


УДК 551.508.85:551.553.8
№ держ. реєстр. 049U003662
Інв. №

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ОДЕКУ)**

65016 м. Одеса, вул. Львівська, 15, тел. 35-73-71
avto@odeku.edu.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Проректор з наукової роботи ОДЕКУ
д. геогр. н., проф. Тучковенко Ю.С.
31.12.2020

ЗВІТ

**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
Удосконалення способів і засобів одержання даних про атмосферу
радіофізичними методами та аналізу даних**

**Розділ 1: АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ
МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ДАНИХ ПРО АТМОСФЕРУ
(проміжний)**

Науковий керівник, к.т.н.

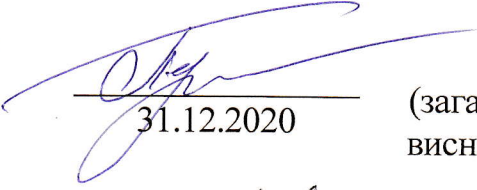

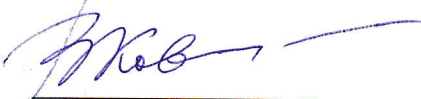
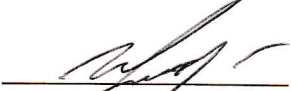
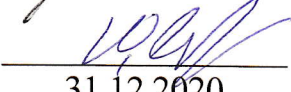
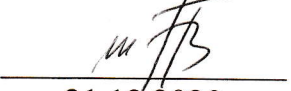
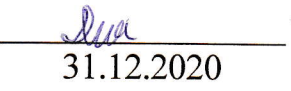
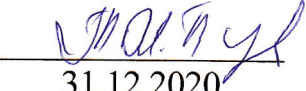
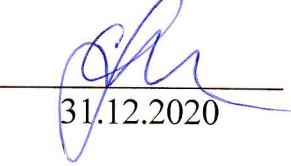


Б.В. Перелигін

Рукопис закінчено «31» грудня 2020 р.

Результати цієї роботи розглянуті Науково-технічною радою ОДЕКУ
Протокол № від « » грудня 2020р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, к.т.н., доцент	 31.12.2020	Б.В. Перелигін (загальне керівництво, вступ, висновок, розділи 1, 2, 3, 4, 5)
Відповідальний виконавець, к.т.н., доцент	 31.12.2020	С.А. Гор'єв (збір та підготовка матеріалів, розділ 5)
Д.ф.-м.н., професор	 31.12.2020	В.В. Ковальчук (розділ 2)
Д.т.н., доцент	 31.12.2020	С.С. Великодний (розділ 4)
К.т.н., доцент	 31.12.2020	Ю.В. Лавріненко (розділ 1)
Аспірант	 31.12.2020	Ж.В. Бурлаченко (підрозділи 4.1, 4.4)
Аспірант	 31.12.2020	Д.О. Петухін (підрозділ 4.3)
Зав.лаб. АСМ	 31.12.2020	Т.М. Пустовіт (оформлення заключного звіту)
Нормоконтролер	 31.12.2020	О.Б. Сененкова

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 121 с., 28 рисунків, 16 таблиць, 102 джерела.

РАДІОЗОНД, ГЕТЕРОСТРУКТУРИ З НАНОКЛАСТЕРНОЮ ПІДСИСТЕМОЮ, РАДІОЛОКАЦІЙНЕ ПОЛЕ, ГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, СПЕКТРАЛЬНИЙ ТА СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ РЯДІВ.

Метою даного промжінного звіту є аналіз стану радіозондування атмосфери і характеристик існуючих радіозондів для їх подальшого удосконалення, аналіз гетероструктур з нанокластерною підсистемою для подальшого створення на їх базі датчиків нового покоління, аналіз радіолокаційних полів створюваних існуючими радіолокаційними мережами для їх подальшого удосконалення, обґрунтування вибору системи графічного моделювання рельєфу місцевості для аналізу радіолокаційних полів, спектральний та спектрально-часовий аналіз рядів для подальшого використання цих процедур при обробці моніторингової інформації.

Умови одержання звіту: за договором, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15, ОДЕКУ.

ЗМІСТ

ВСТУП		6
1	АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЗОНДІВ.....	7
1.1	Загальний стан.....	7
1.2	Характеристика радіозондів, які використовуються в аерологічній мережі України.....	13
1.3	Аналіз характеристик закордонних радіозондів.....	15
2	АНАЛІЗ ГЕТЕРОСТРУКТУР З НАНОКЛАСТЕРНОЮ ПІДСИСТЕМОЮ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ДАТЧИКІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ. ФРАКТАЛЬНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОПИСУ НАНОКЛАСТЕРНОЇ ПІДСИСТЕМИ.....	27
3	АНАЛІЗ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПОЛІВ СТВОРЮВАНИХ ІСНУЮЧИМИ РАДІОЛОКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ.....	39
3.1	Аналіз побудови мереж метеорологічних радіолокаційних станцій.....	39
3.2	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Великобританії та Ірландії.....	43
3.3	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі NORDRAD Скандинавських країн.....	47
3.4	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Іспанії.....	52
3.5	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Західної Європи.....	56
3.6	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Японії.....	58
3.7	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі США.....	61
3.8	Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Російської Федерації.....	65

4	ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ ДЛЯ АНАЛІЗУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПОЛІВ.....	71
4.1	Використання CAD/CAM/CAE-систем в задачах графічного моделювання.....	72
4.2	Аналіз методологій управління проектами зі створення відкритих, вільних та комерційних програмних систем.....	74
4.3	Аналіз розвитку систем управління базами проектних даних, методи подання та класифікація графічних баз даних.....	83
4.4	Система графічного моделювання BRL-CAD.....	90
5	СПЕКТРАЛЬНИЙ ТА СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ДОВГИХ КЛІМАТИЧНИХ РЯДІВ.....	94
5.1	Корелограмний метод оцінювання спектральної щільності потужності.....	94
5.2	Використання віконних функцій.....	95
5.3	Періодограмний метод оцінювання спектральної щільності потужності.....	96
5.4	Спектральний аналіз сигналів у системі Matlab.....	99
5.5	Спектральний аналіз часових рядів.....	103
	ВИСНОВКИ	109
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	113

ВСТУП

У найзагальнішому вигляді моніторинг можна визначити як організовану з контрольно-діагностичними цілями просторово-часову систему спостережень за змінами природних і природно-технічних систем, об'єктів і окремих складових їх частин у взаємодії з навколишнім середовищем [1, 2].

Для удосконалення способів і засобів одержання даних моніторингу атмосфери радіофізичними методами на першому етапі потрібно провести аналіз існуючих методів та засобів для одержання даних про атмосферу.

Потрібен аналіз стану радіозондування атмосфери і характеристик існуючих радіозондів для розробки шляхів їх подальшого удосконалення.

Виміри параметрів повітря проводяться за допомогою датчиків, які в поточному часі мають не оптимальні характеристики. Тому актуальним залишається пошук нових можливостей для створення датчиків нового покоління на базі гетероструктур з нанокластерною підсистемою.

Для оптимізації систем одержання даних про атмосферу радіолокаційними методами потрібен аналіз радіолокаційних полів створюваних існуючими радіолокаційними мережами і розробка шляхів цієї оптимізації.

Побудова радіолокаційних систем є складною і багатокоштовною задачею. Тому для здешевлення розробки заходів удосконалення потрібно здійснити моделювання цих заходів, а для цього виникає потреба вибору системи графічного моделювання рельєфу місцевості для аналізу радіолокаційних полів.

Оскільки дані моніторингу потребують визначеного впорядкування, то необхідно розробляти і удосконалювати методи аналізу цих даних.

Наведені вище задачі вирішувались при проведенні досліджень, а їх результати відбиті в даному проміжному звіті.

1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ІСНУЮЧИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЗОНДІВ

1.1 Загальний стан

Для розрахунків прогнозів погоди як синоптичними, так і гідродинамічними методами використовуються дані про поточний стан атмосфери і різні прогностичні моделі. Поточний стан атмосфери визначається на основі різних видів спостережень, у тому числі наземних, повітряних, морських і супутникових. При цьому, як раніше так і тепер, основну роль відіграє радіозондування атмосфери.

Радіозондування оперативно представляє найбільш точні результати безпосередніх контактних вимірювань термодинамічних параметрів атмосфери на висотах від 0 м до 40 км. Ці дані містять інформацію про вертикальні профілі температури, вологість, швидкість і напрям вітру, а також про тиск повітря на заданих рівнях.

Процес радіозондування здійснюється за допомогою інформаційно-вимірювальних систем, заснованих на якому-небудь способі визначення просторових координат радіозонда і включаючих окрім самого радіозонда різні пристрої для прийому і обробки інформації.

Нині в багатьох країнах світу використовуються супутникові навігаційні системи зондування. На аерологічній мережі України застосовуються системи радіозондування, засновані на принципі радіолокації визначення координат радіозонда.

Поява нової елементної бази (транзистори, мікросхеми) і необхідність підвищення безпеки польотів авіації привели до створення легкого, малогабаритного і економічного радіозонда. У 1982 р. був розроблений транзисторний радіозонд МАРЗ, почато серійне виробництво, Держстандарт СРСР атестував його як засіб вимірювань.

У кінці 1983 р. успішно завершені державні випробування модернізованого радіозонда з частковою заміною транзисторів мікросхемами МРЗ. Використовувана в цьому радіозонді система зондування "АВК-МРЗ" здійснює автономну автоматичну обробку результатів. У конструкцію комплексу закладено багато нових технічних рішень, сприяючих підвищенню експлуатаційних характеристик системи [3].

Останніми роками комплекс модернізується шляхом заміни спеціалізованою ЕОМ на сучасні універсальні ПЕВМ з застосуванням напівпровідникових прийомо-передавальних пристроїв і блоків живлення. Подальшому розвитку піддалися і математичні моделі взаємодії датчиків з довкіллям. Найбільша увага впродовж усієї історії розвитку радіозондування приділялася дослідженню радіаційних похибок вимірювання температури. В результаті були вироблені оцінки (в основному граничні) випадкових похибок вимірювань при радіозондуванні [3-7]. Систематичні складові похибок вимірювань температури і похибки вимірювань вологості оцінені дуже умовно [4-6]. Оцінюються на доступному для свого часу рівні похибки вимірювань.

В цілому можна констатувати, що на аерологічній мережі до кінця ХХ століття досягнута одноманітність виконання вимірювань і створені передумови для забезпечення їх єдності. Такий рівень метрологічного забезпечення аерологічних вимірювань відповідав стану радіозондування в найбільш розвинених зарубіжних країнах [8-14].

Наземне устаткування аерологічних станцій - аерологічний реєстраційно-обчислювальний комплекс, або коротше РЛС, радіотеодоліт або яка-небудь навігаційна система - забезпечує супровід радіозонда у польоті, визначення його координат (і тим самим вимірювання висоти самого зонду і параметрів вітру), прийом і реєстрацію сигналів радіотелеметрії. До складу наземного устаткування входять також пристрої для обробки сигналів радіозонда, підготовки і передачі споживачам аерологічного повідомлення.

Аналіз перспектив подальшого вдосконалення аерологічної спостережної мережі показує, що для підвищення її ефективності, в першу чергу, необхідно удосконалити самі радіозонди в напрямках:

- розвивати інші (окрім радіолокації) способи визначення координат радіозонда у польоті, особливо навігаційний з використанням супутникових навігаційних систем типу GPS або ГЛОНАСС;

- шукати нові шляхи оперативної передачі метеоінформації і не лише на базову станцію, але і усім зацікавленим користувачам;

- використовувати нові фізичні принципи побудови датчиків метеоінформації з використанням сучасних технологій, наприклад, мікроелектронних механічних систем (МЕМС);

- використання архівації отриманої у польоті радіозонда інформації безпосередньо на борту, яка у свою чергу, зажадає оперативного відстежування координат радіозонда до моменту приземлення і створення системи пошуку і збору апаратів, які впали.

