

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра автоматизованих систем
моніторингу навколишнього середовища

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Розробка моделі формування зони спостереження метеорологічної
радіолокаційної станції з фазованною антенною решіткою

Виконав студент 2 курсу групи МК-62
спеціальності 8.05010105 Комп'ютерний
еколого-економічний моніторинг,
Зенченко Дмитро Сергійович
Керівник к.т.н., доц.
Перелигін Борис Вікторович

Консультант _____

Рецензент д.ф.-м.н., проф.
Ковальчук Володимир Володимирович

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет	<u>магістерської та аспірантської підготовки</u>
Кафедра	<u>автоматизованих систем моніторингу</u> <u>навколишнього середовища</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень	<u>магістр</u>
Напрямок підготовки	<u>(шифр і назва)</u>
Спеціальність	<u>8.05010105 Комп'ютерний еколого-економічний</u> <u>моніторинг</u> <u>(шифр і назва)</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизованих систем
моніторингу навколишнього середовища

Перелигін Б.В.
“ 31 ” жовтня 2016 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ЗЕНЧЕНКО ДМИТРУ СЕРГІЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка моделі формування зони спостереження метеорологічної
радіолокаційної станції з фазованою антенною решіткою

керівник роботи Перелигін Борис Вікторович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від „14” вересня 2016 року №270-с

2. Строк подання студентом роботи 31. 01. 2017 р.

3. Вихідні дані до роботи Існуючі системи радіолокаційного моніторингу
навколишнього середовища, розроблена система радіолокаційного моніторингу
навколишнього середовища, критерії оптимізації системи моніторингу навколишнього
середовища

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз методів формування зони спостереження метеорологічних
радіолокаційних станцій

2. Розробка моделі формування зони спостереження метеорологічної
радіолокаційної станції

3. Розробка програмного забезпечення моделі формування зони
спостереження метеорологічної радіолокаційної станції з фазованою антенною
решіткою

4. Управління проектом

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 31 жовтня 2016 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Одержання завдання на виконання магістерської роботи	31.10.2016		
2	Пошук та підбір літератури та інших джерел інформації	03.11.2016		
3	Проведення аналізу предметної області і написання першого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	15.11.2016		
4	Розробка моделі в заданій предметній області і написання другого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	30.11.2016		
5	Рубіжна атестація	07.12.2016		
6	Розробка програмного коду моделі і написання третього розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	15.12.2016		
7	Розробка і написання четвертого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	31.12.2016		
8	Виготовлення презентації	07.01.2017		
9	Друкування пояснювальної записки	10.01.2017		
10	Одержання висновку керівника магістерської роботи	01.02.2017		
11	Проходження нормативного контролю	03.02.2017		
12	Переплетіння пояснювальної записки	06.02.2017		
13	Одержання рецензії	07.02.2017		
14	Одержання висновку кафедри про допуск роботи до захисту	07.02.2017		
15	Здача готової магістерської роботи і документів секретарю АК	09.02.2017		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня за етапами)			

Студент _____
(підпис)

Зенченко Д.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Перелигін Б.В.
(прізвище та ініціали)

АННОТАЦІЯ

Представлена магістерська робота Zenchenko Дмитро Сергійович, на тему «Розробка моделі формування зони спостереження метеорологічної радіолокаційної станції з фазованою антенною решіткою».

Вона складається з двох частин: теоретичної та практичної.

Мета даної роботи – призначена для моделювання радіолокаційної станції та процесу радіолокаційного огляду. Вихідною інформацією для даної моделі є модель атмосферної обстановки. У програмній системі реалізовані наступні основні можливості.

Налаштування основних параметрів метеорологічної радіолокаційної станції. Введення початкових значень таких як крок кута, дальність. Запуск процесу радіолокаційного огляду, присутній також зупинка і режим перемикання камерами.

Система представлена в графічному вигляді виконана в 3D моделі.

Модель створена в програмній середовищі Autodesk 3ds Max.

Підключаемі модулі управляються за допомогою Microsoft Visual Studio. Інтерфейс програми доброзичливий, зручний і не вимагає особливих навичок для управління додатком.

Для порівняння представлена 2 моделі відмінні один від одного системою управління. Одна використовує механічне обертання по азимуту місця, інша ж в свою чергу виконана в чотирехнаправленном положенні під управлінням електронної системи променя.

Магістерська робота містить: 90 с., рис. 28, табл. 1 додатки 2, використаних літературних джерел 25.

Ключеві слова: метеорологічної радіолокаційної станції, РСЛ, ФАР.

SUMMARY

Presented master thesis Zenchenko Dmytro ., on the theme "Development model of surveillance zone meteorological radar antenna with a parabolic mirror."

It consists of two parts: theoretical and practical.

The purpose of this work - designed for radar modeling and process radar view. The background for this model is a model of atmospheric conditions. In the software system has the following main features.

Setting up the basic parameters of meteorological radar. Entering initial values such as pitch angle range. Starting the process of examination of the radar, there is also a stop and mode switch cameras.

The system is represented graphically made in 3D models.

The model was created in the software environment Autodesk 3ds Max.

Connected modules are managed using Microsoft Visual Studio. The program interface is friendly, easy and requires no special skills to manage the application.

For comparison predstvlenn 2 models differ from one management system. One uses a mechanical rotation in azimuth space, the other in turn made in chetyrehnapravlennom situation under control electronic system beam.

Master's work includes: 85 sec., Fig. 28 Table. 1 2 applications used literature 25.

Key words: meteorological radar, RSL.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	11
ВСТУП.....	12
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ.....	13
1.1 Принцип побудови діаграми направленості метеорологічних радіолокаційних станцій.....	13
1.2 Основні типи дзеркальних антен	20
1.2.1 Багатопроменеві антенні решітки.....	30
1.2.2 Електричні способи сканування в антенних решітках	31
1.2.3 Частотний спосіб сканування.....	32
1.2.4 Фазовий спосіб сканування.....	34
1.2.5 Електричні способи сканування в антенних решітках.....	40
1.2.6 Фазофазовий спосіб.....	41
1.2.7 Адаптивні антени	43
2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ ФАЗОВАНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ.....	46
2.1 Розробка моделі формування запитів до фазованої антенної решітки.....	46
2.1.1 Комплексне рішення для 3D-моделювання Autodesk 3d.....	46
2.1.2 Інтегроване середовище розробки Microsoft Visual Studi.....	47
2.1.3 Інструмент для розробки додатків Unity.....	48
2.2 Розробка алгоритма побудови зони спостереження метеорологічних радіолокаційних станцій фазованої антенної решітки	50
3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ МЕТЕОРОЛОГІЧНІ РЛС З ФАЗОВАНОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ....	55

3.1 Проектування програмного забезпечення	55
3.1.1 Загальний опис програми та її вид.....	58
3.1.2 Фазована антенна решітка з механічним керуванням.....	59
3.1.3 Фазована антенна решітка з електронним керуванням.....	59
4 КЕРУВАННЯ ПРОЕКТАМИ.....	60
4.1 Планування проекту	60
4.2 Керування ризиками проекту	66
4.3 Оцінка трудомісткості і термінів розробки програмного забезпечення.....	66
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70
ДОДАТКИ.....	72
Додаток А Графічна частина магістерської роботи.....	73
Додаток А Кодова частина магістерської роботи.....	76

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Інтернет – глобальна телекомунікаційна мережа інформаційних і обчислювальних ресурсів

WWW – (World Wide Web) розподілена система, що надає доступ до пов'язаних між собою документів, розташованих на різних комп'ютерах, підключених до Інтернету

РЛС – радіолокаційна станція

ДН – діаграма направленості

ЗСО – зона санітарної охорони

НЯ – небезпечні метеорологічні явища

РВ – рівень втручання

МС – метеостанції

МР – муніципальний район

ПЕД – потужність експозиційної дози

ВСТУП

Радіотехнічне пристрій, призначений для спостереження радіолокації – радіолокаційна станція (РЛС) спільно з об'єктом спостереження (радіолокаційної метою (і середовищем, в якому відбувається поширення радіохвиль, утворює радіолокаційний канал. Радіолокаційний канал служить для того, щоб формувати повідомлення Про наявність мети, її параметрах, положенні і швидкості руху. Під дією цих факторів в процесі радіолокаційного спостереження створюється радіолокаційний сигнал. Радіолокаційне дослідження Землі, засноване на вивченні сигналів, випромінюваних і розкритих земною поверхнею, водними просторами і атмосферою, проводиться активними РЛС і, РЛС, приймати власні радіотеплове випромінювання об'єктів. Для досліджень, що вимагають точно вимірювати амплітуду прийнятих сигналів, застосовують спеціальні активні РЛС – скатерометри. Радіотеплокаційна станція, вирішальна подібне завдання, називається радіометром.

Характерна особливість об'єктів радіолокаційного спостереження при дослідженні Землі (атмосфери, водної поверхні, суші, різних об'єктів, народногосподарського значення) полягає в тому, що їх розміри, як правило, перевищують розміри дозволеного елемента. Нагадаємо, що під роздільною здатністю розуміють здатність РЛС вести радіолокаційне спостереження за цілями, вимірювані координати (або швидкості руху) яких мало різняться. Роздільна здатність визначається дозволеними значенням відповідного параметра - відстані, кута, швидкості. Дозвіл по дальності - це мінімальна відстань між цілями (ΔR), розташованими на одній прямій з РЛС, при якому ці цілі спостерігаються роздільно. Аналогічно мінімальний кут між напрямками на дві рівновіддалені мети, які виявляються роздільно, називається дозволеними кутом (по азимуту $\Delta\alpha$ або куту місця $\Delta\beta$).

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ЗОНИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МЕТЕРЕОЛОГІЧНИХ РАДІОКЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ

1.1 Принцип побудови діаграми направленості метеорологічної станції

Кожна антена випромінює в простір електромагнітну енергію по-різному.

Функція, що показує, як розподілено в просторі як електромагнітне поле, що випромінюється антеною, називається характеристикою направленості (ХН).

З теорії електромагнітного поля ми знаємо, що комплексна амплітуда напруженості електричного поля елементарного випромінювача в будь-якій точці далекої зони може бути записана у вигляді,

$$E(\theta, \varphi) = \frac{I}{r} * f(\theta, \varphi) e^{-j\beta r}, \quad (1.1)$$

$f(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) e^{j\phi(\theta, \varphi)}$ – деяка комплексна функція, що залежить від антени (її називають комплексною діаграмою направленості антени).

Модуль цієї функції характеризує залежність амплітуди поля антени від просторових кутів в рівновіддалених точках і називається амплітудною діаграмою направленості [1].

Амплитудною діаграмою направленості ще називають характеристикою направленості по полю, а її графічне зображення - діаграмою направленості (ДН).

У літературі найбільш широке поширення набув термін - діаграма направленості. Тому в посібнику ми також будемо широко застосовувати цей термін, не забуваючи, що це графічне зображення характеристики направленості антени.

З виразу отримуємо, що амплітуда поля будь-якої антени з лінійною поляризацією для далекої зони буде такою:

$$E = |E| = \frac{I}{r} f(\theta, \varphi). \quad (1.2)$$

Аргумент функції характеризує залежність початкової фази поля від просторових кутів в рівновіддалених точках і називається фазовою ДН антени.

Діаграму направленості антени визначають в дальній зоні, в якій вид ДН не залежить від відстані.

Діаграми направленості розрізняють по полю і по потужності.

Діаграмою (або характеристикою) направленості по полю називається залежність амплітуди поля, випромінюваного антеною, від просторових кутів і постійній відстані від антени до точок спостереження.

Як зазначалося вище, функція являє собою модуль комплексної ДН і є просторовою функцією. ДН може бути виражена у вигляді формули (аналітично) або у вигляді певної поверхні (графічно).

З розрахунків або в результаті вимірів можна отримати будь-який масштаб функції тобто найрізноманітніші максимальні значення цієї функції. При цьому виявляється дуже важко порівнювати спрямовані властивості різних антен. Для порівняння спрямованих властивостей різних антен зручним є використання нормованих ДН [2].

Нормованої ДН називається відношення значення ДН в довільному напрямку до її максимального значення. Видно, що всі нормовані ДН мають максимум, що дорівнює одиниці:

$$E = |E| = \frac{I}{r} f(\theta, \varphi). \quad (1.3)$$

Знаючи значення максимальної напруженості поля з виразу можна визначити напруженість поля в будь-якому напрямку.

Діаграмою направленості по потужності називається залежність щільності потоку випромінюваної потужності від просторових кутів Θ і φ при постійній відстані від антени до точок спостереження.

Нормована ДН за потужністю визначається аналогічно - висловом:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{f(\theta, \varphi)}{f_{\max(\theta, \varphi)}} = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max(\theta, \varphi)}}. \quad (1.4)$$

Таким чином, ми бачимо, що ДН по полю і по потужності пов'язані простим співвідношенням:

$$F_p(\theta, \varphi) = F^2(\theta, \varphi). \quad (1.5)$$

Вище вже зазначалося, що ДН – це просторова фігура. Просторова ДН незручна для зображення. Тому на практиці користуються площинними ДН.

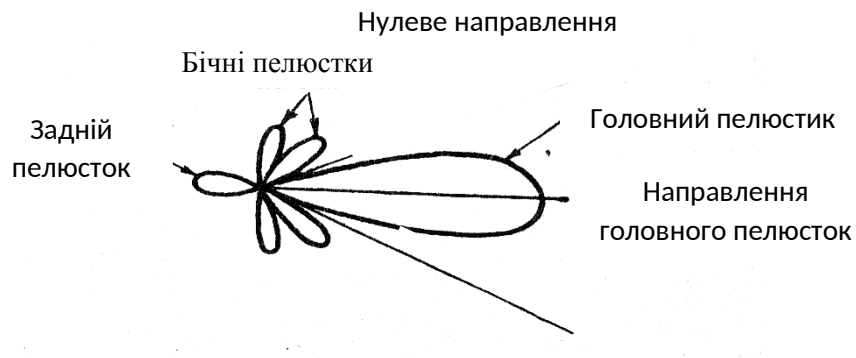


Рисунок 1.1 – Діаграма направленості антени

Найбільший пелюстка називається головним, а напрямок, в якому поле має найбільшу величину, - напрямком головного максимуму. Решта пелюстки називають бічними або побічними. Пелюстка, протилежний головному, називають заднім пелюсткою. Напрямки, в яких антена не випромінює, називається "нульовими" напрямками (або напрямками "нульового" випромінювання) [3].

Вони являють собою перетину просторової ДН, виконані двома взаємно перпендикулярними площинами, що проходять через напрямок головного максимуму. Для антен з лінійною поляризацією ДН будують в електричній (Е - площину) і магнітній (Н - площину) площинах. Ці площини, звані головними, проходять через напрямок максимального випромінювання і вектори $\mathbf{E}$ або $\mathbf{H}$ відповідно. Діаграма направленості в цих взаємно перпендикулярних площинах характеризуються формою головної пелюстки, його шириною, а також рівнем бічних пелюсток.

Форма головної пелюстки може бути різною. Тороїдальна ДН (рис.1.2, а) характеризується відсутністю направленості випромінювання в одній з головних площин і застосовується в радіомовленні, зв'язку, навігації.

Голчаста ДН (рис.1.2, б) – головний пелюсток однаковий в площинах. Застосовується в РЛС для супроводу мети по двом кутових координатах.

Віялова ДН – головний пелюсток в одній площині значно ширше, ніж в іншій. Застосовується в РЛС для визначення однієї кутової координати і дальності до мети [4].

Косекансна ДН – форма головної пелюстки по полю в одній з площин. Застосовується в РЛС для визначення кутової координати і дальності до мети.

Найбільш часто вибирають рівні $r = 0,5$ і $r = 0,1$. Іноді ширина ДН вимірюється по іншому рівню, наприклад, $r = 0,1$.

Величину $2\Theta_{0.5}$ називають шириною ДН "по половинній потужності" $2\Theta_{0.5}$ - шириною ДН "по нулях" [5].

