англ. Б.И. Алейникова, М.М. Берковича; под ред. Е.Г. Гольдштейна. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Мир, 1972. – 240 с.
37. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов / К.И. Билибин [и др.]; под общ. ред. В.А. Шахнова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.: ил.
38. Ненашев, А.П. Конструирование радиоэлектронных средств: учебник для радиотехнич. спец. вузов / А.П. Ненашев. – М.: Высш. школа, 1990. – 432 с.: ил.
39. Савицкий, Г.А. Расчет антенных сооружений. (Физические основы) / Г.А. Савицкий. – М.: Связь, 1978. – 152 с.
40. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Сов. радио, 1980. – 480 с.: ил.
41. Максимов, Е.Ю. Методика построения матрицы жесткости конструкции микрополосковой антенны / Е.Ю. Максимов // Изв. высших учебных заведений. Поволжский регион. Техн. науки. – 2010. – № 4 (16). – с. 81-88.
42. Шишулин, Д.Н. Исследование влияния вибраций на параболическую антенну в ANSYS / Д.Н. Шишулин // Труды междунар. симпозиума надежность и качество (Пенза). – 2013. – Т. 1. – С. 231-232.

ДОДАТКИ

Додаток А Копія тез конференції “Інформаційні моделі, системи та технології”

УДК 621.391

С.В. Новосад, Б.І. Яворський, докт. техн. наук, професор, В.В. Лесів, А.С. Марценюк
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МЕТОД АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

S.V. Novosad, B.I. Yavorskyi, Dr., Prof., V.V Lesiv, A.S. Marcenjuk

ADAPTIVE FILTERING METHOD OF DIGITAL PROCESSING OF COMPLEX RADAR SIGNALS

Зростання функціональної складності сучасних антено-фідерних пристроїв АФП призвело до того, що системний підхід стає все більш необхідним методом дослідження. З теорії системних досліджень відомо, що результуюча поведінка системи може виявитися неоптимальним внаслідок взаємодії між її окремими частинами, навіть якщо кожен її елемент (підсистема) має оптимальні конструктивні або функціональні характеристики. До підсистем в даному випадку відносять деякі самостійно функціонуючі частини системи. Вузькоспеціальний підхід в аналізі систем часто призводить до неправильної оцінки технічної і економічної ефективності і перевитрати ресурсів. Отже, завдання синтезу антени повинна містити комплексність підходу до класів розв'язуваних завдань, що виникають в процесі проектування.

До антени, як до одного з найбільш важливих компонентів будь-якої системи радіозв'язку, пред'являються високі вимоги до функціональних параметрів (показників призначення) і стійкості в умовах впливу факторів навколишнього середовища. Основоположним етапом проектування антен є проведення електродинамічних розрахунків і експериментальних досліджень. В межах значень параметрів, дестабілізуючих зовнішніх факторів антена повинна зберігати свою працездатність з можливістю часткового погіршення своїх просторових і імпедансних характеристик. У цьому випадку особлива увага при проектуванні приділяється механічним характеристикам конструкції антени.

Застосування електродинамічного моделювання та моделювання механічних процесів на етапі проектування дозволяє аналізувати варіанти проектних рішень, визначати працездатність і приймати рішення щодо раціонального зміни складу і структури АФП.

На практиці для дослідження механічних та електродинамічних процесів при розробці антен застосовуються чисельні методи математичного моделювання, засновані на дискретизації області, яку займає конструкція. Методи, які застосовують, що використовують дво- і тривимірну дискретизацію, дозволяють використовувати єдиний підхід до формалізації геометричної моделі. Це дозволяє об'єднати електродинамічну модель з моделлю механічної системи.

Об'єднані механічні та електродинамічні моделі пропонуються називати комплексними математичними моделями.

Загальна задача синтезу математичних моделей антен, як в теоретичному, так і в практичному плані, буде полягати у взаємному вирішенні двох нерозривно пов'язаних між собою в рамках проектування приватних завдань:

- розробка нових конструкцій антен, що забезпечують максимальне значення коефіцієнту підсилення антени в необхідній ширині смуги пропускання, мінімальне значення коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі (КСХН) і необхідні характеристики спрямованості;
- розробка нових конструкцій антен, що забезпечують високий ступінь фізичного захисту від зовнішніх факторів, що впливають.

При вирішенні задач проектування антен в більшості випадків вдаються до класичного підходу, орієнтуючи роботу в роздільному послідовному режимі. У цьому випадку контроль кількох різних груп факторів і обмежень в пошуках оптимального рішення здійснюється на різних

етапах проектування (розробка структурної і принципової схем, конструювання, розробка технологічного процесу).

На основі описаних комплексних математичних моделей АФП розроблена технологія моделювання антенних систем. Пропонована технологія моделювання антенних систем радіозв'язку на основі комплексних антенних моделей являє собою сукупність процесів з використанням чисельних методів і комп'ютерних технологій для вирішення задач аналізу і проектування антен, і антенних систем. Розроблена технологія ґрунтується на наступних базових етапах моделювання:

1. Постановка завдання:
 - визначення (формулювання) мети моделювання.
2. Формалізація завдання:
 - побудова концептуальної моделі (укрупненої схеми моделює алгоритму);
 - підготовка вихідних даних.
3. Розробка комп'ютерної моделі:
 - розробка математичної моделі;
 - вибір методу моделювання;
 - вибір засобів моделювання;
 - розробка програмного забезпечення.
4. Комп'ютерний експеримент:
 - перевірка адекватності і коректування моделі;
 - планування машинних експериментів;
 - моделювання на обчислювальному комплексі.
5. Аналіз результатів моделювання.

Література

1. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: учеб. пособие для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. – 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.: ил.
2. Аронов, В.Ю. Использование комбинированных методов электродинамического анализа для решения задач обеспечения электромагнитной совместимости, информационной и электромагнитной безопасности / В.Ю. Аронов [и др.] // Радиотехника. – 2016. – № 4. – С. 64-68.
3. Баженов, В.А. Численные методы в механике / В.А. Баженов, А.Ф. Дашенко, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса: Стандарт, 2004. – 564 с.: ил.
4. Бондарь, Е.В. Методика проектирования малогабаритных ДКМВ антенно-фидерных устройств / Е.В. Бондарь, Л.С. Казанский, В.В. Юдин // Вестник СОНИИР. – 2008. – № 3(21). – С. 23-27.
5. Ротхаммель, К. Энциклопедия современных антенн: пер. с нем. / К. Ротхаммель, А. Кришке. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 416 с.: ил.