Нині на аерологічній мережі Укргідромета використовуються наступні типи радіозондів:

Малогабаритний аерологічний радіозонд МРЗ-3А (1780 МГц)

Малогабаритний аерологічний радіозонд РЗА-1..... (1680 МГц)

Малогабаритний аерологічний радіозонд РЗА-2..... (1780 МГц)

Малогабаритний аерологічний радіозонд ПАЗА-10

(-(-10М,-11,-11М, -12,-12М, - 20, - 21, - 22..... (1680 МГц / 1780МГц)

Актинометричний радіозонд АРЗ-ЦАО (1780 МГц)

За допомогою представлених радіозондів вимірювання вертикальних профілів температури і відносної вологості повітря, а також параметрів вітру від рівня землі до висот від 30 км до 35 км. Їх технічні і деякі метрологічні характеристики представлені в таблиці. 1.1. Як видно з таблиці. 1.1, усі представлені типи використовуваних радіозондів з однаковими метрологічними характеристиками (МХ) в усіх мережах радіозондів і

відповідно у обох типів радіозондів підвищеної точності (для нормальних умов).

Таблиця – 1.1 Величини систематичної $M_T[\Delta_C]_P$ та випадкової $[\sigma_T(\Delta)]_P$ складових, а також сумарних похибок (при ймовірності $K=0,95$) вимірної температури на різних висотах при радіозондуванні атмосфери, °С

P, гПа	$M_T[\Delta_C]_P$	$[\sigma_T(\Delta)]_P$	$[\Delta T, \Sigma]$
1000	0,1	0,50	0,1±1,0
850	0,2	0,50	0,2±1,0
700	0,2	0,55	0,2±1,1
500	0,3	0,60	0,3±1,2
300	0,3	0,70	0,3±1,4
200	-0,1	0,75	-0,1±1,5
100	-0,4	0,55	-0,4±1,1
70	-0,5	0,60	-0,5±1,2
50	-0,6	0,65	-0,6±1,3
30	-1,0	0,70	-1,0±1,4
20	-1,9	0,90	-1,9±1,8
10	-3,0	1,44	-3,0±2,5
5	-5,9	1,25	-5,9±3,8
3	-8,8	2,50	-8,8±5,0

Сучасне радіозондування немислиме без повної автоматизації процесу обробки сигналів про координати радіозонда і сигналів радіотелеметрії. У всіх згаданих системах радіозондування атмосфери для обробки сигналів радіозонда використовуються персональні комп'ютери з програмним забезпеченням (ПО) по формату ЕОЛ [15]. Дане ПО управляє роботою АРВК і автоматично обробляє телеметричні дані. Проте обробляються телеметричні сигнали по тому ж алгоритму, який був створений в 50-і роки минулого століття, коли вся обчислювальна робота аеролога могла бути виконана лише за допомогою логарифмічної лінійки. Нині розроблена з достатньою мірою деталізації і експериментально перевірена теорія термометричного (гігмометричного) тепло- і масообміну тіл при русі їх у вільній атмосфері [3, 16]. Тобто з'явилася реальна можливість при обробці результатів зондування обчислювати дійсні параметри атмосфери по вимірюваннях їх значеннях з

урахуванням як досліджених метрологічних характеристик приладу, так і реальних параметрів довкілля безпосередньо в процесі зондування.

До точності радіозондових вимірювань пред'являються дуже високі і різнопланові вимоги. Якнайповніші вимоги до точності вимірювань при радіозондуванні атмосфери сформульовані Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) [9].

Проведені багаторічні метрологічні дослідження, узагальнені в [16], дозволили виявити і визначити величини усіх МХ радіозондів, нормувати їх і обчислити величини як складових (систематичних і випадкових), так і сумарних похибок вимірювань температури і вологості при радіозондуванні на аерологічній мережі Укргідромета. Експериментальна перевірка за допомогою зразкових приладів, які піднімаються на висотних аеростатах, повністю підтвердила результати лабораторних досліджень і розрахунків [17]. У таблицях 1.1 і 1.2 показані отримані в результаті досліджень ймовірнісних характеристик похибок вимірювань температури і вологості при радіозондуванні.

Таблиця 1.2 – Сумарні похибки (з ймовірністю $K=0.95$) вимірювань вологості при радіозондуванні атмосфери

P, гПа	$(\Delta\Sigma)_P, \%$	$(\Delta d\Sigma)_P, ^\circ\text{C}$ в одиницях точки роси
1000	1±19	0,2±6,0
850	2±19	0,5±5,7
700	5±19	1,0±5,5
500	8±24	1,6±5,4
300	15±31	2,3±5,9
200	44±19	12±7,6
100	23±19	8±7,6
70	19±18	7±7,6
50	18±18	7±7,6
30	16±17	7±7,6
20	16±16	7±7,6
10	16±15	7±7,6
5	13±15	7±7,6
3	10±14	7±8,7

Як видно з таблиць, ці похибки значні як по температурі, так і по вологості, а при вимірюванні вологості вище від 5 км і до 7 км просто неприйнятні. Для висот вище 26 км є лише теоретичні розрахунки похибки вимірювання температури, які, безумовно, потребують експериментальної перевірки.

Зіставлення отриманих оцінок похибок систем радіозондування "Метеорит 2"-МАРЗ і АВК-1-МРЗ-3А (МРЗ-3А*) з вимогами ВМО показує, що точність радіозондування на вітчизняній аерологічній мережі поки що далека від граничних значень, але в досить великому діапазоні висот не виходить за межі, які визначають практичну цінність даних про температуру і вологість для вивчення і прогнозу атмосферних процесів мезо- і синоптичного масштабів.

В той же час не можна не відмітити, що, як показала міжнародна виставка ТОРПЕКС-2008, точність вимірювань температури і вологості радіозондами, представленими ведучими зарубіжними країнами, на порядок вище, ніж точність вимірювань тих же параметрів основним радіозондом, використовуваним в нашій мережі, - МРЗ-3А.

Таким чином, радіозондування на аерологічній мережі України виконується за допомогою приладів, які мають однакові і нормовані характеристики. Терміни радіозондування і правила його виконання, оформлення результатів у вигляді відповідних документів єдині для усієї мережі. В цілому можна стверджувати (з деякими обмовками), що на аерологічній мережі України до теперішнього часу єдність виконання вимірювань досягнута.

Отже, для подальшого розвитку вітчизняної аерології найближчим часом необхідно вирішити наступні завдання:

1. Точність вимірювань і якість даних аерологічного зондування доки відстає від лідируючих позицій і перспективних вимог ВМО. Отже, необхідно впроваджувати нові сучасні датчики температури і вологості, а також переробити ПО обробки даних радіозондування на основі урахування

метрологічних характеристик радіозондів і конкретних умов проведення вимірювань.

2. На аерологічних станціях замінити застарілі ЕОМ, до яких вже не випускаються комплектувальні деталі і на які не можна поставити сучасне програмне забезпечення.

3. Необхідно розвивати як в технічному, так і в методичному плані систему оперативного моніторингу якості радіозондування, а також домагатися єдиного рівня метрологічного забезпечення використовуваних радіозондів.

4. Вимагається вже сьогодні приступити до розробки системи зондування нового покоління. Такою системою може бути лише навігаційна система радіозондування з використанням супутникових навігаційних систем GPS і ГЛОНАСС.

1.2 Характеристика радіозондів, які використовуються в аерологічній мережі України

Аналіз метеорологічного забезпечення і заводської технології виготовлення малогабаритних аерологічних радіозондів МРЗ-, ПАЗА-, РЗА- а також похибок ручної обробки даних зондування показує, що сумарна похибка вимірювання температури й вологості при автоматизації одержання статичних характеристик перетворення радіозондів може бути зменшена. Це позитивно впливає на якість метеорологічної інформації, більш точно вимірюватиметься температура й вологість повітря [4].

Таким чином, радіозонди названих типів призначені для вимірювання основних метеорологічних величин, таких як: температура й відносна вологість повітря й перетворення їх у радіотелеметричний сигнал.

Радіозонди МРЗ-, ПАЗА-, РЗА- . Реалізують практично однаковий алгоритм вимірювання метеорологічних характеристик.

Радіозонд являє собою прийомо-передавач з подвійною модуляцією, який працює у високогенеративному (надгенеративному) режимі. Переносна частота радіозонда $1782(1680) \pm 10$ МГц модулюється по амплітуді короткими імпульсами, які слідують із частотою 800 кГц (частота суперізації). Суперрегенеративний режим прийомо-передавача забезпечує формування зворотного сигналу на прямий імпульс радіолокатора.

Телеметрична інформація передається шляхом вторинної імпульсної модуляції. У випромінюваній послідовності радіоімпульсів формуються паузи, частота слідування яких залежить від величини вимірювальних параметрів. Форма й принцип утворення зворотного сигналу пов'язані з особливостями роботи супергенератора. Реакція супергенератора на прийняті радіоімпульс проявляється у вигляді збільшення тривалості випромінюваного радіоімпульсу, який перекривається імпульсом запиту, і скороченням тривалості або повного придушення радіоімпульсу, який іде за розширенням.

Така зміна імпульсної послідовності 800 кГц є для радіолокатора добре розпізнавальним зворотним сигналом.

У радіозондах використовуються резистивні датчики температури й вологості повітря. Технічні характеристики радіозонда аналогічні характеристикам радіозонда МАРЗ.

Межа абсолютної похибки, яка допускається, перетворення температури – не більше $\pm 1,6^{\circ}\text{C}$. Межа абсолютної похибки, яка допускається, перетворення відносної вологості - не більше $\pm 15\%$. Основні технічні характеристики радіозонда приведені в табл. 1.3.

Модифікації ПАЗА-10, ПАЗА-11, ПАЗА-12, ПАЗА-12М призначені для роботи з наземними станціями типу «Метеор», «Метеорит», «Метеорит-2». Модифікації ПАЗА-20, ПАЗА-21, ПАЗА-22 призначені для роботи з наземними станціями типу "АВК".

Таким чином, вітчизняні радіозонди дозволяють вимірювати прямими методами лише температуру й вологість, а тиск, швидкість і напрямок вітру непрямыми методами.

Таблиця 1.3 – Основні технічні характеристики радіозондов які використовуються в Україні

Позначки	МРЗ-3	ПАЗА-10(10м,-11,-11м,-12,-12м,-	РЗА-1 (2)
Тип датчика температури	ММТ- 1	ММТ- 1	ММТ- 1
Діапазон вимірюваних температур,° С	- - 80 . +50	- - 80 . +50	- - 80 . +50
Основна погрішність,° С	1,8	1,8	1,8
Постійна часу датчика температури на висоті 0-30км, з	8-36	8-36	8-36
Тип датчика вологості	СДД	СДД	Н1Н4000
Діапазон вимірюваної вологості,%	15 ... 98	15 ... 98	5- 100
Основна похибка, %	15	7	10
Стала часу датчика вологості на висоті, 0-2км 3-5км 6-8км 9-10км 11-12км	3 60 100 180 300	3 60 100 180 300	
Переносна частота,МГц	1782 ±10 1680±10	1782 ±10 1680±10	1782±10 1680±10
Частота суперуючих імпульсів, кГц	800±25 600±25	800±25 600±25	800±25 600±25

1.3 Аналіз характеристик закордонних радіозондів

Радіозонд аерологічний малогабаритний АК-2. Радіозонд аерологічний малогабаритний АК-2 (Росія) призначений для вимірювання температури й відносної вологості навколишнього повітря, перетворення вимірювальної інформації в радіотелеметричний сигнал, передачі його на станцію спостереження, а також для вироблення відповідного сигналу на запитальний сигнал, випромінюваний станцією спостереження.

Принцип отримання та передачі інформації про вимірювані значення температури й вологості атмосферного повітря аналогічні радіозондам МРЗ, ПАЗА та міститься в радіотелеметричному сигналі, який являє послідовність радіоімпульсів, які поступають з частотою суперизації й мають частоту заповнення, яка називається несучою. Послідовність суперуючих імпульсів є частотно-маніпульованим сигналом. Частота проходження суперуючих імпульсів має два значення, що відрізняються на величину девіації й визначається послідовністю модулюючих відеоімпульсів. Період цих модулюючих імпульсів і є та величина, в якій закладена інформація про метеопараметри. Інформація про різні метеопараметри рознесена між собою за часом.

Чутливими елементами малогабаритного радіозонда АК-2 є:

- датчик температури – терморезистор типу ММТ-1;
- датчик вологості – датчик вологості типу НІН-4000 [3].

Основні технічні і метрологічні характеристики радіозонда аерологічного малогабаритного АК-2 наведені в табл. 1.4.

Виходячи з перерахованого вище, російський радіозонд АК-2 призначений для вимірювання температури й відносної вологості навколишнього повітря, однак він не вимірює тиск, швидкість і напрямок вітру.