Шириною ДН за рівнем половинної потужності ($2\Theta_{0.5}$) називається кут між напрямками, в яких щільність потоку потужності дорівнює половині щільності потоку потужності в напрямку максимального випромінювання. Ширина ДН відраховується на деякому рівні потужності P щодо максимуму головної пелюстки. Позначається ця ширина - $2\Theta_P$

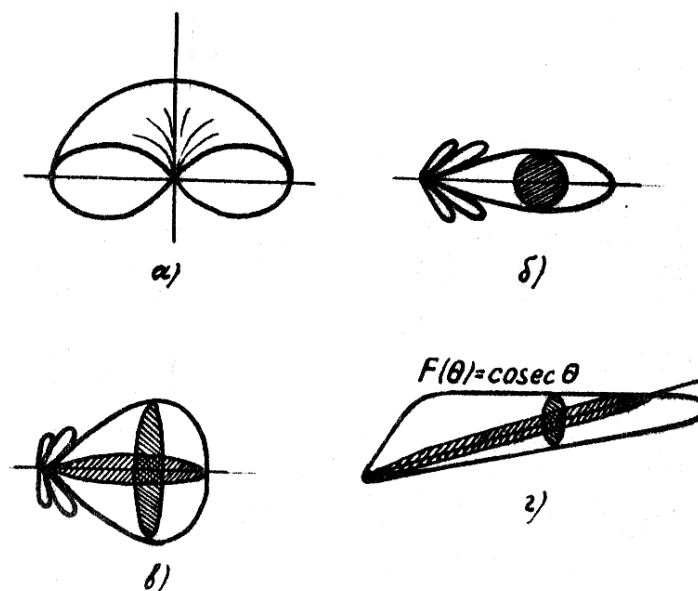


Рисунок 1.2 – Форми головних пелюсток, а – тороїдальна ДН; б – ігольчата ДН; в – віялова ДН; г – косекансна ДН

Ширина головного пелюстка (ширина ДН) є важливим чисельним параметром, що характеризує ступінь ~~напрявленості~~ ^{напрявленості} випромінювання антени.

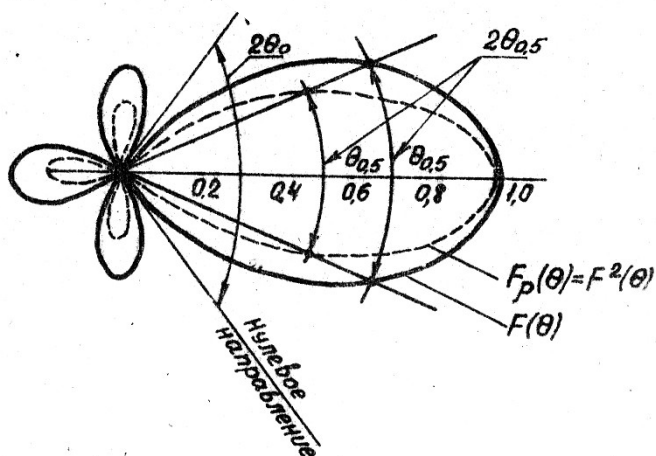


Рисунок 1.3 – Форма потоку потужності в напрямку максимального випромінювання

З виразу видно, що рівню половинної потужності для ДН але полю буде відповідати рівень

$$F(\theta_{0,5}, \varphi_{0,5}) = \sqrt{F_p(\theta_{0,5}, \varphi_{0,5})} = \sqrt{0,5} = 0,707. \quad (1.6)$$

Таким чином, кут $2\theta_{0,5}$ вимірюють по уровню $0,707 E_{\text{макс}}$, або за рівнем $0,5 P_{\text{макс}}$ (якщо це ДН за потужністю).

Бічні пелюстки характеризуються кількістю, напрямками їх максимумів і рівнем по відношенню до головного пелюстка.

Їх рівень повинен бути якомога менше, так як вони можуть привести до помилкового пеленгові поділи, зниження помехозащищенности, зменшення скритності роботи РЛС, погіршення електромагнітної сумісності РЛС, збільшення марною втрати енергії в бічних напрямках. Тому однією з важко завдань при конструюванні антен є отримання головної пелюстки заданої форми при мінімальному рівні бічних пелюсток.

Діаграми направленості в площинах будують в полярній (рис. 1.4, а) або прямокутній системах координат (рис. 1.4, б).

В полярній системі координат зображення ДН виходить болзє наочним. У прямокутній системі координат наочність втрачається, але зате зручно будувати вузькі ДН, так як масштаб по осі абсцис можна вибрати будь-якої величини і "розтягнути" ДН. Це дозволяє детально зобразити бічні пелюстки (їх форму, рівень і число).

Для цієї мети використовують логарифмічний масштаб. Зображення ДН в логарифмічному масштабі виробляють, як в полярній (рис 1.4, в) так і в прямокутній системах координат рис 1.4, г. По осі ординат відкладають значення в децибелах.

$$F_{гБ}(\theta, \varphi) = 10 \lg F_p(\theta, \varphi) = 20 \lg F(\theta, \varphi), \quad (1.7)$$

Значення всюди буде негативним, за винятком головного максимуму, де воно дорівнює нулю, рівень половинній потужності в логарифмічному масштабі відповідає - 3 дБ [6].

Логарифмічний масштаб зручний при зображенні дуже малим рівнем бічних пелюсток.

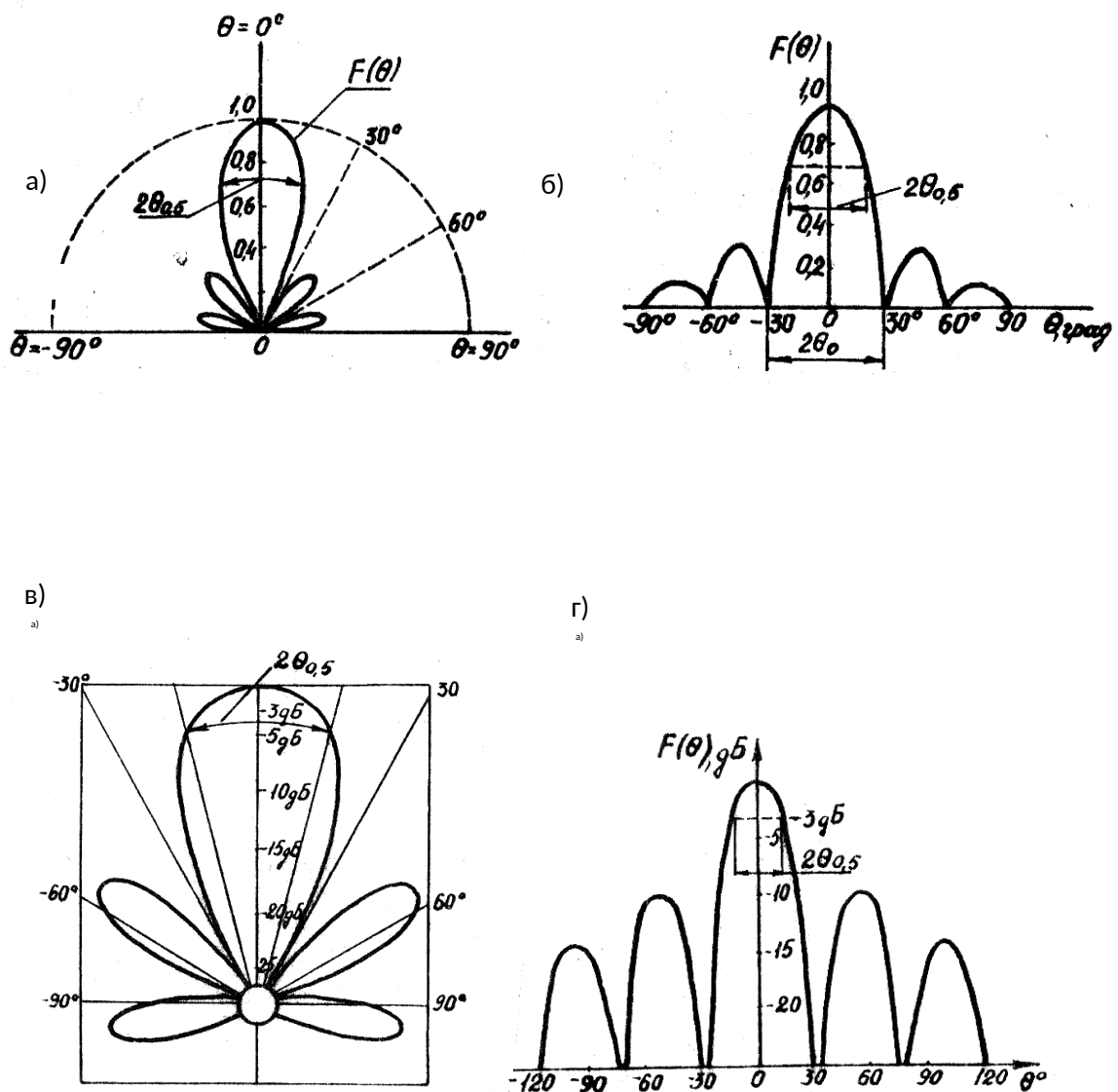


Рисунок 1.4 – Діаграма направленості у площинях а – в полярній площині; б – в прямокутній площині; г – в логарифмічному масштабі полярна площина; в – в логарифмічному масштабі прямокутній площині

1.2 Фазовані антенні ґрати та спеціальний тип антен

Антени з механічним і електромеханічним скануванням. Постійне вдосконалення засобів повітряного нападу пред'являє все більші вимоги до антен РЛС. З одного боку збільшення дальності дії, підвищення точності і роздільної здатності визначення кутових координат цілі вимагає звуження діаграм направленості і збільшення коефіцієнта посилення антени. Але вузька ДН не дозволяє здійснити огляд великого сектора простору нерухомою антеною. Тому з іншого боку, підвищення направленості випромінювання антен вимагає здійснення огляду простору [7].

Тобто необхідно швидко переміщати ДН в просторі здійснювати сканування.

Таким чином, сканування дозволяє діалектичне протиріччя між необхідністю збільшення КЦД антени (для збільшення дальності дії РЛС) і необхідністю розширення сектора огляду простору.

Найбільш часто під скануванням розуміють періодичне переміщення ДН нерухомою антени в деякому секторі або кругове обертання ДН.

Отже, цілі сканування складаються:

1. У збільшенні сектора огляду простору;
2. У супроводі однієї з цілей, при продовженні спостереження за іншими цілями, що знаходяться в секторі сканування.

Розрізняють такі види сканування:

- одномірний, коли змінюється одна кутова координата, тобто сканування проводиться в одній площині;
- двовимірне, коли в процесі огляду змінюється обидві кутові координати. Сканування може здійснюватися безперервно або стрибкоподібно в деякому секторі, півсфері або вкруговую.

В даний час використовують три способи сканування схеми відображені на рис. 1.5:

- механічний спосіб (переміщення всієї антени або дзеркала);
- електромеханічний спосіб (переміщення невеликих частин антени, найчастіше опромінювача, фазообертача);

- електричний спосіб (переміщення ДН без невеликих частей антен)

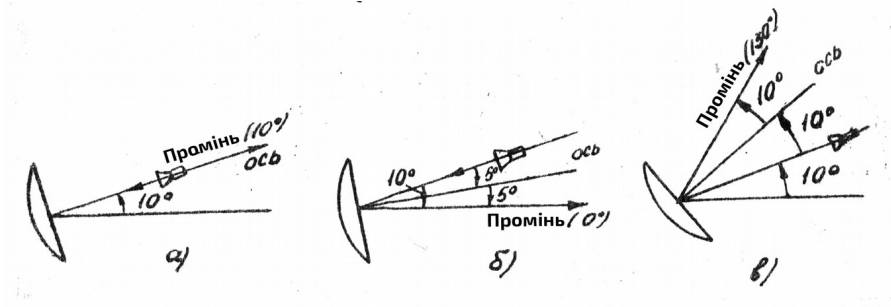


Рисунок 1.5 – Механічне сканування

У першому і другому випадку істотним недоліком є необхідність гойдання великий інерційної антени. Тому швидкість сканування в цьому випадку не велика. Виникають великі механічні навантаження. Тому не можна забезпечити більшу швидкість сканування. Електромеханічне сканування можна здійснювати по-різному [8].

Живлення опромінювача, при поперечному зміщенні опромінювача щодо фокальної осі дзеркальної (линзової) антени в розкриві створюється фазовий розподіл, близьке до лінійного, і головний максимум відхиляється від нормалі до розкриву в сторону, протилежну зсуву опромінювача, на рис 1.6 кут відхилення максимуму ДН визначається зі співвідношення.

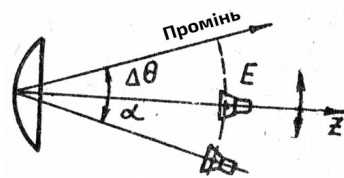


Рисунок 1.6 – Коливання опромінювача

Обертання опромінювача дозволяє здійснити конічне або секторний сканування.

Конічний сканування здійснюється при фіксованому зміщенні опромінювача з фокусу і обертанні фазового центру опромінювача навколо фокальної осі антени.

В цьому випадку головний максимум описує конічну поверхню. Таким способом може створюватися рівносигнальний напрямок РСН, показане на малюнку [9].

Механічне сканування здійснюється обертанням або хитанням всієї антени. При цьому опромінювач не виходить з фокусу дзеркала, і ДН антени в процесі сканування не спотворюється.

Кут відхилення променя в два рази більше кута відхилення дзеркала рис. 1.7. У цьому полягає перевага цього методу. Недоліком є розширенням збільшення рівня бічних пелюсток при скануванні, так як опромінювач виходить з фокусу дзеркала. Крім того, при скануванні змінюється реакція дзеркала на опромінювач, що негативно впливає на роботу генератора

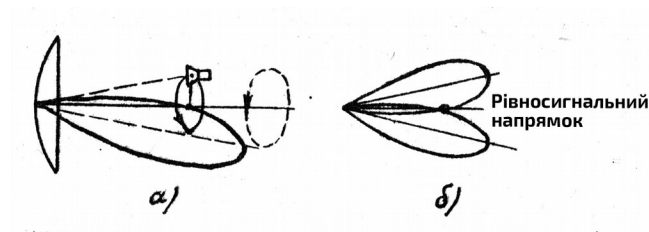


Рисунок 1.7 – Канонічне сканування

Антенa вважається спрямованою на ціль, коли сигнали при діаметрально протилежних положеннях ДН рівні тобто коли РСН орієнтоване на джерело випромінювання. Такий метод визначення кутової координати цілі більш точний, ніж за матеріальним становищем максимуму ДН.

Зсув ДН можна отримати без зміщення опромінювача з фокусу, якщо в якості опромінювача застосувати несиметричний вібратор. Перевагою такого способу сканування є більш швидке сканування (до 1000 об/хв), відсутність зворотно-поступального руху (немає великих перевантажень), постійна реакція дзеркала на опромінювач, а отже, і на генератор [10].

Секторне сканування ДН здійснюється за допомогою спеціального скануючого пристрою типу "Равлик".

Сканер "Равлик". Таке скануючий пристрій використовує обертальний рух опромінювача для одновимірного секторного сканування за допомогою металовоздушної лінзи. На рис. 1.8 показано формування сканера "Равлик" (металловоздушна лінза показана пунктирною лінією).

Широкий і секторальний рупор з металловоздушної лінзою на виході і невеликим рухливим (рис 1.8, а) облучателем забезпечує сканування ДН в межах кута при переміщенні опромінювача по дузі з положення 1-2-3 і назад.

Перехід від зворотно – поступального руху опромінювача до обертального роблять наступним чином.

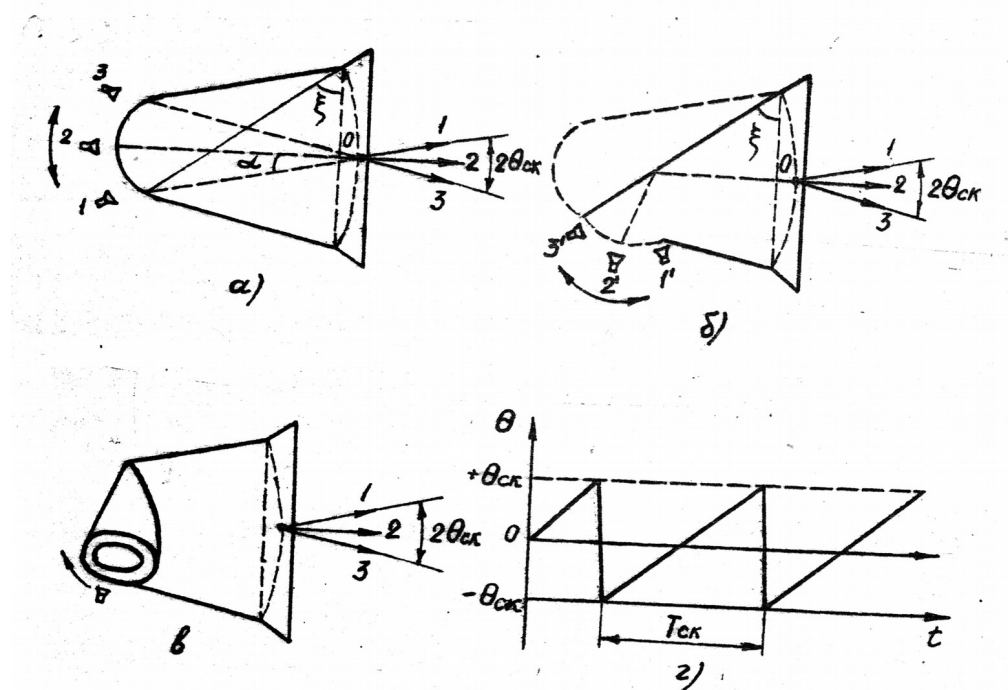


Рисунок 1.8 Формування сканера "Равлик" а – секторіальний рупор; б – секторіальний рупор з дзеркалом; в – купол; г – пилообразне гойдання

У Н – секторіальний рупор під деяким кутом β ставлять металеву пластину – дзеркало рис 1.8,б.

