

**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: Дослідження застосування тривимірного геоінформаційного
моделювання при створенні радіолокаційної системи гідрометеорологічного
моніторингу причорноморського регіону

Виконав студент 2 курсу групи_
МК- 62 спеціальності 122
Комп'ютерні науки та
інформаційні технології
Іонаш Владислав Юрійович

Керівник к. т.н, доц.
Перелигін Борис
Вікторович

Консультант _____

Рецензент к.ф-м.н. ст. викл.
Ткач Тетяна Борисівна

АНОТАЦІЯ

Актуальність: На сьогоднішній день, проблема забезпечення державних інститутів та населення достовірною метеоінформацією майже немає.

Для вирішення основного масиву цих проблем використовують метеорологічні радіолокаційні станції, а точніше, системи радіолокаційного моніторингу довкілля. Для побудування такої системи необхідно визначити, де саме розташувати радіолокаційні станції для якісного покриття. Таке покриття дасть змогу одержати достовірну метеоінформацію

Мета дослідження: Дослідження застосування тривимірного геоінформаційного моделювання при створенні радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу причорноморського регіону.

Вирішені задачі:

- побудова та оптимізація метеорологічного радіолокаційного поля для спостереження за повітряними масами та території спостереження;
- порівняння існуючих метеорологічних автоматизованих системи моніторингу ;
- урахування існуючих метеорологічних станцій та відстані;
- побудова якісного покриття (без "провалів" та "мертвих зон").

Об'єкт дослідження: радіолокаційна метеорологічна мережа моніторингу навколишнього середовища, за допомогою геоінформаційного програмного забезпечення ArcGis.

Методи дослідження: аналіз.

Результат дослідження: Побудована оптимізована без провальна радіолокаційна мережа у тривимірній геоінформаційній системі. Побудована модель дасть змогу остаточно визначити розташування радіолокаційних станцій у причорноморському регіоні.

Використання результатів роботи дасть змогу обрати позиції для розміщення радіолокаційних станцій, що передуватиме будівельні роботи на обраній позиції.

Структура роботи: кількість сторінок 66, кількість рисунків 26, 8 таблиць, кількість літературних джерел 26.

SUMMARY

Actuality: To date, the problem of providing state institutions and population with reliable meteorological information is almost absent.

Meteorological radar stations, or, more precisely, radiolocation monitoring systems for the environment, are used to address the underlying array of these problems. To construct such a system, it is necessary to determine where to locate radar stations for quality coverage. This coating will provide reliable meteorological information

The purpose of the study: Research into the Application of Three-Dimensional Geoinformation Simulation in Development of a Radar System for

Hydrometeorological Monitoring of the Black Sea Region Solved tasks:

- construction and optimization of the meteorological radar field for observation of air masses and observation areas;
- comparison of existing meteorological automated monitoring systems;
- taking into account existing meteorological stations and distances;
- construction of qualitative coverage (without "failures" and "dead zones").

Object of study: radar meteorological network monitoring environment of the environment, using ArcGis geoinformation software.

Research methods: analysis.

Result of the research: The optimized non-failing radar network is constructed in the travail geoinformation system. The constructed model will allow to finally determine the rozarization of radar stations in the Black Sea region.

Using the results of work will allow you to choose positions for the placement of radar stations, preceding the construction work at the selected position.

Structure of work: the number of rows 66, the number of drawings 26, 8 tables, the number of literary sources 26.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ МОЖЛИВОСТІ.....	9
1.1 Геоінформаційна система ArcGIS.....	9
1.2 Геоінформаційна система GeoMedia.....	9
1.3 Геоінформаційна система MapINFO.....	10
1.4 Обрання необхідного програмного забезпечення.....	10
2 МЕТЕОРОЛОГІЧНІ РАДІОЛОКАЦІЙНІ СТАНЦІЇ.....	11
2.1 Будова метеорологічної радіолокаційної станції.....	12
2.2 Зона спостереження метеорологічної радіолокаційної станції.....	16

	5
2.3 Способи огляду простору.....	23
3 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ.	25
3.1 Аналіз побудови існуючих мереж метеорологічних радіолокаційних станцій.....	25
3.1.1 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Японії.....	25
3.1.2 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Сполучених Штатів Америки.....	27
3.1.3 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Російської Федерації.....	29
3.1.4 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Західної Європи.....	31
3.2 Аналіз параметрів радіолокаційного поля та розміщення метеорологічних радіолокаційних станцій.....	34
3.2.1 Концепції створення автоматизованих метеорологічних радіолокаційних мереж.....	37
3.2.2 Вибір нижнього рівня для єдиного радіолокаційного поля.	38
3.2.3 Вибір географічного пункту для установки метеорологічної радіолокаційної станції.....	39
3.2.4 Вибір позиції для метеорологічної радіолокаційної станції	
39	
4 МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ.....	45
4.1 Варіант побудови радіолокаційної системи з мінімальною кількістю метеорологічних радіолокаційної станції.....	45
4.2 Варіант побудови радіолокаційної системи з просторовою прив'язкою позицій метеорологічних радіолокаційних станцій до існуючої мережі метеорологічних станцій.....	48
4.3 Оптимізація зони спостереження метеорологічної радіолокаційної станції.....	51
5 ПОБУДОВА РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРИ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ.....	60
5.1 Побудова радіолокаційної системи з мінімальною кількістю метеорологічних радіолокаційних станцій.....	60
5.2 Побудова радіолокаційної системи з багаторазовим перекриттям зон спостереження метеорологічних радіолокаційних станцій.....	62
ВИСНОВКИ.....	65

	6
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ І ПОСИЛАНЬ.....	66
ДОДАТОК А Графічна частина магістерської роботи.....	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

МРЛС – метеорологічна радіолокаційна станція
ІМОС – індикатор кругового огляду
ІКО – індикатор кругового огляду
ІДВ – індикатор дальності - висота
РЛС – радіолокаційна станція
ДНА – дальність напрувленості антени
МРЛ – метеорологічний радіолокатор

ВСТУП

В роботі розглядаються побудови радіолокаційної системи моніторингу навколишнього середовища та їх проектування.

Для оптимізації за різними критеріями побудови названої системи буде використаний програмний засіб ArcGis засіб, який дозволяє перебираючи різні варіанти побудови, обрати оптимальний варіант.

Для оптимальної побудови радіолокаційної системи моніторингу навколишнього середовища необхідно розглянути декілька варіантів її побудови. Кожен із варіантів оптимізований по одному, або декільком критеріям, задовольняючих замовника. Обчислення та побудова радіолокаційної системи – це злагоджена обчислювально-графічна задача, яка потребує багатократного рішення при різних початкових даних та критеріях. Для побудови радіолокаційного поля потрібно було керуватись наступними критеріями: радіус огляду радару, мінімальна кількість радарів,

мінімальна відстань до метеорологічних станцій та максимальна до населених пунктів, мінімальна вартість побудови радіолокаційного поля, відсутність “мертвих” зон.

1 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ МОЖЛИВОСТІ

1.1 Геоінформаційна система ArcGIS

ArcGIS одна з небагатьох геоінформаційних системних платформ, яка підтримує повноцінну роботу з топологічної моделлю представлення даних, а також зберігання, обробку та візуалізацію тривимірного представлення просторових даних.

ArcGIS підтримуються стандарти OGC: WMS, WFS, WCS, KML для ГІС-сервісів візуалізації і доступу до даних, стандарт CSW для сервісу метаданих (потрібно модуль Geoportal Extension). Використовується ряд стандартів для метаданих і ГІС-сервісів, наприклад, ISO 19115: 2003 Metadata, ISO 19139: 2007 Metadata: XML Schema Implementation, ISO 19119: 2005-Services і інші.

ArcGIS дозволяє працювати з великими і дуже великими обсягами

даних (при використанні відповідного апаратного і системного забезпечення), розрахованими на велику кількість звернень користувачів [1].

1.2 Геоінформаційна система GeoMedia

GeoMedia - сучасна геоінформаційна системна платформа з відкритою архітектурою. Використовує унікальну технологію вбудованих серверів даних (Data Servers) дозволяє працювати з просторовими даними безлічі форматів і систем координат безпосередньо, без попередньої конвертації і перетворення.

До базового настільного програмного забезпечення компанія Intergraph пропонує різні модулі, для оптимізації робочого процесу, які спрощують організацію роботи багатьох користувачів, що полегшують і автоматизують контроль якості створюваних просторових даних, додають можливості по роботі з інженерними мережами, виконання землеустрою та формування меж земельних ділянок, формування графа доріг для навігаційних карт, створення моделей рельєфу і багато інших.

При всій своїй потужності GeoMedia Professional завдяки технології Jupiter є "традиційне" додаток Microsoft Windows® зі знайомим, інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом користувача, що дозволяє однаково успішно використовувати GeoMedia Professional як професіоналам, так і людям.

1.3 Геоінформаційна система MapINFO

Спочатку програма створювалася як проста програма для персонального комп'ютера, яка дозволяла проводити аналіз різної інформації має просторову прив'язку до тієї чи іншої території, населеного пункту, штату, країні і т.п. в основному в сфері бізнесу, логістики, наукових дослідженнях. Вона дозволяла вирішувати всі основні завдання просторового аналізу статистичних та наукових даних в областях, які не пов'язані з геодезією і картографією, була проста в освоєнні і використанні, маючи при цьому більш низьку ціну ніж професійні геоінформаційна система (ГІС), завдяки чому набула широкого поширення за кордоном.

Широкому поширенню також сприяли простий текстовий обмінний формат просторових даних, який на сьогоднішній день підтримується практично всіма ГІС і САД системами, а також наявність вбудованої системи розробки власних розширень на мові MapBasic, який був розширенням дуже популярного мови Basic, що використовується в більшості продуктів фірми

Microsoft, а також багатьох інших розробників [3].

1.4 Обрання необхідного програмного забезпечення

Метою роботи моделювання метрологічної радіолокаційної мережі. Були розглянуті такі програмні засоби як GeoMdeia, Mapinfo и ArcGis. ArcGis включає в себе додаток ArcGlobe який добре підходить для візуалізації великих обсягів глобальних даних. Він має високу продуктивність навігації і відображення растрових і векторних даних з високим або низьким дозволом. ArcGlobe дозволяє легко обробляти об'ємні дані, зберігаючи при цьому всю інформацію, яка в них міститься. У ArcGlobe дані, що мають просторову прив'язку, поміщаються на тривимірну поверхню глобуса, що дозволяє побачити їх справжнє геодезичне положення. Глобусом можна управляти, вивчати і аналізувати дані, як все глобуса, так і окремих регіонів.

Проаналізувавши всі характеристики комплекс ArcGlobe дозволяє змоделювати метрологічної радіолокаційної мережу.

2 МЕТЕОРОЛОГІЧНІ РАДІОЛОКАЦІЙНІ СТАНЦІЇ

За допомогою метеорологічних радіолокаторів визначаються: напрямок і швидкість переміщення грозового очага, відстань до грози, висота верхньої межі грозового потоку. За даними спостережень складаються радіолокаційні карти, на яких видно розташування грозових очагів, їх вертикальна потужність. В основі роботи МРЛ лежить імпульсний метод радіолокації. В складі МРЛ-2, МРЛ-5, який представляє радіолокаційну станцію з рядом особливостей, характерних для її метеорологічного призначення, входять два передавача, два приймача і два хвильові системи, що працюють на спільній антенні з параболічним відбивачем діаметром 3 м.

Одна прямо передаюча система (I канал) працює в міліметровому діапазоні і призначена для отримання інформації на малих відстанях від хмар, що не дають осадків. Друга система (II канал) працює в

сантиметровому діапазоні і використовується при спостереженнях за стрічково-дошовими, дошовими хмарами і осадками.

Спеціальні пристрої: система ізоеха та вимірювач потужності відбитих сигналів (ІМОС) дозволяють виробляти колінічні виміри інтенсивності радіоеха. Можливість спостережень та реєстрації радіоехар метеорологічних об'єктів забезпечується універсальною системою індикації:

а) індикатор кругового огляду (ІКО) служить для отримання радіолокаційного зображення метеорологічного об'єкта в горизонтальній площині. Маються три фіксованих масштабу дальності: 25, 100 і 300 км;

б) індикатор дальності - висота (ІДВ) призначений для спостереження та вимірювання радіоестегії метеооб'єкта у вертикальній площині. Маються чотири фіксованих масштабу дальності (5, 10, 20 і 40 км), що відповідають масштабам висот: 2,5, 5, 10, 20 км;

в) індикатор типу «А» (ІА) для спостережень та кількісних вимірів інтенсивності радіоеха.

Крім того, є спеціальна фото-реєстраційна апаратура для документування радіоехальних зображень, а також система дистанційного управління із виходом індикаторів, обладнання контролю станцій та фотокамер.

Метеорологічний радіолокатор МРЛ-2 виконаний у стаціонарно-натурному варіанті. По порівнянні з МРЛ-1 він має ряд конструктивних змін.

2.1 Будова метеорологічної радіолокаційної станції

Однією з основних особливостей метеорологічних радіолокаційних станцій є те, що вони призначені для кількісних вимірювань потужності сигналів, відбитих від потоків та опадів. Для цього в їх складі повинні входити спеціальні пристрої виміру потужності відображених сигналів.

Виконання точних вимірів потужності відображених сигналів вказує на необхідність калібрування радіолокатора як метеорологічного інструменту та контролю його потенціалу в процесі вимірювання. У свою чергу, контроль потенціалу повинен включати в себе контроль випромінюваної потужності та чутливості приймального пристрою.

Інша особливістю метеорологічних радіолокаційна станція (РЛС) є велика динамічна діапазон приймального пристрою, що обумовлено великим діапазоном значень потужності радіолокаційних сигналів, відбитих від метеорологічних об'єктів. Оцінка можливих значень метеорологічних

об'єктів показує, що їх динамічний діапазон досягає 100 -120 дБ; такий же діапазон повинен володіти і приймачем метеорологічної РЛС.

З метою досить надійного виявлення опадів та опадів з малими значеннями відображення метеорологічної РЛС повинні мати значний потенціал, що забезпечується застосуванням відповідних потужних передавачів і високочутливих приймальних пристроїв.

Важливим для метеорологічних РЛС є вибір довжин хвиль випромінюваної електромагнітної енергії, яка повинна бути вирішена компромісом з урахуванням як розсіювання властивостей метеорологічних об'єктів, так і ослаблюючи властивостей атмосфери.

Метеорологічні радіолокатори повинні забезпечувати спостереження метеорологічних об'єктів як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах, для чого повинні бути передбачені відповідні режими управління антеною і відповідні індикаторні пристрої.

Опрацьована схема імпульсного метеорологічного радіолокатора представлена на (рис. 2.1).

Основними частинами метеорологічного радіолокатора (МРЛ) є антенна система, що включає в себе (1) освітлювач і металевий дзеркало-рефлектор (2), передавач (3), приймач (4), антенний перемикач (5), індикатори (б), синхронізатор 7), волноводно-фідерний тракт (8), блоки управління антенною (9) і енергетичного харчування (10).

Передавач імпульсної МРЛ генерує потужні електромагнітні НВЧ-коливання у вигляді періодично повторюваних пробних імпульсів, які за допомогою антени системи висвітлюються в бік метеорологічного об'єкта. Під час паузу між зондируючими імпульсами, відбиті від метеорологічного об'єкта інформаційні сигнали приймаються тією ж антенною системою і по хвильовій ділянці надходять на вхід приймача, посилюються і подаються на індикатори РЛС для визначення координат та фізичних характеристик метеорологічних об'єктів.

Волноводно-фідерний тракт служить для передачі високочастотних імпульсів від передавача до антени та від антени до приймача. Антенний перемикач забезпечує поперемінне підключення антени до передавача або приймача, що дозволяє використовувати для передачі та прийому одну і ту ж антенну. Під час роботи передатчика перемикач через хвиль волноводно-фідерний тракт замикає передавач на антенну систему і відключає вхід приймача, захищаючи приймач від потужного імпульсу передавача, а в період між двома зондируючими імпульсами антенний перемикач закриває

вхід перетворювача, щоб вся енергія інформаційного сигналу (радіоеха) спрямовувалася в прийомний.

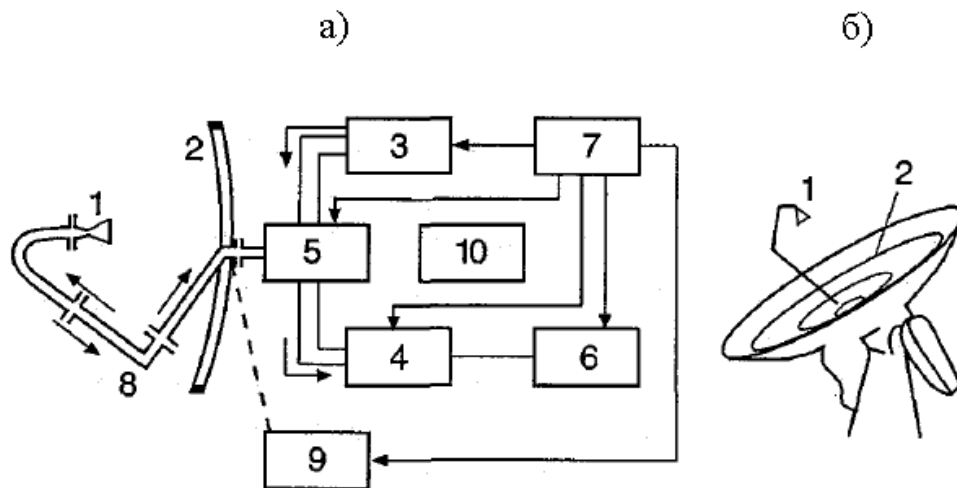


Рисунок 2.1 — Схема метеорологічної РЛС:
а - структурна схема, б — антенна система

В метеорологічних РЛС для представлення метеорологічної обстановки використовують індикатори кругового огляду (ІКО), вертикального огляду (індикатор дальності висоти (ІДВ) та амплітудні індикатори (ІА)).

На індикаторі кругового огляду територіальне розташування метеорологічного об'єкта визначається в полярних координатах: нахил дальності та азимуту. В ІКО застосовується радіально-кругова розгортка, періодично рухає світло радіально від центру до периферії екрана і назад, одночасно (синхронно) з обертанням антен на азимуту. В результаті цього на екрані ІКО можна спостерігати конфігурацію, взаємне розташування та розміри метеорологічних об'єктів.

В індикаторі ІДВ розгортка електронного проміння здійснюється синхронно з поворотом антен на кут місця, що дозволяє отримувати зображення вертикальних розрізів спостережуваного метеорологічного об'єкта.

Слід зазначити, що іноді в метеорологічних РЛС використовуються з'єднані індикаторні пристрої, коли вони можуть виконувати як функції ІКО, так і функції ІДВ.

Робота передатчика, приймача та індикаторів МРЛ синхронізується запускаючими або тактовими імпульсами, що виробляються блоком

синхронізатора. Система синхронізації забезпечує також формування масштабних знаків дальності, поданих на індикатори метеорологічної РЛС,

Вибір технічних характеристик МРЛ здійснюється в залежності від призначення, з урахуванням необхідного діапазону дії, точності визначення координат, оперативності огляду, відображення характеристик та інших характеристик метеорологічних об'єктів[4].

Типи метеорологічних радіолокаційних станцій.

В даний час для зондування атмосфери досить широко використовуються дві радіометеорологічні системи: МРЛ-2 і МРЛ-5

МРЛ-2 представляє собою метеорологічну імпульсну (табл. 2.1). радіолокаційну станцію, що реалізує одноволневий метод радіометеорологічного зондування атмосфери.