Малогабаритні радіозонди типу МРЗ. Радіозонди серії МРЗ (Росія) призначені для вимірювання: температури, відносної вологості й тиску атмосфери. Передачі сформованого радіотелеметричного сигналу на наземну станцію спостереження з метою визначення значень температури (вологості, тиску) і його кутових координат; вимірювання відповідного сигналу по дальності при роботі комплексу в радіолокаційному режимі зондування атмосфери. Поточні координати радіозонда – β (азимут), ε (кут місця) і D (похилу дальність) використовують для обчислення швидкості й напрямку вітру (вітрове зондування атмосфери).

Таблиця 1.4 - Основні технічні і метрологічні характеристики радіозонда аерологічного малогабаритного АК-2

№ п/п	Технічні характеристики	Діапазони характеристик, що допускаються межі похибок
1	Діапазон вимірювання температури навколишнього повітря, °С	від -90 до +50°С
2	Межі абсолютної похибки, що допускається, тракту вимірювань температури радіозонда, °С	1,0 °С При t=(-90...+50)°С
3	Діапазон вимірювання відносної вологості навколишнього повітря, %	5-98%
4	Межі абсолютної похибки, що допускається основною, датчика вологості, % при t=(-40...+50) °С	± 3,5 (2,0)
5	Частота проходження суперуючих імпульсів, кГц	775-825
6	Межі абсолютної похибки, що допускається основною, тракту вимірювань відносної вологості радіозонда, % при t=(-40...+50)°С	± 5
7	Переносна частота випромінювання прийомо-передавача радіозонда, МГц	1782±8/1680±8
8	Щільність потоку енергії випромінювання передавача радіозонда, Вт/м ² , не менше	1,5 · 10 ⁻³
9	Чутливість прийомо-передавача радіозонда	не менш - 60Дб
10	Джерело живлення радіозонда	Блок живлення в складі 4 елементів живлення (1,5У x4) або аналогічний
11	Напруга живлення постійного струму	До 6 В
12	Ресурс роботи блоку живлення не менш, година	2
13	Габаритні розміри радіозонда підготовленого до польоту, мм	100 x300x150
14	Маса польотна радіозонда, кг	0,36

Метеорологічна інформація, яка міститься в телеметричному сигналі в закодованому вигляді, використовується для визначення метеорологічних параметрів атмосфери. Метеорологічна й координатна інформація обробляється для підготовки й видачі метеоспостережен METEO-11 і METEO-44 або аерологічних телеграм КН-04, ШАР і ШТОРМ, а також таблиці ПРИЗЕМНИЙ ШАР [4].

Отримання та передача метеоінформації на наземну станцію відбувається в основному аналогічно тому як це робиться у радіозондів ранніх випусків.

Живлення радіозонда здійснюється від джерела напруги вбудованого в кришку. Метрологічні та технічні характеристики МРЗ-ЗАК1 представлені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5– Метрологічні та технічні характеристики МРЗ-ЗАК1

Межа абсолютної похибки, що допускається, радіозонда при вимірюванні температури від -80 до +50 °С, не більше, °С	±1,6
Межа абсолютної похибки, що допускається, радіозонда при вимірюванні відносної вологості від 15 до 98 %, не більше, %	±8
Діапазон вимірювання температури, °С,	- 80 до +50
Діапазон вимірювання відносної вологості, %	від 15 до 98
Тривалість роботи з моменту підключення батареї, год	2
Переносна частота випромінювання прийомо-передавача, МГц	1680±8 1782±8
Щільність потоку енергії випромінювання прийомо-передавача на відстані (2,00±0,05) м у напрямку, що відстоїть під кутом 55° від осі антени, не менше, Вт/м ²	1,5·10 ⁻³
Чутливість до запитальних імпульсів тривалістю від 0,4 до 1,2 мкс, частотою проходження від 400 до 900 Гц із несучою частотою, значення якої лежить у діапазоні ±5 МГц від несучої частоти радіозонда, не більш, дБ відносно 1 Вт/м ²	-60
Частота проходження суперуючих імпульсів, кГц	від 775 до 825
Девіація частоти проходження суперуючих імпульсів, кГц	від 12 до 18
Період проходження імпульсів телеметрії в опорному каналі, мкс	від 1449 до 1785
Період проходження імпульсів телеметрії в каналі температури, при вимірюванні температури від - 80 до +50 °С, мкс	від 1562 до 58821
Період проходження імпульсів телеметрії в каналі вологості, при вимірюванні вологості від 15 до 98 %, мкс	від 1526 до 2564
Тривалість вихідних імпульсів телеметрії, мкс: - в опорному каналі - у каналах метеоінформації	200-350 435-765
Тривалість каналних інтервалів, с	5,1-5,4
Польотна маса, не більше, кг	0,36

Таким чином, російські радіозонди типу МРЗ призначені для вимірювання температури, відносної вологості повітря й атмосферного тиску, однак також не вимірюють швидкість і напрямок вітру.

Радіозонд РФ-95 (Росія) і його модифікація РФ-95-L74 призначена для температурно-вітрового зондування атмосфери на аерологічній мережі з наземними станціями АВК-1. У радіозонді використовуються датчики температури й вологості радіозондів RS80, виробництва фірми Вайсала. Радіозонд призначений для перетворення значень температури й відносної вологості в радіотелеметричний сигнал (з використанням частотної маніпуляції частоти суперування 800 кГц), прийнятий аерологічним інформаційно-обчислювальним комплексом АВК-1, а також для вироблення відповідного сигналу на запитальний сигнал АВК-1. По обмірюваних АВК-1 координатам радіозонда визначається параметри вітру.

У порівнянні з радіозондами МРЗ-3А похибки вимірювань температури й вологості зменшена в 2-3 рази. Межі значення, що допускається, похибки в робочих умовах застосування: по каналу температури - не більш ± 1 °С, по каналу відносної вологості - не більше $\pm 7\%$. Діапазон вимірювання відносної вологості розширений - від 0% до 100% в усьому діапазоні робочих температур. Стала часу датчика температури менше в 4 рази, датчика вологості - в 10 разів. Період опрацювання датчиків зменшений в 15 разів. Радіаційне виправлення до показаників датчика температури не перевищує 2,2 град на висотах до 10 гПа (в 3 рази менше). Характеристики каналу НВЧ, визначення дальності, передача метеосигналів аналогічні радіозонду МРЗ-3А. Параметри телеметричного сигналу забезпечуються параметрами телеметричного сигналу блоку датчиків RSS80TU (виробник-фірма Вайсала, Фінляндія). Таким чином, радіозонд транслює на наземну станцію телеметричний сигнал блоку датчиків RSS80TU, частота якого зменшена в 64 рази, при збереженні всіх інших параметрів блоку датчиків.

Таким чином, російський радіозонд призначений для перетворення значень температури й відносної вологості в радіотелеметричний сигнал. У

порівнянні з радіозондами МРЗ-3А похибки вимірювань температури й вологості зменшена в 2-3 рази. Але він самостійно не вимірює швидкість і напрямок вітру (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики радіозонда РФ-95

Діапазон вимірювання температури, °С	від -90 до + 50
Діапазон вимірювання відносної вологості, %	від 0 до 100
Несуча частота випромінювання прийомо-передатчика, МГц	1782±8
Частота проходження суперуючих імпульсів, кГц	775 — 825
Девіація частоти проходження суперуючих імпульсів, кГц	11 — 17
У якості джерела живлення радіозонда використовується водоактивована батарея напругою, В	9,5 та 27
Межа значення, що допускається, основної абсолютної похибки в робочих умовах застосування по каналу температури, °С	не більше ±1
Межа значення, що допускається, основної абсолютної похибки в робочих умовах застосування по каналу відносної вологості, %	не більше ±7
Габаритні розміри, мм; маса, г	115x150x210 300

Повністю цифровий радіозонд RS92-SGP фірми Vaisala (Фінляндія) (рис. 1.1) пропонує на сьогоднішній час найвищий у світі рівень ефективності вимірювань атмосферного тиску, температури й відносної вологості повітря, завдяки відмінним характеристикам які використовують індивідуальні датчики тиску (силіконовий), температури (ємнісної-дротовий), вологості (тонкоплівковий конденсатор, який підігріває подвійний датчик).

Радіозонд обладнаний надійним приймачем GPS з кореляцією коду. Цей приймач має швидкодіючу пошукову машину, яка забезпечує відстеження всіх супутників, які перебувають у межах видимості. Фільтрація й посилення сигналів GPS забезпечує відношення сигнал-перешкода: радіозонд відрізняється високою стійкістю до впливів радарів або інших джерел радіочастотних перешкод. У наслідку відмови незалежна сторожова схема негайно зробить повернення радіозонда у вихідний стан для зведення до мінімуму пропусків спостереження. У результаті цього забезпечується постійна видача даних про вітер з моменту запуску радіозонда до висоти розриву оболонки.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд радіозонда RS92-SG

Чисто цифрова передача даних радіозонда пропонує важливі переваги в порівнянні з аналоговою передачею даних. Забезпечується відмінна доступність даних під час зондування, а помилки телеметрії завжди виявляються. Цифровий передавач також споживає менше енергії, чим аналоговий і має більше каналів у метеорологічному частотному діапазоні.

Радіозонд повністю відповідає стандарту EN 302 054 Європейського інституту стандартів зв'язку (ETSI) по цифрових радіозондах, що діють у діапазоні 400 МГц, EN 302 054. Цей стандарт призначений для регулювання використання метео діапазону частот 400 МГц з метою поліпшення доступності метеоданих в усьому світі. Передполітна перевірка радіозонда здійснюється за допомогою пристрою передполітної перевірки Ground Check Set GC25 і системи зондування. Система зондування автоматично зчитує коефіцієнт калібрування через телеметричну лінію. Пристрій GC25 використовується для відновлення датчика вологості, видалення хімічних забруднювачів і забезпечення високої точності вимірювання відносної вологості. Установка потрібної частоти передавача проводиться за допомогою простого прокручування на екрані дисплея.

Калібрування датчика тиску, температури й відносної вологості радіозонда проводиться на каліброваному пристрої CAL-4. Це вбудований калібрований пристрій є передовим пристроєм подібного типу, призначеним для виробництва датчиків. Технічні характеристики радіозонда RS92-SGP представлені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики RS92-SGP

Діапазон вимірювання температури, °С	від +60 до -90
Час відгуку (63.2%, потік 6 м/с), 1000 гПа	< 0,4
100 гПа	< 1
10 гПа	< 2,5
Діапазон вимірювання вологості, %	0 - 100
Дозвіл, %	±1
Батарея, напруга, В, RS92-SGPD алкалайнова (суха)	9
RS92-SGPL літєва	9
RS92-SGPA суха батарея для AUTOSONDE	9
Час роботи, хв	135
Дозвіл, °С	0,1
Точність, °С	0,1
Загальна похибка зондування, °С	0,5
Відтворюваність калібрування, °С	0,15
Відтворюваність результатів зондування, °С, 1080 - 100 гПа	0,2
100 - 20 гПа	0,3
20 - 3 гПа	0,5
Час відгуку, 6 м/с, 1000 гПа, +20 °С	< 0,5
6 м/с, 1000 гПа, - 40 °С	< 20
Точність относит. вологості	5
Загальна похибка зондування, %	2
Відтворюваність калібрування, %	2
Відтворюваність результатів зондування, %	2
Габарити, мм	220 x 80 x 75
Вага з літєвою батареєю (RS92 - SGPL), г	160
Вага з алкалайновими (сухими) батареями (RS92 - SGPD, RS92 - SGPA), г	280 - 290
Діапазон вимірювання тиску, гПа	1080 – 3
Відрізнення, гПа	0,1
Загальна похибка зондування, гПа, 1080 - 100 гПа	1
100 - 3 гПа	0,6
Відтворюваність калібрування, гПа, 1080 - 100 гПа	0,4
100 - 3 гПа	0,3
Відтворюваність результатів зондування, гПа, 1080 - 100 гПа	0,5
100 - 3 гПа	0,3
Телеметрія	яка перебудовується
Тип передавача	403
Частотний діапазон, МГц	400 - 406
Діапазон перебудови, МГц	± 2
Стійкість частоти, імовірність 90 %, кГц	4,8
Девіація, від мінімуму до максимуму, кГц	мін. 60
Вихідна потужність максимальна, мВт	
Число каналів	12
Похибка позиціонування, горизонтальна, м	10
Похибка позиціонування, вертикальна, м	20
Похибка вимірювання швидкості, м/с	0,15
Похибка вимірювання напрямку, град.	2

Таким чином, повністю цифровий фінський радіозонд RS92-SGP пропонує найвищий у світі рівень ефективності вимірювань атмосферного тиску, температури й відносної вологості повітря. Радіозонд обладнаний надійним приймачем GPS.