Дуга, по якій повинен рухатися опромінювач виносить на бічну стінку основного рупора (точки, що є дзеркальним зображенням точок 1-2-3

Потім дуга, по якій рухається опромінювач (рис 1.8, в) взгортається в коло, а частина рупора - в конус. Повний цикл коливання променя ($2\theta_{ск} \approx 2L$)

виходить за один оборот випромінювача рис 1.8 г . При цьому ДН гойдається по пилоподібному закону:

$$\zeta \approx \frac{\pi}{4} + \frac{L}{2} i. \quad (1.8)$$

Величина допустимого сектора сканування залежить від довжини розкриття і фокусної відстані лінзи, а також від допустимих спотворень ДН, що виникають при скануванні. Зазвичай при доцільному співвідношенні габаритних розмірів сканер "Равлик" забезпечує сканування в секторі до 25° - 30° [11].

Перевагами такого скануючого пристрою є порівняно швидке сканування (15-20Гц) і відсутність зворотно – поступального руху опромінювача.

Недоліками є громіздкість (великі розміри) скануючого пристрою і необхідність обертового розчленування.

На практиці застосовуються і інші типи скануючих пристроїв. Загальним недоліком існуючих способів сканування є відносно низька швидкість огляду простору. Тому застосовують електричне сканування, яке реалізується на фазованих антенних решітках ФАР.

Визначення і класифікація фазованих антенних решіток Як вже говорилося, постійне вдосконалення засобів повітряного нападу, збільшення їх швидкості польоту і маневреності, широке застосування різного роду перешкод призвело до необхідності різкого збільшення швидкості огляду простору, дальності дії, підвищення точності, роздільної здатності і перешкодозахищеності РЛС. Така РЛС повинна бути багатофункціональною, наприклад, вона повинна мати можливість одночасного пошуку ж супроводу багатьох цілей

Ці вимоги можуть бути досить успішно і повністю реалізовані лише при використанні в РЛС фазованих антенних решіток ФАР.

Проте слід мати на увазі, що широке впровадження ФАР зовсім не виключає відмову від дзеркальних або лінзових антен. Навпаки, в тих випадках, коли, наприклад не вимагається швидкого гойдання променя або багатофункціональності, дзеркальні і лінзові антени можуть виявитися кращими, ніж фазовані антенні решітки.

Фазованої антенною решіткою називається система випромінювачів, в якій переміщення променя в просторі проводиться шляхом введення змінних фазових зрушень між сигналами, випромінюваними або прийнятими окремими елементами решітки.

Управління фазовим розподілом по апертурі такий антени-проводиться, як правило, електричним шляхом, що дозволяє швидко управляти формою і положенням ДН в просторі.

В якості окремих елементів (випромінювачів) решітки зазвичай використовуються слабо спрямовані антени - вібратори, рупори, щілини, відкриті кінці хвилеводів, спіралі, діелектричні стрижні. Можливі також решітки, що складаються з складних антен, наприклад, з ряду великих дзеркальних антен.

Класифікацію ФАР можна виробляти за різними ознаками, наприклад, з геометрії розташування елементів решітки в просторі, за способом збудження, за характером розташування елементів в самій решітці, по режиму роботи і т.д.

За геометричному розташуванню ізлучателів. просторі ФАР можна розділити на одномірні, двовимірні і тривимірні.

До одномірним ґрат відносяться прямолінійні рис 1.9 а, дугові рис 1.9, б і кільцеві решітки рис.1.9 в.

Двовимірні (площинні) решітки застосовуються найбільш часто. До них відносяться площинні системи, у яких елементи решітки розташовані в одній площині в межах прямокутника, кола, багатокутника циліндричні сферичні, конічні систем, у яких елементи решітки розташовані відповідно на циліндричній, сферичній і конічній поверхнях [12].

Тривимірні (об'ємні) решітки застосовуються рідко. У найпростішому варіанті це системи з двох паралельно розташованих плоских решіток.

. Оскільки одночасно використовується лиш частина випромінювачів, то КВП такої антени невеликий, Крім того, такі ФАР важче виготовити, істотно ускладнюється також схема керування променем.

Для суміщеної решітки конструкція виходить більш компактною, і полегшується управління променем, так як і ті ж фазообертачі використовуються на прийом і передачу

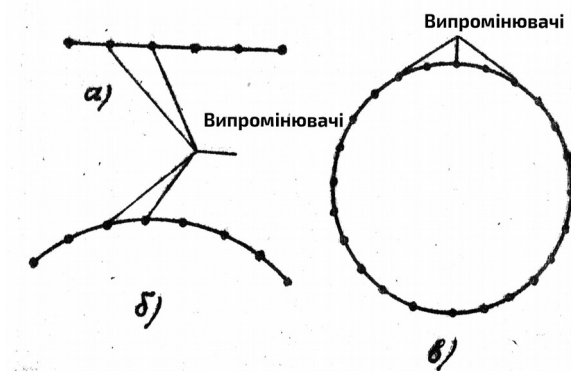


Рисунок 1.9 – а – прямолінійні ґрати , б – дугові ґрати ;
в – кругові ґрати

Лінійні і плоскі ФАР дозволяють здійснити відповідно одномірний і двовимірне сканування ДН в секторі до $\pm 45^\circ$. Для збільшення сектора сканування випромінювачі мають на викривлених поверхнях. Такі антени називаються конформними. Сканування променя в таких решітках здійснюється шляхом перемикання (комутації) групи працюють випромінювачів.

Оскільки одночасно використовується лиш частина випромінювачів, то КВП такої антени невеликий, Крім того, такі ФАР важче виготовити, істотно ускладнюється також схема керування променем. Тому в даний час для збільшення зони огляду використовують плоскі ФАР з їх механічним

обертанням щодо двох осей або використовують кілька плоских ФАР, розташованих під кутом один до одного.

Двумірні решітки приміняються в рамках прямокутника, круга, многокутника рис 1.10 а, б, в. Циліндричні, конічні системи у яких елементи решітки розташовані на циліндричній, сферичній та канонічній рис 1.10 г, д, е.

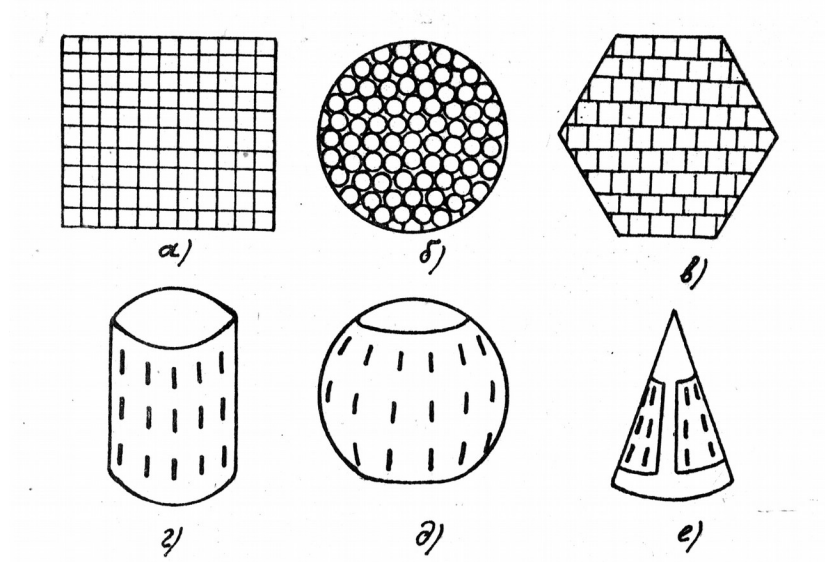


Рисунок 1.10 Схема збудження ФАР а - прямокутник, б - круг, в – многокутника, г - циліндр, д – сфера, г - канонічний

За способом збудження ФАР можна розділити на такі схеми рис. 1.11. Порушення елементів решітки здійснюється хвилею, що біжить уздовж фідера. Цей спосіб є простим, зручним і дешевим при реалізації імпульсних систем.

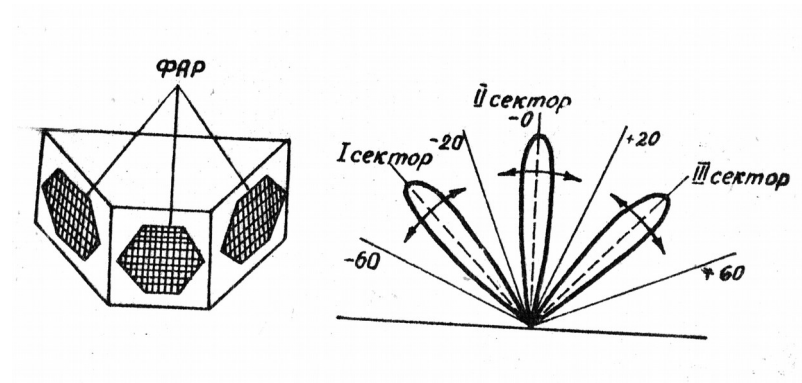


Рисунок 1.11 Схема послідовного живлення

Схема оптичного живлення рис. 1.12. Випромінювачі решітки збуджуються через простір вільний, випромінюваної облучателем. Недоліком такого способу є збільшення рівня бічних пелюсток і зниження загального КВП антени через "виливання" частини енергії за краї решітки.

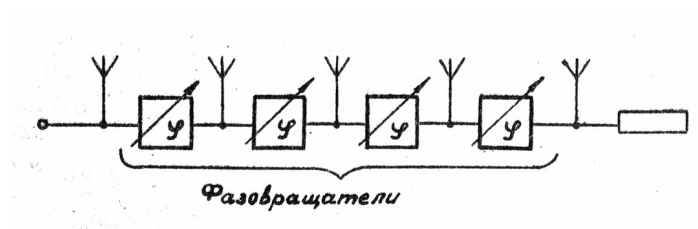


Рисунок 1.12 Схема послідовного живлення

За характером розміщення випромінювачів в самій решітці ФАР діляться на еквідистантно і нееквідистантніе.

По режиму роботи ФАР можуть бути приймально-передавального (суміщеними) і працюють тільки на передачу або тільки на прийом (окремими).

Використання двох роздільних решіток має свої суттєві переваги. До таких переваг можна віднести можливість забезпечення високої розв'язки між приймачем і передавачем без застосування антенних перемикачів, спеціальних розв'язують пристроїв, що мають великі втрати.

Можливість побудови різних схем передавальної і приймальної решіток, незалежність від вибору розмірів, числа і характеру розташування елементів

в кожній антені. Можливість незалежного управління амплітудно-фазовим розподілом на прийом і передачу. Підвищену інформаційну здатність системи, так як при використанні роздільних решіток не потрібно очікувати приходу відбитого сигналу [13].

Всі перераховані вище антенні решітки можна розділити на пасивні, активні і напівактивні ФАР.

Пасивна ФАР. Це найпростіша схема ФАР. Випромінювачі в цій схемі збуджуються від загального джерела через систему пасивних фазообертачів. Недоліком пасивних ФАР для передавальних антен є труднощі до одного з каналів до опромінювача, а для приймача антени - погіршення ставлення через додаткових втрат в фазообертачів. Схема типового оптичного живлення ФАР показана на рис. 1.13.

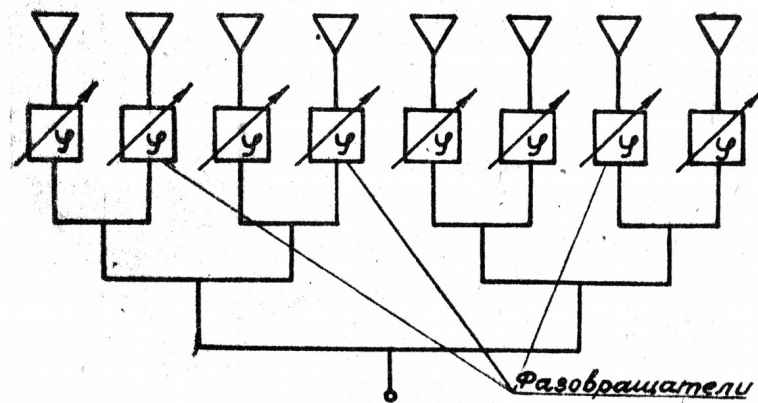


Рисунок 1.13 – Схема паралельного живлення

Активна ФАР. Це більш складна схема. У кожному каналі живлення кожного елемента решітки є фазуємий генератор або підсилювач потужності. Тому відносно легко вирішується проблема генерування і виводу великої потужності і отримання високого відносини "сигнал/шум".

Крім випромінювача такий модуль містить антенний перемикач (циркулятор), вихідний підсилювач передавача, попередній підсилювач приймача, фазообертач і пристрій управління фазою. Так як обидва

підсилювача розташовані в безпосередній близькості від випромінювача, то це робить мінімальними втрати потужності при передачі і уменшає рівень шумів приймача. Фазообертач працює на низькому рівні потужності, що полегшує пристрій фазообертача і дозволяє керувати ним за допомогою малопотужної керуючої схеми [14].

В даний час велика увага приділяється розробці саме таких модулів, так як їх технічні характеристики ще не задовольняють пропонованим до них вимогам. Надалі передбачається застосування в активних ФАР мініатюрних і дешевих НВЧ генераторів на твердотільних напівпровідникових приладах (наприклад, діоди Ганна, і ін.).

Напіваактивна ФАР рис. 1.14. Ця схема має достоїнствами недоліками схем з пасивними і активними елементами. Приклад такої схеми показаний на рис.

Напіваактивна або комбінована ФАР являє собою сукупність решіток з пасивними елементами, званими підгратках. У кожній такій підгратці є підсилювач потужності. Така ФАР дешевше і простіше по конструкції, ніж ґрати з активними елементами. Крім того, в ній істотно ослаблені труднощі, пов'язані з генеруванням і передачею потужності, характерні для пасивних ФАР.

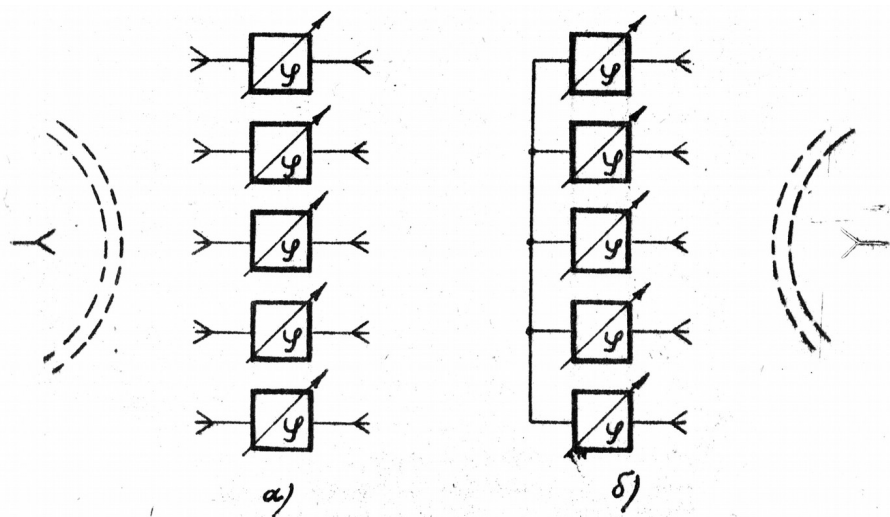


Рисунок 1.14 – Схема оптичного живлення

1.2.1 Багатопробієві антенні решітки

Антенні решітки, які дозволяють сформувати ряд незалежних один від одного діаграм направленості (променів), називаються багатопроменевими.

Схема багатопроменева антеною решітки з трьома виходами показана на рис. До її складу входить решітка випромінювачів і спеціальна діаграмообразующая матрична схема. Діаграмообразующая схема має ряд незалежних входів. Кожному входу відповідає своя парціальна діаграма направленості.

При побудові діаграмоутворюючої схеми використовують багатополюсника типу подвійних хвелеводних трійників, спрямованих ответвителів, щілинних мостів, кільцевих суммарно-разностних мостів і т.д.