Основний реалізований режим шторм-оповіщення. Метеорологічний радіолокатор МРЛ-2 в силу специфіки розв'язуваних при одному-хвильовому методі задач має ряд особливостей. Так, передавач станції може працювати тільки на одному протязі хвилі. Чутливість приймального пристрою досить висока; Використовується корекція сигналу на квадрат розстановки. Для одночасного вимірювання однакових сигналів від метеорологічних об'єктів може застосовуватися система ступінчатого ізоеха з клавішним перемикачем. Управління антенною реалізується за допомогою спеціального програмного пристрою.

У цілях виправлення впливу вітрових навантажень антена укладена в спеціальну захисну пластикову сферу.

МРЛ-5 є двохвильовим високопотенційним метеорологічним імпульсним радіолокатором. Локатор МРЛ-5 може працювати як в режимі очікування, так и при обслуговуванні град захисту.

Таблиця. 2.1 – Технічні характеристики МРЛ

Параметр	Одиниця вимірювання	МРЛ-2	МРЛ-5	МРЛ-5
Несуча частота	МГц	9595±15	9595±15	2950±15
Довжина хвилі	см	3.14	3.14	10.15
Імпульсна потужність на виході магнетрона	мкс	210	250	800
Довжина імпульса	кВт	1;2	1;2	1;2
Частота проходження	Гц	600;300	500;250	500;250

Швидкість обертання по азимуту	Число об/хв	6	0÷6	0÷6
Швидкість руху по куту місця	Число ск/хв	4	0÷2	0÷2

Використовуються два роздільних каналу, кожен з яких має високий потенціал; режим штормо-оповіщення може здійснюватися на кожному з каналів, а режимі обслуговування градо-захисту реалізується, головним чином, при спільної роботі обох каналів.

Застосовується антенна система з параболічним відбивачем і дводіапазонним опромінювачем, формує вузькі діаграми спрямованості. Така антенна забезпечує отримання високої дозвільно здатності по кутових координатах і суміщення діаграм спрямованості в двох діапазонів з високою точністю, що забезпечує відповідаю щ її якість вимірювання горизонтальних і вертикальних характеристик радіоеха. Антена система розміщена під захисний купол, що забезпечує захист антенних від вітрових навантажень і від впливу атмосферних явищ.

Прийом вимірювальних сигналів здійснюється за допомогою прийомних пристроїв 1 і 2 каналів, кожен з яких має високу чутливість і широкий динамічний діапазон входних сигналів. Висока чутливість приймальних пристроїв дозволяє збільшити дальність виявлення метеорологічних об'єктів, а широкий динамічний діапазон забезпечує високу точність кількісних вимірів радіоеха.

Прийняті вимірювальні сигнали відображаються за допомогою універсальної системи індикації, що забезпечує можливість спостереження та реєстрації радіоекології від метеорологічних об'єктів. При цьому, об'єднані індикатори ІКО / ІДВ (основна та для фото реєстрації) з широким набором масштабів розгортків забезпечують спостереження, вимірювання реєстрації радіоекосигналу в горизонтальній та вертикальній площинах; двухлучевой індикатор типу ІА дозволяє спостерігати зміну радіоехарних об'єктів залежно від відстані.

Перетворення кутової інформації здійснюється за допомогою апаратури, що забезпечують визначення азимуту метеорологічних цілей, обчислення висоти та горизонтальної дальності, а також сполучення з пристроями автоматичної обробки метеорологічної інформації.

Градіві очаги автоматично виділяються за допомогою спеціальних пристроїв.

Оперативне фіксування і реєстрація дати, часу, номера реалізованої каналу, знака норми потенціалу МРЛ, рівня ізохи, масштабу зображення, азимута і угла висоти антени, горизонтальної та наклонної дальності і висоти вибраної метеорологічної цілі виконується за допомогою спеціального світового дисплея.

В МРЛ-5 за допомогою спеціальних пристроїв здійснюється контроль чутливості приймальних пристроїв, потужності передавальних пристроїв і потенціалу локатора в цілому.

Використання спеціальних керованих Надвисокочастотний-аттенюаторів забезпечує вимірювання потужностей радіоелектроніки та їх корекцію на квадрат відстані. Документування картин радіоеха здійснюється за допомогою спеціальної реєструючої апаратура.

2.2 Зона спостереження метеорологічної радіолокаційної станції

Для оцінки параметрів зони спостереження користуються не просторовою зоною, а її полусеченієм вертикальною площиною (рис. 2.1).

Форма зони спостереження характеризується залежністю дальності виявлення від висоти $D = f(H)$. Параметрами ЗО РЛС є мінімальний ($\epsilon_{\min}$) і максимальний ($\epsilon_{\max}$) кути місця, максимальні висота ($H_{\max}$) і дальність ($D_{\max}$) виявлення мети. Кут місця ϵ_0 (рис. 2.1) ділить полусечення ЗО на дві ділянки: ізодальностний і ізовисотний.

Для ділянки дальність виявлення цілі із заданою ЕПР $D = D_{\max}$ при $\epsilon \in [\epsilon_{\min}, \epsilon_0]$. З трикутника ОАВ знайдемо ДО мети в межах ізовисотного ділянки:

$$D = H_{\max} \cdot \frac{1}{\cos(90^\circ - \epsilon_0)} = \frac{H_{\max}}{\sin \epsilon_0} = H_{\max} \cdot \operatorname{cosec} \epsilon_0. \quad (2.1)$$

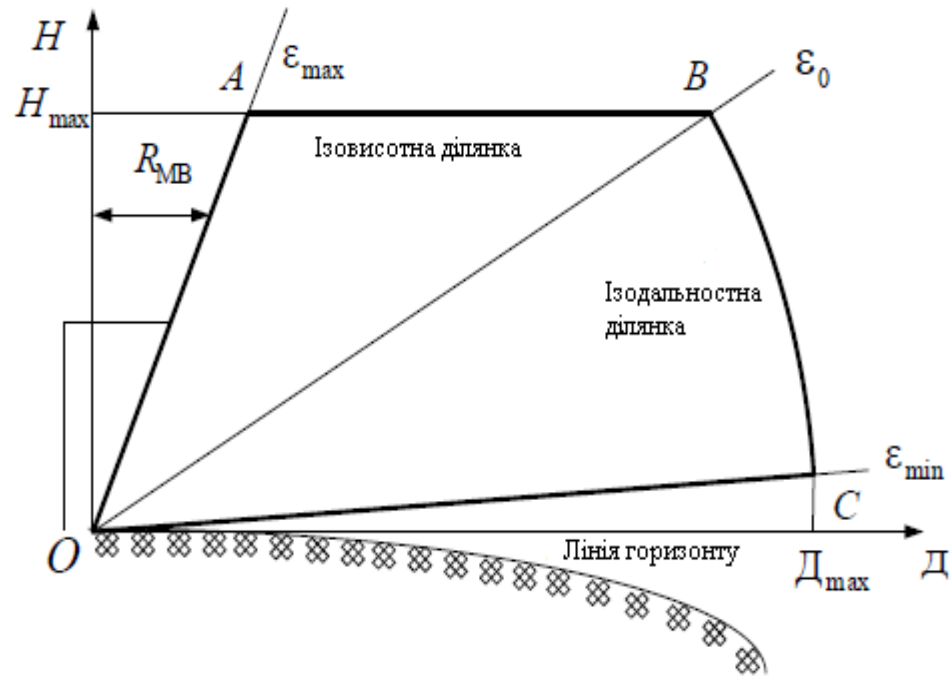


Рисунок 2.2 — Вид полуученія ЗО РЛС р вертикальною площиною

З трикутника ABC $H_{\max} = D_{\max} \cdot \sin \varepsilon_0 = \frac{D_{\max}}{\operatorname{cosec} \varepsilon_0}$ знаходимо. Звідси для деякого фіксованого кута ε в межах ізовисотної ділянки зони виявлення

$$D = \frac{H_{\max}}{\sin \varepsilon} = \frac{D_{\max} \cdot \operatorname{cosec} \varepsilon}{\operatorname{cosec} \varepsilon_0}. \quad (2.2)$$

Таким чином, аналітичний вираз для зони виявлення РЛС як залежність дальності виявлення мети від кута місця можна представити в наступному вигляді:

$$D(\varepsilon) = \begin{cases} D_{\max} & \text{при } \varepsilon \in [\varepsilon_{\min}, \varepsilon_0], \\ \frac{D_{\max} \cdot \operatorname{cosec} \varepsilon}{\operatorname{cosec} \varepsilon_0} & \text{при } \varepsilon \in [\varepsilon_0, \varepsilon_{\max}], \\ 0 & \text{при } \varepsilon > \varepsilon_{\max} \text{ і } \varepsilon < \varepsilon_0. \end{cases} \quad (2.3)$$

Таку форму зони виявлення називають косекансною.

Радіус «мертвої воронки» характеризує область зони виявлення, де цілі під кутами місця $\varepsilon > \varepsilon_{\max}$ РЛС не може виявити.

Параметри зони виявлення обирають з урахуванням технічних можливостей їх реалізації. Значення $\epsilon_{\min}$ в РЛС сантиметрового діапазону обмежується умовами поширення сантиметрових хвиль в приземному шарі атмосфери. З одного боку, необхідно вибрати $\epsilon_{\min}$ як умога ближчим до нуля, з іншого - необхідно відірвати діаграму направленості антени від землі, так як опромінення земної поверхні в сантиметровому діапазоні хвиль призводить до сильної порізаності ЗО на малих кутах місця внаслідок інтерференції прямого і відбитого від нерівній поверхні променів. Через рух під дією вітру покривають земну поверхню кущів, трави та інше безперервно змінюється амплітуда і фаза відбитого променя і, отже, безперервно змінюється форма зони. Тому практично в сантиметровому діапазоні вибирають $\epsilon_{\min} \approx 0,4 \dots 0,5^\circ$.

Для зниження $\epsilon_{\min}$ до нуля і навіть до негативних значень, де це дозволяють позиція і висота підйому антени, передбачають зміну нахилу антени у вертикальній площині.

У метровому і нижній частині дециметрового діапазону хвиль зони виявлення формується з урахуванням впливу землі і значення $\epsilon_{\min}$ для рівної ділянки поверхні практично однозначно визначається відношенням довжини X до висоти підйому h_a фазового центру антени $\epsilon_{\min} \cdot 7,2 \cdot X / h_a$.

Максимальний кут місця $\epsilon_{\min \max}$ зони виявлення для виключення «мертвої воронки» бажано було б вибрати рівним 90° або близьким до нього. Однак це призвело б до значного ускладнення конструкції антеною системи. В даний час вважається доцільним вибір значень $\epsilon_{\min}$ близько $35 \dots 45^\circ$ в сантиметровому діапазоні та $20 \dots 30^\circ$ - в метровому. При цьому радіус «мертвої воронки» $R_{\text{мв}} = H_{\text{ц}} \cdot \text{ctg } \epsilon_{\min}$ становить $(1,1,5)^{H_{\text{ц}}}$ і $(2,4,5)^{H_{\text{ц}}}$ відповідно.

Верхня межа зони виявлення $H_{\max}$ повинна бути не менше РЛС $H_{\max} > (60 \dots 100) \text{ км}$

Максимальну дальність виявлення $D_{\text{лпак}}$ цілей, що летять на максимальній висоті $H_{\max}$, бажано отримати рівний дальності прямої видимості:

$$D_{\text{пр}} = 4,12(\sqrt{h_a} + \sqrt{H_{\max}}) \approx 600 \dots 800, \quad (2.4)$$

де $D_{\text{пр}}$ вимірюється в км, h_a і $H_{\max}$ - в м.

Однак забезпечення такої дальності виявлення пов'язано зі значним збільшенням потужності передавального пристрою і, як наслідок, зі збільшенням вартості і обсягу апаратури РЛС.

В РЛС зоною оптимальною зоною спостереження вважається отримання дальності $D = 100 \dots 200$ км.

Рівняння радіолокації є основою при проектуванні РЛС будь-якого призначення, пред'явленні вимог до основних трактах і системам, виборі оптимального режиму роботи. Е

Уявімо рівняння радіолокації з урахуванням огляду РЛС зоною спостереження довільним способом:

$$D^4(\beta, \varepsilon) = \frac{E_i(\beta, \varepsilon) \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot A(\beta, \varepsilon) \cdot \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^2 \cdot \gamma \cdot N_0}, \quad (2.5)$$

де $D^4(\beta, \varepsilon) = D \cdot d^n(\beta, \varepsilon)$ - зона спостереження РЛС в направленості з умовними координатами β і ε ;

D – максимальна дальність спостереження мети в зоні;

$d_n(\beta, \varepsilon) = d(\beta, \varepsilon)/D < 1$ - нормована дальність дії РЛС;

$G(\beta, \varepsilon)$ - коефіцієнт посилення випромінює (передавальної) антени РЛС;

$E_i(\beta, \varepsilon)$ - енергія, яку випромінює передавальною антеною РЛС;

$A(\beta, \varepsilon) = A_{\text{зфф}} \cdot a_n(\beta, \varepsilon)$ - ефективна площа приймальної антени в напрямку з координатами β и ε ;

$A_{\text{ефф}}$ - максимальне значення ефективної площі прийомної антени;

$a_n(\beta, \varepsilon) = A(\beta, \varepsilon) / A_{\text{ефф}} \leq 1$ - нормована ефективна площа приймальної антени;

$\sigma_{\text{ц}}$ - середнє значення зони спостереження;

$Y = Y_0 \cdot L$ - коефіцієнт розрізнення (відношення сигнал / шум на вході приймача, при якому забезпечується заданий якість виявлення);

Y_0 - відношення сигнал / шум на вході пристрою порівняння з порогом, при якому забезпечується заданий якість виявлення;

L - коефіцієнт втрат, що враховує, по-перше, відмінність параметрів реальної пачки з прямокутною обвідної; по-друге, відмінність реальної обробки відбитих сигналів від оптимальної;

N_0 - спектральна щільність власних шумів приймача, пересчитанная на його вхід.

Перетворимо рівняння (2.1). З теорії антени відомо, що ко-коефіцієнт посилення антени відповідно до його визначенням може бути представлений у вигляді

$$G(\beta, \varepsilon) = 4\pi / \Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon), \quad (2.6)$$

де $\Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon)$ – еквівалентний тілесний кут діаграми направленості антени випромінює антени в напрямку з кутовими координатами β і ε . Підставивши співвідношення (2.6) в рівняння (2.5), отримаємо

$$D^4(\beta, \varepsilon) = E(\beta, \varepsilon) \cdot A(\beta, \varepsilon) \sigma / \Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon) \cdot 4\pi \gamma \cdot N_0, \quad (2.7)$$

У рівнянні (2.3) відношення

$$E_i(\beta, \varepsilon) / \Omega(\beta, \varepsilon) \quad (2.8)$$

являє собою енергію, що випромінюється радіолокатором в одиницю телесного кута зони спостереження. Інтегруючи відношення (2.8) в межах тілесного кута. Зона спостереження з Ω , отримуємо сумарну енергію, що випромінюється РЛС в зони спостереження за час однократно її огляду:

$$E_3 = \int_{\Omega_3} \frac{E_i(\beta, \varepsilon)}{\Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon)} d\Omega, \quad (2.9)$$

де $\Omega_{\text{д}}$ - елементарний тілесний кут.

Поняття «тілесний кут» вводиться за аналогією з поняттям «кут на площині». З курсу геометрії відомо, що кут на площині определяється співвідношенням

$$Y = L / r, \quad (2.10)$$

де L - довжина дуги, вирізати кутом на окружності з радіусом r .

За аналогією з виразом (2.10)

$$\Omega = S / r^2, \quad (2.11)$$

де S - площа ділянки поверхні сфери з радіусом r , вирізуваного тілесним кутом Ω (рис. 2.3).

Відповідно до визначення тілесного кута елементарний тілесний кут, що входить в рівняння (2.9),

$$d\Omega = dS / r^2, \quad (2.12)$$

де dS - площа елементарної ділянки на поверхні сфери з радіусом, рівним r .

Значення dS знаходять, використовуючи рис. 2.3:

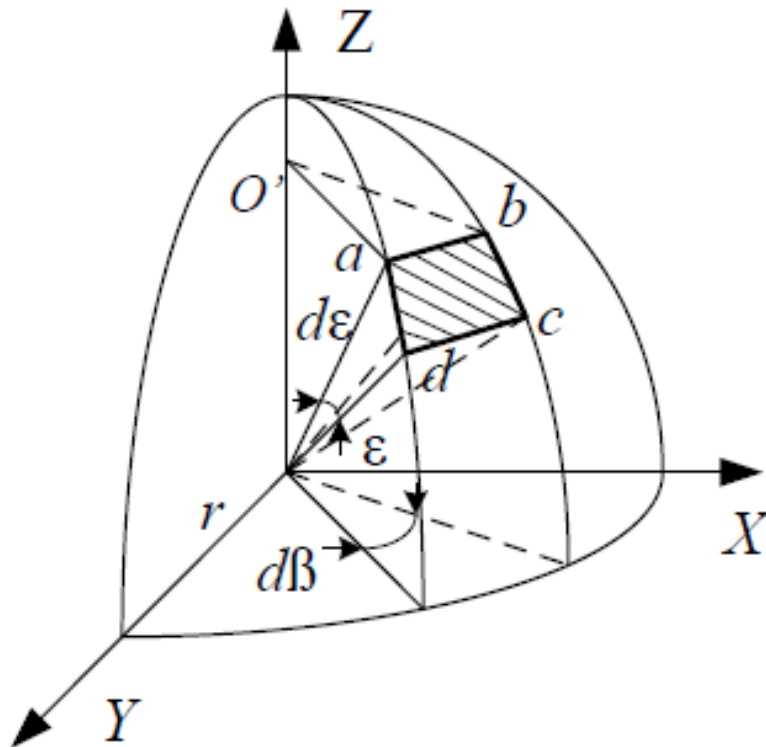


Рисунок 2.3 — Означення поняття тілесного (просторового) кута

$$dS = ad \cdot ab = r \cdot d\epsilon \cdot r \cdot \cos \epsilon \cdot d\beta = r^2 \cos \epsilon d\epsilon d\beta, \quad (2.13)$$

З урахуванням виразу (2.12) і (2.13)

$$d\Omega = \cos \epsilon d\epsilon d\beta, \quad (2.14)$$

Після підстановки в співвідношення (2.9) значення підінтегральної функції, знайденого з (2.7), отримуємо

$$(2.15) \quad E_3 = \frac{4\pi\gamma N_0 D^4}{A_{\text{эфф}} \cdot \sigma_{\text{ц}}} = \int_{\Omega_{\text{з}}} \frac{d_{\text{н}}^4(\beta, \epsilon)}{\alpha_{\text{н}}(\beta, \epsilon)} d\Omega,$$

З виразу (2.15) знаходимо

$$D^4 = \frac{E_3 A_{\text{эфф}} \sigma_{\text{ц}}}{4\pi N_0 \gamma \int_{\Omega_3} \frac{d^4_{\text{н}}(\beta, \varepsilon)}{\alpha_{\text{н}}(\beta, \varepsilon)} d\Omega}, \quad (2.16)$$

Рівняння (2.16) визначає максимальну зону спостереження РЛС з σ в режимі огляду при довільних способі огляду і формі зони спостереження. З нього випливає, що значення максимальної дальності дії РЛС при заданою них значеннях енергії, випромінюваної в зону за час однократного огляду, і ефективної площі прийомної антени залежать від форми зони спостереження (функція $d(\beta, \varepsilon)$ в сферичній системі координат з точністю до постійного коефіцієнта визначає граничну поверхню зони спостереження) і способу просмотра зони спостереження приймальною антеною РЛС (вид функціональної залежності $\alpha(\beta, \varepsilon)$ визначається способом огляду зони спостереження). Енергію, що отримується зони спостереження, можна висловити через середню потужність випромінювання $P_{\text{ср}}(\beta, \varepsilon)$ і час опромінення цілі $t_{\text{обл}}(\beta, \varepsilon)$:

$$\begin{aligned} E_3 &= \int_{\Omega_3} \frac{E_{\text{н}}(\beta, \varepsilon)}{\Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon)} d\Omega = \int_{\Omega_3} \frac{P(\beta, \varepsilon) \cdot \tau_{\text{у}}(\beta, \varepsilon) \cdot M(\beta, \varepsilon)}{\Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon)} d\Omega = \\ &= \int_{\Omega_3} \frac{P_{\text{ср}}(\beta, \varepsilon) \cdot t_{\text{обл}}(\beta, \varepsilon)}{\Omega_{\text{ді}}(\beta, \varepsilon)} d\Omega, \end{aligned} \quad (2.17)$$

де $P_{\text{ср}}(\beta, \varepsilon) = P_{\text{і}}(\beta, \varepsilon) \cdot \tau(\beta, \varepsilon) / T$ – середня потужність, яку випромінює передавальною антеною РЛС в тілесний кут діаграми направленості антени;

T_{Π} – період повторення зондувальних імпульсів;

$\tau_i(\beta, \epsilon)$ – тривалість зонduючого імпульсу (в принципі, може змінюватися в залежності від кутового положення діаграми направленості антени);

$M(\beta, \epsilon) = \frac{t_{\text{обл}}(\beta, \epsilon)}{T_{\Pi}}$ – число імпульсів в пачці відбитих ехосигналів.