Найменший синоптичний радіозонд Graw DFM-09 (Німеччина), який використовується сьогодні. Всі датчики відкалібровані заздалегідь і не вимагають повторного калібрування перед запуском. Датчики температури й вологості забезпечують постійні вимірювання на протязі польоту. Вони не чутливі до різних температурних коливань зовнішнього середовища. Дзеркальні поверхні зменшують помилки сонячної радіації. Керамічний температурний датчик забезпечує швидкий відгук маючи малу власну масу й термоємність. Швидкий ємнісний полімерний датчик вологості. Зовнішній вигляд радіозонда представлений на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд Graw DFM-09

Радіозонд сконструйований для надійних вимірювань атмосферних профілів температури, вологості, тиску, напрямку й швидкості вітру від поверхні до 40 км. Послідовний набір даних відправляється на наземну станцію по високо цифровій радіотелеметричній лінії.

Сімейство DFM-09 має стандартний C/A бортовий приймач код-кореляційний GPS. Інформація передається на наземну станцію де коректується за допомогою диференційованої GPS системи. Результуюча

інформація використовується для точних розрахунків швидкості й напрямку вітру на всіх висотах. Повністю кодований GPS сигнал приймається наземною станцією.

Радіозонд містить високоякісний телеметричний передавач. Радіопередавач зонда задовільняє вимогам до визначення похилої дальності до 300 км. Використання кодового розподілу дозволяє виявляти, детектувати і корегувати випадкові помилки в лінії за умови, якщо інформація надійно приймається наземною станцією. Тривалість вимірювань усіма датчиками й передачі від них інформації проводиться в часовому вікні тривалістю менше 1 сек. Всі найважливіші функції в радіозонді контролює бортовий мікропроцесор, такі як: включення радіозонда, вимірювання датчиків, зв'язок і поточний контроль якості інформації.

Кожний РЗ може передавати інформацію у вузькому частотному каналі в смузі частот (від 400 МГц до 406 МГц). Зонд використовує бортовий частотний синтезатор, який автоматично включається до бажаного передавального каналу в процесі ввімкнення. Високочутлива наземна прийомна система може приймати інформацію від зонда до 300 км дальності використовуючи компактну приймально-передавальну антену. Технічні характеристики радіозонда представлені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики DFM-09

Діапазон температури, °С	+50 до -90
Похибка, °С	±0,2
Відрізнення, °С	±0,01
Діапазон вологості, %	0-100
Похибка, 5	2
Частотний діапазон, МГц	400-406 МГц
Дальність телеметрії, км	250км мінімум
Габарити, мм і вага, г	80x80x50 й 90
Ємність батареї, Ач	1,4
Час роботи не менше, хв	150

Таким чином, німецький радіозонд Graw DFM-09 є найменшим синоптичним зондом, який використовується на сьогоднішній день. Він надійно вимірює температуру, вологість, тиск, напрямок і швидкість вітру від поверхні до 40 км. Радіозонд обладнаний надійним приймачем GPS.

GPS радіозонд Mesei RS-06G (Японія) (рис. 1.3) призначений для вимірювання температури, вологості, тиску, швидкості й напрямку вітру.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд радіозонда Mesei RS-06G

Температура й вологість вимірюється за допомогою термісторів і електростатичних ємнісних датчиків вологості. Односекундна дискрета інформації передається через імпульсну кодову, що модулює час і розділову мережу, яка модулює. Інформація автоматично обробляється процесором на наземній станції. Вбудований генератор включає вузько-частотну модуляцію й відповідає стандарту ETSI. Радіозонд використовує прецизійну часову синхронізацію між T/U-Ний інформацією й GPS інформацією. Вихідний 16 бітний АЦП забезпечує з'єднання з датчиками 8 каналів. Компактна й малооб'ємна конструкція з загальною вагою 150 г включаючи батарею, знижує пошкодження в момент приземлення. Технічні характеристики радіозонда RS-06G представлені в табл.1.9.

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики RS-06G

Діапазон температури, °С	-90+40
Похибка, °С	± 0,1
Діапазон вологості,%	1-100
Похибка,%	± 7
Діапазон тиску,гПа	1050 - 3
Похибка :від поверхні до 100гПа, 100гПа-3гПа	±1гПа ±0,5%
Напрямку вітру	0-360°
Швидкість вітру, м/с	0-300
Діапазон частоти, МГц	400-406
Потужність передавача, мВт	100
Дальність передачі, км	250
Ємність батареї,мАг	240
Час роботи, хв	240
Габарити, мм й вага,г	98x155x88 й 150

2 АНАЛІЗ ГЕТЕРОСТРУКТУР З НАНОКЛАСТЕРНОЮ ПІДСИСТЕМОЮ З МЕТОЮ СТВОРЕННЯ ДАТЧИКІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ. ФРАКТАЛЬНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОПИСУ НАНОКЛАСТЕРНОЇ ПІДСИСТЕМИ

1. Постановка задачі. Традиційний підхід до керування властивостями твердотільних напівпровідникових матеріалів ґрунтується на принципі обмеження, обумовлені відсутністю в природі домішок з відповідними властивостями, низьким рівнем розчинності багатьох атомних домішок у кристалічній решітці напівпровідника, високою концентрацією хімічно-активних власних дефектів у легованому матеріалі [18,19]. В останні роки активно розвивається новий підхід щодо керування властивостями напівпровідників, який ґрунтується на формуванні у напівпровідниковій матриці нанокластерної підсистеми (НКП) - атомарних нанокластерів (НК) [20].

До складу НК можуть входити атоми домішок, атоми власних компонентів, а також власні точкові дефекти кристалічної решітки. Інтерес до напівпровідникових НК привертає також увагу у зв'язку з їх нелінійними оптичними властивостями та можливостями їх використання у оптоелектроніці. Наприклад, як нові матеріали для розбудови елементів, які дозволяють керувати оптичними сигналами [21].

На цьому етапі поставлені наступні задачі: а) розглянути зв'язок процесів моделювання нм структур з пристроями, що можуть класифікуватися як пристрої молекулярної електроніки; б) проілюструвати вплив різних факторів на фізичні властивості НК; в) довести, що існує висока ймовірність усіх конфірмаційних структурних конфігурацій НК; обмеженість процесу обертання є можливою за рахунок існування домінуючої енергетично вигідної просторової орієнтації структурних складових

планарних НК. Предметом дослідження стали глибоко субмікронні структури напівпровідників - НК. Об'єктом дослідження був процес утворення НКП у твердотільній матриці.

2.Реальні нанокластерні частинки. М. Хофмайстер (Hofmeister H.) [22] наводить результати експериментальних досліджень структурних характеристик сферично-подібних Si-наночастинок (НЧ), отриманих за допомогою імпульсного CO₂ лазерного відпалу (рис. 2.1). Геометрична структура НЧ була виявлена за допомогою дифрактограмм цифрового електронного мікроскопа. З'ясовано, що Si-НЧ мають кристалічно-подібне ядро, яке закрите аморфною (окисдною) оболонкою.

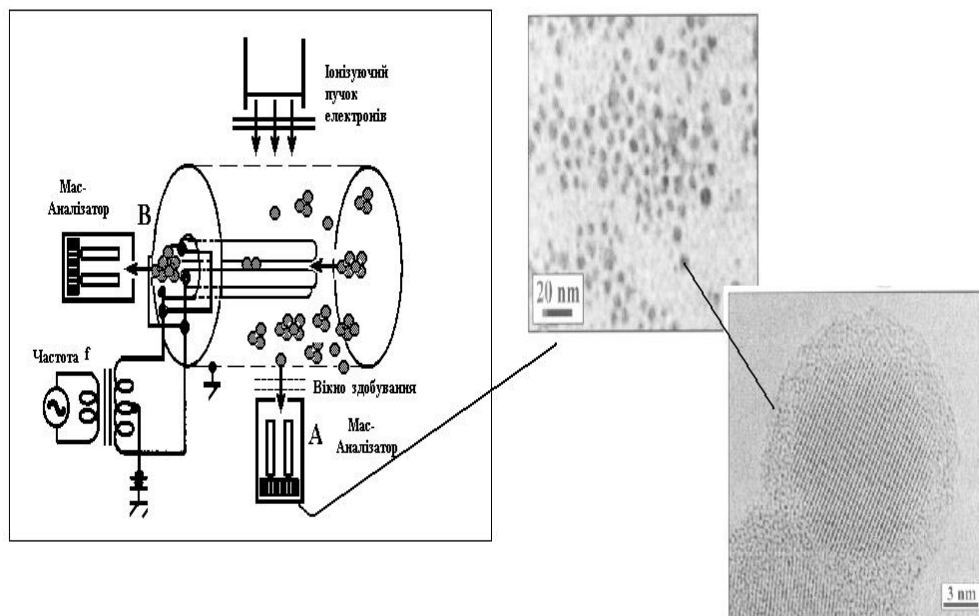


Рисунок 2.1 - Схема отримання окремої Si – НЧ [5]

Товщина цієї оболонки лінійно зменшується (приблизно від 2.9 нм до 0.8 нм) при зменшенні розмірів Si-НЧ. Електронно-мікроскопічний цифровий аналіз дозволяє визначити діаметр НЧ, а також товщину окисного шару. Отримані в колегами з Німеччини, Si-НЧ мали досить широкий розподіл по геометричних розмірах: радіус НЧ змінювався в межах від 2 нм до 25 нм.

Експериментальні данні про характеристики емісії дозволили одержати величину оптичного посилення для зразка з НКП у кварці на $\sim 15\%$ менше, ніж для сукупності НК, локалізованих у Si_2 -шарі на поверхні кристалічного Si. Проте, для електролюмінесценції Si_2 середовище не є оптимальним, щоб реалізувати ефективну інжекцію зарядів у Si-НК – є занадто велика заборонена зона. Аналогічні ефекти виявлені в окисдованому *por-Si* [23]. Тому більшість практичних розробок направлялося на удосконалення технології одержання твердотільної матриці за участю квазімолекул Si_2 з високою щільністю квантово-розмірних об'єктів – у вигляді Si-НК [20]. Варіюючи концентрацію кисню і силана, з якого проводиться осадження кремнію, одержано шари Si_2 , у яких містяться Si-НК. Ця технологія дозволяє «розбудувати» тонкошарову структуру, де середнє значення зміни показника електролюмінесценції НК складає від 10 mA/cm^2 до 50 mA/cm^2 .

Зменшення ширини забороненої зони (ΔE_g) (у порівнянні із системою $\text{Si}_2 - \text{Si-НК}$) можна домогтися шляхом нанесення кремнію із силана в атмосфері азоту [6]. Утворюється пошарова структура типу $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Si}$, причому нанометрові частинки кремнію (Si-НЧ) характеризуються аморфною структурою. Слід зауважити, що аморфний кремній має ширину забороненої зони у $1,6 \text{ eV}$, а кристалічний – $1,1 \text{ eV}$ (що відповідає інфрачервоній області спектра). Розширення забороненої зони полегшує інжекцію зарядів усередині Si-НК. А отже, проводячи варіацію ступеня аморфності твердо тільної структури, шляхом введення НК і, таким чином, формуючи НКП, відбувається не лише перехід від упорядкованої (кристалічної) фази (у сенсі симетрії близької до симетрії кристалічних ґрат) до неупорядкованої (локально), можна домогтися світіння в області видимого спектру. В такому випадку, квантова ефективність електролюмінесценції складає приблизно $0,2\%$, при опорі неупорядкованих шарів у десятки Ом. Отже, керування властивостями твердотільної структури можна здійснювати шляхом введення в неї НКП. Більше того, за таким методом відкривається

можливість модифікації речовини, наприклад, перехід від провідника до напівпровідника і навпаки.

Експериментально виявлені ще в 80-і роки ХХ ст. кластерні пучки кремнію, що вилітають (сублімують) з поверхні напівпровідника в умовах ультрависокого вакууму (УВВ), характеризуються високою концентрацією обірваних хімічних зв'язків у твердотільній матриці [24]. Тому, у більшості моделей тих років основна увага приділялася рішенню проблеми пасивування ОХЗ в АКС шляхом моделювання та експериментально.