Для живлення багатопроменевих антенних решіток застосовуються послідовні і паралельні діаграмообразующіє схеми.

Недоліком схеми є велика кількість спрямованих відгалужувачів і зниження к.к.д. через втрати потужності в 4 поглинаючих навантаженнях. Крім того спрямовані відгалужувачі не забезпечують повною розв'язки всіх входів діаграмообразующей схеми. Так, наприклад, якщо генератор підключений до другого входу, то сигнал після відгалуження в направленому ответвителі свого ряду потрапляє по вертикальних фідерним лініях не тільки в свої випромінювачі, а й через спрямовані відгалужувачі першого горизонтального ряду розгалужується на випромінювачі з іншим фазовим зрушенням. Все це призводить до спотворення АФР в розкриві решітки, що в свою чергу веде до збільшення рівня бічних пелюсток [15].

Матриця має вісім входів і забезпечує формування восьми парціальних ДН. Енергія з будь-якого входу після проходження послідовно трьох мостів надходить на кожній випромінювач.

1.2.2 Електричні способи сканування в антенних решітках

Найпростіша антенна решетка-лінійна дискретна система випромінювачів з однаковими відстанями між ними (еквідистантним решітка), рівномірним амплітудним і лінійним фазовим розподілом. Для такої системи було знайдено вираз, що визначає напрямки головних максимумів випромінювання. Отже, можливі два способи електричного коливання променя: частотний (шляхом зміни частоти живлення) і фазовий (шляхом зміни фазового зсуву за допомогою фазообертачів). Розглянемо ці способи більш детально.

$$\sin \theta_m = k_d \frac{\lambda}{d} - \frac{\xi}{2\pi d}, \quad k=0, \pm 1, \pm 2. \quad (1.9)$$

З виразу видно, що значення θ залежить від зсуву фаз і довжини хвилі. При зміні цих величин змінюється і кут відхилення променя. Це дозволяє здійснювати електричне хитання променя. Отже, можливі два способи електричного коливання променя: частотний (шляхом зміни частоти живлення) і фазовий (шляхом зміни фазового зсуву за допомогою фазообертачів). Розглянемо ці способи більш детально [16].

1.2.3 Частотний спосіб сканування

При зміні частоти живлення у напрямок головного максимуму θ змінюється як за рахунок зміни величини, так і за рахунок залежності від частоти величини

Ефективність частотного способу гойдання характеризується кутовою чутливістю

$$q = \frac{d\theta}{\frac{df}{f} 100}, \quad \frac{\text{град}}{\%}. \quad (1.10)$$

Однак в звичайному хвилеводі дисперсія, тобто залежність фазової швидкості від частоти U порівняно невелика. Тому величина, а значить і малі. Необхідно сильно змінювати частоту, щоб отримати помітне відхилення променя. Так, зміна частоти в два рази дає відхилення променя лише на 30° .

Сучасні НВЧ генератори без спеціальних заходів допускають перебудову по частоті в межах декількох відсотків від несучої. Тому для отримання великої сектора сканування необхідно збільшувати величину. Для цього застосовують системи з сильною дисперсією - використовують уповільнюючі системи, наприклад, гребінку. З їх допомогою вдається отримати величину к. 10 град. Тобто в цьому випадку переміщення променя вже буде здійснюватися в досить широкому секторі.

Недоліками застосування уповільнюючих систем є обмеження по пропускається потужності через концентрацію електричного поля на сповільнює системі і зростання втрат, що знижують ККД антени.

Другий шлях підвищення полягає в збільшенні геометричного уповільнення за допомогою використання відрізка фідера довжиною b між сусідніми випромінювачами [17].

В цьому випадку зсув по фазі між випромінювачами буде такою:

$$\xi = \frac{2\pi}{\lambda_\phi} * l, \quad (1.11)$$

де l – довжина відрізка фідера між суміжними випромінювачами;

λ_ϕ – довжина хвилі рфідере.

Диференціюючи вираз, отримуємо

$$\frac{d\xi}{df} = \frac{\frac{-2\pi}{\lambda_\phi^2} * d\lambda_\phi * l}{df}. \quad (1.12)$$

Для отримання в таких схемах значень 5-10 град необхідно мати відношення. При цьому антена може виявитися досить громіздкою, що утруднить її використання.

При частотному скануванні можуть застосовуватися як послідовні, так і паралельні схеми живлення.

Послідовна схема живлення конструктивно проста. Недоліком такої схеми є порівняно велика загасання і обмеження по пропускається потужності, так як вся потужність йде по одному тракту до всіх випромінювачів. Помилки різного проходження накопичуються в міру руху хвилі вздовж системи, тому в послідовній схемі живлення пред'являються дуже жорсткі вимоги до точності виготовлення елементів схеми.

Паралельна схема живлення має менші втрати і дозволяє пропустити велику потужність ніж послідовна.

Живлення випромінювачів проводиться через окремі фідери, довжина яких різна. Чим більше різниця довжин сусідніх фідерів, тим вище углочастотная чутливість. Помилки не сумуються, тому паралельна схема менш чутлива до неточностей виготовлення. Однак вона складніша і вимагає застосування діапазонних подільників потужності.

Підводячи підсумки частотного сканування, відзначимо основні переваги та недоліки такого способу гойдання променя.

До основних переваг частотного способу відноситься його простота, відсутність керованих елементів, швидка ж точна установка променя.

Основними недоліками частотного способу є необхідність мати широкосмугові передають і прийомні пристрої, фідерний тракт також повинен бути широкодіапазонним; труднощі у використанні широкосмугових сигналів; низька перешкодозахищеність, так як кожному напрямку відповідає своя частота, і при перебудові частоти промінь відхилиться від супроводжуваної поділи, що може привести до її втрати [18].

Використання антен з частотним хитанням на практиці ускладнюється також наявністю втрат в уповільнюють структурах, а також через складність і громіздкість конструкцій уповільнюють структур на НВЧ.

1.2.4 Фазовий спосіб сканування

В цьому випадку фаза випромінювачів змінюється по заданому закону за допомогою електричних керованих фазообертачів, лінії затримання та інших фазосдвигаючих пристроїв.

В даний час широкого поширення набули і послідовна, паралельна і змішана схема решіток з фазовим керуванням.

Між сусідніми випромінювачами включені однакові фазообертачі, кожен з них змінює фазу на один і той же втіх в межах до. Тому для управління фазообертач потрібен тільки один керуючий сигнал. Система управління ґратами виходить дуже простий, що є основною перевагою послідовної схеми.

Недоліком схеми є мала пропускна потужність (вся потужність проходить через перший фазообертач), великі втрати і мала величина допусків через підсумовування помилок фазообертачів. Це вимагає високої стабільності фазообертачів і їх джерел живлення.

Тому послідовна схема застосовується в невеликих антенах з механічними фазообертачів, стабільність яких висока, втрати малі, а пропускається потужність досить велика.

При фидерном харчуванні потужність ділиться але каналах за допомогою дільників потужності - хвилевідвідних трійників або щілинних мостів на л/каналів.

У кожному каналі свій фазообертач. Основна перевага схеми з паралельним включенням фазообертачів полягає в можливості випромінювання великої потужності, так як через кожен фазообертач проходить частина потужності. Крім того, втрати приблизно дорівнюють

втратам в одному фазообертачів послідовної схеми, ослаблені вимоги до стабільності роботи фазообертачів [19].

Недоліком схеми є складність схеми управління, так як кожен фазообертач повинен управлятися своїм сигналом, по своєму закону.

Фазовообертачі включені паралельно, а розподіл потужності виробляється послідовно, наприклад, за допомогою спрямованих відгалужувачі. Фазові компенсатори призначені для установки променя в середнє положення сектора сканування при включених фазообертачів.

У такій схемі послаблюються недоліки послідовної і паралельної схем живлення. Змінами зв'язку в спрямованого відгалужувачі можна регулювати амплітудний розподіл в розкритті решітки.

Управління фазою в фазообертачів може бути безперервним і дискретним.

При безперервному способі фаза на виході фазообертача змінюється плавно і точно відповідає лінійному фазового розподілу, необхідного для відхилення променя на заданий кут пряма.

Такий спосіб управління фазою дає неспотворену "чисту" діаграму направленості. Однак він складний в реалізації, так як здійснити зміну фази в межах великих, технічно дуже складно.

Крім того, при безперервному способі управління фазою помітний вплив на характеристики решітки надають нестабільності фази (особливо температурні), властиві фазообертачів з плавним зміною фази. На практиці застосовують фазообертачі зі зміною фази до при цьому для управління фазою використовують схеми зі "скиданням" фази на величину, кратну, тобто змінюють фазу відповідно до закону, зображеним суцільний пилкоподібної лінією. Використання "скидання" крім ускладнення схеми керування має ще один принциповий недолік:

- Решітка стає узкополосною при дискретному способі зміна фази відбувається стрибком, як правило, з дискретом.

- Розрядність фазообертача. Схема управління при цьому спрощується, так як вона повинна виробляти вже квантовані сигнали, що особливо зручно при використанні цифрової обчислювальної машини.

Недоліком дискретного способу управління фазою є наявність фазової помилки в розкритті антени, максимальне значення якої по модулю не перевищує половини дискрети це призводить до зниження ВД, збільшення рівня бічних пелюсток, стрибкоподібного скануванню променя і т.д.

Так, наприклад, якщо величина дискрета фази то КДД зменшується приблизно на 19%, а рівень бічних пелюсток складає 0,33 (-9,5 дБ), при $AU=y$ зниження КВД становить приблизно 5%, а рівень бічних пелюсток АТ(-16,9 дБ). На практиці широкого поширення набули фазообертачі з числом розрядів не більше трьох-чотирьох.

Дискретне управління фазою можна реалізувати, використовуючи плавні або комутаційні фазообертачі. При використанні паливних фазообертачів дискретність фази забезпечується вибором окремих точок характеристики фазообертача. В цьому випадку нестабільності фазообертача помітно впливають на характеристики решітки (аналогічно безперервного способу управління фазою). Комутаційні фазообертачі є фазообертачі з дискретним набором фаз. Кожен елемент такого фазообертача працює в двох режимах, відповідних крайніх точках їх характеристик. При відсутності керуючого імпульсу зрушення фази дорівнює нулю, а при наявності імпульсу зсув фази дорівнює величині дискрета. Завдяки цьому, вплив нестабільності практично виключено [20].

Антенні решітки з комутаційними фазообертачів, звані дискретно-комутаційними, знаходять широке застосування на практиці.

Більш повно з принципами роботи ФАР, особливостями їх побудови та експлуатації модно ознайомитися в літературі.

При фазовому управлінні променем фазообертачі істотно впливають на ефективність роботи ФАР, їх простоту і економічність. Тому до фазообертачів пред'являється цілий комплекс вимог: вони повинні

забезпечити необхідний зсув фази з достатньою точністю, пропускати велику потужність, мати велику швидкодію, діапазанность, мінімальні втрати, малі габарити, споживати малу потужність для управління, повинні бути надійними і дешевими.

В даний час широкого поширення набули два типи фазообертачів - феритові і напівпровідникові. Розробляються також сегнетоелектрические та плазмові фазообертачі, управлявшіе постійним електричним полем.

Феритові фазообертачі дозволяють отримати як плавне, так і дискретна зміна $\Phi_{\text{вн}}$. Застосовуються ФВ про поздовжнім і поперечним керуючими магнітними полями ФВ про поздовжнім керуючим полем дозволяють отримати великі фазові зрушення при порівняно невеликих керуючих полях. Але вони мають нижчу продуктивність стабільністю, ніж ФВ про поперечним полем.

Керуючий магнітне поле може змінюватися плавно або дискретно (аналогові або комутаційні фазообертачі). Такі фазообертачі можуть бути прохідного або відбивної типу.

В останньому випадку на виході взаємного ФВ встановлюється короткозамикающего перемикача. Відбивні ФВ зручні для використання в відбивних антенних решітках.

Феритові ФВ найбільш доцільно застосовувати в сантиметровому діапазоні хвиль, так як вони дозволяють отримати зміна фази в межах 360° і більше. Феритові фазообертачі володіють малою інерційністю (швидкодія лежить в межах від десятих часток до десятків мікросекунд). Втрати енергії в 3-сантиметровому діапазоні становлять приблизно 0,7 дБ на 360° - 400° для аналогових ФВ і близько 0,3 дБ на один розряд в дискретних ФВ. В даний час серійні зразки забезпечують пропускання імпульсної НВЧ потужності $P_i = 500 \text{ кВт}$ і середньої потужності $P_c < 1 \text{ кВт}$.

Серйозним недоліком феритових ФВ є залежність їх характеристик від температури, частоти і (меншою мірою) від величини пропускається потужності. Вони мають значну вагу і габарити.

Напівпровідникові фазообертачі мають дуже малу інерційність і незначну потужність управління. У таких фазообертачів використовуються елементи, які змінює свої параметри під дією прикладеного до них напруження.

Так ж, як ферритові ФВ вони можуть будуватися по прохідній і відбивної схемами і дозволяють отримати як плавне, так і дискретна зміна фази.

Для плавної зміни фази використовуються елементи з керованою ємністю. Вони включаються або безпосередньо в відрізок НВЧ лінії передачі, або за допомогою спеціальних чотиріполюсників і багатополюсників зв'язку (відрізків ліній, циркуляторів, мостів еквівалентна схема послідовного включення діодів в хвилевід, що утворюють прохідний фазообертач. Швидкість поширення хвилі в лінії, а отже і фаза вихідного сигналу, залежать від величини напруги прикладеного до діодів.

Параметри факторів нестійкості, володіють великим розкидом, а пропускається потужність поки невелика, що обмежує область їх застосування.

Напівпровідникові комутаційні фазообертачі мають більші можливості. У таких ФВ використовуються перемикаючі діоди з двома стійкими станами, що забезпечує більш стабільну роботу.

Дискретні ФВ на діодах конструюються як по відбивної, так і по прохідній.

У схемі, коротке замикання для НВЧ коливань встановлюється в місці розташування того діода, через який пропущений керуючий струм, і стрибок фаз буде залежати від електричної довжини короткозамкнутого відрізка лінії. Знеструмлені мають дуже низьку провідність і майже не впливають на процес поширення хвилі вздовж лінії. Ємності C_p служать для забезпечення розв'язки керуючого напруги з коливаннями високої частоти.

У схемі з допомогу діодів в додаються ділянки завдовжки% що забезпечує відповідний фазовий зсув сигналу.

Напівпровідникові ФР мають втрати дещо більші, ніж втрати феритових ФВ. Пропускається потужність напівпровідникових ФВ ще помітно менше, ніж для феритових. Швидкодію напівпровідникових ФВ становить кілька мікросекунд. Вони мають меншу вагу і габарити.

В даний час проводяться великі роботи, спрямовані на підвищення надійності напівпровідникових елементів, зменшення втрат та збільшення рівня пропускається ними потужності. Велика увага приділяється також розробці ФВ на полоскова лініях, що дозволяють зменшити габарити і вартість фазообертачів.

Слід мати на увазі, що зі збільшенням частоти параметр діодних ФВ погіршуються і при $L = 5-8$ см вони починають явно поступатися параметрам фазообертачів на ферритах. Тому при < 5 см перевага віддається феритовим ФВ, а при $L > 10$ см - напівпровідниковим. З огляду на бурхливий розвиток радіоелектроніки, можна очікувати використання кожного типу ФВ в ширшому діапазоні хвиль.

Тоді при збільшенні пропускається потужності і зменшення втрат, напівпровідникові комутаційні ФВ стануть вельми перспективним керуючим елементом ФАР.

З наведеного аналізу видно, що антенні решітки про фазовим методом гойдання променя мають значно високі можливостями управління, формою і положенням діаграми, ніж ґрати з частотним хитанням променя.

До недоліків фазового способу сканування відносяться складність і висока вартість антени через великої кількості елементів, а також труднощі, що виникають при створенні фазоуправляючих пристроїв. Тому конструкція таких антен складніше, ніж конструкція решіток з частотним хитанням променя.

Через втрати в ФВ і фазових помилок в розкритті загальний КВП в кращих зразках пасивних ФАР становить 0,35-0,45 (в дзеркальних КВП досягає 0,7-0,75). Фазові помилки в раскріве призводять також до помилок в установці променя і збільшення рівня бічного випромінювання.

Крім того, швидкість переміщення променя при фазовому способі управління нижче, ніж при частотному способі сканування.

Створення та впровадження нових високочастотних фазообертачів дозволить істотно поліпшити ефективність роботи і знизить вартість ФАР.