З виразу (2.17) випливає, що ДО можна збільшити наступними способами:

- збільшенням середньої потужності $P(\beta, \epsilon)$ в процесі огляду;
- зміною часу опромінення цілей $t_{\text{обл}}(\beta, \epsilon)$;
- збільшенням ефективної площі прийомної антени $A_{\text{ефф}}$, яка

визначається як добуток коефіцієнта використання апертури при прийомі $\eta_{\text{ісп}}$ і геометричній площі розкриву антени $A_{\text{геом}}$.

2.3 Способи огляду простору

Інформацію про наявність цілей в ЗО РЛС отримують в процесі огляду її елементів дозволу. Час, що витрачається на одноразовий огляд зони, і черговість перегляду її елементів дозволу визначаються способами огляду. Крім того, від способу огляду залежить і значення середньої потужності зондируючих сигналів РЛС. Безперервний огляд ЗО є обов'язковим режимом функціонування РЛС. В існуючих РЛС використовують різні способи огляду зони спостереження. Вибір того чи іншого способу огляду залежить від призначення РЛС, оскільки від нього залежать багато характеристик РЛС:

- час виявлення цілі в зоні;
- кількість вимірюваних координат і точність їх вимірювання;
- дозволяють здібності по кутових координатах, дальності і радіальної швидкості;
- швидкість оновлення інформації;
- перешкодозахищеність РЛС (особливо від пасивних перешкод).

Необхідна форма зони спостереження може формуватися відповідним вибором форми діаграми направленості антени РЛС (на прийом і передачу) і закону зміни її положення в просторі, при яких найбільшою мірою забезпечуються задані тактико-технічні вимоги. Залежно від часу, що витрачається на отримання інформації від всіх елементів зони спостереження, розрізняють наступні види огляду:

- паралельний (число антенних променів дорівнює числу елементів дозволу по кутових координатах - рис. 2.4, а, б);

- послідовний (зона спостереження проглядається одним антенним променем, переміщення якого здійснюється послідовно в часі по куту місця і азимуту - рис. 2.5, а);
- змішаний (по одній кутовій координаті (частіше в сього постановляє у глум еста) здійснюється паралельний огляд, а за іншою (азимуту) - послідовний - рис. 2.5, б).

Огляд зони спостереження по дальності здійснюється послідовно у міру поширення електромагнітної енергії після випромінювання зондуючого сигналу з кінцевою швидкістю до мети і назад. Паралельний огляд по кутових координатах має найбільшу, у порівнянні з іншими видами огляду, темпом оновлення інформації.

Однак складність реалізації антеною системи не дозволила поки використовувати його в РЛС [5].

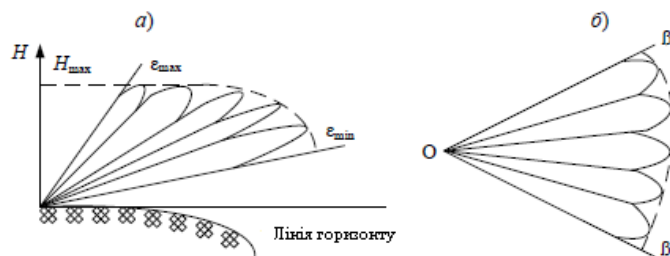


Рисунок 2.4 — Види паралельного огляду:

а - в угломестной площині; б - в азимутальній площині

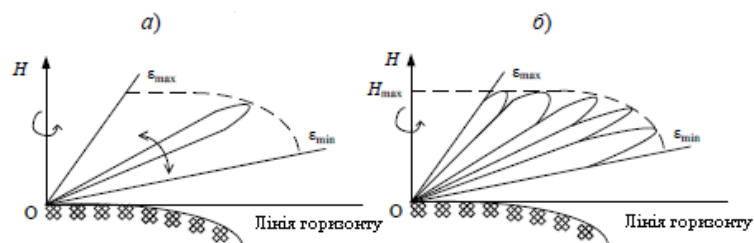


Рисунок 2.5 – Види огляду:

а - послідовний по куту місця і по азимуту; б - змішаний огляд: паралельний по куту місця і послідовний по азимуту

3 АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ СТВОРЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ

3.1 *Аналіз побудови існуючих мереж метеорологічних радіолокаційних станцій*

3.1.1 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Японії

Мережа МРЛС в Японії призначена для вимірювання характеристик опадів з метою прогнозу повеней і регулювання режиму річок при експлуатації гребель на гірських річках [6].

Контроль режиму річок здійснюється в Японії річковими управліннями міністерства будівництва, яке має для цього мережу з 22 автоматизованих МРЛС (рис. 3.1) для передачі інформації місцевим будівельним управлінням. Доведенням інформації про опади від окремих МРЛС і їх мережі до префектур і муніципалітетів займається Управління інтегрованих комунікації між ріками і басейнами FRICS.

Радіус дії радіолокаційної системи OWASAN, на базі якої створено мережу, становить 200 км, кількісні виміри проводяться в радіусі 120 км. Система OWASAN має наступні технічні характеристики: несуча частота 5270 МГц (5 см), ширина ДНА 1,2°, імпульсна потужність 250 кВт, швидкість обертання антени 5 об/хв, частота посилок 260 Гц, тривалість зондувального імпульсу 2 мкс. В полярній системі розмір пікселя для вимірювання (2,81°x3 км) або (1,41°x3 км). Усунення месників проводиться за допомогою індикатора рухомих об'єктів або карти месників. Для отримання даних на однакових висотах радіолокатор веде спостереження на трьох кутах місця для отримання зображення ІКО ПВ. Радіолокатор в місці установки не обслуговується, тому його робота контролюється автоматично (передбачено тестування всіх систем і виявлення несправностей).

Мережа МРЛС працює цілодобово з інтервалом 5 хв з комп'ютерною обробкою даних про опади, поданням і передаванням цієї інформації споживачам.

Зона спостереження по дальності здійснюється послідовно у міру поширення електромагнітної енергії після випромінювання.

Автоматизований радіолокатор-дощомір після первинної обробки перетворює інформацію про опади у форму, зручну для застосування в річкових і дорожніх управліннях, і передає її на термінальні станції місцевих управлінь міністерства будівництва. На них поступає основна інформація: середня за 5 хвилин інтенсивність опадів в полярних координатах і картина

просторового розподілу опадів в радіусі огляду МРЛС.

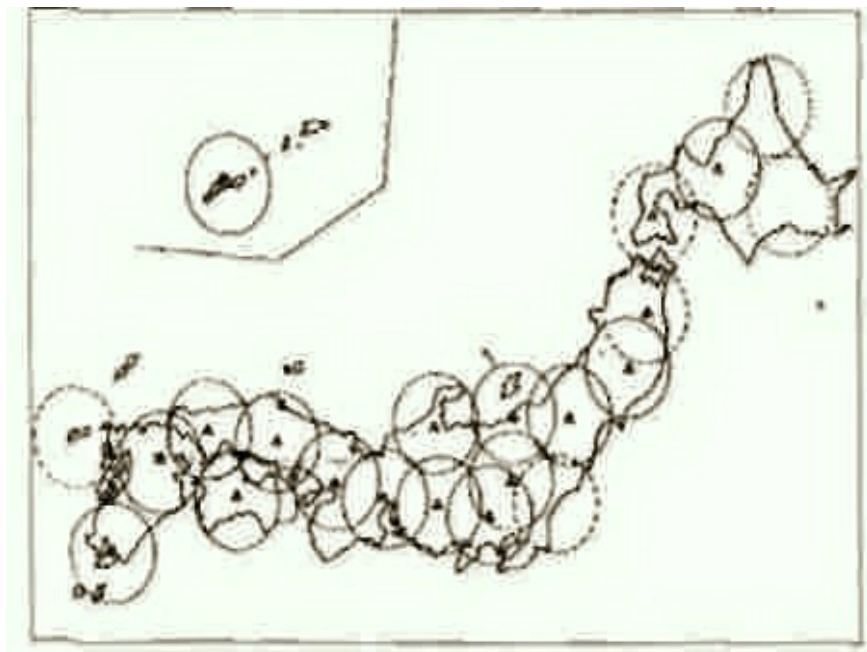


Рисунок 3.6 – Розташування радіолокаторів–дощомірів в Японії

Кольорова (якісна) та цифровий (кількісна) карти розподілу інтенсивності опадів дозволяють визначити швидкість і напрямок переміщення зон опадів і працювати в анімаційному режимі для вивчення історії процесу випадіння опадів.

В єдиному центрі міністерства будівництва складається зведена карта по Японії (4800x2000 символів), яка передається всім зацікавленим споживачам за орендованої міністерством передавальної лінії зі швидкістю 4800 біт в секунду.

Передачу даних в префектуру і муніципалітети центр FRICS здійснює за запитом приймаючого терміналу цілодобово по телефонній мережі NTT по протоколу CAPTAIN PLPS.

При загрозі повені на термінал споживача передаються повідомлення і звукові сигнали. Якщо на терміналі відсутня черговий, центр FRICS передає йому повідомлення додому через автоматичний голосовий синтезатор. Це ж відбувається, коли сума опадів за годину перевищує 20 мм, 80 мм і коли рівень води перевищує певний поріг.

У кожному з десяти регіональних бюро по будівництву створено центр збору даних по регіону, який збирає інформацію про опади; до нього можливий доступ з іншого регіону.

Зображення передаються окремо (для прийому одного), пакетами (чо-

тири групи) і всіх радіолокаційних зображень за 6 годин з записом для подальшого копіювання та аналізу. Щоб телефонна лінія зайнята без користі, вона автоматично відключається від центрів. На березень 1989 року в Японії було встановлено 2290 терміналів, кінцева мета – встановлення 10000 терміналів.

3.1.2 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Сполучених Штатів Америки

Мережа NEXRAD США – єдина багатфункціональної мережа, призначена для одночасного отримання інформації, що задовольняє вимогам штормового оповіщення, метеозабезпечення авіації та вимірювання опадів.

Розроблений в процесі реалізації концепції доплерівського радіолокатора WSR-88D забезпечив якісний стрибок у проведенні автоматизованих метеорологічних радіолокаційних спостережень у будь-яких погодних умовах – від чистої атмосфери до випадків проходження ураганів. Своєчасно виконані трудомісткі роботи по вибору та підготовці позицій для розміщення WSR-88D дозволили в короткий термін (з 1991 по 1997 рік) встановити 138 WSR-88D в 48 штатах континентальної частини США, сім установок на Алясці, а також розмістити WSR-88D в Пуерто-Ріко і на Гавайських островах. Розміщення мережі NEXRAD наведено на рис. 3.2 і рис. 3.3.

Передача інформації споживачу з кожної станції NEXRAD проводиться в єдиному форматі даних з використанням усіх можливих видів і засобів зв'язку, які в даному пункті економічно доцільні.

Мережа NEXRAD працює цілодобово з періодом оновлення інформації від 5 до 15 хвилин в залежності від атмосферних умов. Стратегія огляду простору антеною в залежності від типу погоди не оптимізована [7].

В чистому повітрі застосовується повільний круговий огляд на п'яти кутах місця, що займає 10 хвилин. При наявності опадів круговий огляд відбувається під кутами місця від 0,5 до + 19,5° у двох режимах: у першому режимі потрібно 6 хвилин на дев'яти кутах місця, у другому – 5 хвилин на 14 кутах місця.



Рисунок 3.7 – Загальне радіолокаційне покриття на висоті 10 000 футів від місця установки радіолокаторів в суміжних штатах, що існував до введення NEXRAD, і розташування радіолокаторів типу WSR-57 і WSR-74



Рисунок 3.8 – Загальне радіолокаційне покриття радіолокаторами NEXRAD на висоті 10 000 футів від місця установки радіолокаторів в суміжних штатах і розташування станцій Національної метеослужби та міністерства оборони США. Заштриховані райони, де звужене покриття

Взимку при невеликих висотах радіоеха опадів (3-4 км) синоптики віддають перевагу інформацію кругових оглядів, проведених до менших кутів місця з кроком менше ширини ДНА (1°), а при виникненні інтенсивних конвективних процесів нерідко наполягають на проведенні більш частих оглядів на малих кутах місця.

Передача базових даних і продуктів спостережень WSR-88D всім зацікавленим споживачам забезпечує складання двічі на годину стикованої карти по території США в національних центрах метеослужби у Вашингтоні, Канзас-Сіті, Маямі та в Національному метеоцентрі міністерства оборони у Вашингтоні [8].

3.1.3 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Російської Федерації

Коротко визначити сучасний стан мережі метеорологічних радіолокаторів можна як перехідний. Колишня мережа Росгидромету, що існувала до 2011 року і складалася з 31 радіолокатора МРЛ-5 і чотирьох МРЛ-2, поступово припиняє своє існування. Сукупність згаданих радіотехнічних засобів можна було називати мережею тільки умовно, оскільки близько третини з них не були автоматизовані, а встановлені системи автоматизації не були об'єднані в єдиний інформаційний простір. Самі радіолокатори вже давно морально застаріли, оскільки не мають когерентного режиму роботи, тобто здатні вимірювати тільки один параметр спостережуваних цілей, а саме потужність відбитого сигналу або розраховується за нею величину радіолокаційної відображеності.

З 2011 року на мережі встановлюються доплерівсько-поляриметричні метеорологічні радіолокаційні станції ДМРЛ-3 розробки ВАТ НВО «Ліанозовский электромеханический завод». За своїми характеристиками вони є одними з кращих в світі МРЛС, з режимами когерентності, подвійної поляризації і стиснення випромінюваного імпульсу. Всі вони забезпечені системою обробки та подання даних і відразу по установці на позицію включаються в єдину систему. На початок 2014 року було виготовлено 40 виробів, приблизно половина з них розгорнута на позиціях і поставляє інформацію. У число вимірюваних ними параметрів сигналу входять:

- радіолокаційна відображеність;
- середня частота спектру радіальних швидкостей гідрометеорів;
- ширина спектру радіальних швидкостей гідрометеорів;
- диференціальна відображеність;

- диференціальна фаза;
- модуль коефіцієнта взаємної кореляції поляризаційних складових сигналу.

Такий арсенал засобів моніторингу навколишнього середовища дозволяє значно розширити перелік виявляються небезпечних явищ погоди та підвищити ефективність використання МРЛС.

Головний напрямок роботи з розвитку нової мережі на сьогоднішній день – розробка методик застосування постачаються нею даних. Інакше, встановивши на території країни 140 першокласних радіолокаторів, що відповідають найвищим світовим стандартам, не доб'ємося якісного стрибка в одержуваної інформації.

Але на цьому проблеми сучасної мережі не закінчуються. Якщо подивитися на карту розташування ДМРЛ-3 (рис. 3.4), побачимо, що європейська частина Росії практично вся закрита зонами відповідальності радіолокаторів[9].

Багато засобів моніторингу навколишнього середовища дозволяє значно розширити перелік виявляються небезпечних явищ погоди та.

У східній частині вони розташовані значно рідше, але й завдання повного закриття даної території не ставилося. Проте все сказане відноситься до режиму роботи «Відображеність», при якому радіолокатор працює у некогерентному режимі, а радіус дії складає 250 км.

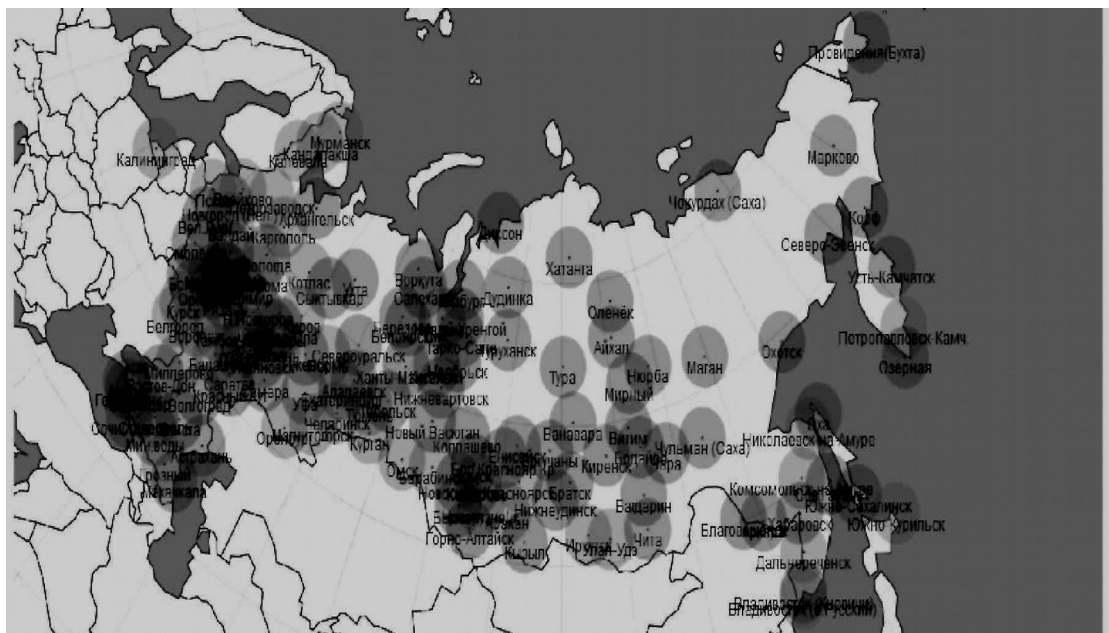


Рисунок 3.9 – Карта зон охопту території Росії мережею радіолокаторів ДМРЛ-С (радіус огляду 250 км)

3.1.4 Аналіз побудови автоматизованої метеорологічної радіолокаційної мережі Західної Європи

Результати проекту COST-73

Різні кліматичні умови в країнах Європи (табл. 3.1) диктують різні вимоги до метеорологічної радіолокаційної інформації. В одних країнах головна загроза – повені, в інших шкоду заподіюють грозоградові процеси. Під час виконання проектів COST-72 і COST-73 мережі автоматизованих МРЛС сформувалися майже в кожній країні. Об'єднання їх інформації стало актуальним для більшості країн (рис. 3.5) [12].