Як не парадоксально, але величезна кількість моделей різних за розмірами і симетрією Si-НК, отриманих з використанням методів квантової хімії з використанням добре відомих програмних продуктів, не дозволила отримати коректні результати щодо оптичних властивостей НК, де точні оцінки їх енергетичних характеристик є обов'язковими. Більшість модельних результатів визначалися вибором методики розрахунку. У теорії застосовувалися підходи, запропоновані раніше для визначення електронної структури молекул, т.зв. *ab initio*, і напівемпіричні схеми [20]. Коректно отримані оцінки ймовірних просторових конфігурацій продемонстрували залежність багатьох характеристик НК від їхніх розмірів (кількості атомів - *n*). Нарощування (збільшення кількості атомів у НК) НК призводило до переходу спрощених розрахункових методів аналізу, а отже, і до неточних оцінок.

Незважаючи на це, що історія розвитку досліджень НК матеріалів, а також практичні розробки в цьому напрямку не привели до появи нових ефективних випромінювачів на основі кремнію, проте, стало очевидним, що сформовані НК фази – типу Si-НК - здатні все ж таки викликати люмінесценцію.

Проводячи класифікацію електричних властивостей *por-Si* у [23], відзначається, що одну з груп складає структура з високим ступенем пористості (більшою від 40% до 50%). Такий *por-Si* являє собою сукупність нанокристалітів кремнію з розміром від 1нм до 10 нм. Тобто, практично

доведено існування реальних Si-НЧ з різним ступенем фрактальності [25], які знаходяться в пористій матриці складного хімічного складу. Відзначимо, що для НКП з розміром НК меншими за 4 нм, характерним є прояв квантово-розмірних ефектів, що призводить не лише до квантування енергетичного спектра носіїв, але і до збільшення ширини забороненої зони (в межах від 1,8 еВ до 2,9 еВ), а також до росту діелектричної проникливості. Локалізація носіїв заряду в такій структурі стає причиною аномально високого питомого опору ($\sim 10^{11}$ Ом мм). По мірі зростання пористості структури (від 40% до 80%) зростає енергія активації температурних залежностей темної провідності: від 0,3 еВ до 1,01 еВ. Визначаючи *por-Si* як кластеризований матеріал, підкреслимо, що в такій структурі ширина забороненої зони може змінюватися відповідним чином зі зміною геометричних розмірів структурних вакансій. Тому, починаючи з моменту відкриття при кімнатній температурі видимої фотолюмінесценції в *por-Si* і Si-НЧ, основна мета теоретичних досліджень складалася у визначенні залежності ширини забороненої зони від розмірів (кількості атомів - n) і геометрії (симетрії) НК. Квантовий розмірний ефект, що виявляється в забороненій зоні в області ультрафіолету при зменшенні n , стає причиною прояву оптичних властивостей матеріалу, який можна вважати матеріалом нового типу – матеріалом з НКП, або кластеризованим матеріалом.

Результати багаторічного вивчення кластеризованих матеріалів одним з авторів (ВВК) стали могутнім мотивуючим фактором інтенсифікації досліджень Si-НКП, як складових гетеропереходів гетеро структур. Накопичений авторський досвід засвідчив [20, 25], що саме просторова симетрія НК визначає специфіку властивостей НЧ, кластеризованих матеріалів. Тому використання коректного комп'ютерного моделювання дозволить визначити не тільки атомну, електронну і фононну структуру, але і виявити механізми зародження, росту і формування НКП, як глибокосубмікронних фаз твердотільної речовини. Нові розробки в цій

області служать поштовхом до подальшого розвитку фундаментальної теорії квантової теорії хімічного зв'язку.

3. Фрактальна структура наночастинок. Лавиноподібне збільшення досліджень (як експериментальних, так і теоретичних) за останнє десятиліття, дозволяє, сьогодні увести концепцію фрактальної геометрії нанорозмірних структур (НС) – структур, які мають дробову розмірність [26]. Особливо плідним є представлення про фрактали, де з усього різноманіття НС можна виділити фрактальні агрегати у вигляді плівкових гетеропереходів (ГП) з нанокластерною підсистемою (НКП), що утворені з нанокластерів (НК). Такі кластеризовані системи вже довели свої специфічні властивості [27]. З метою вироблення уніфікованого єдиного підходу до опису властивостей ГП з НКП, на цьому етапі поставлена задача провести аналіз експериментальних робіт і модельних розрахунків, що торкаються фрактальної концепції у функціональній електроніці.

Експерименти останніх років, що спрямовані на вивчення неупорядкованих твердотільних структур, свідчать про те, що НС сегментального масштабу у формі фракталів – це реально існуючі об'єкти, які можуть суттєво впливати на властивості твердотільної матриці (ТТМ). Дослідження доводять, що НС об'єкти у вигляді ГП з НКП виявляють екстенсивну природу [27-29]. Така особливість пояснюється тим, що при збільшенні геометричних розмірів зменшується густина речовини в обсязі, що він займає. Фрактальна система здатна мати пухку, «діряву», голкоподібну структуру. Отже, уявлення про неупорядкований стан поверхні твердого тіла, границі розділу, або пори у ТТМ, як про абсолютно неупорядкований, не є коректним.

Слід зазначити, що більшість дослідників вважають доведеним наявність у ТТМ квантово-розмірних утворень у вигляді НКП, хоча конкретний тип симетрії в таких структурах залишається дискусійним. Введення ТТМ дисперсного наповнювача приводить до «збурювання» її структури, що у термінах фрактального аналізу виражається як збільшення

фрактальної розмірності цієї структури. Формування НС шляхом утворення НКП у ТТМ відбувається не в евклідовому, а у фрактальному просторі.

Зауважимо, що важливою властивістю фракталів, що вирізняє їх від традиційних евклідових об'єктів, є необхідність визначення розмірностей: об'ємного евклідового простору (D), хаусдорфової (D_f) та спектральної (D_c). Для евклідових просторів $D=D_f=D_c$. Для опису неупорядкованих, наприклад, кластеризованих (або полімерних) систем, навіть при фіксованій величині D , використовують лише дві фрактальні розмірності: D_f і D_c . Така ситуація відповідає тому положенню нерівноважної термодинаміки, відповідно до якого для опису термодинамічно нерівноважних систем (для яких не виконується критерій Пригожина) необхідні, як мінімум, два параметри порядку. Наслідком фундаментальних принципів термодинаміки відкритих систем є прагнення ультра дисперсних, або конденсованих систем до самоорганізації в масштабно-інваріантних мультифрактальних формах.

Фрактальні НС об'єкти характеризуються, як правило, співвідношенням між масою M (або густиною ρ) і лінійним масштабом виміру L : $M(L) \sim L^{D_m}$, де D_m - показник скейлінгу маси. На відміну від математичних фракталів, реальні фрактали (у тому числі і твердотільні) мають два природних масштаби довжини L_{\min} і L_{\max} , вище і нижче яких об'єкт фракталом не вважається. Нижня межа пов'язана з кінцевим розміром структурних елементів, а верхня - із прагненням до межі D_R . Для кластеризованих матеріалів L_{\max} має порядок декількох ангстрем, а L_{\min} - декількох нанометрів. Такий інтервал існування локального порядку є характерним і для НКП, де нижньою межею є розмір (довжина) статистичного сегмента, а верхнім - відстань між НК. Важливий аспект – це зміна фрактальної розмірності ТТМ при моделюванні на фрактальних, а не на евклідових ґратах. З практичної точки зору це положення є надзвичайно важливим для багатокомпонентних систем, зокрема таких, як ГП з НКП.

За останні десятиліття проведено багато теоретичних досліджень фракталів методами комп'ютерного моделювання [21, 29]. Модельні

експерименти дозволяють одержувати, у достатній мері, загальне уявлення про морфологію НКП, адже без детального модельного дослідження неможливо однозначно говорити про те, чим же обумовлена розбіжність експериментальних результатів, отриманих різними методами. З'єднані воедино НК утворюють НКП у ТТМ, що має фрактальні властивості, зберігаючи при цьому невеликі розміри (*нм* діапазон) і відносно однорідний розподіл речовини. Прикладом таких структур є пориста речовина (*por-Si*, *por-Ge*, аерогель, гексогель тощо).

Аналізуючи експериментальні роботи, а також з огляду на результати модельних розрахунків, ми дійшли висновків, як можна систематизувати у такий спосіб. Можливими механізмами, що відповідають за процес формування НКП у ГП, є: 1) полімеризація, осадження або агрегація ізольованих малих НК у великі фрактальні кластери, що мають форму, наприклад, тонкої плівки, поліедра, тетраедра, подібну до сфери і, іншими словами, на цьому етапі можливе формування великої зв'язаної системи; 2) дифузія, розпад, або процеси розсіювання, що ведуть до розвитку нової НКП, або до зміни геометричної структури старої; цей процес може відбуватися разом з процесом формування пористих структур (наприклад, *por-Si*); 3) фракталізація зразків завдяки механічному впливові, особливо під дією стискаючих сил протягом повільного процесу висихання.

У свою чергу, процеси агрегації НКП можна розбити на два типи: а) з'єднання НК у цілу НКП. Причому НК фрагменти вільно переміщуються, примикаючи до агрегатів, подібно моделі наростання тонкої плівки; б) з'єднання рухливих НК, що, зіштовхуючись, склеюються разом, формуючи велику сполуку, подібно процесу утворення ізольованих колоїдів.

У кожному з цих випадків імовірність «зчеплення» може бути параметром, що і визначає фрактальну розмірність (ФРР) сформованої системи. Необхідно прийняти в увагу наступні обмеження: 1) дифузія обмежує такі процеси агрегації, у яких «зчеплення» відбувається при першому ж зіткненні (наприклад, при стисканні речовини в «швидких» за

часом процесах з'єднання фрагментів). У цьому випадку, тобто в процесі дифузійного обмежування кластерної агрегації, ФРР відповідає величині $D=1,78$; 2) реакція обмежування агрегації НК у НКП. Це т.зв. хімічна модель, відповідно до якої величезна кількість зіткнень є необхідною умовою. Тут ФРР дорівнює 2,1. Така ситуація відповідає випадку обмеження кластерної агрегації за рахунок хімічної реакції.

Відповідно до моделі розвитку кластера (МРК), передбачається, що процес структуроутворення НКП відбувається за рахунок формування нескінченного кластера або, з погляду теорії перколяції, кластера, що охоплює весь доступний простір. Однак, структуроутворення відрізняється від перколяції тим, що в МРК приймають до уваги в явному виді кінетичний аспект процесу розростання НС. Якщо процес росту є повільним (у порівнянні з рухливістю НК) структуроутворення описується в рамках МРК. І навпаки, якщо процес росту є дуже швидким, кінетична модель структуроутворення є більш підходящою.

Дослідження впливу хімічних параметрів на процес утворення, наприклад, НС кремнезему, і, таким чином, на його ФРР показує, що структуроутворення й осадження – це два можливих результати агрегації мономерів у розчиннику.

Формою росту НКП можна хімічно керувати, вносячи зміну в реакційну здатність НК, що обумовлена концентрацією «обірваних» хімічних зв'язків.

Структуроутворення спостерігається тоді, коли агрегат зростає зі стану з ФРР меншої, аніж три ($D < 3$). Вибір моделі росту залежить від відносної реакційної здатності (R_3) мономерів (величина ζ пов'язана з координаційним числом). Кінцевий стан залежить від послідовності різноманітних режимів росту. Якщо $R_3 \leq 1$, то це відповідає такої реакційної здатності системи, для якої кількість, уже сформованих хімічних зв'язків, зменшується. Для $R_3 = 0,1$ ізольовані мономерні будувати мати найвищу хімічну активність. Для $R_3 \square > \square 1$ – збільшується реакційна здатність. ФРР збільшується при зменшенні радіуса

«звертання» НК. Наприклад, якщо $R_z = 0,01$, то $D = 1,75$; для $R_z < 1,6 - D_m < 3$ (де гранична величина ФРР дорівнює $D_m = 3$). Вище граничного значення ФРР при осадженні щільних з'єднань поверхня твердого тіла залишається грубою. Поверхня стає гладкою для $R_z = 5$. Ці результати можуть бути використані в процесі вивчення такої структури, як силікагель, синтезованого з кремнію.