1.2.5 Двовимірні антенні решітки

В одновимірних (лінійних) ФАР хитання променя може проводитися частотними або фазовими способами тільки в одній площині для РЛС в більшості випадків необхідно здійснювати переміщення ДН в двох взаємно перпендикулярних координатах. У цьому випадку застосовуються плоскі (двовимірні) ФАР.

Такі ФАР дозволяють виробляти двовимірне сканування за допомогою різних комбінацій пристроїв з одновимірним хитанням променя.

Фазочастотну способ. При цьому способі хитання ДН в одній площині проводиться фазовим способом, а в іншій – частотним, показано, що хитання променя у вертикальній площині здійснюється фазовим способом за допомогою фазообертачів а в горизонтальній - за рахунок зміни частоти [21].

Для підвищення вискої чутливості випромінювачі живлється за допомогою хвилеводу.

1.2.6 Фазофазовий спосіб

При цьому способі хитання променя в обох площинах здійснюється за допомогою фазообертачів.

Компенсація зв'язку межет бути досягнута також шляхом введення спеціального зв'язку між фідерними лініями, що живлять випромінювачі. Зв'язок здійснюється за допомогою спеціальних реактивних сполучних ланцюгів. Цей спосіб більш ефективний, ніж спосіб введення перегородок

Проблема розрахунку взаємних зв'язків в ФАР, їх обліку та компенсації є однією з найважчих на шляху створення високоякісних фазованих ФАР.

Підводячи підсумки, відзначимо основні переваги та недоліки фазованих антенних решіток.

Основними достоїнствами ФАР є: можливість швидкого електричного управління променем шляхом зміни фазового розподілу в антені (час переміщення ДН на кут досягає десятих часток мікросекунди). Це дозволяє

- забезпечити малий час огляду простору і високу швидкість видачі даних;
- можливість проведення програмного огляду простору про допомогою ЕОМ;
- можливість підвищення загальної випромінюваної потужності при досить низькому її рівні в кожному окремому каналі, що дозволяє послабити вимоги до електричної міцності фидерного тракту;
- можливість сканування в широкому секторі кутів (до і більше 60°);
- широкі можливості створення бажаної діаграми направленості і управління її параметрами шляхом незалежного регулювання амплітудного і фазового розподілу;
- можливість формування за допомогою однієї антени багатьох променів, що дозволяє створити багатофункціональну РЛС;
- можливість здійснення спеціальних методів обробки сигналів, прийнятих окремими елементами, що дозволяє підвищити роздільну здатність антени;
- здатність вписуватися в геометрію об'єкта, на якому вони встановлені. Це особливо важливо для антен, що встановлюються на літальних апаратах і кораблях;
- висока надійність антени (вихід з ладу до 20 елементів мало впливає на роботу всієї антени).

При необхідності антена може бути зроблена досить міцною і захищеною від впливу ядерного вибуху.

До основних недоліків ФАР можна віднести наступне:

- складність фідерної системи і великі втрати в ній;
- необхідність спеціалізованої ЕОМ для управління роботою ФАР і обробки даних;
- висока вартість антени;
- труднощі розширення смуги пропускання;

Складність забезпечення необхідного АФР через взаємного впливу між елементами решітки, яке змінюється при хитанні ДН.

У звичайних антенах сигнали, прийняті окремими елементами антени, складаються, і потім сумарний сигнал підводиться до приймального пристрою. В даний час існує великий клас антен, в яких сигнали, прийняті окремими елементами антени, піддаються спочатку спеціальній обробці і вже потім результуючий сигнал підводиться до приймального пристрою. Це дозволяє поліпшити характеристики антен (знизити рівень бічних пелюсток, забезпечити одночасний огляд деякого сектора простору за допомогою віяла променів і т.д.) і витягти з прийнятого сигналу більшу інформацію про мету.

Методи обробки сигналів в антенах різноманітні, а саме: послідовне підсумовування сигналів, прийнятих окремими елементами з відповідною затримкою (антени з синтезованим розкритом); порівняння за амплітудою або фазі сигналів, прийнятих елементами антени з подальшим управлінням її положення (антени моноімпульсних РЛС), тимчасова модуляція параметрів антени з подальшою частотної фільтрацією сигналів на виході; нелінійна обробка сигналу, наприклад, множення сигналів від окремих елементів антени або зведення їх до рівня і т.д. [22].

1.2.7 Адаптивні антени

Адаптивні антени представляють один з класів антен з обробкою сигналу, характеристики яких змінюються з тих чи інших алгоритмів в залежності від зовнішніх обставин. За рахунок адаптації (пристосування) до

зовнішньої обстановці такі антени дозволяють істотно підвищити ефективність їх використання. Тому за останній час значно підвищився інтерес до адаптивним антенних систем. Прикладами адаптивної антени є самофокусіруючі антенні решітки і ретродіректівні решітки (решітки з спрямованим пере випромінюванням- енергією).

Самофіксуючі антенні решітки являють собою антенні решітки, в яких за допомогою спеціальних схем автоматичного регулювання забезпечується синфазне складання сигналів, прийнятих кожним елементом антени.

Блок-схема найпростішої приймальної самофокусіруючої антеною решітки (СФАР) представлена.

Як елементи такої антеною решітки можуть використовуватися як слабонаправленні випромінювачі, так і антени з великими апертурами (дзеркальні, лінзові і т.д.).

Сигнали, прийняті елементами антени, подаються на фазові детектори (ФД) свого каналу. На другі входи ФД подається опорний сигнал (напруга однієї і тієї ж фази).

У фазовому детекторі відбувається порівняння фаз прийнятих сигналів з фазою опорного напруги. З виходу ФД сигнал помилки, пропорційний різниці фаз між прийнятим і опорним коливаннями, надходить на керований фазообертач. Фазообертач буде повертати фазу сигналу до тих пір, поки напруга сигналу помилки не виходу не дорівнюватиме нулю. Тобто поки фаза прийнятого сигналу не стане дорівнює фазі опорного напруги. Таким чином, на вході суматора сигнали, що приймаються від кожного елемента антени будуть мати одну і ту ж фазу. У суматорі відбувається когерентне додавання всіх коливань, прийнятих елементами антеною решітки. Це означає, що в сталому режимі максимум головної пелюстки ДН буде орієнтований на джерело випромінювання [23].

Отже, в таких антенах максимум головної пелюстки ДН автоматично орієнтується на ціль. У міру руху цілі антена буде "стежити" за її переміщенням в просторі.

Застосування такої антени дозволяє також різко послабити допуски на виготовлення і стабільність елементів антени і фідерного тракту, так як фазові нестабільності автоматично компенсуються. Це істотно знижує вартість антени в цілому.

Так як в процесі роботи СФАР фазові нестабільності відслідковуються, то окремі елементи таких ґрат можна розташовувати на поверхні будь-якої форми і на різних (не обов'язково навіть точно відомих) відстанях один від одного. Це особливо важливо для антен, що встановлюються на борту літальних апаратів або кораблях.

Особливістю роботи СФАР є також те, що їх легко можна використовувати для створення прийомопередаючих антенних решіток. Такі антени фокусують передану енергію назад в напрямку приходу сигналів.

Все сказане дозволяє зробити висновок, що самофокусіруючі антени мають ряд переваг і є вельми перспективним видом антен.

Ретродіректівні антени представляють собою приємно-передаючі решітки, перевипромінювати прийнятий сигнал в зворотному напрямку на джерело випромінювання. Необхідна для цього фазировка випромінювачів здійснюється автоматично. Одновимірною перевипромінювальною решіткою, запропонована Ван Атоммом.

У запропонованій ним схемі (решітці Ван Атта) випромінювачі, симетричні щодо центру решітки, з'єднані відрізками фідерної лінії однакової довжини.

Сигнали, що приймаються елементами решітки праворуч від її центру, переїзляються дзеркально розташованими елементами в лівій половині решітки. Так як випромінювачі з'єднані відрізками лінії передачі однакової довжини, то затримка сигналів у всіх випромінювачів буде однаковою.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФОРМИ ЗОНИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ РЛС З ВИКОРИСТАННЯМ ФАЗОВОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

2.1 Формування вимог до моделі зони спостереження метеорологічної РЛС з використанням фазової решітки

3ds MAX – популярний програмний пакет, призначений для редагування 3-мірної графіки і її візуалізації. Утиліта чудово підходить для створення простих і найскладніших структурованих тривимірних об'єктів – тварин, людей, будівель. Програма також дозволяє виконувати глибоке моделювання природного середовища, включаючи освітлення, воду, дерева, вітер. 3ds MAX – справжній лідер серед інструментів, які використовуються в дизайні інтер'єрів і архітектурі.

У додаток інтегрований потужний модуль анімації, що надає величезні можливості щодо управління параметрами анімованого зображення. Створюваний при цьому відеоряд володіє високою реалістичністю. Графічна середа більшості комп'ютерних ігор створена засобами 3ds MAX. Крім цього, даний пакет широко використовується в теле і кіноіндустрії.

Потреба в застосуванні утиліти з'являється тоді, коли необхідно отримати зображення однієї і тієї ж сцени або предмета в різних проекціях. Варто відзначити, що промальовування якоїсь сцени в 2d-редакторі займе менше часу. Однак створивши проект в 3ds MAX, користувач отримує можливість генерувати сцену в необмеженому числі проекцій.

Важливий також той факт, що процес накладення тіней і світла в 3ds MAX здійснюється автоматично (головне правильно налаштувати джерела світла), у той час як в 2d-редакторах дана операція покладається на користувачів. Робота в програмі здійснюється в чотири етапи:

- Моделювання – створення каркаса, структури об'єктів, що підлягають візуалізації, їх математичних моделей;

- текстурування – формування текстури, основних візуальних характеристик для об'єктів;
- постановка світла – окрема і трудомістке завдання, для вирішення якої 3ds MAX пропонує широкий асортимент різних типів джерела світла і чималі можливості по їх налаштування;
- рендеринг – отримання кінцевого результату – растрового зображення.

Математична модель, створена на попередніх етапах, трансформується в зображення, коли йдеться про анімацію – в набір зображень.

Підтримуються наступні формати файлів: 3ds, max, lwo, jpg, png.

Візуалізація тривимірної сцени в 3ds MAX може здійснюватися різними модулями рендеринга, призначеними безпосередньо для 3d-редакторів. Великою популярністю користується V-Ray – зовнішній візуалізатор, який характеризується більш реалістичними зображеннями і величезним числом налаштувань, порівняно з вбудованим в 3ds MAX візуалізатором Scanline.

2.1.2 Інтегроване середовище розробки Microsoft Visual Studio

Продукт компанії Microsoft, що включає в себе інтегроване середовище розробки програмного забезпечення і ряд інших інструментальних засобів. Даний продукт дозволяє розробляти як консольні додатки, так і додатки з графічним інтерфейсом, в тому числі з підтримкою технології Windows Forms, а також веб-сайти, веб-додатки, веб-служби як в рідному, так і в керованому кодах для всіх платформ, підтримуваних Microsoft Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, .NET Compact Framework і Microsoft Silverlight.

Visual Studio включає в себе редактор вихідного коду з підтримкою технології IntelliSense і можливістю найпростішого рефакторинга коду. Вбудований відладчик може працювати як відладчик рівня вихідного коду,

так і як відладчик машинного рівня. Решта вбудовуються інструменти включають в себе редактор форм для спрощення створення графічного інтерфейсу додатку, веб-редактор, дизайнер класів і дизайнер схеми бази даних. Visual Studio дозволяє створювати і підключати сторонні додатки (плагіни) для розширення функціональності практично на кожному рівні, включаючи додавання підтримки систем контролю версій вихідного коду (як наприклад, Subversion і Visual SourceSafe), додавання нових наборів інструментів (наприклад, для редагування і візуального проектування коду на предметно-орієнтованих мовах програмування або інструментів для інших аспектів циклу розробки програмного забезпечення (наприклад, клієнт Team Explorer для роботи з Team Foundation Server) [24].

Був обраний даний програмний продукт, оскільки це зручна інтегроване середовище розробки для написання програм на мові C ++, що має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і дає можливість легко підключати додаткові бібліотеки до проекту, що розробляється.

2.1.3 Інструмент для розробки додатків Unity

Одна з важливих особливостей Unity його кроссплатформенність – тобто здатність працювати на різних платформах. Платформонезалежна прошарок забезпечує легку портіруемость (тобто перенесення движка) на різні не підтримуються офіційно платформи, зокрема існують порти під android, iPhone та ін.

Редактор Unity має простий Drag & Drop інтерфейс, який легко налаштовувати, що складається з різних вікон, завдяки чому можна виробляти налагодження гри прямо в редакторі. Движок підтримує три сценарних мови: C #, JavaScript (модифікація), Boo (діалект Python). Boo прибраний в п'ятому версії. Розрахунки фізики виробляє фізичний движок PhysX від NVIDIA.

Проект в Unity ділиться на сцени (рівні) – окремі файли, що містять свої ігрові світи зі своїм набором об'єктів, сценаріїв, і налаштувань. Сцени можуть містити в собі як, власне, об'єкти (моделі), так і порожні ігрові об'єкти – об'єкти, які не мають моделі. Об'єкти, в свою чергу містять набори компонентів, з якими і взаємодіють скрипти. Також у об'єктів є назва (у Unity допускається наявність двох і більше об'єктів з однаковими назвами), може бути тег (мітка) і шар, на якому він повинен відображатися.

Так, у будь-якого об'єкта на сцені обов'язково присутній компонент Transform – він зберігає в собі координати місця розташування, повороту і розмірів об'єкта по всіх трьох осях. У об'єктів з видимою геометрією також за умовчанням присутній компонент Mesh Renderer, що робить модель об'єкта видимою [25].

Основні переваги:

- простота у вивченні і використанні;
- сумісність з такими інструментами, як 3D, звукові, графічні та редактори спецефектів;
- великий набір можливостей;
- можливість завантажувати готові 3D моделі;
- безкоштовність і відкритість движка;
- практична застосовність.:
- простота у вивченні і використанні;
- сумісність з такими інструментами, як 3D, звукові, графічні та редактори спецефектів;
- великий набір можливостей;
- можливість завантажувати готові 3D моделі;
- безкоштовність і відкритість движка;
- практична застосовність.

Програми, створені за допомогою Unity, підтримують DirectX і OpenGL. Активно движок використовується як великими розробниками (Blizzard, EA, QuartSoft, Ubisoft) так і розробниками Indie-ігор (наприклад,

ремейк Мор. Утопія (Pathologic), Kerbal Space Program, Slender: The Eight Pages, Slender : The Arrival, Surgeon Simulator 2013, Baeklyse Apps: Save the Bubble і т. п.) в силу наявності безкоштовної версії, зручного інтерфейсу і простоти роботи з движком.

Даний графічний движок був обраний тому, що він ідеально підходить для новачків, простий в освоєнні і має всі необхідні функції для реалізації функціоналу системи. Також важливим є те, що даний графічний движок має відкритий вихідний код, що дозволяє при необхідності вносити зміни або доповнювати існуючі можливості.

2.2 Розробка алгоритма побудови зони спостереження МРЛС с параболічною дзеркальною антеною

Редактор Unity имеет простой Drag&Drop интерфейс, который легко настраивать, состоящий из различных окон, благодаря чему можно производить отладку игры прямо в редакторе. Движок поддерживает три сценарных языка: C#, JavaScript (модификация), Boo (диалект Python). Boo убран в 5-ой версии. Расчёты физики производит физический движок PhysX от NVIDIA.

Проект в Unity делится на сцены (уровни) — отдельные файлы, содержащие свои игровые миры со своим набором объектов, сценариев, и настроек. Сцены могут содержать в себе как, собственно, объекты (модели), так и пустые игровые объекты — объекты, которые не имеют модели («пустышки»). Объекты, в свою очередь содержат наборы компонентов, с которыми и взаимодействуют скрипты. Также у объектов есть название (в Unity допускается наличие двух и более объектов с одинаковыми названиями), может быть тег (метка) и слой, на котором он должен отображаться. Так, у любого объекта на сцене обязательно присутствует компонент Transform — он хранит в себе координаты местоположения, поворота и размеров объекта по всем трём осям. У объектов с видимой

геометрией также по умолчанию присутствует компонент Mesh Renderer, делающий модель объекта видимой[26].

К объектам можно применять коллизии (в Unity т. н. коллайдеры — collider). Существует несколько типов коллайдеров:

Character controller — вид физической модели, созданный специально под использование его для игровых персонажей;

Box collider (физическая модель образует куб, в который попадает вся модель объекта);

Sphere collider (физическая модель образует сферу, в которую попадает вся модель объекта);

Capsule collider (физическая модель образует капсулу, в которую попадает модель объекта. В отличие от предыдущего типа размеры можно менять и по одной, и по трём осям сразу);

Mesh collider (физическая модель полностью повторяет реальную геометрию объекта);

Wheel collider (физическая модель колеса);

Terrain collider тип физической модели, созданный специально для использования на объекте типа Terrain — земля, генерируемая редактором Unity с возможностями скульптинга и окрашивания местности.