Рисунок 3.10 – COST-73 – проект створення мережі метеорологічних радіолокаторів (заштриховані ділянки – області огляду локаторів нижче 1500м над рівнем моря за станом на вересень 1991 року, не заштриховані ділянки – плановані області огляду)

Таблиця 3.1 – Екстремальні середні відношення числа днів з грозою і числа днів з градом за сезон (травень-вересень) для європейських країн за період з 1961 по 1990 роки

Країна	Число днів з грозою		Число днів з градом		Райони небезпечної погоди
	от	до	от	до	
Австрія	7	43	0,1	3,6	Південно-західна дуга Альп
Великобританія	1	13	0,4	5,0	На схід від Уельсу по лінії Манчестер – Бірмінгем – Ноттінгем
Німеччина	16	33	0	3,8	Шварцвальд, Швабські Альпи
Іспанія	1	25	0,1	2,9	Кастилія и Леон, Ла Манча, на південь від Піренесів
Італія	9	39	0,2	1,8	Вздовж північних кордонів країни
Словакія	11	34	0,3	2,1	Татри
Словенія	6	54	0,1	2,7	Північ країни по лінії Грац – Марибор – Вазардин
Франція	5	29	0,1	3,1	Райони навколо центрального масиву на південь від Тулузи по лінії Лимож – Гренобль
Хорватія	6	34	0	2,4	Північ країни
Швейцарія	9	42	0,1	1,8	Північ і південь країни

Незважаючи на те, що вимоги до радіолокаційних метеоданих в країнах Європи відрізняються з-за відмінності не тільки кліматичних умов, але і соціально-економічних структур між країнами досягнуто згоди за вимогами, можливостями, співвідношенням витрат і вигоди, а також каналів поширення інформації. Зазначені угоди вилилися в зразкові специфікації для стандартних радіолокаційних систем Європи. Основні рекомендації COST-73 сформульовані так [10].

1. Визнана цінність і корисність побудови стикованих (композитних) зображень з використанням міжнародних радіолокаційних даних, поєднаних із супутниковими даними. Багатонаціональна поєднання радіолокаційних даних і обмін цими даними повинні ґрунтуватися:

- на використанні двосторонніх та/або багатосторонніх угод, що регулюють міжнародний обмін радіолокаційними даними;

- на розробці стандартизованих процедур спостережень і створенні банків даних;

- на розробці відповідних структур мережі;
- на використанні BUFR FM-94 та відповідних методів редукції даних в найближчому майбутньому і, можливо, іншого коду у перспективі.

2. Вже розроблена в рамках проекту програма кодування/декодування BUFR FM-94 представлена у ВМО для широкого впровадження. Крім того, повинні бути продовжені зусилля з розробки ще більш ефективної схеми стиснення для передачі результатів радіолокаційних спостережень через ГСТ, супутниковий зв'язок або будь-яким іншим відповідним способом.

3. З технічних міркувань структура створюваної мережі МРЛС повинна включати наступні елементи:

- регіональні субрайони з власними центрами обробки даних, які будуть відповідати за збір та обробку (включаючи стиковку) метеорологічних радіолокаційних даних, що надходять від країн відповідного субрайона. Планується розширення регіону збору даних, який буде включати від п'яти до восьми центрів стикування,
- розсилка результатів стикування в усі регіональні центри у вигляді набору по можливості перекриваються субрайонів з відповідними розмірами. Зараз передбачається, що таких субрайонів буде шість. Розсилка буде здійснюватися через ГСТ, супутниковий зв'язок або будь-якими іншими методами, і по можливості буде використовуватися програма BUFR FM-94,
- насамперед, повинні бути затверджені основні ідеї з географічним проєкціями, кроку сітки, вибору рівнів і визначення кінцевих продуктів.

4. Внаслідок того, що: а) основні моделі циркуляції (ОМЦ) мають погане дозвіл і характеризують кількість опадів лише у вигляді середніх добових і місячних значень; б) зв'язок між дощем і стоком у вищій ступеня нелінійна; в) швидкість інфільтрації дуже сильно змінюється, що вкрай ускладнює параметризацію, для розробки більш ефективної схеми параметризації поверхневих гідрологічних процесів у рамках ОМЦ та забезпечення адекватності бази даних для гідрологічних досліджень в континентальному масштабі необхідно використовувати комплексну базу радіолокаційних даних. Створення системи спостереження за річками» в міжнародному масштабі (макрогідрологія), особливо для цілей оповіщення про небезпеку повеней, а також в інтересах повсякденної експлуатації міжнародної річкової мережі, було б корисним для споживачів.

Склад мережі за проектом COST-75

У 1998 році в Європі функціонувало понад 110 МРЛС (рис. 3.6) [11],

причому більше 60 з них доплерівські. Число ДМРЛС постійно збільшується. Більшість МРЛС С-діапазону. Національні мережі МРЛС існують у Великобританії, Іспанії та Франції (табл. 3.2).

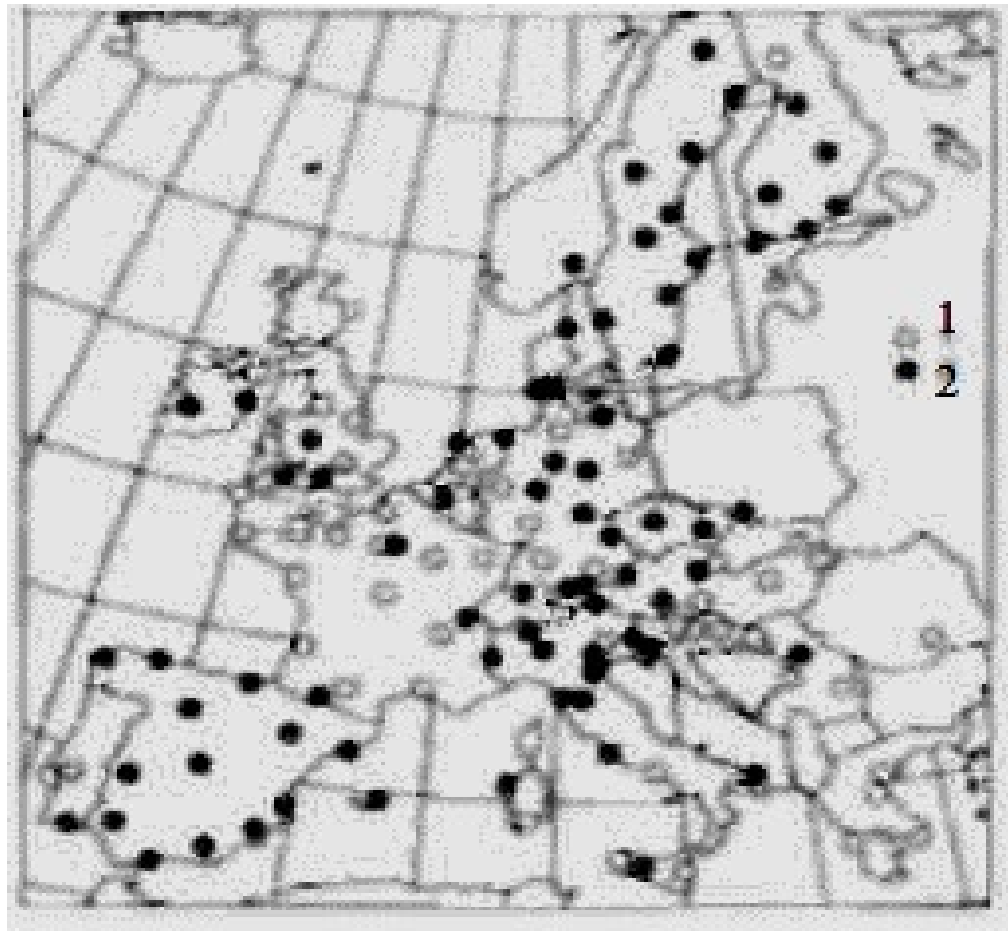


Рисунок 3.11 – Розподіл метеорологічних радіолокаторів на оперативній мережі в Європі;

1 – автоматизовані некогерентні МРЛС; 2 – доплерівські МРЛС і поляриметричні доплерівські МРЛС

3.2 Аналіз параметрів радіолокаційного поля та розміщення метеорологічних радіолокаційних станцій

Пріоритети мережі за проектом COST-75

У 1998 році однією з найбільш пріоритетних завдань застосування МРЛС в Європі став загальний регіональний і локальний метеопрогноз, і особливо завчасністю до 3 годин[13].

Таблиця 3.2 – Оперативні метеорологічні радіолокатори в Європі на грудень 1997 року

Країна	Число радіолокаторів	Діапазон довжин хвиль	Число кутів місця антени	Частота оновлення даних, хв	Число обертів антени за хв	Частота проходження імпульсів, Гц	Метод усунення месників
Австрія	4	C	21	10; 5	4,5	600	M, D, S, R, I
Великобританія	12	C	4	5	1–3	300–1200	-
Угорщина	3	X, S	4	5	3	250	-
Німеччина	10	C	19	15	3	600–1200	M, D, I
Греція	4	S, C	4	10	3	250	-
Данія	2	C	10	10	2–6	250–1200	M, S
Ірландія	2	C	10	15	2–6	250–1200	-
Іспанія	12	S, C	20	10	2–6	250–1200	M, D
Італія	14	X, C	10	15	2–6	300–1200	M, D, P, I
Нідерланди	2	C	4	10	3	250	S
Норвегія	1	C	12	10	6	250–1200	M, D
Польща	2	X, C	14	10	6	250	M, D
Португалія	1	C	13	15	3	250	M, S, I
Румунія	3	X, S	10	25	1–6	250	M
Словакія	2	X, S	15	15; 30	6	250	M
Словенія	2	C	16	7,5	3	250–1200	M
Фінляндія	6	X, C	11	15	2–6	250–1200	M, D
Франція	13	S, C	3	3	0,84	250–330	S, I
Хорватія	1	S	14	10	2–3	600	M
Чехія	2	X, S, C	13, 20	10; 10	3	250; 556	M, D, I
Швейцарія	3	C	20	5	3–6	600–1200	M, D, S, R, I
Швеція	11	C	10 – 15	15; 5	2–6	250–1200	M, D

Примітки. 1. Метод усунення месників: M – карта месників, D – доплерівські вимірювання, S – статистика сигналів, P – поляризація, R – дозвіл, I – інтерполяція, 2. Діапазон довжин хвиль МРЛС: X – 3 см, S – 10 см, C – 5 см.

Національні метеослужби європейських країн, конкуруючи з приватними компаніями, запропонували широке різноманіття орієнтованих на споживача продуктів МРЛС, які швидко поширюються через засоби масової інформації.

Серед продуктів МРЛС і мережі МРЛС (NORDRAD, German Composite, CERAD): зображення ІКО і ІКО ПБ (CAPPI) на різних висотах і видалення, різні dBZ-шкали і пороги з різним ступенем осереднення, висота верхньої межі радіоеха, VIL, вертикальні профілі відображеності і вітру, горизонтальні поля вітру і розрізи (вертикальні та горизонтальні).

Синоптикам регіональних установ для вибору рівнів передається зображення відображеності з ІКО і ІКО ПВ з окремих МРЛС або національних мереж. Стандарту передачі зображення не існує, а частота оновлення інформації може досягати 4 годин [14].

Надійність надходження споживачу інформації про опадах для короткострокового прогнозу, на думку європейських фахівців, має становити при заданій імовірності 95% часу. Найбільш суворі вимоги пред'являються до попередження про рідких зливових опадах інтенсивністю понад 10-30 мм/год і про сильному снігопаді інтенсивністю понад 6 мм/год для заселених районів[13].

Для управління повітряним рухом від МРЛС в європейських країнах вимагається метеоінформація для прийняття рішень по маршрутах, а в районах аеропортів для управління повітряним рухом не тільки в повітрі, але і на землі. Найбільш важливими продуктами є прогноз небезпечної погоди, профілі вітру і зсув вітру. Для країн Північної Європи на одне з перших місць по важливості вийшов поточний прогноз проміжків в снігопаді і розпізнавання за допомогою доплерівського радіолокатора зон можливого зледеніння.

Зображення CAPPI, зведені карти CAPPI, шари опадів за 3, 6 і 12 годин потрібні дорожнім і транспортним службам для технічного обслуговування і очищення доріг від снігу.

Прогнози початку і закінчення дощу, очікувана величина шару опадів, повторюваність опадів потрібні фермерам і продавцям, які торгують на вулиці.

Таким чином, в європейських країнах велика і зростаюча увага приділяється доведенню інформації МРЛС до споживача.

На півдні Європи на перше місце в застосуванні даних МРЛС в літній час виходить наукастинг небезпечних явищ погоди при проходженні мезомасштабних конвективних систем – граду, шквалів та інтенсивної грозової діяльності .

Радіолокаційні спостереження дозволяють розпізнавати і детально простежувати всі конвективні процеси з небезпечними явищами. Їх мезомасштабна організація в рамках системи визначається по відображеності; конвергенція на нижньому рівні, завихреність на середньому рівні і дивергенція на верхньому рівні – за даними доплерівської МРЛС; мікрофізичний і динамічний стан – за даними доплерівської поляриметричної МРЛС [15].

3.2.1 Концепції створення автоматизованих метеорологічних радіолокаційних мереж

Автоматизована МРЛС – дороге обладнання, яке вимагає великих витрат як при його установці на позиції, так і при щорічній цілодобовій експлуатації. Для мінімізації та справедливого розподілу фінансових витрат серед основних інвесторів – споживачів інформації в державному масштабі повинна розроблятися концепція створення мережі МРЛС на території країни.

У концепції необхідно відобразити відповіді на наступні питання:

- вимоги потенційних інвесторів і споживачів інформації (головних – представляють державу, і всіх інших);
- визначення пріоритетів, розв'язуваних мережею. Залежно від повторюваності небезпечних явищ, інтенсивних опадів і цінності інформації МАРС для мінімізації збитків в кожній країні встановлюють пріоритети завдань (зміни порядкових номерів переліку завдань МАРС). Наприклад, у США пріоритетним є виявлення торнадо і стихійних гідрометеорологічних явищ, у Великобританії – гідрологічний прогноз, в Росії – штормове оповіщення про небезпечні стихійні явища та метеорологічне забезпечення авіації (через рідкісну мережі наземних метеостанцій і великих територій);
- кліматологічні аспекти (повторюваність небезпечних явищ і інтенсивних опадів по території);
- соціально-економічні фактори (облік розподілу щільності населення і найважливіших народногосподарських об'єктів по території країни);
- вибір висоти рівня єдиного радіолокаційного поля країни (жодне атмосферне явище, верхня межа якого цей рівень перевищує, не буде пропущено при радіолокаційних спостереженнях);
- основні принципи збору інформації та поширення її споживачам;
- джерела фінансування;

- техніко-економічне обґрунтування концепції.

Після всебічного обговорення та затвердження концепції на державному рівні, а також вибору зон суцільного перекриття основним критерієм при виборі конкретних пунктів для розміщення МРЛС і конкретної позиції в кожному із затверджених пунктів є мінімізація економічних витрат.

Аналізуючи досвід створення МАРС в різних країнах, слід відзначити низку загальних підходів [9, 10, 11]:

- 1) передумова створення – виникнення нагальної необхідності використання метеорологічної радіолокаційної інформації про небезпечні явища і опадає для вирішення народногосподарських завдань;
- 2) розуміння обов'язковості системного підходу при створенні МАРС;
- 3) вирішення питань фінансування МАРС по можливості на державному рівні, в залежності від обсягу виділених коштів вибір шляху створення МАРС – «революційного» або «еволюційного».

3.2.2 Вибір нижнього рівня для єдиного радіолокаційного поля

Вибір висоти рівня єдиного радіолокаційного поля країни, яке забезпечить діаграми направленості антен (ДНА) МРЛС МАРС з урахуванням радіорефракції і висоти розміщення МРЛС, визначає число МРЛС МАРС і їх видалення один від одного [16].

Якщо висота нижньої межі ДНА МРЛС при нульових кутах місця антени дорівнює 1,35 км, то згідно з рівняннями (3.1) і (3.2) для нормальної рефракції ($\xi = 6 \cdot 10^{-5} \text{ км}^{-1}$) [11] сусідні МРЛС повинні бути розміщені на відстані 300 км один від одного. Якщо робота буде відбуватися при куті місця $0,5^\circ$, то ця відстань не буде перевищувати 200 км:

$$R_{\text{рг}} (\text{км}) = 4,12 (\sqrt{h_a (\text{м})} + \sqrt{H_y (\text{м})}), \quad (3.1)$$

$$H (\text{км}) = R (\text{км}) \sin \varepsilon + \xi R (\text{км})^2 + h_a (\text{км}), \quad (3.2)$$

де $R_{\text{рг}}$ – дальність радіовидимості (радіогоризонта);

R – відстань від МРЛС до цілі;

h_a – висота антени над поверхнею землі;

$H_{\text{ц}}$ – висота цілі над поверхнею землі;

H – висота цілі щодо висоти антени;

ε – кут місця (піднесення) діаграми направленості антени.

Мережа NEXRAD повинна забезпечувати майже безперервне покриття території США на висоті 3 км (10 000 футів) над рівнем установки для виявлення сильних штормів і інших небезпечних метеоявищ. У Західній Європі ця висота вибрана рівною 1,5 км.

3.2.3 Вибір географічного пункту для установки метеорологічної радіолокаційної станції

При створенні мережі NEXRAD вибрані пункти повинні були задовольняти наступним критеріям:

- максимальне наближення до існуючих або планованих регіональним прогностичним централм;
- максимальне наближення МРЛС (до 30 км) до аеропорту або розміщення МРЛС в високопріоритетних аеропортах (національного або регіонального значення) або поруч з авіабазами міністерства оборони;
- розумне перекриття радіусів огляду МРЛС в зонах високої повторюваності небезпечних явищ, пов'язаних з хмарністю;
- відповідність висоти рівня єдиного радіолокаційного поля двох сусідніх МРЛС;
- розумна мінімізація числа МРЛС, необхідних для створення єдиної багатофункціональної МАРС.

Після вибору пункту розміщення МРЛС необхідно вирішити проблеми, пов'язані з вибором по конкретній позиції в пункті (особливо ті з них, які вимагають обов'язкового узгодження з іншими відомствами) [17].

3.2.4 Вибір позиції для метеорологічної радіолокаційної станції

Вибір позиції для розміщення МРЛС є найбільш відповідальним етапом, що передує будівельних робіт на обраній позиції. При виборі позиції треба відразу звикнути з думкою, що ідеального місця для розміщення МРЛС не існує і доведеться йти на прийняття компромісних рішень

Для усунення відбитих сигналів від місцевих предметів по боковим пелюсткам найкращою позицією для МРЛС був би одиночний пагорб з кратером. Глибина кратера повинна бути такою, щоб антена МРЛС могла дивитися прямо над кромкою[18].

Раніше вимоги до вибору позиції розрізнялися для МРЛС штормового оповіщення і МРЛС, призначеної для вимірювання опадів, що обслуговується, та що не обслуговується.

В режимі штормового оповіщення МРЛС повинен отримувати інформацію в максимальному радіусі огляду, тобто працювати під малими кутами місця по всіх азимутах і в будь-якому разі в тих азимутах, звідки приходять найбільш небезпечні явища. В режимі штормового оповіщення максимальна дальність виявлення МРЛС повинна становити в середніх

широтах 200-250 км. На цих видалення нижня межа ДНА при куті місця 0° знаходиться на висоті 2,25-3,75 км над рівнем антени МРЛС.

При вимірюванні опадів вимоги до максимального радіусу дії залишаються, однак кут місця не повинен перевищувати $0,3-0,5^\circ$ при мінімальному числі відбиттів від місцевих предметів. При цьому необхідно враховувати ширину ДНА МРЛС і висоту нульової ізотерми в пункті розміщення. У помірних широтах при ширині ДНА 1° і вугіллі місця 0° максимальний радіус дії МРЛС не може перевищувати 100 км.