Фрактальність твердотільної структури ефективно досліджують за допомогою методів розсіювання. У залежності від того, яка структура досліджується, використовують відповідне радіаційне випромінювання: нейтрони, електрони тощо. Промінь електромагнітного випромінювання впливає аналогічно до потоку нейтронів. При цьому інтенсивність розсіювання ($I(q)$) залежить від кута падіння (θ) і визначається через: а) концентрацію C_p розсіювачів; б) $P(q)$ – форм-фактор, що зв'язаний з формою розсіювачів і їх густиною на поверхні; в) $S(q)$ – структурним фактором, що залежить від просторового розташування розсіювачів, тобто, $I(q) \sim C_p S(q)$

$P(q)$, де q - хвильовий вектор $q = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \theta$. $I(q)$ визначають статичною залежністю: а) в одиницях мас-фрактала: $I(q) \sim S(q) \sim q^{-D_m}$ при цьому $P(q)$ вважають постійною величиною; б) у випадку фрактальної поверхні, тобто якщо ФРР поверхні D_n змінюється від 2 до 3, має місце співвідношення: $I(q) \sim q^{D_n-6}$. У випадку гладкої поверхні виконується закон Порода: $I(q) \sim q^{-4}$. Такий підхід, мабуть, є досить спрощеним, тому що останні співвідношення справедливі лише для великих граничних значень. Методи розсіювання дозволяють розділити поверхневу і фрактальну структури: їхня ФРР коливається від 1 до 2.

Реальна НКП кремнію складається з НК різних розмірів і різної морфології. Причому симетрія НК не завжди співпадає з симетрією ТТМ матеріалу [11-13]. Так, НКП може бути сформована з поліедричних структур. Вивчення в рамках молекулярно динамічної схеми таких НК дозволяють провести зіставлення з результатами експериментальних досліджень. На рис.2.2 (експеримент – праворуч; модель – ліворуч) та рис.

2.3 наведені різні області зміни хвильового вектора (q), ідентифіковані через $I(q)$). Для великих значень q (тобто, для $q > d^{-1}$) добре «працює» закон Порода тоді, коли поверхня є чисто гладкою. Якщо $D_n > 2$, тоді справедливої стає залежність $I(q) \sim q^{D_n-6}$. Для значень хвильового вектора в межах $\xi^{-1} < q < d^{-1}$, інтенсивність визначається як $I(q) \sim S(q) \sim q^{-D_m}$. Для $\xi^{-1} \gg q$, функція $I(q)$ виходить на режим насичення. Проте, дуже часто криві розсіювання для НК мають максимум інтенсивності саме в цій області значень хвильового вектора.



Рисунок 2.2 - Схема утворення НКП (за результатами експериментів).

Ілюстрація ліворуч відповідає переходові від малих НК до фрактальної структури. Праворуч - криві розсіювання для НК. Позначення характеристик: M – молекулярна маса НК, R – розмір НК, D – ФРР, r_a – радіус НК, S - площа поверхні НК, D_s – ступінь шорсткості НК, b - довжина хімічного зв'язку

І все ж таки, створення єдиного підходу для інтерпретації експериментальних даних щодо морфології НКП є відкритим. Хоча у випадку дуже «розкритих» НК агрегатів у вигляді НКП така процедура

реалізована для тих значень відстані між НК, що відповідають порядку радіуса їхнього існування.

Підкреслимо, що аналіз експериментальних кривих розсіювання потребує обережності при визначенні ФРР НС. У цьому випадку оптимальним, на наш погляд, є використання комбінованого оцінювання ФРР як за допомогою молекулярно-динамічного моделювання, так і даних від ЯМР, SAXS - експериментів по вивченню структури НКП у формі НК.

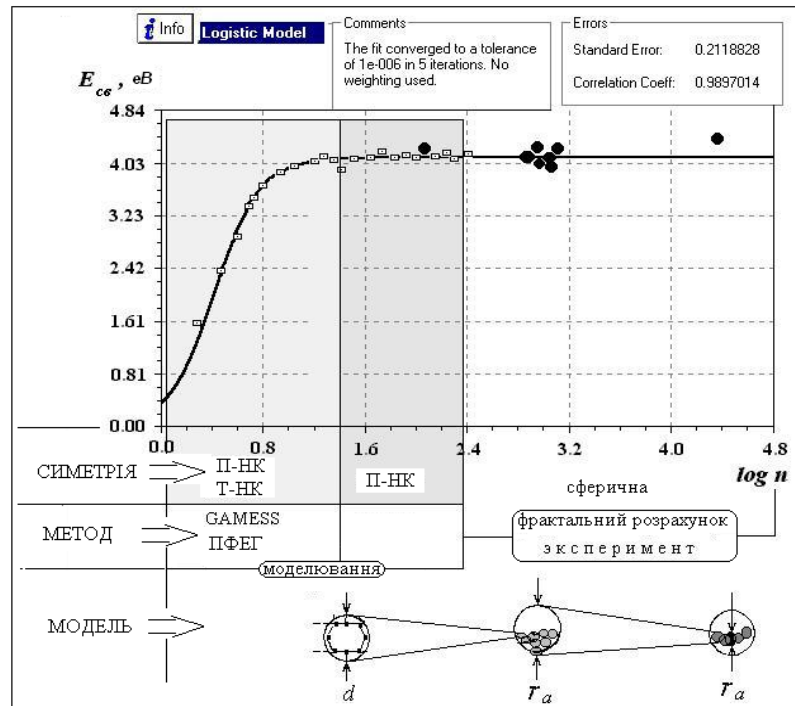


Рисунок 2.3 - Схема модельного дослідження формування НКП (за результатами модельних оцінок). Позначення характеристик: d – «діаметр» НК поліедричної форми (П-АКС), n – кількість атомів у НК, r_a – радіус НС,

$E_{зв}$ – енергія зв'язку НК

3 АНАЛІЗ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПОЛІВ СТВОРЮВАНИХ ІСНУЮЧИМИ РАДІОЛОКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

3.1 Аналіз побудови мереж метеорологічних радіолокаційних станцій

Обмеження й недоліки радіолокаційних метеорологічних спостережень знижують їх ефективність при оперативній роботі й можуть привести до неправильної інтерпретації метеорологічної обстановки. Крім того, для синоптика інформація однієї метеорологічної радіолокаційної станції (МРЛС) дозволяє аналізувати хід атмосферних процесів тільки в мезомасштабі. Це свідомо знижує задалегідність і точність прогнозу небезпечних явищ, пов'язаних із проходженням атмосферних фронтів та циклонів.

Компенсувати нестачу інформації однієї МРЛС і розширити можливості використання радіолокаційної інформації в синоптичному масштабі дозволяє мережа МРЛС. Мережі МРЛС у всіх країнах створювалися в районах найбільшої повторюваності небезпечних явищ. Це можна показати на прикладі США (рис. 3.1 і рис. 3.2).

Найбільшої щільності мережа WSR-57 і WSR-74S Національної метеослужби США досягала в тих регіонах, де найбільш велике число днів із грозою (рис. 3.1).

При розміщенні МРЛС на мережі й обґрунтуванні економічних аспектів необхідно вирішувати питання про розміри зон перекриття. У них спостереження за небезпечним явищем ведуться з декількох точок огляду. Це дозволяє при аналізі характеристик явища виключити або суттєво зменшити вплив обмежень, пов'язаних з ослабленням радіохвиль в опадах і віддаленням небезпечного явища від МРЛС. Наприклад, розміщення 128 МРЛС на території США забезпечило перекриття зони огляду однієї (центральної)

МРЛС (200 морських миль) з зонами огляду дев'яти сусідніх МРЛС [30].

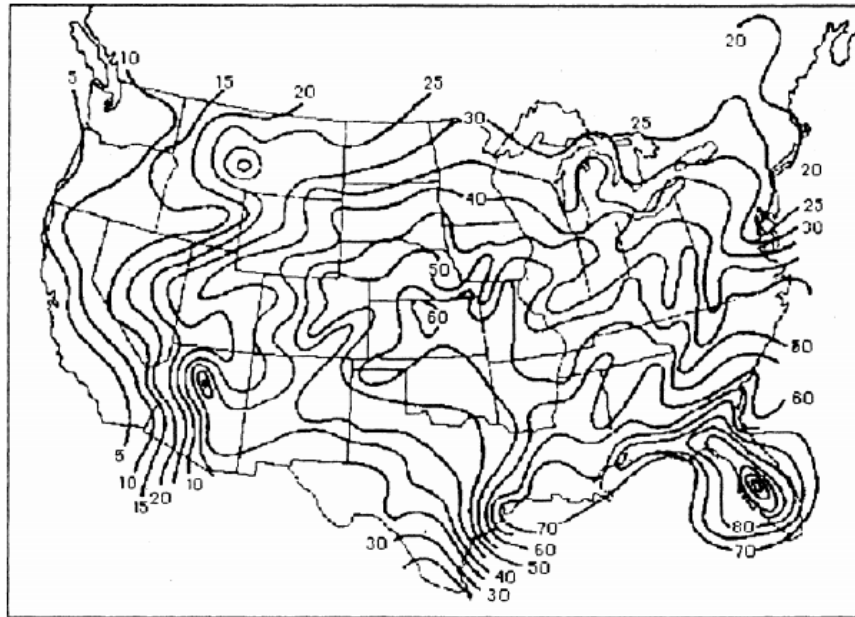


Рисунок 3.1 – Повторюваність числа днів з грозою по території США

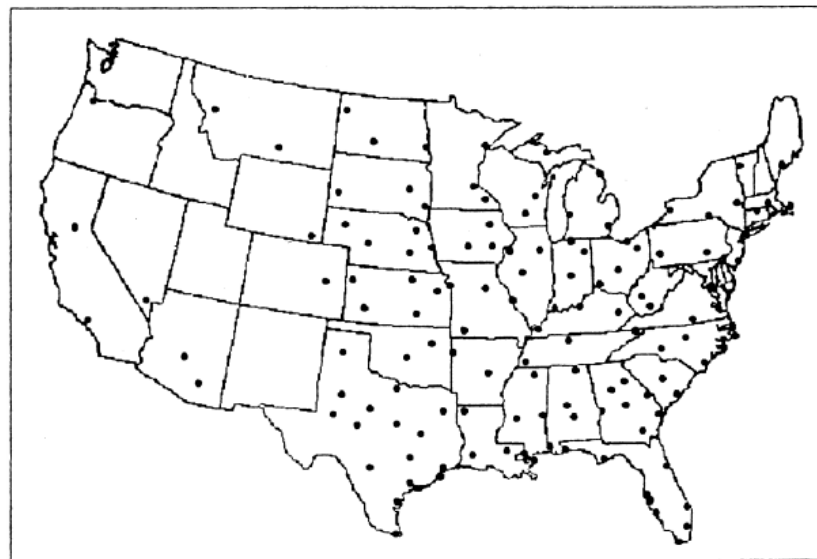


Рисунок 3.2 – Розподіл МРЛС Національної метеослужби по території США до створення мережі NEXRAD

За результатами спостережень на мережі МРЛС складалася стикована (композитна) карта для території США в полярній стереографічній проекції. При синоптичному аналізі вона сполучалася із супутниковими зображеннями

хмарності й даними інших видів метеоспостережень.

Щільність мережі МРЛС, забезпечуючи суцільне перекриття території, суттєво залежить від характеру розв'язуваних завдань. Найменша щільність мережі МРЛС потрібна для надійного виявлення літніх Сб і пов'язаних з ними явищ, найбільша – для виявлення мілкокрапельної шарувато подібної хмарності, що не дає опадів.

При обґрунтуванні концепції розміщення МРЛС на території СРСР урахувалося, що найнебезпечніші конвективні явища виникають улітку, тому оптимальна відстань між сусідніми МРЛС на мережі було обрано рівним 300 км. Це значення дорівнює максимальному радіусу виявлення або подвоєному радіусу 100%-го виявлення небезпечних явищ на МРЛ-1 і МРЛ-2 [31]. Відстань 300 км з урахуванням рельєфу місцевості при розміщенні МРЛС могло змінюватися в межах $\pm 20\%$.