Также Unity поддерживает физику твёрдых тел и ткани, а также физику типа Ragdoll (тряпичная кукла). В редакторе имеется система наследования объектов; дочерние объекты будут повторять все изменения позиции, поворота и масштаба родительского объекта. Скрипты в редакторе прикрепляются к объектам в виде отдельных компонентов.

При импорте текстуры в Unity можно сгенерировать alpha-канал, mip-уровни, normal-map, light-map, карту отражений, однако непосредственно на модель текстуру прикрепить нельзя — будет создан материал, которому будет назначен шейдер, и затем материал прикрепится к модели. Редактор Unity поддерживает написание и редактирование шейдеров. Редактор Unity имеет компонент для создания анимации, но также анимацию можно создать

предварительно в 3D-редакторе и импортировать вместе с моделью, а затем разбить на файлы.

Помимо пустого игрового объекта и моделей, на сцену можно добавлять ещё такие объекты типа GameObject.

Unity 3D поддерживает систему Level Of Detail (сокр. LOD), суть которой заключается в том, что на дальнем расстоянии от игрока высокодетализированные модели заменяются на менее детализированные, и наоборот, а также систему Occlusion culling, суть которой в том, что у объектов, не попадающих в поле зрения камеры не визуализируется геометрия и коллизия, что снижает нагрузку на центральный процессор и позволяет оптимизировать проект. При компиляции проекта создается исполняемый (.exe) файл игры (для Windows), а в отдельной папке — данные игры (включая все игровые уровни и динамически подключаемые библиотеки).

Модели, звуки, текстуры, материалы, скрипты можно запаковывать в формат .unityassets и передавать другим разработчикам, или выкладывать в свободный доступ. Этот же формат используется во внутреннем магазине Unity Asset Store, в котором разработчики могут бесплатно и за деньги выкладывать в общий доступ различные элементы, нужные при создании игр. Чтобы использовать Unity Asset Store, необходимо иметь аккаунт разработчика Unity. Unity имеет все нужные компоненты для создания мультиплеера. Также можно использовать подходящий пользователю способ контроля версий. К примеру, Tortoise SVN или Source Gear. Даний графічний движок був обраний тому, що він ідеально підходить для новачків, простий в освоєнні і має всі необхідні функції для реалізації функціоналу системи. Також важливим є те, що даний графічний движок має відкритий вихідний код, що дозволяє при необхідності вносити зміни або доповнювати існуючі можливості.

Unity3d является современным кросс-платформенным движком для создания игр и приложений, разработанный Unity Technologies. С помощью

данного движка можно разрабатывать не только приложения для компьютеров, но и для мобильных устройств (например, на базе Android), игровых приставок и других девайсов.

Во-первых, стоит отметить то, что в среду разработки Unity интегрирован игровой движок, иными словами, вы можете протестировать свое приложение не выходя из редактора. Во-вторых, Unity поддерживает импорт огромного количества различных форматов, что позволяет разработчику приложения конструировать сами модели в более удобном приложении, а Unity использовать по прямому назначению — разработки продукта. В-третьих, написание сценариев (скриптов) осуществляется на наиболее популярных языках программирования — C# и JavaScript.

Таким образом, Unity3d является актуальной платформой, с помощью которой вы можете создавать свои собственные приложения и экспортировать их на различные устройства, будь то мобильный телефон или приставка.

Для того чтобы создать свое приложение, вам, как минимум, нужно владеть одним из доступных (на Unity) языков программирования: C#, JavaScript или Boo.

В любом случае понадобится установленный 3Ds max на компьютер, для импортирования готовых 3D моделей. Ибо, в большинстве своем, необходимые модели имеют формат проекта, т.е. необходимо будет зарендерить их в соответствующий для Unity3d формат, например, в *.3DS, и только после этого делать импорт в Unity, в противном случае последний выдаст ошибку.

Коллайдер — это область пространства, при взаимодействии с которой выполняются те или иные скрипты, действия. Рассмотрим на примере автоматической двери, вы подходите к автоматически открывающимся дверям универсама. За пару метров от дверей, срабатывает датчик и двери распахиваются перед вами, но если вы пройдете за три метра, то ничего не произойдет.

Как раз та зона, в которой действует датчик движения, отвечающий за открывание дверей, и есть коллайдер. Вы входите в зону — двери открываются, выходите из зоны — и датчик уже никак не будет реагировать на ваше присутствие.

К примеру импортировали в наш проект локатор и хотим сгенерировать для него коллайдер. Можно сгенерировать автоматически коллайдер для всего локатора, но тогда для каждой детали локатора — датчи, луч, зеркала, антенна — будет сгенерирован свой коллайдер.

Оптимальная работа со сценами. Готовое приложение — это набор сцен, соединенных между. Прежде чем создать свой проект — подумайте, что он должен в себя включать (какие сцены). Составьте список сцен (на листочке), обдумайте, что каждая сцена будет в себе содержать. Теперь каждую сцену разбить на подсцены, чем больше их будет, тем легче будет вашему ЦП. Конечно, не стоит перебарщивать с количеством сцен. Нужно грамотно расходовать память процессора, но и забывать о получении хорошего изображения приложения тоже не стоит.

При конструировании приложения важно помнить о структурировании данных — немаловажном аспекте. Имеется ввиду, что все должно быть на своем месте. При создании скриптов создать папку для скриптов, там и хранить их, с большой вероятностью, будет не один скрипт, разбрасывать их по всему проекту не стоит. Понадобится создать папки со скриптами, звуковыми файлами, с GUI текстурами, материалами, анимациями, быть может, префабами и собственными моделями (импортированные из 3Ds max'a объекты лучше хранить именно в последней папке, дабы не разбрасывать все модели по проекту в хаотичном порядке). Когда вы создаете тот или иной скрипт, помните о том, что название переменных, классов и т.п. должны говорить все сами за себя. Если вы хотите создать скрипт для сканирования (поднять антенну, активировать луч), то лучше все скрипты однообразных действий (например, поднятия) начинать с ключевого слова, например: `Catch<имя предмета>; Use <имя предмета>`, в таком случае

вам будет легче ориентироваться в проекте, да и выглядит так намного эстетичнее.

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ МЕТЕОРОЛОГІЧНІ РЛС З ФАЗОВАННОЮ АНТЕННОЮ РЕШІТКОЮ

Розроблена програма система призначена для моделювання радіолокаційної станції і процесу радіолокаційного огляду моделі формування зони спостереження метеорологічні РЛС з фазованною антенною решіткою.

3.1 Загальний опис програми та її вид

Вікно вітання, воно ж головне меню. У головному вікні відображений ілюстрація ФАР, творці програмного продукту і керівник курсового проекту, а так само 3 кнопки: ФАР з механічним керванням по азимуту та ФАР з електронним керуванням проміня (рис. 3.1)

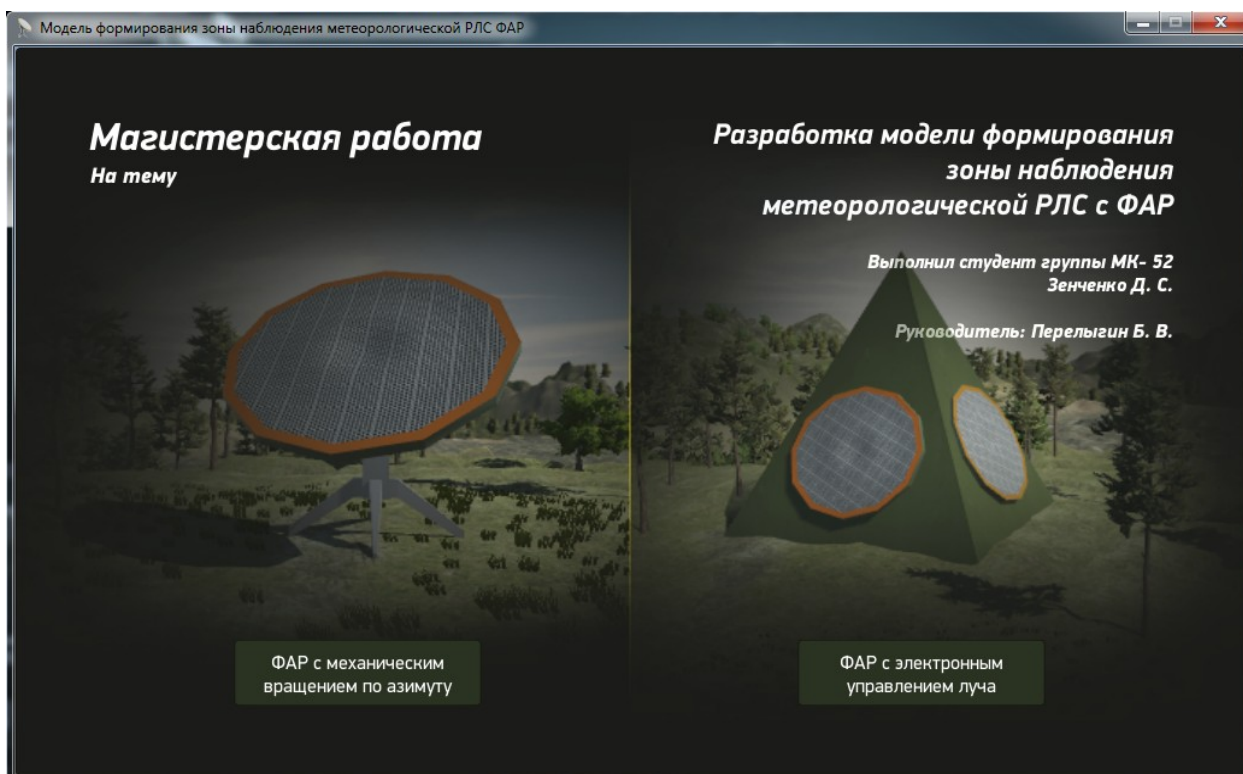


Рисунок 3.1 – Головне вікно програми

3.1.2 Фазована антенна решітка з механічним керуванням

Оператор може обрати потрібний на даний момент йому режим, та працювати в ньому. За допомогою простого інтерфейсу особливих проблем з ознайомленням не має бути.

Далі оператор може обрати режим формування зони огляду в якій відображена робота моделі ФАР.

Оператор може обрати в меню відстань в спеціально випадаючому списку. На рис. 3.2 відображено меню режиму роботи ФАР.



Рисунок 3.2 – Режим роботи

Та обрати шаг по куту місткості за допомогою галки можна обрати 0.5, 1.5 та 3.0 градуса. Після всіх обраних параметрів натиснути кнопку "Пуск", після чого ФАР почне виконувати роботу під час якої ФАР почне плавний поворот навколо свої осі та сканування з підняттям луча направленості по

куту міста. Процес обертання за введеними даними відображен на рисунку 3.3

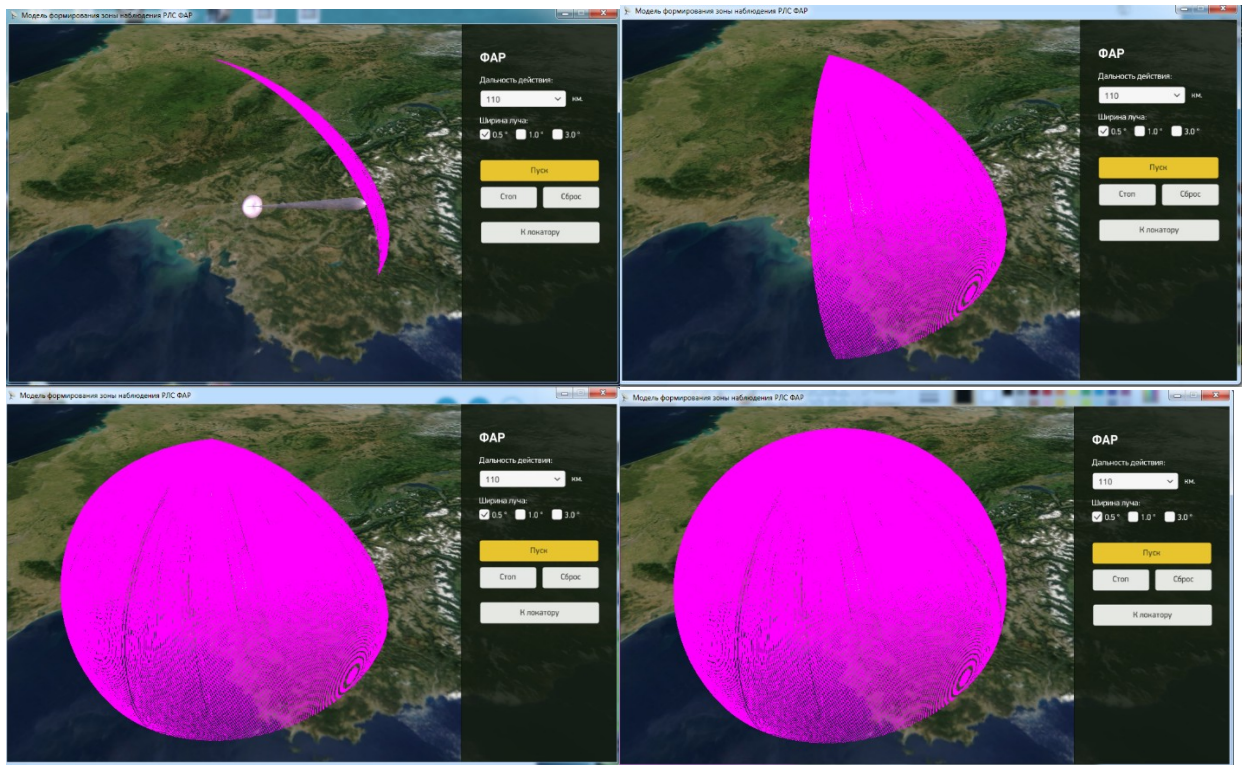


Рисунок 3.3 – Процес обертання за введеними даними

За даними – 110км відстань під кутом міста 0.5. Поступове повертання здійснюються згідно введених параметрів та відображуються вид згори. Процес обертання можливо зупинити завдяки кнопки "Стоп", та продовжити в будь який момент завдяки кнопці "Пуск". Якщо ж оператору потрібен вид локатора, то можливо натиснути кнопку "К локатору", камера зміниться на вид в якому проводиться ввід параметрів, процес обертання не буде змінюватися.

3.1.3 Фазована антенна решітка з електронним керуванням

На рис 3.4 відображено меню режиму роботи ЄФАР. Данна програма працює в чотирох напрямках. Сканування відбувається в реальному часі.

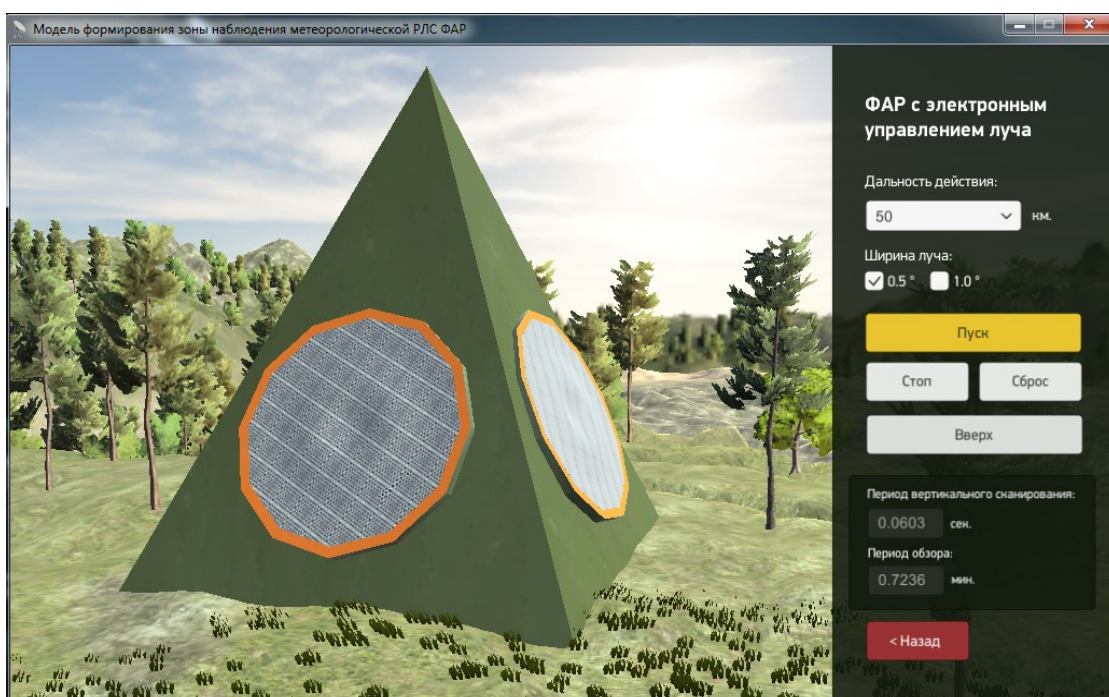


Рисунок 3.4 – ФАР з електронним керуванням промінням

Робота ФАР представлена на наступному рис. 3.5 При виставленні параметрів був обран радіус куполу 270км, ширина променя 1 градус.