МРЛС не обслуговується в місці установки, дає значно більші можливості при виборі позиції. Вона повинна забезпечити періодичне відвідування МРЛС і наявність електроенергії, знімаючи питання про необхідність всіх вимог, що виникають у разі присутності на МРЛС постійного обслуговуючого персоналу.

Для штормового оповіщення МРЛС зазвичай розташовувався на аеродромі або в прогностичному центрі. Якщо не потрібна установка антени на дуже високу вежу для забезпечення огляду по горизонталі, а антена МРЛС розміщувалася на будівлі аеропорту, то в цьому випадку вартість установки була мінімальна.

При виборі позицій МРЛС МАРС вимоги стають більш жорсткими, а витрати на обладнання позиції значними. По суті вибір позиції для МРЛС складається з трьох етапів.

На першому етапі відбувається початкова оцінка місця. При цьому виходить карта для пошуку оптимального місця з урахуванням споруд, що належать державі.

Потім, на другому етапі, відбувається вибір місця і завершується його попереднє вивчення (аналіз радіолокаційного огляду, географічної та оперативної придатності, доріг та комунальних служб).

На третьому етапі можливі позиції зводяться до одного-двох. На ці позиції знову виїжджають на рекогносцировку і вже детально оцінюють оптимальність обраної позиції.

Позиція для установки МРЛС МАРС повинна задовольняти наступним вимогам:

1. Слід забезпечити максимальний радіус дії МРЛС, для чого у всіх напрямках кругового огляду кути закриття антени МРЛС не повинні перевищувати $0,5^\circ$.

2. Необхідно забезпечити найкращі умови огляду в секторах, через які проходять авіакомпаній.

3. У радіусі 500 м від обраної позиції повинні бути відсутніми високі місцеві предмети (будівлі, лінії електропередачі, залізничні насипи тощо).

Кути закриття не повинні перевищувати половини ширини діаграми спрямованості антени МРЛС або бути нульовими. Більш високі кути закриття, особливо якщо вони відзначаються в азимутах приходу в обраний пункт найбільш небезпечних стихійних явищ, різко зменшують метеорологічну ефективність МРЛС за рахунок низької достовірності його інформації або різкого зменшення завчасності їх прогнозу зважаючи пізнього виявлення явищ МРЛС.

Високі кути закриття антени МРЛС в окремих азимутах або секторах призводять до розширення зони відповідальності сусідній МРЛС єдиної мережі. Щоб оцінити прийнятність кутів закриття, необхідно побудувати зони перетину діаграм спрямованості МРЛС з урахуванням кутів закриття в кожному з сусідніх пунктів. Неправильний вибір місця установки МРЛС може привести до втрати інформації про небезпечні явища над важливими для споживача районами.

4. Обрана позиція повинна виключати можливість виникнення взаємних перешкод радіолокаційних станцій, несучі частоти яких близькі до діапазону випромінювання МРЛС. Для оцінки електромагнітної сумісності розміщується МРЛС з працюючими в пункті радіолокаційними системами потрібно пройти експертизу і отримати дозвіл від регіональної комісії з радіочастот. Питання про електромагнітну сумісність, як правило, доводиться вирішувати одночасно з питаннями щодо мінімізації вартості на прокладку комунікацій і вибору позиції з мінімальними кутами закриття.

5. Позиція повинна відповідати вимогам по техніці безпеки і суворо відповідати меж санітарно-захисної зони.

В цілях забезпечення санітарних норм і дотримання правил захисту населення від електромагнітних полів, створюваних МРЛС, вибір позиції МРЛС слід проводити у відповідності з діючими санітарними нормами і методичними вказівками по визначенню електромагнітної обстановки в місцях розміщення МРЛС.

До звернення в місцеві органи санепідемнагляду можна приблизно розрахувати видалення МРЛС від найближчих будівель, де можливе опромінення людей. Воно визначається так званим релеєвськими відстанями R_{pp} – відстані, на якій формується ДНА МРЛС – і становить сотні метрів.

Видалення МРЛС від житлових об'єктів не може бути менше R_{pp} . Насправді воно набагато більше (в 5-10 разів) – в залежності від

встановленого ВОЗ гранично допустимого рівня випромінювання. З цієї точки зору розміщення МРЛС на найвищих будинках в житлових кварталах завжди таїть небезпеку. Досить побудувати поруч більш висока будівля, як негайно послідує заборона на випромінювання МРЛС в секторі, де воно знаходиться. З цієї причини рекомендується обрану позицію узгодити з місцевими зацікавленими організаціями з урахуванням перспективних планів розвитку району [20].

Крім перерахованих вимог при виборі позиції МРЛС у кожному разі вирішуються наступні питання:

- зручність підведення силового живлення;
- можливість підключення до зовнішньої телефонної мережі для забезпечення передачі оперативної інформації;
- для обслуговується МРЛС забезпечення максимуму технічних і експлуатаційних зручностей (під'їзні шляхи, побутові умови для обслуговуючого персоналу і т. д.).

В деяких місцях розміщення МРЛС у відповідності з викладеними вимогами зустрічаються наступні труднощі:

- орографічні особливості місцевості не дозволяють встановити станцію в безпосередній близькості від споживача;
- велика насиченість місцевості сучасними радіолокаційними засобами викликає взаємні перешкоди;
- неможливо дотримати необхідні норми санітарно-захисної зони.

У відповідності з викладеним вище станція може встановлюватися на відстані від споживача, якщо за місцевими умовами вибрати позицію ближче неможливо. Метеорологічна інформація в цьому випадку передається за допомогою ліній зв'язку. Вартість розміщення МРЛС при цьому зростає, особливо якщо необхідно побудувати дороги.

Необхідно окремо виділити вимогу про обов'язковий захист МРЛС від блискавок. Блискавка може завдати великої шкоди апаратурі, будівлі, кабельному господарству.

6. При необхідності і можливості розділення передавального і приймального пристроїв МРЛС необхідно враховувати, що збільшення довжини хвилеводу призводить до помітних втрат потенціалу МРЛС. Зазвичай виробники не рекомендують, щоб довжина хвилеводу перевищувала 15 м, а граничним вважається значення 30 м. В середньому втрати електромагнітної енергії в хвилеводі складають 0,13 дБ/м при $\lambda = 3$ см, 0,06 дБ/м при $\lambda = 5,6$ см і 0,03 дБ/м при $\lambda = 10$ див.

У практичному плані для вибору позиції потрібно теодоліт, який необхідно встановити на висоті розміщення антени МРЛС. З його допомогою треба скласти графік кутів закриття горизонту через 1° від 0 до 360° . Графік слід нанести на детальну карту топографічних зйомок місцевості, бажано оцифровану, яку краще всього мати на комп'ютері. За допомогою карти і графіка можна оцінити наявність і висоту месників, висоту зон радіоантени в кожному азимут через 1° .

Одночасно можна оцінити, яке число месників може бути придушено з допомогою задіяної на МРЛС системи придушення месників (маска-карта, доплерівський режим).

Якщо МРЛС буде застосовуватися для вимірювання опадів в умовах пересіченій місцевості, то краще мати вільне поле огляду над долинами, ніж над вершинами пагорбів. Якщо басейни річок складаються з широких долин серед височин з невеликим нахилом, то месники не повинні створювати проблем для радіолокаційного вимірювання опадів [21].

Якщо долини вузькі і височини мають круті схили, що найчастіше зазначається в районах частих повеней, то вимірювати опади доведеться на більш високих рівнях, помітно віддалених по вертикалі від місця випадання опадів. Загальне правило при виборі місця установки з урахуванням конкретного басейну: МРЛС необхідно встановлювати на краю басейну.

Тепер подивимося на карту розташування радарів не зверху, а «збоку» (рис. 3.7).

При середній відстані між ними в 300 км перетинання зон огляду відбувається в середині цього відрізка, тобто на дальності 150 км. На такому віддаленні висота розташування осі діаграми спрямованості антен складає більше 2,5 км і вже при 100 км виходить за межу 1 км. Це говорить про те, що вимірювання такої важливої характеристики, як інтенсивність опадів можливе лише межах невеликої частини території країни.

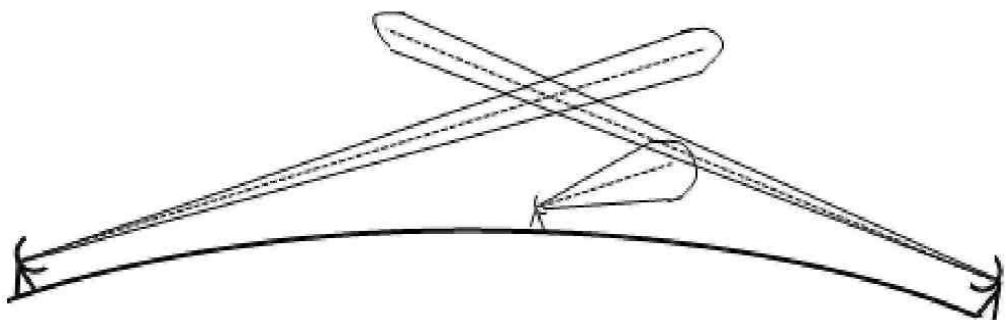


Рисунок 3.12 – Схема розташування діаграм спрямованості радіолокаторів ДМРЛ, установлених на відстані 300 км один від одного і місце можливого встановлення малогабаритного радіолокатора

У зв'язку з цим напрошується висновок про необхідність «згущення» мережі. Але він реалізовується з економічних міркувань. Більш підходящим слід визнати шлях встановлення між «великими» радіолокаторами малогабаритних, що володіють гіршими порівняно з першими характеристиками роздільної здатності і метеорологічного потенціалу, але і значно поступаються їм за вартістю. Маючи дальність дії трохи більше 50 км, вони зуміють закрити ділянки, що не охоплені мережею. Як показують дослідження, ефективність їх роботи на зазначених відстанях досить велика [21].

4 МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ

4.1 Варіант побудови радіолокаційної системи з мінімальною кількістю метеорологічних радіолокаційної станції

Мінімальна кількість метеорологічних РЛС в системі моніторингу є

тоді, коли вона всього одна. Логічно зрозуміло, що цей крайній випадок для цілей побудови системи моніторингу на Україні неефективний через розмір її території. Але для цілей подальшого використання отриманого результату аналізу розглянемо цей варіант побудови системи моніторингу.

Для побудови радіолокаційного поля для зазначеного варіанта системи скористаємося програмним комплексом ArcGIS в якому є додаток ArcGlobe . Результат моделювання наведено на рис. 4.1.

Для забезпечення покриття радіолокаційним полем території причорноморського регіону України ї потрібно розташувати в районі метеостанції Одеської області. Необхідна дальність виявлення для цієї МРЛС складе, наприклад, для роботи в режимі "відбиття" в S-діапазоні хвиль (10 см) приблизно 670 км. У світі існують метеорологічні РЛС великої потужності. Прикладом може бути доплерівська метеорологічна РЛС DWSR-10001С виробництва фірми ЕЕС (США) [22]. Її передавач має імпульсну потужність 1 МВт. При цій потужності заявлена максимальна дальність дії, у зазначеному вище режимі, становить 480 км. У нашому випадку потрібно 670 км або в 1,4 рази більше. Враховуючи, що при локації метеоцілей дальність пропорційна квадрату потужності, буде потрібна МРЛС з імпульсною потужністю в 1,96 разів більше або з майже 2 МВт випромінюваної потужності. Така метеорологічна РЛС буде аналогом радіолокаційного комплексу далекого виявлення, наведення і цілевказівки бойового комплексу 5Н87. Це складна і дорога станція. При таких потужностях випромінювання передавач будується на основі підсилювача потужності, що призводить до різкого збільшення масогабаритних характеристик. Тому надійність передавального пристрою буде невисокою і станція вийде дорогою в експлуатації. Будь-яка відмова такої МРЛС призводить до зриву отримання інформації в межах всієї країни, що говорить про низьку живучість подібної системи.

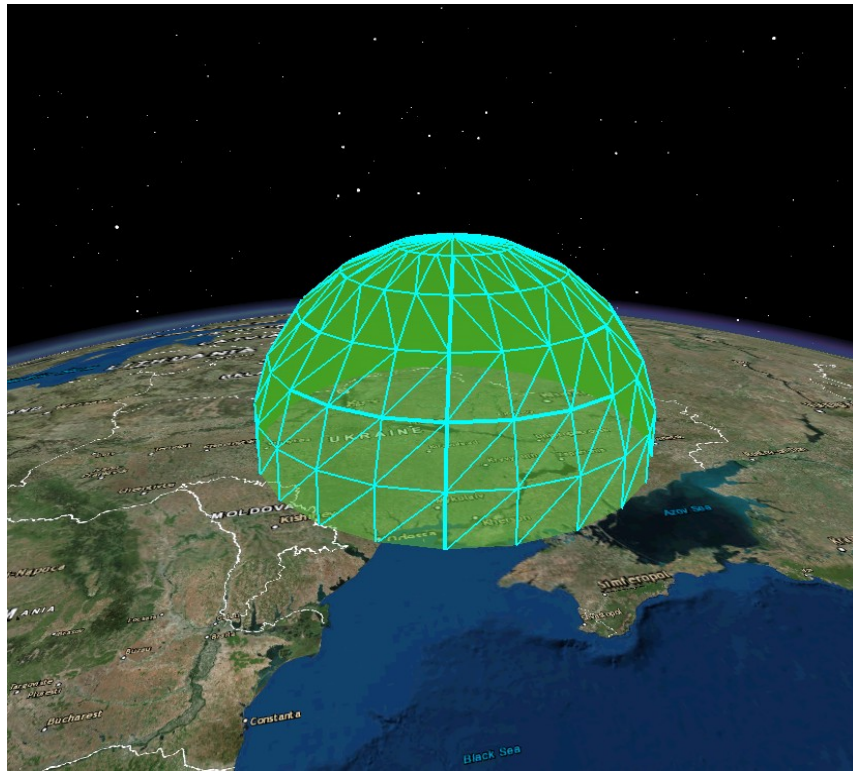


Рисунок 4.13 – Варіант побудови радіолокаційної системи з мінімальною кількістю метеорологічних РЛС

Але при подібному побудові радіолокаційного поля вирішальним негативним чинником, який змушує відкинути цей варіант побудови, є кривизна Землі. Вважаючи, що ці дальності реалізуються при куті місця антеною системи $\varepsilon = 0^\circ$ (тобто на рівні радіогоризонта), можемо скористатися відомим з рівняння (4.1) радіогоризонта:

$$D_{\Gamma} = 4,11 \cdot (\sqrt{H_3} + \sqrt{h_a}), \quad (4.1)$$

де D_{Γ} - горизонтальна дальність в кілометрах;

H_3 - поправка висоти на кривизну Землі в метрах;

h_a - висота електричного центру антени в метрах.

Підставивши в (4.1) зазначені вище значення діяльностей і поклавши $h_a=0$, одержимо значення нижньої межі безпровального радіолокаційного поля (фактично це і є поправка висоти на кривизну Землі (4.2)):

$$H_3 = \frac{D_{\Gamma}^2}{16,9}. \quad (4.2)$$

При проведенні радіолокаційного моніторингу атмосфери необхідна

висота нижньої межі радіолокаційного поля, принаймні, 0,3...1 км. Така висота нижньої межі поля висуває вимоги до необхідної відстані між метеорологічними РЛС в 150 ... 250 км (рис. 4.2). А це, в свою чергу, вимагає дальності дії МРЛС приблизно 70 ... 130 км [23].

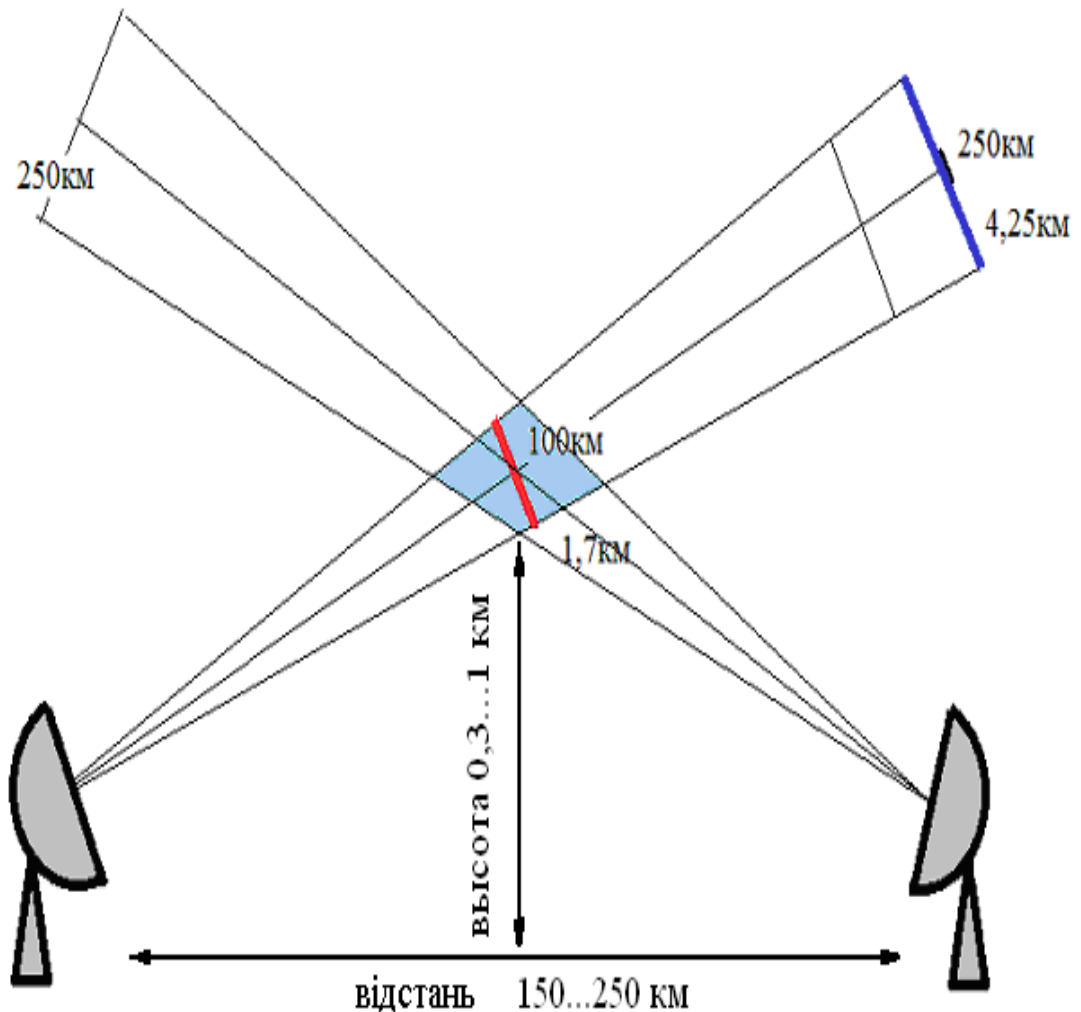


Рисунок 4.14– Ілюстрація погіршення просторової роздільної здатності РЛС із збільшенням дальності і потрібного відстані між МРЛС через кривизни Землі

При нормальній рефракції кривизна траєкторії поширення радіохвиль менше кривизни Землі. Це призводить до того, що при дальності, наприклад, 200 км не будуть спостерігатися метеооб'єкти на висотах менше 2,5 км, на дальності 400 км не будуть бачити об'єкти на висотах нижче 9 км, на дальності 670 км не будуть бачити об'єкти на висотах нижче 26,5 км (рис. 4.3). Крім того, на великих дальностях погіршується роздільна здатність МРЛС по просторових координатах (як було показано на рис. 4.2).