З урахуванням метеорологічної ефективності МРЛС, необхідності одержання в першу чергу радіолокаційної інформації про небезпечні явища погоди й, нарешті, економічної доцільності Держкомгідрометом СРСР були прийняті наступні принципи розміщення МРЛС на оперативній мережі штормового оповіщення й метеорологічного забезпечення авіації [32]:

а) у якості первинної (основної) ланки системи радіолокаційного штормового оповіщення була прийнята зональна гідрометеорологічна обсерваторія (ЗГМО). Тому в кожній ЗГМО, де б вона територіально не перебувала, повинна була встановлюватися МРЛС;

б) суцільне перекриття основних промислових і сільськогосподарських районів і авіатрас із інтенсивною грозовою діяльністю;

в) дискретне перекриття іншої території СРСР (установка МРЛС в аеропортах першого класу, спеціально призначених для оперативного обслуговування аеропорту; установка МРЛС у найбільш великих містах для забезпечення міста штормовою інформацією).

Мережа МРЛС Держкомгідромета СРСР працювала за єдиною методикою [30, 33, 34]. Спостереження проводилися в синоптичні й

додаткові строки (при виникненні небезпечних явищ) і з таким урахуванням, щоб синоптики змогли одержувати й використовувати радіолокаційну інформацію при складанні чергового прогнозу й підготовці штормового оповіщення.

Для передачі інформації МРЛС у прогностичні центри по телефонних і телеграфних каналах зв'язку використовувався код RADOB [35]. Стикovaná карта мережі МРЛС складалася й складається на ЕОМ у масштабі, який відповідає масштабу синоптичних карт, по осередках 60км×60 км [36, 37]. На рис. 3.3 наведений фрагмент зразка стикованої карти даних МРЛС по європейській частині території колишнього СРСР [38].

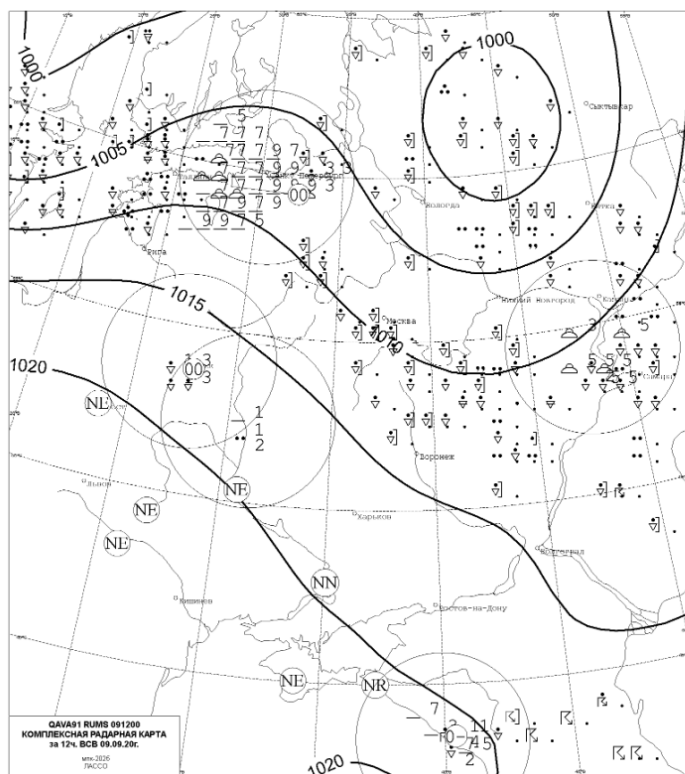


Рисунок 3.3 – Зразок стикованої карти даних МРЛС по європейській частині території колишнього СРСР

Інформація в зонах перекриття дублюється декількома МРЛС, при цьому вона може бути не завжди однозначною. Вибір найбільш достовірної

інформації в зоні перекриття здійснюється за наступним правилом: просторовому осередку представлення даних (60км×60км) приписується найнебезпечніше метеоявище (визначене на МРЛС за фізико-статистичними критеріями), якщо сусідні МРЛС дають різні типи метеоявищ для обраного осередка, або явище з могутнішими характеристиками, якщо сусідні МРЛС дають один тип метеоявищ [39]. Можливий і інший варіант збору даних МРЛС: увесь регіон розділяється на непересічні зони відповідальності, закріплені за кожною МРЛС. У цьому випадку для стикованої карти повинна враховуватися й аналізуватися тільки інформація, що належить зоні відповідальності конкретної МРЛС. Дані за межами зони відповідальності не використовуються. Цей варіант через відсутність зон перекриття й дублювання інформації знижує вірогідність і надійність одержання інформації у випадку виходу з ладу однієї із МРЛС. Із цієї причини він і не використовувався.

Періодичність відновлення стикованої карти мережі неавтоматизованих МРЛС один раз на три години влаштувала не всіх споживачів. Роботи з автоматизації процесів спостереження на МРЛС, створенню регіональних мереж автоматизованих МРЛС і складанню стикованих карт по регіону спочатку 1 раз у годину, потім кожні 30 хвилин і, нарешті, кожні 15 хвилин зайняли в цілому три десятиліття. У процесі виконання цих робіт були розроблені й перевірені алгоритми розпізнавання небезпечних явищ, способи передачі й стикування інформації, оцінені в оперативному режимі вірогідність і точність автоматизованої радіолокаційної метеорологічної інформації.

3.2 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Великобританії та Ірландії

Основне завдання інтегрованої мережі оперативних МРЛС Великобританії – робити кількісні вимірювання опадів на поверхні Землі для

поточного прогнозування повеней і короткострокового прогнозу погоди [40-42].

Мережа складається з 12 МРЛС фірми Siemens-Plessey (Plessey 45-C), випущених у різні роки. МРЛС Plessey 45-C забезпечують цілодобову роботу під час відсутності обслуговуючого персоналу й сполучені з телеметричними дощомірами в радіусі огляду.

Розміщення МРЛС на мережі (рис. 3.4) [43] дозволяє створити єдине радіолокаційне поле над територією країни на рівні 1,5 км над поверхнею Землі. Дані двох радіолокаторів Республіки Ірландії й одного радіолокатора в графстві Джерсі доповнюють цю мережу.

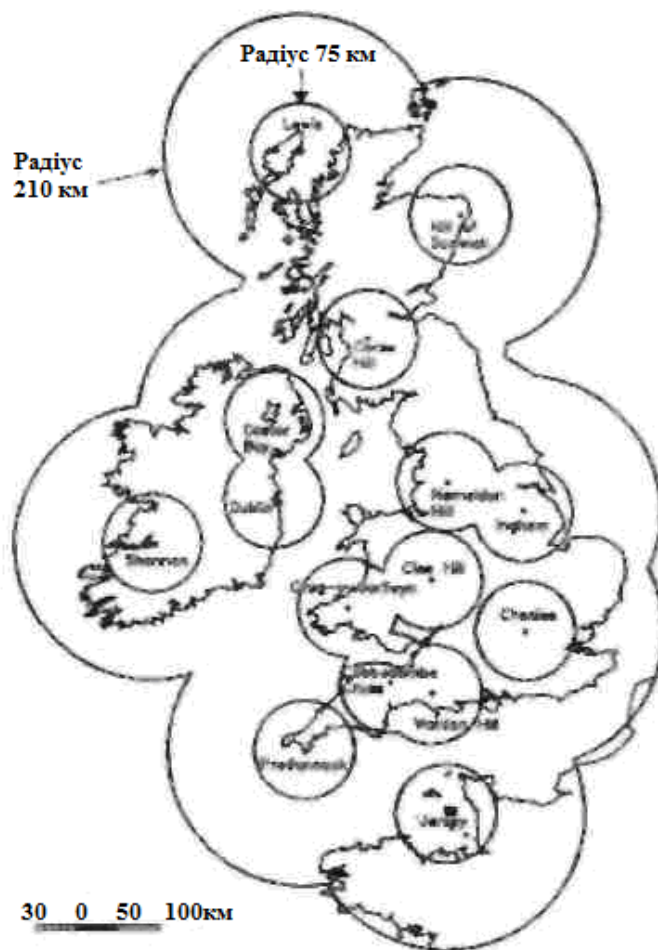


Рисунок 3.4 – Мережа метеорологічних радіолокаторів Великобританії та Ірландії

Мережа створювалася протягом декількох років починаючи з 1983 року при участі на паях у фінансуванні установок зацікавлених відомств і об'єднанні їх зусиль при проведенні робіт. Такий підхід характерний майже для всіх країн.

У Великобританії в створенні мережі МРЛС взяли участь [44]: дев'ять з десяти Управлінь водними ресурсами в Англії й Уельсі, Рада графства Девон, дирекція Військово-морської океанографії й метеорології, Міністерство сільського господарства, рибного промислу й продовольства та Департаменти навколишнього середовища і сільського господарства Північної Ірландії.

МРЛС на оперативній мережі працюють цілодобово циклами по 5 хвилин. Дані виходять при коловому огляді на чотирьох кутах місця ($0,5^\circ$; $1,5^\circ$; $2,5^\circ$; $4,0^\circ$), а потім обробляються для одержання кількісних даних про опади у квадратах сітки $2 \text{ км} \times 2 \text{ км}$ у радіусі 75 км і $5 \text{ км} \times 5 \text{ км}$ у радіусі 210 км у декартових координатах. Крім видачі стандартних даних, комп'ютер МРЛС розраховує сумарні опади для 200 водозборів.

У Великобританії існують кліматологічна й синоптична мережі дощомірів. На першій середня відстань між дощомірами становить близько 8 км , на другій – 40 км . Радіолокаційні дані калібрують в реальному часі по невеликому числу спеціальних перевірочних дощомірів, установлених у районах, де можна очікувати найвищої точності вимірювання опадів на МРЛС. Підгінні поля добових сум опадів за даними МРЛС складаються за даними дощомірів синоптичної мережі.

Деяким місцевим споживачам потрібне додаткове сканування за кутом місця в обраних азимутах. Згідно з оперативними вимогами, одержання інформації на 12 МРЛС не повинне бути нижче 93% у будь-який місяць (еквівалентно втраті даних майже за два повні дні) [43].

Стандартні дані й дані для водозборів з кожної МРЛС передаються місцевим споживачам – Управлінням водними ресурсами й прогностичним центрам; через кожні 15 хвилин стандартні дані передаються на центральний

комп'ютер мережі МРЛС Великобританії Radarnet (рис. 3.5 [41]).

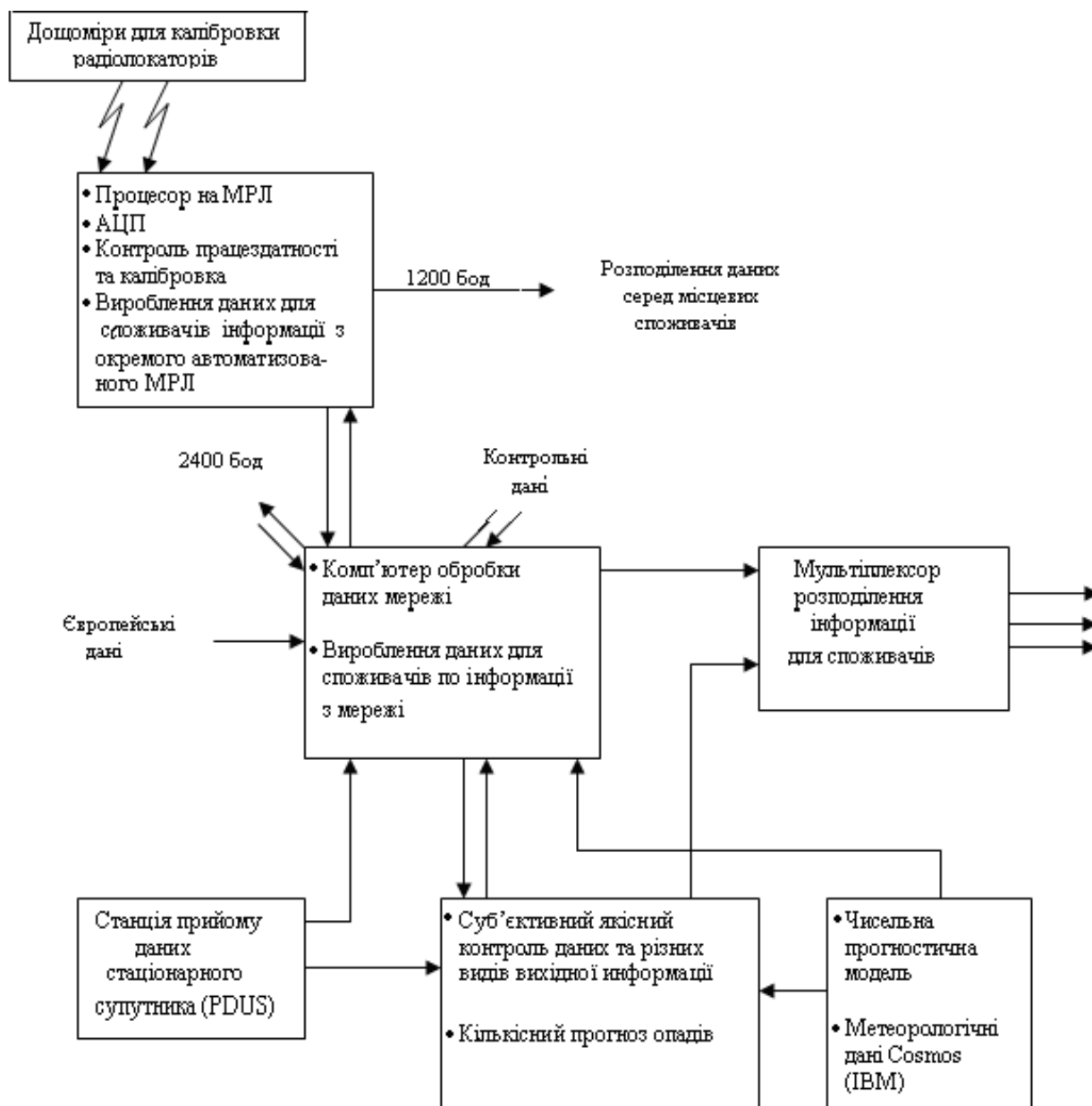


Рисунок 3.5 – Система обробки та розподілу інформації, заснованої на даних мережі автоматизованих МРЛС