Під час роботи є можливість переходити від виду зверху до локатору і навпаки.

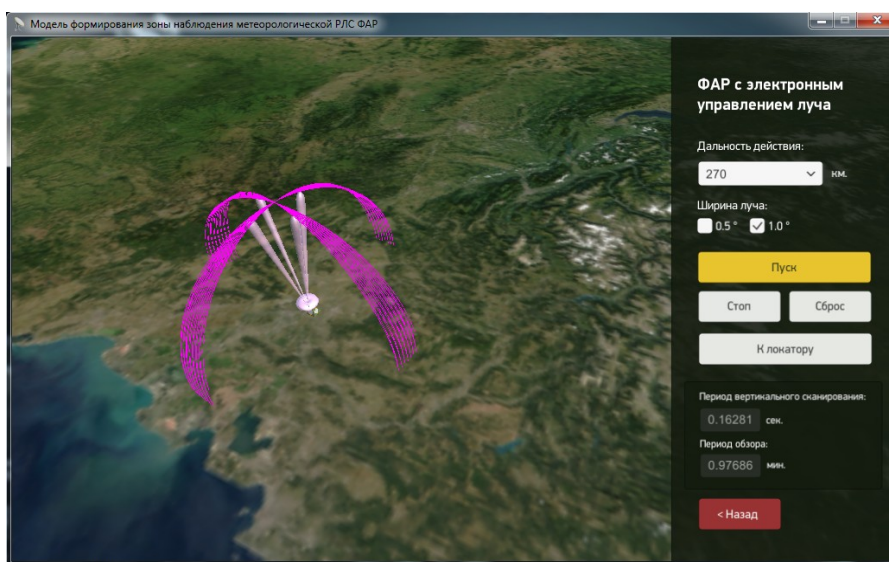


Рисунок 3.5 – Режим сканування ФАР з електронним керуванням проміння

Коли робота буде завершена то локатор перейде в початкову точку (точку старту, з якого локатор почав роботу). Введені параметри оператор може обнулити, ввести нові параметри, та почати роботу.

4 КЕРУВАННЯ ПРОЕКТАМИ

Проект – унікальний набір процесів, що складаються з скоординованих і керованих завдань з датами початку та закінчення, зроблених для досягнення мети. Досягнення мети проекту вимагає отримання результатів, що відповідають певним заздалегідь вимогам, в тому числі обмеження на отримання результатів, таких як час, гроші і ресурси.

Управління проектом – область діяльності, в ході якої визначаються та досягаються чіткі цілі проекту при балансуванні між обсягом робіт, ресурсами (такими як гроші, працю, матеріали, енергія, простір і ін.), Часом, якістю та ризиками. Ключовим фактором успіху проектного управління є наявність чіткого заздалегідь визначеного плану, мінімізації ризиків і відхилень від плану, ефективного управління змінами.

4.1 Планування проекту

Для поставленої задачі планування використовувалася програма MSProject 2010. Microsoft Project (або MSP) - програма управління проектами, розроблена і продається корпорацією Microsoft.

Microsoft Project створений, щоб допомогти менеджеру проекту в розробці планів, розподілі ресурсів за завданнями, відстеження прогресу і аналізі обсягів робіт.

Microsoft Project створює розкладу критичного шляху. Розклади можуть бути складені з урахуванням використовуваних ресурсів. Ланцюжок візуалізується в діаграмі Ганта.

Проект дозволяє досягти певного результату в певні терміни і за певні гроші. План проекту складається для того, щоб визначити, за допомогою яких робіт буде досягатися результат проекту, які люди й устаткування потрібні для виконання цих робіт, в який час ці люди і обладнання будуть

зайняті роботою по проекту. Тому проектний план містить три основні елементи: завдання (завдання), ресурси (ресурс) і призначення (призначення). У таблиці 4.1 наведено план проекту, відповідно до якого велася його розробка і реалізація. Дана таблиця містить всі завдання, які виконувалися при розробці багатомашинної моделі радіолокаційного моніторингу, тривалість кожної з задач, терміни її виконання, а також які ресурси для цього використовувалися.

Таблиця 4.1 – План проекту

Назва завдання	Тривалість	Початок	Кінець	Назви ресурсів
Початок реалізації проекту				
Проектування системи				
Ознайомлення з предметною областю				
Постановка задачі				
Аналіз предметної області				
Побудова функціональної моделі				
Інші роботи				
Проектування завершено				
Реалізація системи				
Аналіз доступних середовищ розробки				
Вибір середовища розробки				
Вибір бібліотек для розробки				
Складання формату для обміну даними				
Складання конфігураційного файлу				

першого модуля				
Продовження табл. 4.1				
Розробка інтерфейсу налаштувань мережі				
Розробка інтерфейсу налаштувань атмосфери				
Написання коду генерації атмосферної обстановки				
Складання конфігураційного файлу другого модуля				
Розробка інтерфейсу графічних налаштувань				
Розробка головного меню другого модуля				
Написання коду генерації рельєфу місцевості по карті висот				
Розробка інтерфейсу налаштувань радіолокаційної станції				
Написання коду завантаження моделі локатора				
Написання коду моделювання процесу огляду				
Реалізація мережевого обміну даними між першим і другим модулем				
Написання коду для передачі результатів огляду				
Складання конфігураційного файлу третього модуля				

Розробка головного меню третього модуля				
---	--	--	--	--

Продовження табл. 4.1

Написання коду для візуалізації оброблених даних				
Продовження				
Написання коду для збереження результатів обробки				
Інші роботи				
реалізація завершена				
Налагодження розробленої системи				
Тестування роботи першого модуля				
Виправлення помилок першого модуля				
Тестування роботи другого модуля				
Виправлення помилок другого модуля				
Тестування третього модуля				
Виправлення помилок третього модуля				
Інші роботи				

4.2 Керування ризиками проекту

Причиною виникнення ризиків є невизначеності, що існують в кожному проекті. Ризики можуть бути відомі - ті, які визначені, оцінені, для яких можливо планування. Ризики невідомі - ті, які не ідентифіковано і не можуть бути спрогнозовані. Хоча специфічні ризики і умови їх виникнення не визначені, менеджери проекту знають, виходячи з минулого досвіду, що більшу частину ризиків можна передбачити.

Реалізуючи проекти, що мають високий ступінь невизначеності в таких елементах, як цілі і технології їх досягнення багато компаній приділяють увагу розробці та застосуванню корпоративних методів управління ризиками. Дані методи враховують як специфіку проектів, так і корпоративних методів управління.

Управління ризиками – це процеси, пов'язані з ідентифікацією, аналізом ризиків та прийняттям рішень, які включають максимізацію позитивних і мінімізацію негативних наслідків настання ризикових подій. Процес управління ризиками проекту зазвичай включає виконання наступних процедур:

- 1) Планування управління ризиками - вибір підходів і планування діяльності з управління ризиками проекту.
- 2) Ідентифікація ризиків - визначення ризиків, здатних вплинути на проект, і документування їх характеристик.
- 3) Якісна оцінка ризиків - якісний аналіз ризиків і умов їх виникнення з метою визначення їх впливу на успіх проекту.
- 4) Кількісна оцінка - кількісний аналіз ймовірності виникнення та впливу наслідків ризиків на проект.
- 5) Планування реагування на ризики - визначення процедур і методів по ослабленню негативних наслідків ризикових подій і використання можливих переваг.
- 6) Моніторинг та контроль ризиків - моніторинг ризиків, визначення залишаються ризиків, виконання плану управління ризиками проекту і оцінка ефективності дій з мінімізації ризиків.

Всі ці процедури взаємодіють один з одним, а також з іншими процедурами. Кожна процедура виконується, принаймні, один раз в кожному проекті. Незважаючи на те, що процедури розглядаються як дискретні елементи з чітко визначеними характеристиками, на практиці вони можуть частково збігатися і взаємодіяти.

При розробці даного наукового проекту не здійснювалося серйозне управління ризиками, проте враховувалася можливість виникнення певних форс-мажорів, таких як хвороби виконавців, забуті роботи і т.п. Для цього в кожен етап була додана фіктивна завдання з мінімальним пріоритетом, під назвою «інші роботи» для кожного ресурсу, що можна побачити в таблиці 4.1. Після вирівнювання ресурсів ці завдання виявляються в кінці етапу. Тривалість цих завдань залежить від імовірності виникнення і ступеня впливу ризиків, вона залежить від способу визначення оцінок тривалості завдань, здоров'я членів команди та інших факторів. Тривалість «інших робіт» для кожного етапу розробки виставлялася приблизно до чверті довжини етапу. Такий метод обліку ризиків дозволяє, по-перше назвати терміни виконання проекту і його етапів, причому аргументовано і з високим ступенем достовірності, і по-друге оцінити приблизні трудовитрати по проекту.

4.3 Оцінка трудомісткості і термінів розробки програмного забезпечення

На даному етапі необхідно визначити, скільки часу займе реалізація проекту і в які терміни необхідно вирішити ту чи іншу задачу. Це, в свою чергу, визначить, коли саме потрібно залучити ті чи інші ресурси і як буде контролюватися розподіл коштів проекту.

Варто відзначити, що в управлінні термінами пріоритетним є визначення взаємозв'язків завдань проекту та способів їх реалізації; саме це і впливає в першу чергу на те, як вибудовуються завдання в календарному плані робіт. Даний підхід має ряд переваг:

По-перше, робота повинна визначати графік, а не навпаки, тому що досить легко розробити календарний план, який на ділі буде розходитися з намірами.

По-друге, даний підхід повністю збігається з інструментами управління

проектами, такими як Microsoft Project.

По-третє, використовуючи даний підхід, можна отримати цілком реалістичний графік результатів, менш схильних до змін, на відміну від графіків робіт, які є більш гнучкими і визначаються іншими способами.

Таким чином, процеси управління термінами проекту включають в себе наступні фази:

1) Визначення складу операцій - виявлення всіх планових операцій, які необхідно здійснити. Це досягається за допомогою таких методів як: декомпозиція, шаблони, планування методом набігає хвилі, експертна оцінка і т.д.

2) Визначення взаємозв'язків операцій включає ідентифікацію та документування логічних взаємозв'язків між плановими операціями. Завдання послідовності може бути виконання за допомогою програмного забезпечення для управління проектами або вручну.

3) Оцінка ресурсів операцій покликана визначити, які ресурси (людські, матеріальні і т.д.) будуть використовуватися і в якій кількості, і коли кожен з цих ресурсів буде доступний для виконання проектних рішень.

4) Оцінка тривалості операцій задіє інформацію про зміст робіт планової операції, типах необхідних ресурсів, розрахунковій кількості ресурсів і календарях ресурсів із зазначенням їх доступності.

5) Розробка розкладу здійснюється за допомогою визначення планових дат початку та закінчення кожної з операцій на проекті. Розробка розкладу проводиться безперервно по всьому проекту в міру виконання робіт, зміни плану управління проектом і виникнення або припинення очікуваних ризиків або виявлення нових.

6) Управління розкладом інтегрує в собі всі вищеописані фази.

Коли всі плановані результати відображені на діаграмі, то не важко визначити початок і закінчення кожного результату.

Сама рання дата початку виконання завдання відповідно до логіки і обмеженнями розкладу називається «ранній старт». Її початок залежить від

того, чи повинна попередня завдання бути завершена або достатньо її почати. Додаючи до дати «раннього старту» відрізок часу, призначений на виконання завдання, можна знайти дату «раннього фінішу», або найбільш раннього терміну завершення завдання відповідно до логіки і обмеженнями розкладу. Таким чином, можна визначити ранній старт і фініш для кожної з задач на діаграмі. Такий метод називається «прямий прохід». Він має на увазі прочитання діаграми зліва направо.

Отже, використовуючи метод прямого проходу, можна також дізнатися якою є загальна тривалість всього проекту, і в який час знадобляться ресурси для виконання проектних завдань. Отримані для даного проекту результати статистики проекту показані на малюнку.

Для оцінки трудомісткості були складені зведений звіт про трудовитратах і ресурсів та звіт про базові трудозатратах ресурсів. Результати цих двох звітів наведені на малюнках 4.2 і 4.3.

Статистика проекта для 'Проект2.mpr'			
	Начало		Окончание
Текущее	Пн 03.09		Пт 28.12
Базовое	НД		НД
Фактическое	Пн 03.09		Пт 28.12
Отклонение	Од		Од
	Длительность	Трудозатраты	Затраты
Текущие	85д	2 849,2ч	0,00р.
Базовые	0д	0ч	0,00р.
Фактические	85д	2 849,2ч	0,00р.
Оставшиеся	0д	0ч	0,00р.
Процент завершения			
Длительность: 100%		Трудозатраты: 100%	
			Закреть

Рисунок 4.1 – Статистика розробленого проекту

Як видно з обох звітів, представлених на малюнках вище, загальні трудовитрати ресурсів були розподілені приблизно рівномірно між всіма виконавцями даного проекту протягом його розробки.

Сводный отчет о трудозатратах ресурсов

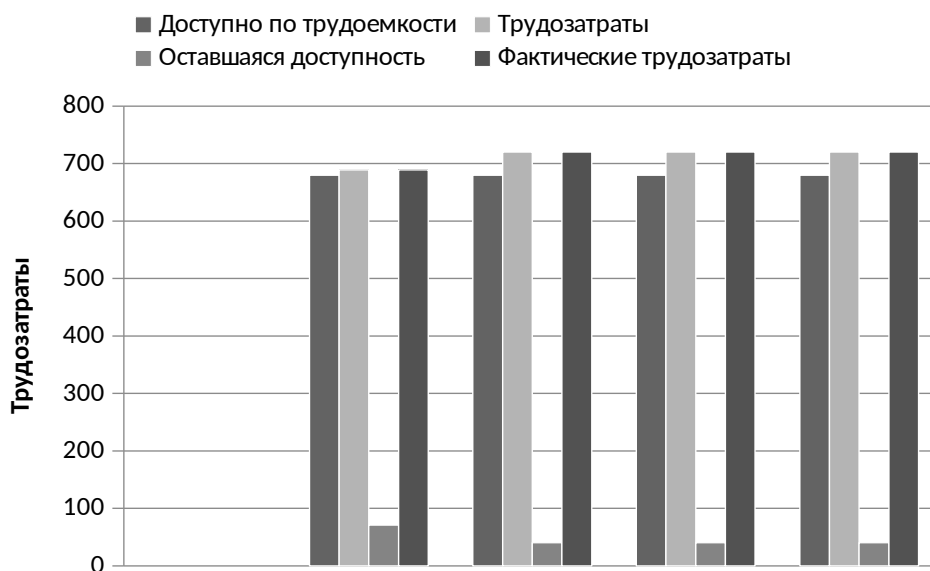


Рисунок 4.2 – Зведений звіт про трудовитратах ресурсів



Рисунок 4.3 – Звіт про базові трудозатратах

ВИСНОВКИ

У ході роботи над курсовим проектом була реалізована модель метеорологічної радіолокаційної станції і процесу радіолокаційного огляду.

У програмній системі реалізовані: настройка параметрів МРЛ, процес радіолокаційного огляду.

У даній роботі була розглянута програмна модель атмосферної обстановки, були так само розглянуті теоретичний матеріал і основні принципи які лягли в основу при розробки даної моделі. Дана модель може знайти застосування в комплексних системах короткострокового прогнозування, як один з програмно-робітників модулів системи.

Актуальність даного напрямку очевидна. Такі небезпечні явища погоди як грозоградові процеси, атмосферні вихори, шквальний вітер, інтенсивні зливи та ін., Завдають істотної шкоди практично будь-якій сфері діяльності людини, а такі галузі як сільсько-господарська діяльність, авіаційна промисловість, морська господарська діяльність у наш час не можуть обходитися без якісного і своєчасного прогнозування небезпечних явищ погоди, які були описані вище.