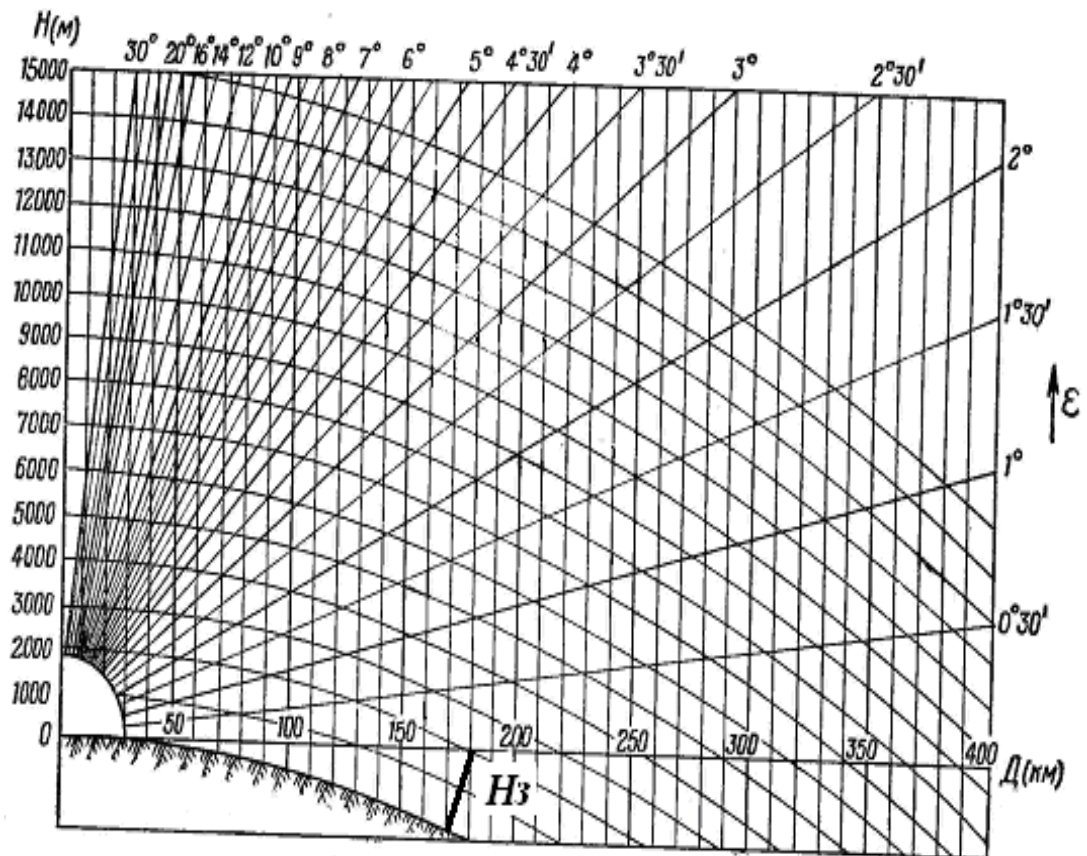


Рисунок 4.15– Мірна сітка для визначення параметрів зони спостереження метеорологічної РЛС при нормальній рефракції атмосфери

Таким чином, подібний варіант побудови радіолокаційного поля для цілей моніторингу забезпечить отримання інформації до максимальної дальності 130 км з площі приблизно 53100 км², що становить 9% від площі території України приблизно в 577 тис. Км². Тому варіант побудови радіолокаційного поля для гідрометеорологічного моніторингу на основі використання однієї потужної метеорологічної РЛС не забезпечує необхідного покриття і з цієї причини сенсу не має[24].

4.2 Варіант побудови радіолокаційної системи з просторовою прив'язкою позицій метеорологічних радіолокаційних станцій до існуючої мережі метеорологічних станцій

Існуюча мережа метеорологічних станцій станом на 2014 рік представлена в табл. 4.1 і на рис. 4.4. Мережа нерівномірна у зв'язку з різним просторово-часовим розмахом і різними характеристиками. Мінімальна відстань між метеостанціями становить кілька кілометрів (гірські райони), максимальна відстань - 210 кілометрів (станції № 90 і 134).

Таблиця 4.1 – Перелік метеорологічних станцій України

Область	Метеорологічні станції
Одеська область	Любашівка, Затишшя, Сербка, Роздільна, Одеса ГМЦ ЧАМ, Черномоск, Білгород Дністровськ МГ, Сарата, Болграл, Ізмаїл ДГМО, Вилкове
Миколаївська область	Первомайськ, Вознесенськ, Баштанка, Миколаїв, Очаків
Херсонська область	Херсон, Великая Александровка, Нижние Сирогози, Каховка, Аскания нова, Бахтери, Геническ, Хорли, Стрелковое

Розстановка метеорологічних РЛС на позиціях існуючої мережі метеорологічних станцій призведе до того, що буде потрібно велика кількість радарів з істотно різними енергетичними характеристиками і системами обробки інформації (рис. 4.4). Це не раціональне рішення, воно призведе до істотного подорожчання радіолокаційної системи. Бажання використовувати однотипну метеорологічну РЛС з дальністю дії 105 км, по максимальному відстані між метеостанціями 210 км, дозволить створити безпробальне радіолокаційне поле по всій території країни

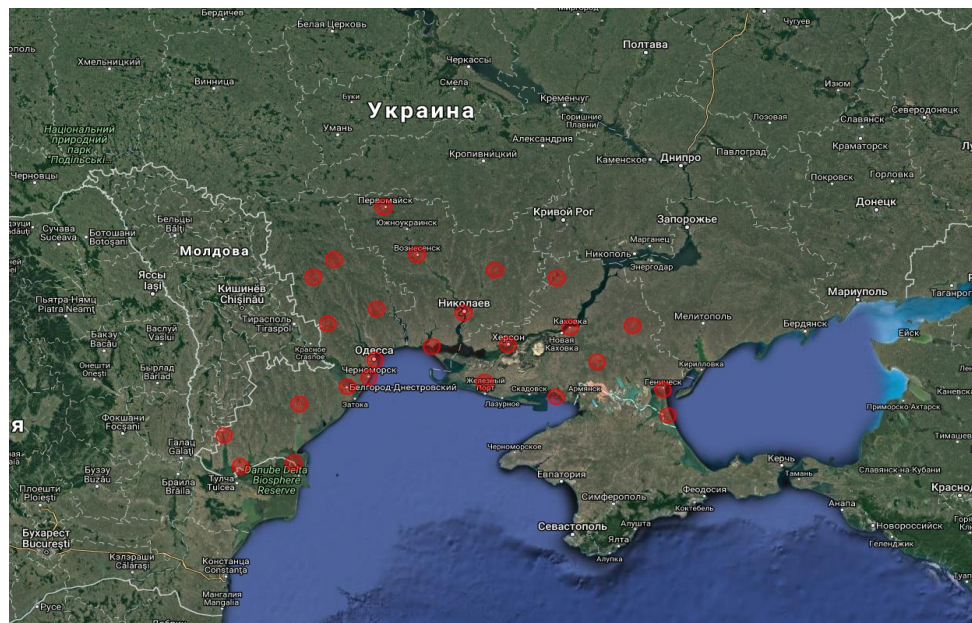


Рисунок 4.16 – Метеорологічна мережа причорноморського регіону України станом на 2014 рік

Однак, енергетична структура радіолокаційного поля буде вкрай нерівномірною (рис.4.5). Місцями буде надлишок енергії, місцями щільність потоку енергії буде в межах необхідної. Подібне положення призводить до низької внутрішньо системної енергетичної ефективності. Енергетична неефективність призводить і до інформаційної неефективності.

Гостро постає питання ототожнення інформації, одержуваної від перехресних джерел, яка буде багаторазово дубльована. Якщо уникати процедури ототожнення і користуватися інформацією одного джерела, нехай і самого надійного і точного, то виникає природне запитання про необхідність генерування і випромінювання в простір величезної кількості надлишкової енергії [19].

Аналіз даного варіанта побудови радіолокаційної системи приводить до висновку про те, що він неефективний практично ні з якої точки зору. Або потрібні радары із суттєво різними характеристиками, що дорого, або при однотипних радарях виникають проблеми енергетичної ефективності та обробки інформації.

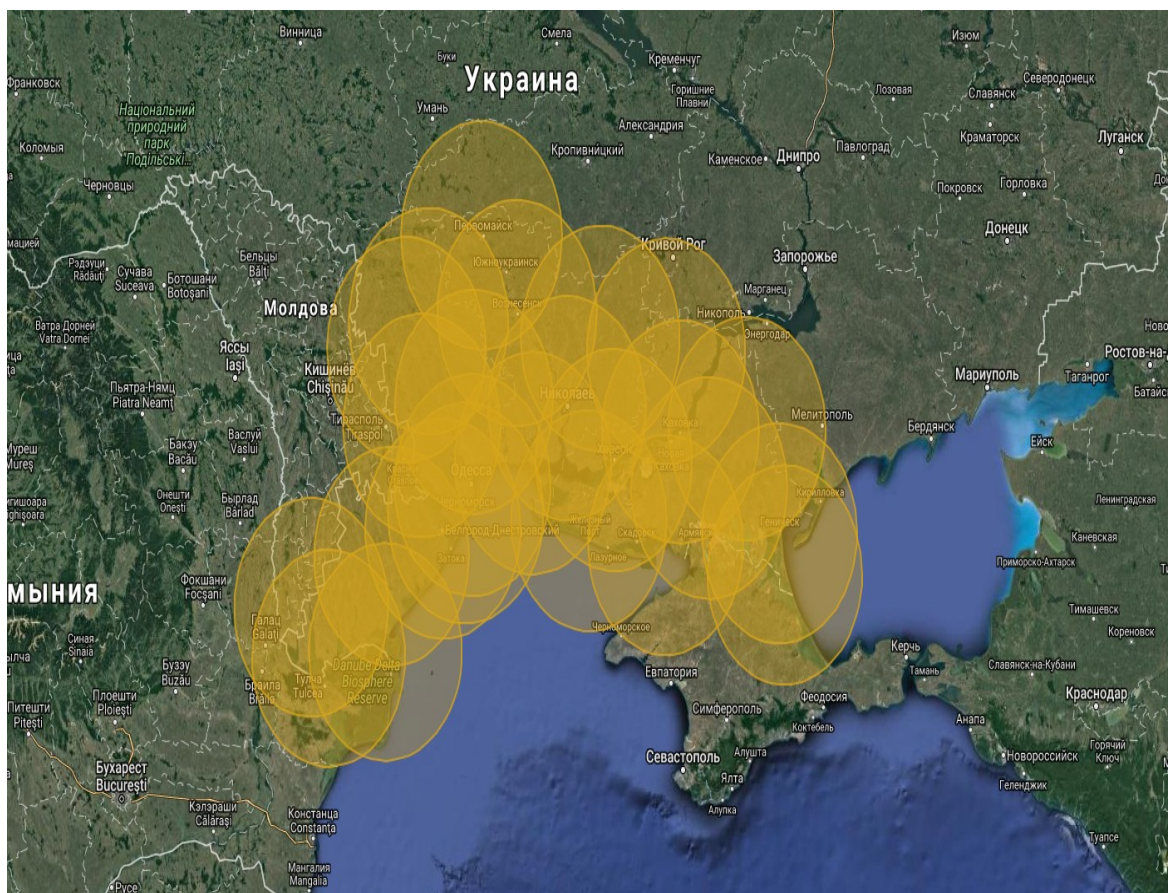


Рисунок 4.17 – Конфігурація нижньої межі радіолокаційного поля при переміщенні РЛС на території існуючих метеостанцій

4.3 Оптимізація зони спостереження метеорологічної радіолокаційної станції

Простір спостережень є тією частиною повітряної зони спостереження (рис 4.6), в якій існують атмосферні об'єкти, явища і процеси, що підлягають радіолокаційному моніторингу. Геометрично простір спостережень можна представити у вигляді циліндричного обсягу, що утворює якого проходить по межах досліджуваної території, а зверху і знизу цей обсяг обмежений плоскими підставами, побудованими на мінімальній і максимальній потрібній висоті (рис. 4.6). Мінімальна потрібна висота для радіолокаційного поля системи гідрометеорологічного моніторингу повинна становити близько 0,5 км, а максимальна - до 20 ... 25 кілометрів [25].



Рисунок 4.18 – Зона спостереження

Побудова суцільного радіолокаційного поля передбачає повне і найбільш точне покриття їм простору спостережень. Здійснюється це покриття за допомогою розподілу зонduючого випромінювання в просторі спостережень і прийомі з нього сигналів, відбитих від метеорологічних об'єктів і явищ. Зонduючого випромінювання в просторі розподіляється за допомогою антенних систем. Цілком зрозуміло, що при великому просторі спостережень розподілити в ньому зонduючого випромінювання однієї антеною не вдасться. Потрібна система антен, тобто безліч радіолокаційних станцій, які будуть здійснювати огляд за допомогою антен. У цьому випадку одна радіолокаційна станція утворює зону огляду або зону спостереження (на рис. 4.7, а - тривимірне зображення зони огляду, на рис. 4.7, б - вертикальна проекція горизонтального перетину зони огляду на певній висоті). А безліч радіолокаційних станцій утворюють радіолокаційне поле (рис. 4.7, а - тривимірне зображення радіолокаційного поля, рис. 4.7, б - вертикальна

проекція горизонтального перетину радіолокаційного поля на певній висоті). Виникає природне запитання: яким чином розташувати метеорологічні радіолокаційні станції для створення радіолокаційного поля?

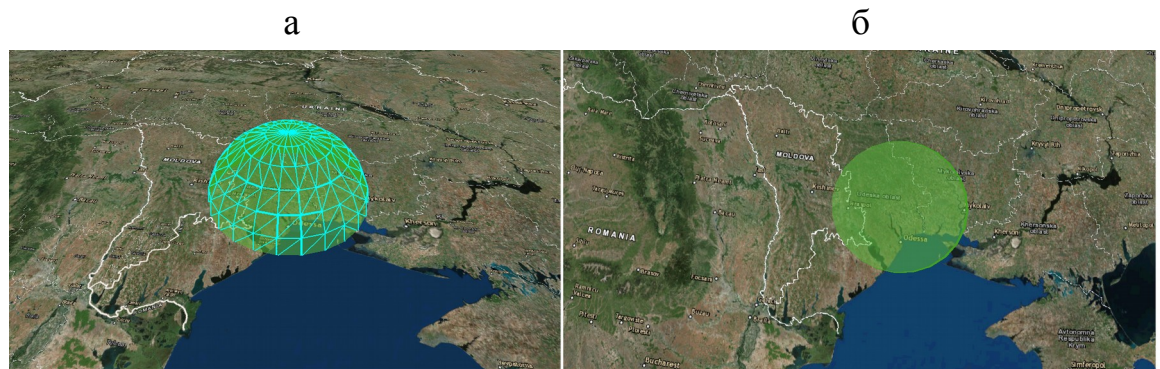


Рисунок 4.19 – Зони огляду: а - тривимірне зображення зони огляду ;
б - вертикальна проекція горизонтального перетину зони огляду на певній висоті

Моделювання показує, що бажання оснастити радіолокатором кожен гідрометеорологічну станцію (рис. 4.8, а) призведе до отримання нічим не виправданої складності і енергетичної надмірності системи моніторингу. Система буде мати дуже нерівномірний розподіл зондуючого випромінювання, а при зборі і ототожненні радіолокаційної інформації виникнуть суттєві труднощі. Це добре ілюструє рис. рис. 4.8, б. Зони спостереження багаторазово перекриваються, дуже нерівномірний розподіл енергії в просторі, що і буде викликати згадані надмірність і складність обробки інформації.

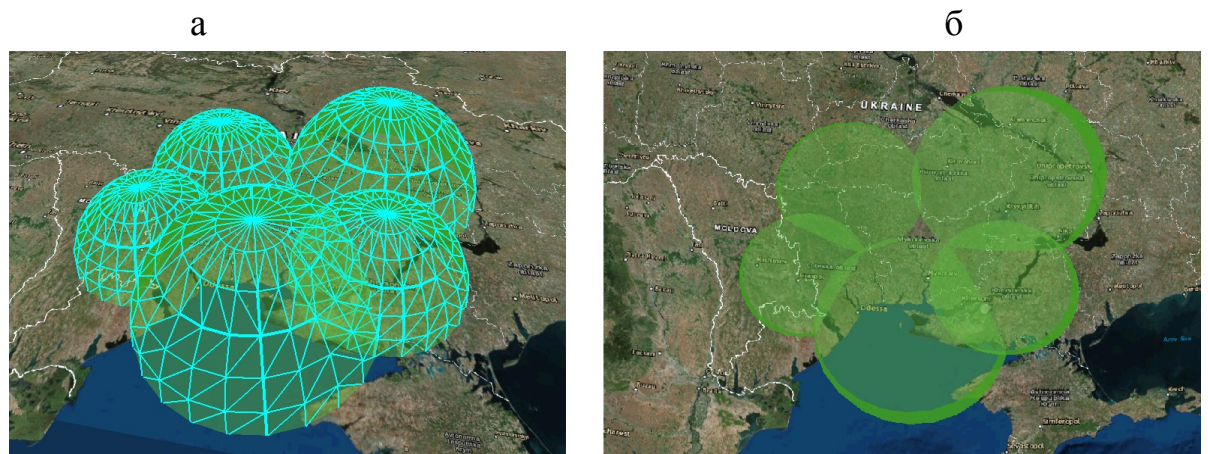


Рисунок 4.20 – Енергетична надмірності системи моніторингу

Наведений вище варіант побудови радіолокаційного поля можна виконати з проріджуванням радіолокаторів, але моделювання показує, що недоліки від цього не зникнуть. При значному проріджуванні і при збереженні позицій радіолокаторів прив'язаними до існуючої мережі гідрометеорологічних станцій збільшиться мінімальна висота радіолокаційного поля. І уникнути цього недоліку в існуючій системі побудови радіолокаційної мережі не вдасться.

Пропонується застосувати для побудови радіолокаційного поля системи гідрометеорологічного моніторингу геометричний підхід. Він полягає в тому, що радіолокатори передбачається розташувати в вершинах пов'язаних найпростіших геометричних фігур - трикутників, квадратів, п'ятикутників, шестикутників і т.д. (рис. 4.10). З геометрії відомо, що мережа з п'ятикутників і семикутників не можна без спотворень викласти на площині. Тому ці варіанти розміщення радіолокаторів розглядати не будемо, але в оцінці параметрів радіолокаційного поля використовуємо.

Реалізація геометричного підходу при моделюванні приводить до наступних результатів (рис. 4.9).. Розташування радіолокаторів в вершинах трикутників забезпечує повне перекриття простору спостережень в горизонтальній площині і, при деякому зближенні радіолокаторів, у вертикальній площині (рис. 4.11). При цьому відсутня суттєва надмірність (сегменти більш темного тону) по перекриттю в горизонтальній площині, властива попередньому описаному випадку, але енергетична надмірність у вертикальній площині буде суттєвою, і тим істотніше, чим більше буде дальність дії радіолокатора, оскільки потрібна висота верхньої межі радіолокаційного поля становить всього 20 ... 25 км.

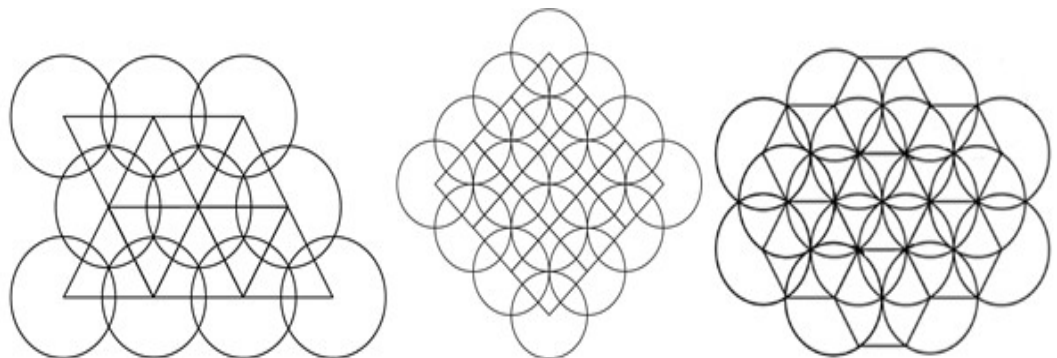


Рисунок 4.21 – Геометричний підхід до розташування радіолокаторів

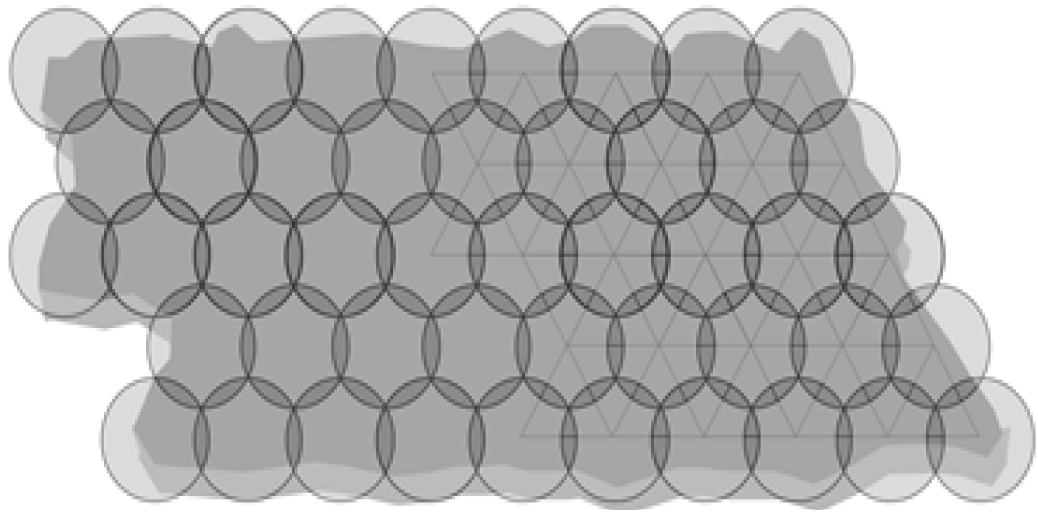


Рисунок 4.22 – Розташування радіолокаторів в вершинах трикутників

Розташування радіолокаторів в вершинах квадратів також забезпечує повне перекриття простору спостережень в горизонтальній площині і, при деякому зближенні радіолокаторів, у вертикальній площині (рис. 4.11). Однак, при такому розташуванні видно явно більше перекриття зон огляду радіолокаторів в порівнянні з розташуванням в вершинах трикутників (темніші сегменти), що погіршує енергетичну економічність цього варіанта побудови радіолокаційного поля.

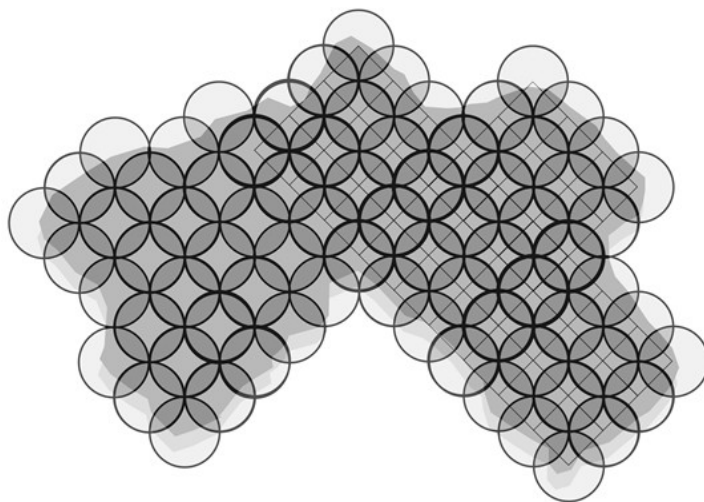


Рисунок 4.23 – Розташування радіолокаторів в вершинах квадратів

Розташування радіолокаторів в вершинах шестикутників також забезпечує повне перекриття простору спостережень в горизонтальній площині і, при деякому зближенні радіолокаторів, у вертикальній площині (рис. 4.12). Але при подібному розташуванні явно видно ще більше, в середині практично повне, перекриття зон огляду радіолокаторів в

порівнянні з попередніми випадками (область сірого тону), що ще більше погіршує енергетичну економічність цього варіанта побудови радіолокаційного поля.

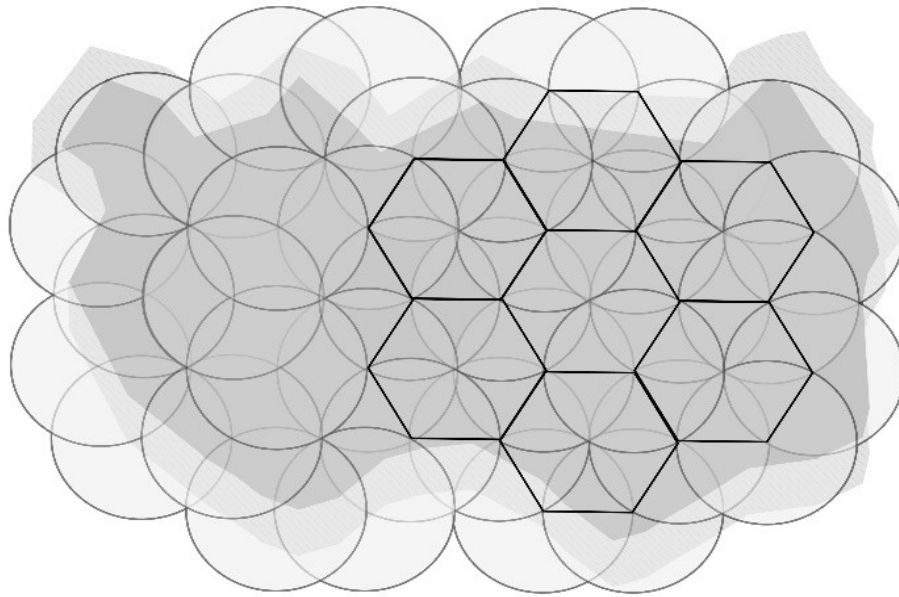


Рисунок 4.24 – Розташування радіолокаторів в вершинах шестикутників

При побудові радіолокаційного поля повинна бути забезпечена його беспровальную починаючи з мінімальної необхідної висоти (0,5 км) до максимальної (20 ... 25 км). Це досягається зменшенням сторін багатокутника до тих пір, поки в центрі фігури не відбудеться торкання зон огляду радіолокаторів, які перебувають в вершинах багатокутника, як це видно на попередніх малюнках. Тоді при дальності дії радіолокатора R сторона рівностороннього трикутника має дорівнювати $2R\cos 30^\circ$ або $1,732 R$. Для інших багатокутників дані наведені в табл. 4.2.

В результаті аналізу отриманих даних можна прийти до висновку про те, що недоцільно обирати для побудови радіолокаційного поля багатокутник з числом вершин (порядок багатокутника) більше шести, оскільки, в іншому випадку, починають взаємно накладатися зони огляду не тільки суміжних радіолокаторів, а й далеко віддалених один від одного. А це - явна енергетична надмірність і ускладнення обробки через необхідність ототожнення даних. Таким чином, при побудові радіолокаційного поля доцільними залишаються три варіанти розміщення радіолокаторів: в вершинах трикутників, квадратів і шестикутників; п'ятикутники відпадають

по зазначеній раніше причини.

Таблиця 4.2 – Дальності дії радіолокаторів

Дальність дії радіолокатора	Відстань між радіолокаторами ($D=2R\cos X^\circ$) для формування беспровальної радіолокаційного поля при розташуванні радіолокаторів в вершинах						
	на кінцях відрізка прямої лінії	рівностороннього трикутника	квадрата	правильного п'ятикутника	правильного шестикутника	правильного семикутника	правильного восьмикутника
	$X^\circ=0^\circ$	$X^\circ=30^\circ$	$X^\circ=45^\circ$	$X^\circ=54^\circ$	$X^\circ=60^\circ$	$X^\circ=64,3^\circ$	$X^\circ=67,5^\circ$
R	$D=2\cdot R$	$D=1,732\cdot R$	$D=1,414\cdot R$	$D=1,176\cdot R$	$D=1\cdot R$	$D=0,87\cdot R$	$D=0,76\cdot R$

Для побудови радіолокаційного поля за наведеними вище варіантів якісної оцінки недостатньо, потрібна кількісна оцінка якості поля. Тому для кількісної оцінки енергетичних характеристик поля становить інтерес з'ясування коефіцієнта перекриття радіолокаційного поля та його енергетичної економічності в залежності від варіанту розміщення радіолокаторів. Коефіцієнтом перекриття K_p цілком логічно назвати відношення сумарного обсягу зон спостереження, що обслуговується більш ніж однією радіолокаційною станцією, до загального обсягу зон спостереження, тобто

$$K_p = \frac{\sum_1^n V_{\text{совм}}}{\sum_1^n V_{\text{ЗН}}} \quad (4.3)$$

Де $V_{\text{совм}}$ - обсяг області простору, що обслуговується двома сусідніми радіолокаторами;

$V_{\text{ЗН}}$ - обсяг зони спостереження одного радіолокатора, n - порядок багатокутника.

При такому трактуванні при повному поєднанні позицій радіолокаторів $K_p = 1$, а якщо зони спостереження не перетинаються, то $n = 0$, що є цілком природним.

Перевірка практичного застосування цього коефіцієнта виявила

непотрібну складність його розрахунку. Набагато зручніше проводити розрахунки, якщо використовувати показник перекриття вертикальних проекцій горизонтальних перетинів зон спостереження радіолокаторів на мінімальній беспровальною висоті. В цьому випадку в обсяги замінюються на відповідні площі вертикальних проекцій цих обсягів на горизонтальну площину, але сенс поняття перекриття від цього не змінюється. Логічно назвати такий показник коефіцієнтом перекриття в горизонтальній площині $K_{\text{пг}}$, тобто

$$K_{\text{пг}} = \frac{\sum_1^n S_{\text{совм}}}{\sum_1^n S_{\text{ЗН}}} \quad (4.4)$$

$S_{\text{совм}}$ - площа проекції області простору, що обслуговується двома сусідніми радіолокаторами;

$S_{\text{ЗН}}$ - площа проекції зони спостереження одного радіолокатора, n - порядок багатокутника [26].

Для розрахунку $K_{\text{пг}}$ були застосовані відомі з геометрії формули для розрахунку площі круга $S_{\text{кр}} = \pi R^2$ і площі сегмента $S_{\text{сегм}} = \frac{R^2}{2} \left(\pi \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} - \sin \alpha^\circ \right)$ [12]. Тут R - дальність дії радіолокатора, α - центральний кут, який спирається на сегмент, що утворюється при перетині двох зон огляду радіолокаторів. Розрахунки для α дали результати, представлені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розташування радіолокаторів

Розташування радіолокаторів в вершинах			
Рівностороннього трикутника	квадрата	правильного п'ятикутника	правильного шестикутника
$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 108^\circ$	$\alpha = 120^\circ$

Подальші розрахунки дозволили графічно представити залежність $K_{\text{пг}}$ від порядку багатокутника.

Хід коефіцієнта перекриття відображає той факт, що збільшення порядку багатокутника, в вершинах яких встановлюються радіолокатори, веде до збільшення частки радіолокаційного поля, що обслуговується двома, а то й трьома радіолокаторами, тим самим збільшуючи непродуктивні

витрати зонduючого випромінювання. Це обов'язково треба враховувати при побудові радіолокаційного поля.

Як було зазначено вище, становить інтерес з'ясування питання економності розподілу енергії зонduючого випромінювання всередині радіолокаційного поля при взаємному накладенні зон спостереження радіолокаторів. Можна ступінь економності характеризувати коефіцієнтом економності K_e . Цей коефіцієнт повинен дорівнювати одиниці при відсутності взаємного накладення зон спостереження і нулю при повному накладенні. Оскільки економність пов'язана з взаємним перекриттям зон спостереження, то природним рішенням є введення коефіцієнта $K_e = 1 - K_{\text{пр}}$. Хід цього коефіцієнта в залежності від порядку багатокутника наведено на рис. 4.13.

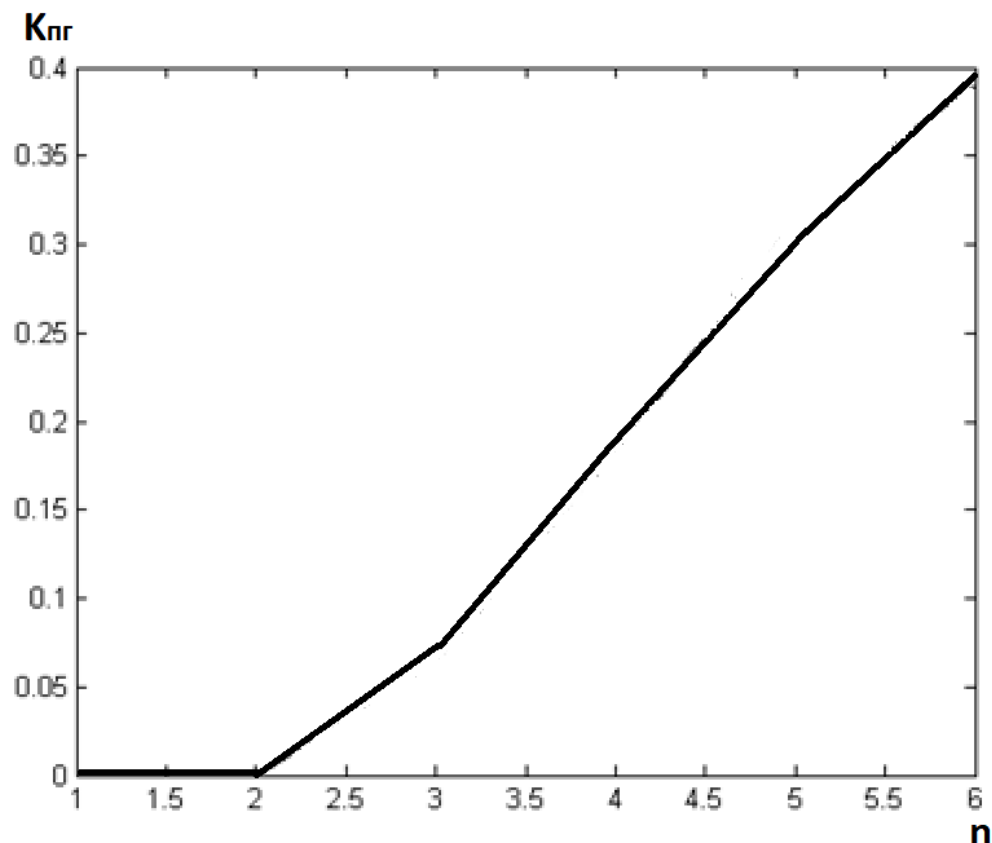


Рисунок 4.25 – Графік представлення залежності

Аналіз графіка на рис. 4.14 показує, що окремо стоять радіолокатори використовуватимуть енергію зонduючого випромінювання в найбільшій мірою економно (без урахування вертикального розподілу енергії). А при розташуванні їх в вершинах шестикутників тільки 60% радіолокаційного поля буде обслуговуватися економно, в іншій його частині об'єкти, явища і процеси будуть спостерігатися двома радіолокаторами і більш.

Гостро постає питання ототожнення інформації, одержуваної від

перехресних джерел, яка буде багаторазово дубльована. Якщо уникати процедури ототожнення і користуватися інформацією одного джерела, нехай і самого надійного і точного, то виникає природне запитання про необхідність генерування і випромінювання в простір величезної кількості надлишкової енергії.

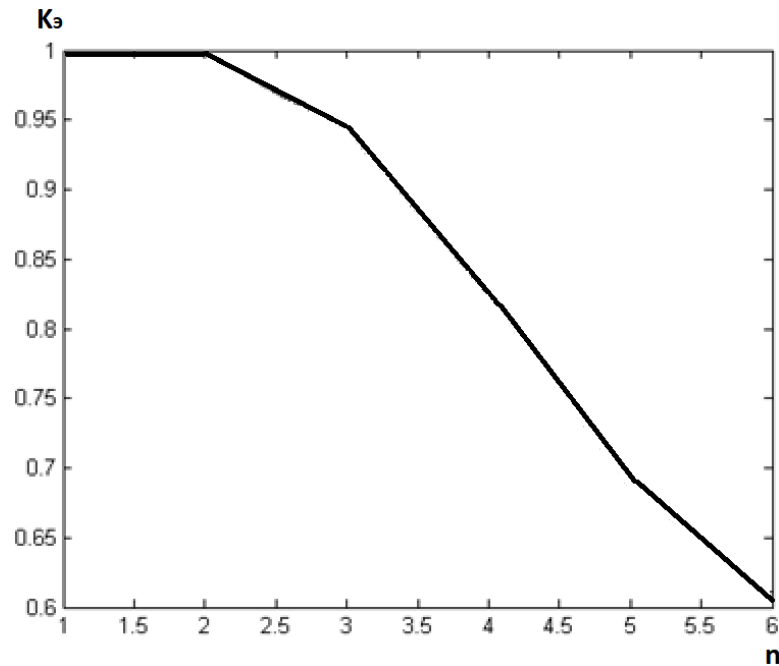


Рисунок 4.26 – Графік представлення залежності

Аналіз даного варіанта побудови радіолокаційної системи приводить до висновку про те, що він неефективний практично ні з якої точки зору. Або потрібні радари із суттєво різними характеристиками, що дорого, або при однотипних радарх виникають проблеми енергетичної ефективності та обробки інформації.

5 ПОБУДОВА РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРИ ПРИЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНУ

Побудова радіолокаційної системи буде в таких областях як Одеса, Ніколаєв, Херсон. Топографія розташування радіолокаторів і структура радіолокаційного поля наведена на рис. 5.1

Для побудови радіолокаційної системи моніторингу була обрана дальність 100 км. Побудови будуть здійснюватися при розташуванні МРЛС з мінімальною і максимальною кількістю метеорологічних РЛС.

При подібній побудові радіолокаційного поля потрібно врахувати наступні чинники. Потужні метеорологічні радіолокаційні станції при частому і тривалому включенні мають більш низьку надійність, в порівнянні з менш потужними РЛС. Збільшення випромінюваної потужності збільшує небезпеку для персоналу та мешканців регіону, в якому розташована станція.

Тому має сенс залишати структуру радіолокаційного поля побудовану на основі застосування однотипних РЛС, і у вказаних регіонах радару укомплектовувати потужним каналом S-діапазону (10 см), який буде включатися у разі виникнення НЯП на порівняно нетривалий час.

5.1 Побудова радіолокаційної системи з мінімальною кількістю метеорологічних радіолокаційних станцій

Здійснимо моделювання декількох варіантів побудови радіолокаційної системи моніторингу. Кожну з модельованих систем будемо будувати з однотипних МРЛС з дальністю дії 100 км. Всі побудови будуть здійснюватися при розташуванні МРЛС з різними дальностями дії в вершинах зв'язаних трикутників на поверхні Землі, бо необхідність збільшення висоти підйому антени МРЛС позначається не тільки в бік поліпшення параметрів радіолокаційного поля, але й на зменшенні його

нижньої межі.