Для розробки даної програмної моделі були використані наступні програмні засоби:

- комплексне рішення для 3D-моделювання Autodesk 3ds Max;
- інтегроване середовище розробки Microsoft Visual Studio;

інструмент для розробки додатків Unity.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Фінкельштейн М. І. Основи радіолокації. - М .: Радіо і зв'язок, 1983. - 536 с.
- 2 Павлов Н.Ф. Аерологія, радіометеорологія і техніка безпеки - Л .: Гидрометеоиздат, 1980. 432 с.
- 3 Квитків М.В., Кузьменко В.П., Павлов Н.Ф., Цівенко Н.В. Радіометеорологія - М .: Військове видавництво, 1984. 210 с.
4. Радіолокаційні станції бічного огляду. А. П. Реутов, Б. А. Михайлов, Г. С. Кондратенков, Б. В. Бойко; Под ред. А. П. Реутова. - М .: Сов. радних.Наступні, 1970. 358 с.
5. Виноградов Б. В, Космічні методи вивчення природного середовища. - М .: Думка, 1976. 288 с.
3. Сулаквелідзе Г. К. Зливові опади і град. - Л .: Гидрометеоиздат, 1967. 412 с.
6. Мієрвін В. Є., Шупяцькій А. Б. Радіолокаційний метод визначення фазового стану хмар і опадів. - Праці ЦАО, 1963, вип. 47, с. 63 84.
7. Віглеб Г. Датчики. М .: Світ, 1989. 4. Федотов Я.А. Основи фізики напівпровідникових приладів. М .: Сов.радіо, 1969. 860 с.
8. Фогельсон І.Б. Транзисторні термодатчики. М .: Сов.радіо, 1972. 400 с.
9. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Іванова А.Г. Основи температурних вимірювань. М .: Вища школа, 1992. 690 с.
10. Шефтель І.Т. Терморезистор. М .: Наука, 1973. 300 с.

11. Орлова М.П. Низькотемпературна термометрія. М .: Ізд.стандартов, 1975. 1200 с.
12. Зарубін Л.І., Неміш Ю.І. Напівпровідникова.1980. 560 с.
13. Парфьонов Є.М. і ін. Проектування конструкцій РЕА. - М .: Радио и связь, 1991. 930 с.
14. Ненашев А.П., Конструювання радіоелектронних засобів: навч. для радіотехнічних спец. вузів. - М .: Вища школа, 1990. 432 с.
15. Методичні вказівки по конструюванню радіоелектронного модуля другого рівня: Схема-деталь-модуль,Бородін С.М., Ульяновськ, 2004. 530 с.
16. Методичні вказівки: Забезпечення теплових режимів в конструкціях радіоелектронних засобів, Бородін С.М., Ульяновськ, 2008 р. 820 с.
17. Єфімова В.І. - Теоретичні основи складання, 1990. 650 с.
- 18.Достанко А.П. - М .: Технологія і автоматизація виробництва радіоелектронної апаратури, 1989. 400 с.
19. Кейлер В.А., Економіка підприємства. - М .: Новосибірск: НГАЕіУ, 1999. 131 с.
20. Кондратьєва М.Н. Економіка підприємства: навч. посібник / М.М. Кондратьєва, Е.В. Тен. - 2-е вид. Під. - Ульяновськ: УЛГТУ, 2006. 171 с.
21. Pasetky V. M. Russian Meteorological Center. L .: Gidrometeoizdat 1978. 430 p.
22. Selezneva E. S. The first woman geophysics and meteorology. Gidrometeoizdat, 1989. 430p.
23. Khromov S.P. Meteorology and climatology for the geographical departments. - L .: Hydrometeorological Publishing House, 1964. 500 p.
24. Gorodetsky O. A., Gural'nik I. I., Larin V. V. Meteorology, methods and technical means of observation. - 2nd ed. - L .: Gidrometeoizdat, 1991. 336 p.
25. S. P. Khromov, Petrosyants M. A. Meteorology and Climatology. Textbook. - М .: Publishing. Moscow State University, 2001. 527 p.

ДОДАТКИ

Додаток А

Графічна частина магістерської роботи



Рисунок А.1 – Гововне меню программы

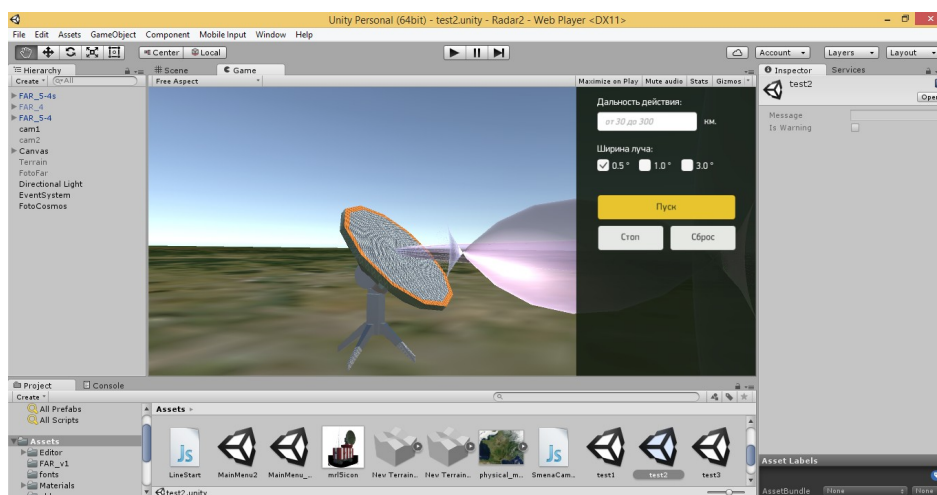


Рисунок А.2 – Вікно Unity 3d



Рисунок А.3 – Модель формування зони спостереження ФАР

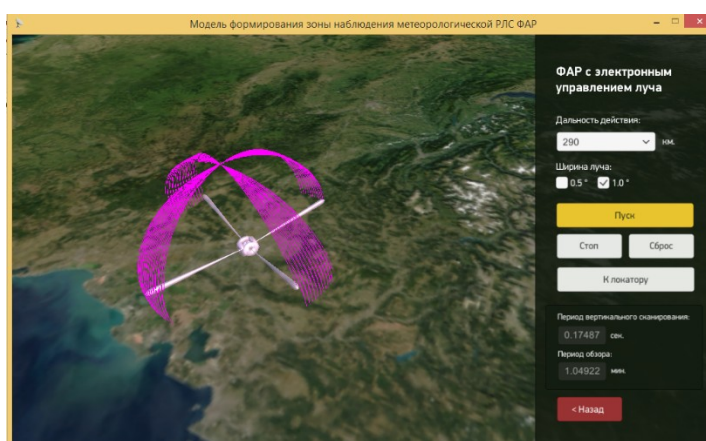


Рисунок А.4 – Режим сканування ФАР з електронною системою

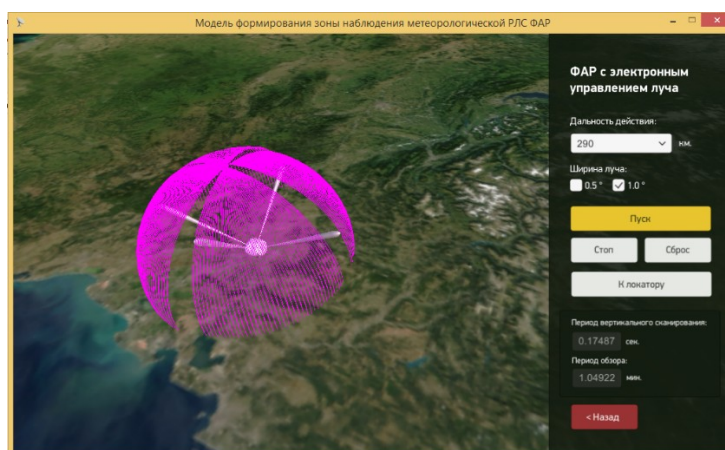


Рисунок А.5 – Створення куполу

Додаток Б

Кодова частина магістерської роботи

```
var ugol:GameObject;
```

```
var n:String;
```

```
var n2:String;
```

```
var a = 0;
```

```
var gw1 = 180;
```

```
var gw2 = 90;
```

```
var R:String;
```

```
//var tgor_str:String;
```

```
var B:float;
```

```
var tzad;
```

```
var npol1;
```

```
var npol2;
```

```
var tver;
```

```
var tgor;
```

```
var s:float;
```

```
var gwrite:float;
```

```
var egradus:float;
```

```
var inputField:UnityEngine.UI.InputField;
```

```
var inputField4:UnityEngine.UI.InputField;
```

```
var inputField3:UnityEngine.UI.InputField;
```

```
var Dropdown1:UnityEngine.UI.Dropdown;
```

```

var toggle1:UnityEngine.UI.Toggle;
var toggle2:UnityEngine.UI.Toggle;
var toggle3:UnityEngine.UI.Toggle;
var button1:GameObject;
var button2:GameObject;
var button3:GameObject;
var Error:GameObject;
function Start() {
    OnStop();
    Time.timeScale = 0;
}
function Update() {
gameObject.SetActive(true);
    if (toggle1.isOn == true) {
        B = 0.5;
    }
    if (toggle2.isOn == true) {
        B = 1;
    }
    if (toggle3.isOn == true) {
        B = 3;
    }
    if (Dropdown1.value == 25) {
        R2 = 300 & R2 = 50;
    }
    tzad = 0.67*R2*0.00001;
    npol1 = 2*(90/B);
    npol2 = 2*(360/B);
    tver = tzad*npol1;
    tgor = (tver*npol2)/60;

```

```

var tgorstr = tgor.ToString();

inputField3.text = tgorstr;
var tver2 = tver/2;
var tverstr = tver2.ToString();
inputField4.text = tverstr;
    if (tgor >= 0 && tgor <= 20) {
        transform.Rotate(new Vector3(0, 6/tgor, 0) * Time.deltaTime);
    }
    rotation = ugol.transform.eulerAngles;
    var rotation2 = transform.eulerAngles;
    var h2 = parseInt(rotation2.y);
    var h = parseInt(rotation.z);
if (tver >= 0.0001 && tver <= 10) {
    do {
        // Debug.Log("Сканирование...");
        s = gw1/tver;
        if (h < 91 || h < 180) {
            ugol.transform.Rotate(new Vector3(0, 0, s) * Time.deltaTime);
            // ugol.transform.rotation = Quaternion.Lerp(ugol.transform.rotation,
Quaternion.Euler(0,0,gw2),45 * Time.deltaTime);
            rotation = ugol.transform.eulerAngles;
            h = parseFloat(rotation.z);
        }
        if (rotation.z >= 200.0001 && rotation.z <= 359.9999) {
            rotation.z = 0.0001;
            ugol.transform.eulerAngles = rotation;
        }
        if (rotation.z >= 89.9999 && rotation.z <= 199.9999) {
            rotation.z = 90.0000;

```

```

        ugol.transform.eulerAngles = rotation;
    }

    if (h >= 90 || (rotation.z >= 0.0001 && rotation.z <= 0.0249)) {
        a = a + 1;
        if (a%2 == 1) { gw1 = -180; }
        else { gw1 = 180; }
    }

    } while (h == 100);
    } else {
        // Debug.Log("Задано неверное количество оборотов");
    }
}

function OnRev() {
    ugol.transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
    transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
}

function OnNew() {
    ugol.transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
    transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
    Time.timeScale = 0;
    inputField.text = "";
}

function OnStop() {
    Time.timeScale = 0;
}

function OnPlay() {
    if (toggle1.isOn == true) {
        B = 0.5;
    }
}

```

```

    }
    if (toggle2.isOn == true) {
        B = 1;
    }
    if (toggle3.isOn == true) {
        B = 3;
    }
    if (Dropdown1.value == 25) {
        R2 <= 50 & R2 >= 300;
    }
    tzad = 0.67*R2*0.00001;
    npol1 = 2*(90/B);
    npol2 = 2*(360/B);
    tver = tzad*npol1;
    tgor = (tver*npol2)/60;
    if (R2 <= 150) {
        ugol.transform.localScale = new Vector3(5, 5, 5);
    } else {
        ugol.transform.localScale = new Vector3(10, 10, 10);
    }
    Time.timeScale = 1;
}
function OnPlayError() {
    Error.gameObject.SetActive(false);
}

```

ФАР с электронным управлением луча

```

var ugol:GameObject;
var n:String;
var n2:String;
var a = 0;

```

```
var gw1 = 180;
var gw2 = 90;
var R:String;
var pyramid:GameObject;
var sphere:GameObject;
var B:float;
var tzad;
var npol1;
var npol2;
var tver;
var tgor;
var tgor4st;
var s:float;
var gwrite:float;
var egradus:float;
var inputField:UnityEngine.UI.InputField;
var inputField4:UnityEngine.UI.InputField;
var inputField3:UnityEngine.UI.InputField;
var Dropdown1:UnityEngine.UI.Dropdown;
var toggle1:UnityEngine.UI.Toggle;
var toggle2:UnityEngine.UI.Toggle;
var toggle3:UnityEngine.UI.Toggle;
var button1:GameObject;
var button2:GameObject;
var button3:GameObject;
var Error:GameObject;
function Start() {
    OnStop();
    Time.timeScale = 0;
}
```

```

function Update() {
gameObject.SetActive(true);
    if (toggle1.isOn == true) {
        B = 0.5;
    }
    if (toggle2.isOn == true) {
        B = 1;
    }
    if (toggle3.isOn == true) {
        B = 3;
    }
    if (Dropdown1.value == 0) {
        R2 = 50 & R2 = 300;
    }
    tzad = 0.67*R2*0.00001;
    npol1 = 2*(90/B);
    npol2 = 2*(360/B);
    tver = tzad*npol1;
    tgor = (tver*npol2)/60;
    tgor4st = ((tver*npol2)/60)/4;
    var tgorstr = tgor4st.ToString();
    inputField3.text = tgorstr;
    var tver2 = tver/2;
    var tverstr = tver2.ToString();
    inputField4.text = tverstr;
    if (tgor >= 0 && tgor <= 20) {
        transform.Rotate(new Vector3(0, 6/tgor, 0) * Time.deltaTime);
    }
    rotation = ugol.transform.eulerAngles;
    var rotation2 = transform.eulerAngles;

```

```

var h2 = parseInt(rotation2.y);
var h = parseInt(rotation.z);
if (tver >= 0.0001 && tver <= 10) {
    do {
        // Debug.Log("Сканирование...");
        s = gw1/tver;
        if (h < 91 || h < 180) {
            ugol.transform.Rotate(new Vector3(0, 0, s) * Time.deltaTime);
            // ugol.transform.rotation = Quaternion.Lerp(ugol.transform.rotation,
            Quaternion.Euler(0,0,gw2),45 * Time.deltaTime);
            rotation = ugol.transform.eulerAngles;
            h = parseFloat(rotation.z);
        }
        if (rotation.z >= 200.0001 && rotation.z <= 359.9999) {
            rotation.z = 0.0001;
            ugol.transform.eulerAngles = rotation;
        }
        if (rotation.z >= 89.9999 && rotation.z <= 199.9999) {
            rotation.z = 90.0000;
            ugol.transform.eulerAngles = rotation;
        }
        if (h >= 90 || (rotation.z >= 0.0001 && rotation.z <= 0.0249)) {
            a = a + 1;
            if (a%2 == 1) { gw1 = -180; }
            else { gw1 = 180; }
        }
    } while (h == 100);
} else {
}

var rotationpyr = pyramid.transform.eulerAngles;

```



```

        if (rotationpyr.y >= 90 ) {
OnStop();
    OnRev();
    OnRev();
OnPlay();
    }
    }
function OnRev() {
    ugol.transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
    transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
}
function OnNew() {
    ugol.transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
    transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, 0);
    Time.timeScale = 0;
    inputField.text = "";
}
function OnStop() {
    Time.timeScale = 0;
}
function OnPlay() {
    if (toggle1.isOn == true) {
        B = 0.5;
    }
    if (toggle2.isOn == true) {
        B = 1;
    }
    if (toggle3.isOn == true) {
        B = 3;
    }
}

```

```

if (Dropdown1.value == 0) {
    R2 = 50 & R2 = 300;;
}
tzad = 0.67*R2*0.00001;
npol1 = 2*(90/B);
npol2 = 2*(360/B);
tver = tzad*npol1;
tgor = (tver*npol2)/60;
Debug.Log(tgor);
    if (R2 <= 150) {
        ugol.transform.localScale = new Vector3(5, 5, 5);
    } else {
        ugol.transform.localScale = new Vector3(10, 10, 10);
    }
    Time.timeScale = 1;
}
function OnPlayError() {
    Error.gameObject.SetActive(false);
}

```