Мінімальна кількість метеорологічних РЛС в системі моніторингу є крайній випадок для цілей побудови системи моніторингу на Україні неефективний через розмір її території. Але для цілей подальшого використання отриманого результату аналізу розглянемо цей варіант побудови системи моніторингу.

Планування радіолокаційного поля при представлена в табл. 5.1

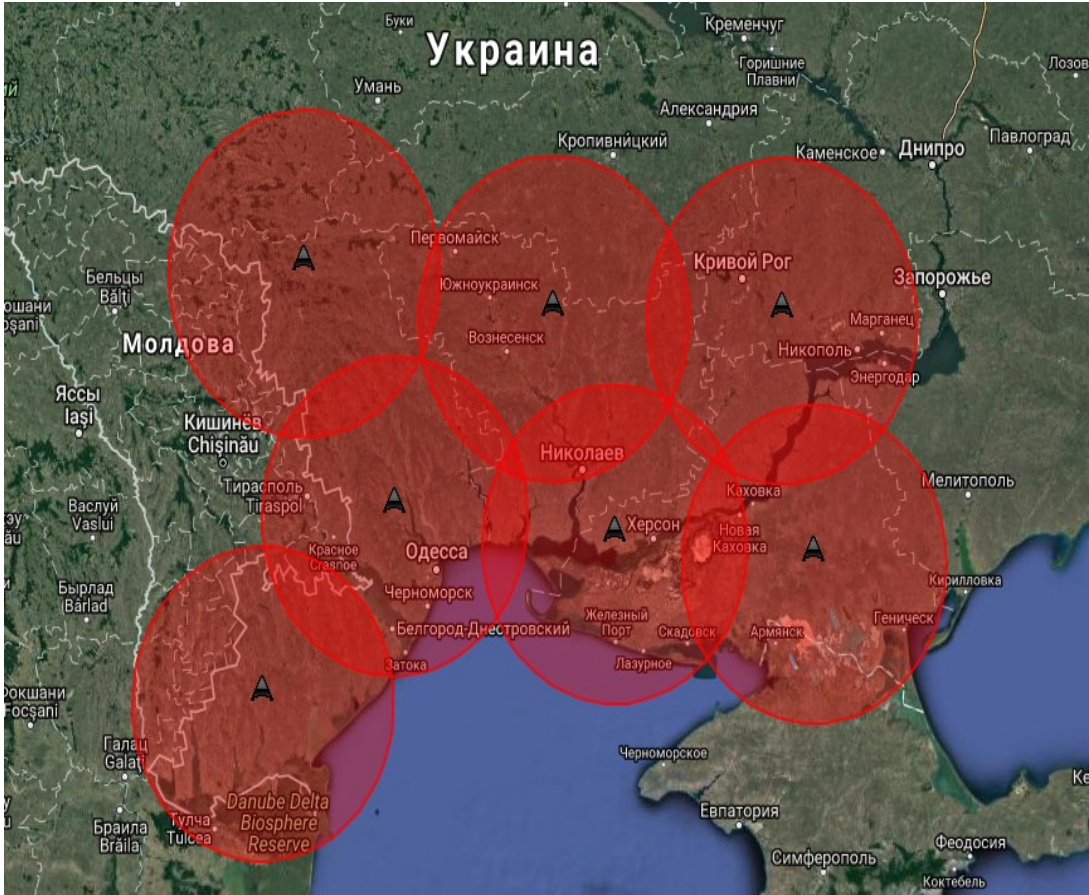


Рисунок 5.1 – Планування радіолокаційного поля при розстановці з мінімальною кількістю радарів

Таблица 5.1 – Координати радарів півдня України при розстановці з мінімальною кількістю радарів

№	Широта	Довгота
Радар 1	45.80	29.21
Радар 2	46.50	34.02
Радар 3	46.74	30.36

Радар 4	46.60	32.28
Радар 5	47.70	33.74
Радар 6	47.71	31.75
Радар 7	47.93	29.57

Здійснимо моделювання декількох варіантів побудови радіолокаційної системи моніторингу в ArcGlobe рис. 5.2

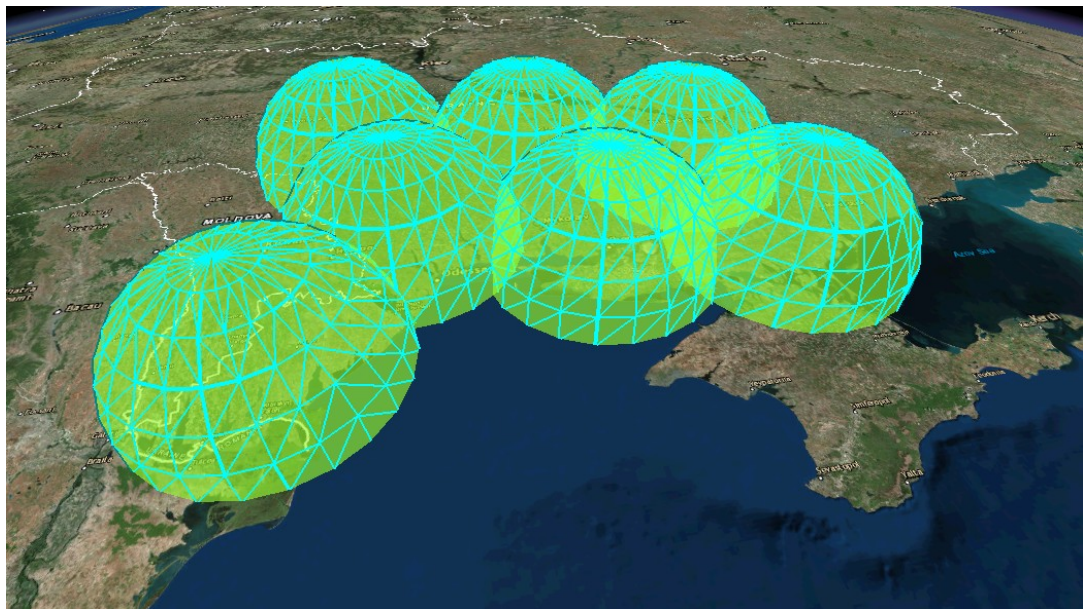


Рисунок 5.2 – Побудова радіолокаційного поля у при розстановці з мінімальною кількістю радарів в ArcGlobe

5.2 Побудова радіолокаційної системи з багаторазовим перекриттям зон спостереження метеорологічних радіолокаційних станцій

Подібний варіант побудови радіолокаційного поля дає дуже високу його стійкість.

Однак, для побудови радіолокаційної системи моніторингу довкілля такий варіант небажаний в силу декількох головних причин (рис. 5.3). Перша - вкрай низька енергетична економічність. Друга - серйозні труднощі, пов'язані з обробкою одержуваної в рамках подібного радіолокаційного поля інформацією, особливо при її ототожненні. Третя - наявність потужних РЛС призведе до екологічних проблем, пов'язаних з опроміненням людей.

Тому при бажанні будувати багатоярусне радіолокаційне поле найбільш доцільно створювати два яруси. Під двоярусним радіолокаційним полем розуміється така його структура, коли верхній ярус зони спостереження створюється потужними далеко розташованими один від одного радіолокаційними станціями з утвореним при цьому за рахунок кривизни Землі провалом в нижньому ярусі зони спостереження (рис. 5.4).



Рисунок 5.3 – Планування радіолокаційного поля при розстановці з багаторазовим перекриття зон в ArcGis

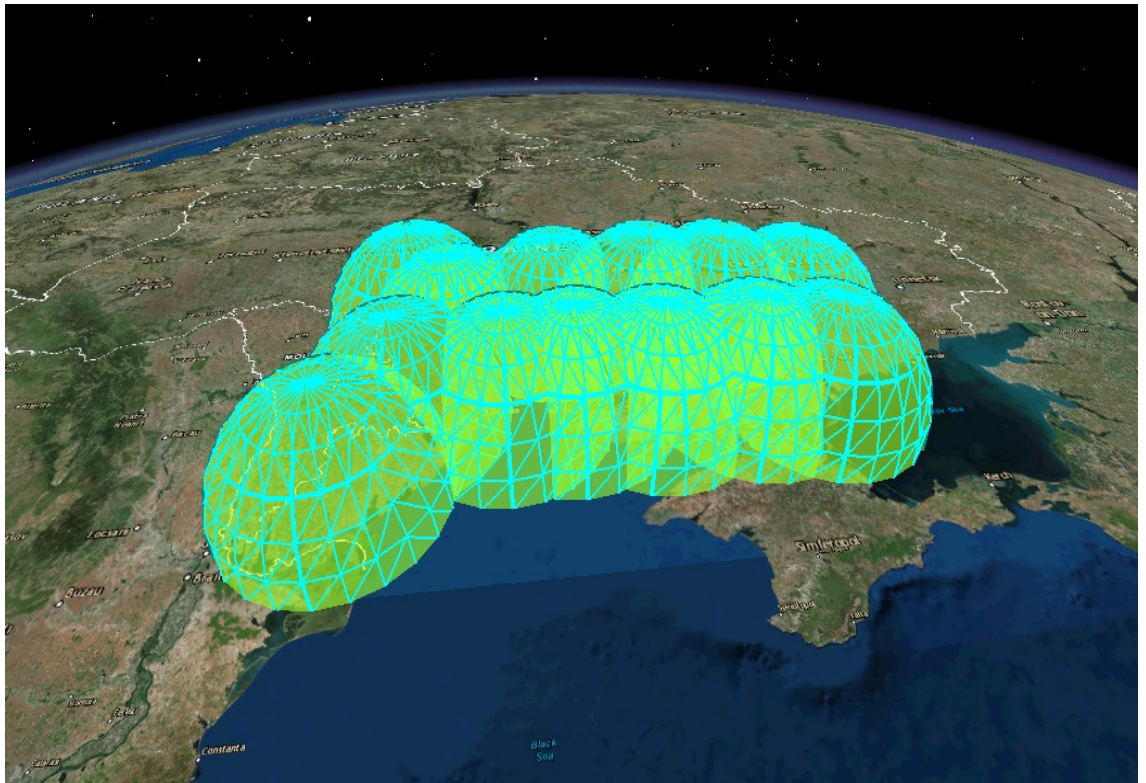


Рисунок 5.4 – Побудова радіолокаційного поля з багаторазовим перекриттям зон в ArcGlobe

Планування радіолокаційного поля при представлена в табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Координати радарів півдня України

№	Широта	Довгота
Радар 1	45.35	28.84
Радар 2	45.90	29.67
Радар 3	46.47	30.24
Радар 4	46.50	31.40
Радар 5	46.30	32.50
Радар 6	46.25	33.65
Радар 7	46.90	34.37
Радар 8	47.15	33.50
Радар 9	47.60	32.27
Радар 10	47.60	31.10
Радар 11	47.90	29.87
Радар 12	47.20	30.00

Модулювання радіолокаційної системи буде в таких областях як Одеса, Ніколаєв, Херсон. Топографія розташування радіолокаторів і

структура радіолокаційного поля наведена на рис. 5.1

Для моделювання радіолокаційної системи моніторингу була обрана дальність 100 км. Побудови будуть здійснюватися при розташуванні МРЛС з мінімальною і максимальною кількістю метеорологічних РЛС.

ВИСНОВКИ

Під час виконання роботи була вирішена задача моделювання зони спостереження метеорологічних радіолокаційних стацій та радіолокаційного поля в цілому для спостереження за атмосферними об'єктами, явищами та процесами над територією Одеської, Миколаївської та Херсонської областей. Під час роботи було проведено оптимізацію радіолокаційного поля та системи в цілому щодо кількості радіолокаторів, які створюють радіолокаційне поле і розглянуті крайні випадки з мінімальною і максимальною кількістю радіолокаторів.

Аналіз результатів моделювання показав, що найоптимальнішим, з точки зору суцільності радіолокаційного поля, енергії випромінювання і його стійкості, буде система радіолокаторів з дальністю дії 100 км із накладанням зон спостереження одна на одну до повної дальності дії радіолокатора. Це дозволить сформувати якомога якісніше покриття радіолокаційним полем (без “провалів” та “мертвих” зон) при мінімальних затратах. Окрім того, такий підхід до формування радіолокаційного поля дозволить його зробити

безпечнішим для людей за рахунок зниження потужності зондувального випромінювання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Створення професійних карт, виконання простого та розширеного простору аналізу “ArcGis ”. URL: <https://www.arcgis.com>.
2. Універсальний географічний клієнт, призначений забезпечити професіоналів в області ГІС та картографії економічним “ GeoMedia ”. URL <http://plmpedia.ru>.
3. Універсальна географічна інформаційна система, призначила для збору, зберігання, відображення, редагування й аналізу просторова Даних. “MapINFO”. URL: <http://www.mapinfo.ru>.
4. Кисельов В.М., Кузнецов А.Д. Методи ґрунта конусу навколишнього середовища (атмосфери). Підручник. - СПб., Изд. РГГМУ, 2004. - 429 с.
5. Основи побудови радіолокаційних станцій радіотехніче- ських військ: підручник / В.М. Тяпкин, А.Н. Фомін, Е.Н. Гарін [и др.]; під заг. ред. В.Н. Тяпкіна. - Красноярськ: Сиб. федер. ун-т. - 2011. - 536 с. ISBN 978-5-7638-2480-3
6. Yoshino F., Ichimya K., Kanbayashi Y., Yamaguchi T., Shirakawa N. Overview of radar networking by MOC. Japan and its data dissemination system (FRICS). - COST 73, 1989, p. 123 - 132.
7. Serafin R.J., Wilson J.W. Operational weather radar in the U.S .: Progress and Opportunity. - COST 75, 1998, p. 35 - 61.
8. Curtis J., Brodzik S., Edmon H., House R., Yuter S. Mountain Zebra: real-time archival and 4D visualization of radar volumes over complex terrain. - COST 75, 1998, p. 297 - 306.
9. Абшаев М.Т., Вовшін Б.М. Вилегжаніна І.С. та ін. Доплеровский метеорологічний радіолокатор з поляризационной селекцією сигналу для дослідження хмар і опадів. Збірник доповідей 23-й Всеросійській науковій конференції "Поширення радіохвиль", Йошкар-Ола, 2011, Т. - с.107 - 110.
10. Svabik O. Documentation of severe weather: thunderstorm and hail frequency in Europe. - COST 75, 1999, p. 357 - 363.
11. Goddard D.M., Conway B.J. Near-real-time precipitation analysis over Europe. - COST 73, 1989, p. 331 - 340.
12. Кольер К.Г. Створення мережі метеорологічних радіолокаторів в Європі - проект COST-73 Комісії європейського співтовариства. - Бюлетень ВМО, 1991, т. 40, № 4, с. 445 - 451.

13. Meischner P. The potential of advanced weather radars in Europe. - COST 75, 1999. p. 24 - 34.
14. Керівництво з виробництва застосування інформації з неавтоматизованих радіолокаторів МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5 РД52.04.320.91. - Л.: Гидрометеоиздат, 1993. - 360 с.
15. Керівництво з виробництва спостережень і застосування інформації з неавтоматизованих радіолокаторів МРЛ-1 і МРЛ-2. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974. - 344 с.
16. Міщенко Ю.А. Зони виявлення. - М.: Воениздат, 1963. - 96 с.
17. Жуков В.Ю., Колосков Б.П., Корнєєв В.П., Щукін Г.Г. Результати дослідної експлуатації малогабаритного метеорологічного радіолокатора «Контур МЕТЕО-01» // Збірник праць 2-й Всеросійській конференції «Проблеми військово-прикладної геофізики і контролю навколишнього середовища». - СПб.: 2012 Т. 1, с. 387 - 394.
18. Clift G.A. Use of radar in meteorology. - WMO technical note, 1985, No. 625, 90 p.
19. Collier C.G. United Kingdom weather radar status report. Measurement of precipitation by radar. - COST Project 72 - Proceedings of a final seminar, 1985.
20. Edwards M.R.A., Lissaman V.A. Weather radar performance optimization carried out by the UK Met Office. - COST 75, 1999, p. 165 - 178.
21. Brownscombe J.L., Hems B.D. Comparison of radar precipitation measurements with a dense network - COST 73, 1989, p. 433 - 442.
22. Anderson T., Lindstrom B., Ullerstig A. Operative experience of a development plans for SMHIs Doppler weather radar. - COST 72, 1985, p. 199 - 221.
23. Berglund T., Aberg P. Flight weather forecasts based on modern radar presentation. - COST 72, 1985, p. 107 - 109.
24. Gustafsson S.G., Ekengreen B. Weather radar networking. - COST 72, 1985, p. 124 - 131.
25. Перелегін Б.В. Розробка Структури радіолокаційної системи и ЗАСОБІВ одержаний та обробка метеорологічної інформації ". Етап 3: Дослідження енергетики та геометрії радіолокаційного поля інформаційної системи моніторингу навколишнього середовища, (проміжній) - Одеса: ОДЕК, 2017. 69 с
26. Перелегін Б.В. Забезпечення стійкості радіолокаційного поля при побудові системи гідрометеорологічного моніторингу Радіотехніка: Всеукр. Міжвід. наук.-техн. зб. 2018.



Рисунок А1 – Радіолокаційна станція



Рисунок А2 – Логотип програмного забезпечення ArcGis



Рисунок А2 – Логотип програмного забезпечення ArcGis



Рисунок А3 – Логотип програмного забезпечення MapInfo

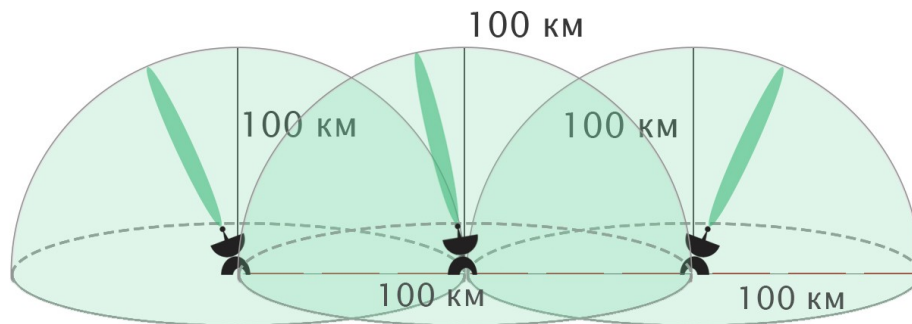


Рисунок А4 – Радіолокаційні поля при розстановці з багаторазовим перекриттям зон

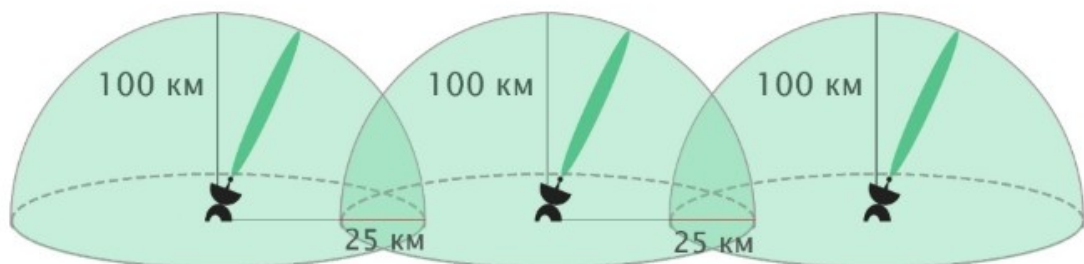


Рисунок А5 – Радіолокаційне поле при розстановці з мінімальною кількістю

радарів