Спеціальне програмне забезпечення на комп'ютерах МРЛС працює в операційній системі реального часу RSXII-M і вирішує наступні завдання:

- керування антеною;
- контроль над роботою апаратури й виявлення помилок;

- аналого-цифрове перетворення, введення й усереднення радіолокаційних сигналів;
- видалення місників (за картою місників);
- корекція на затінення, дальність і ослаблення;
- переведення відбиваності Z в інтенсивність опадів I ;
- виявлення яскравої смуги;
- перетворення полярних координат у декартові;
- інфілінг (infilling) (введення даних, отриманих на більших кутах місця, у картину радіолуни при мінімальному куті місця);
- опитування телеметричних дощомірів;
- узгодження радіолокаційних і дощомірних даних;
- інтеграція водозборів;
- архівація даних;
- передача даних місцевим споживачам і на центральний комп'ютер мережі МРЛС (Radarnet).

Функціональна схема взаємодії автоматизованої радіолокаційної, супутникової наземної й гідрологічної інформації в проекті COST-72 представлена на рис. 3.6 [33, 34].

3.3 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі NORDRAD Скандинавських країн

A Nordic Weather Radar Network (NORDRAD) – мережа доплерівських МРЛС Скандинавських країн (Норвегія, Швеція, Фінляндія) – працює з 1991 року й до теперішнього часу складається з 19 МРЛС (11 у Швеції, 7 у Фінляндії й 1 у Норвегії) (див. рис. 3.7). МРЛС для Швеції й Норвегії поставлені фірмою Ericsson, а шість МРЛС для Фінляндії – фірмою Gematronic, GmbH. Усі вони працюють у С діапазоні. Пакети програм для МРЛС підготовлені фірмами EWIS (Ericsson Weather Information System) і

IRIS (Interactive Weather Information System (від Sigmet Inc., USA)). Вони забезпечують одержання інформації від 5 хвилин до 10 хвилин на площі 240 км × 240 км по пікселях 2 км × 2 км по 12 шарах на ІКО ПВ. Цей обсяг даних оцінюється в 170 Кбайт при середньому коефіцієнті ущільнення не менш 5; обсяг даних у доплерівському режимі становить 340 Кбайт [45-54].

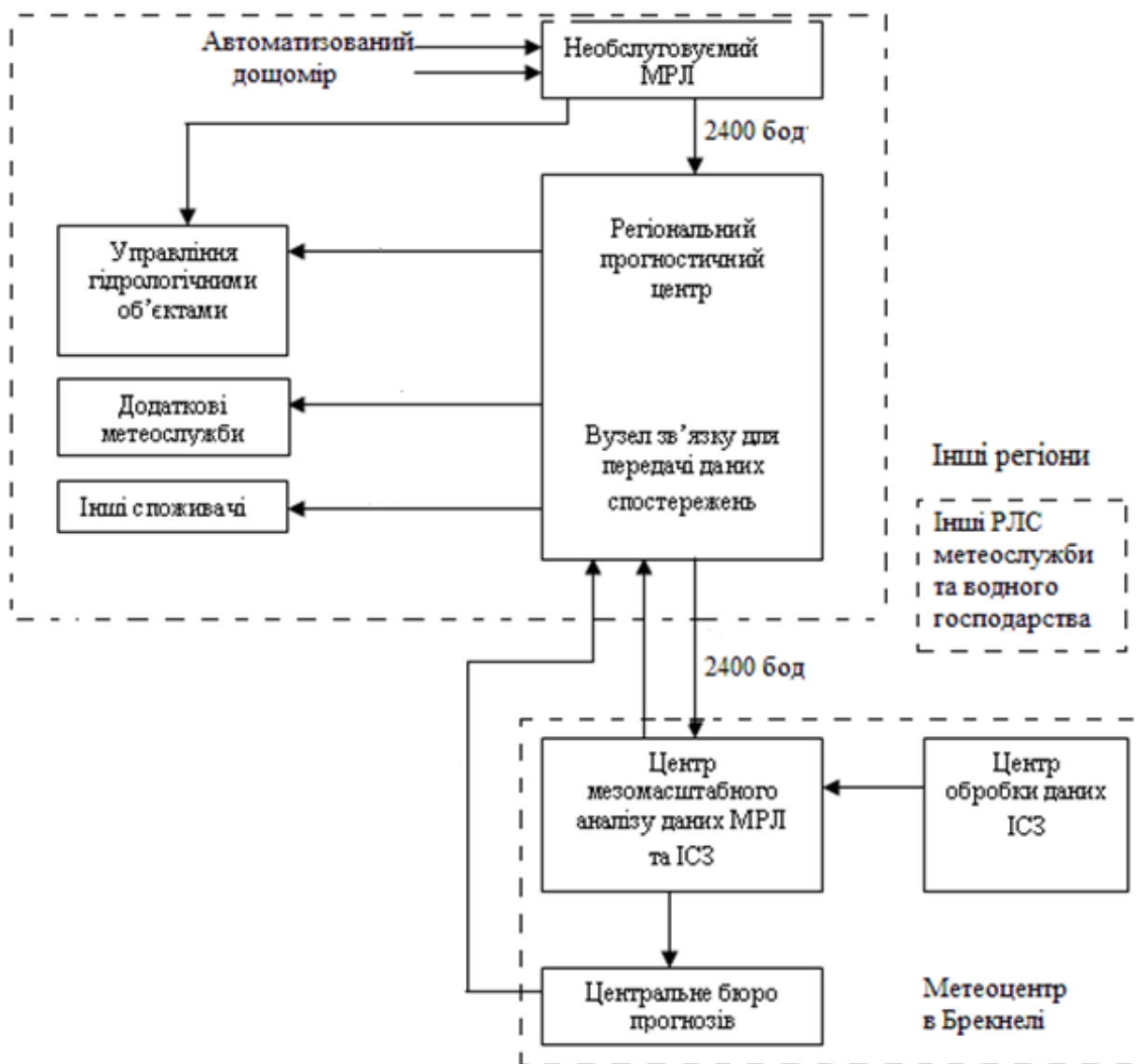


Рисунок 3.6 – Функціональна схема взаємодії автоматизованої радіолокаційної, супутникової наземної й гідрологічної інформації в проєкті COST-72



Рисунок 3.7 – Мережа метеорологічних радіолокаторів NORDRAD

NORDRAD – автономна, дистанційно керована мережа МРЛС, на якій відбувається безкоштовний обмін між національними метеослужбами трьох країн продуктами як окремої МРЛС, так і їхніх різних комбінацій. На комерційній основі продукти NORDRAD поставляються численним споживачам. Завдання програмного забезпечення NORDRAD покладена на приватну компанію.

На мережі NORDRAD існують три головні вузли збору даних мережі: у Норчепінзі, Хельсінкі й Осло, які зв'язані між собою високошвидкісними лініями зв'язку (рис. 3.8) [53].

Головні вузли мережі NORDRAD служать центрами національної мережі, що має форму зірки. Усі споживачі й МРЛС з'єднані з головним вузлом країни або прямо, або через місцевий вузол. Місцевий вузол може

поєднувати вузли одержання даних і мати споживачів, підключених до вузла розподілу даних.

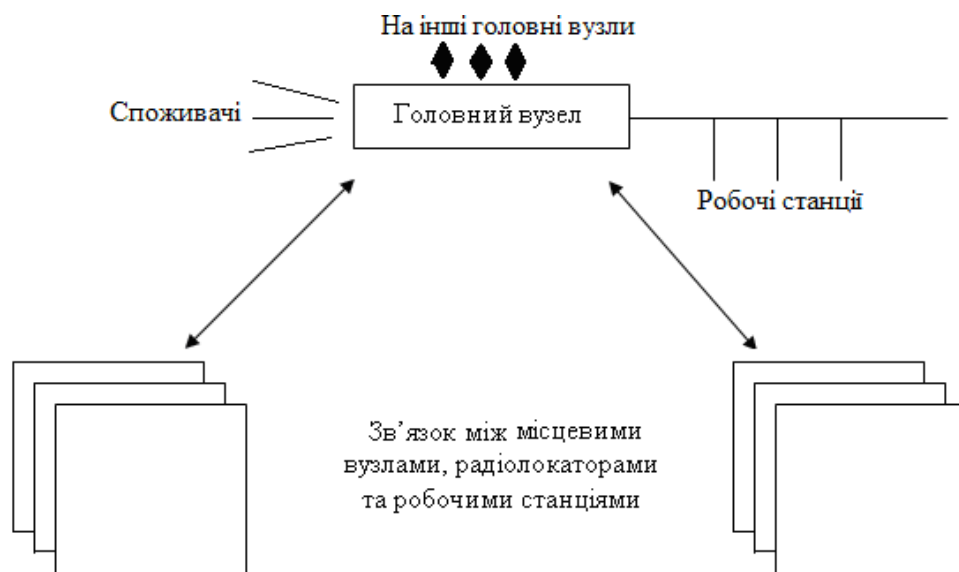


Рисунок 3.8 – Головний вузол і регіональні робочі станції мережі NORDRAD

Мережа NORDRAD виконує функції від комунікаційних до споживчих. Логічна структура мережі NORDRAD представлена в табл. 3.1, а функціональна схема – на рис. 3.9 [53].

Деякі з функцій виконуються комп'ютером МРЛС, і результат цієї обробки завжди є в комп'ютері вузла; інші функції виконуються тільки за запитом споживача мережі.

Загальними продуктами мережі NORDRAD є композитні зображення даних більш ніж з однієї МРЛС. Стандартні композитні зображення складаються:

- для району з максимальним розміром 1500км×1500 км із максимальним відрізненням 2км×2км;
- для всіх Скандинавських країн з максимальним відрізненням 2км×2км;
- для північної частини Європи з максимальним відрізненням 8км×8км.

Зображення даються в полярній стереографічній проекції з можливістю

підключати для аналізу інформацію від інших джерел (дощомірів, супутників, наземної мережі і т.д.).

Таблиця 3.1 – Логічна структура мережі NORDRAD

Джерела даних	Спосіб зберігання	Види обробки	Відображення інформації в споживачів
Допплерівські радіолокатори Вихідні продукти й зображення Інші	Архів	Стикування інформації МРЛС Витяг і введення необхідних синоптикові даних Переведення з формату у формат	Дисплеї Інтерфейс
<p><i>Видача інформації мережі МРЛС:</i> замовлення, адміністративне керування й контроль, кодування й стиск <i>Сеанс:</i> стандартизація діалогу <i>Передача інформації:</i> захист переданих даних, протокол <i>Мережа:</i> вибір маршруту доставки переданих даних до місця призначення <i>Зв'язок:</i> захист переданих байтів <i>Фізичний зв'язок:</i> лінії PIN</p>			

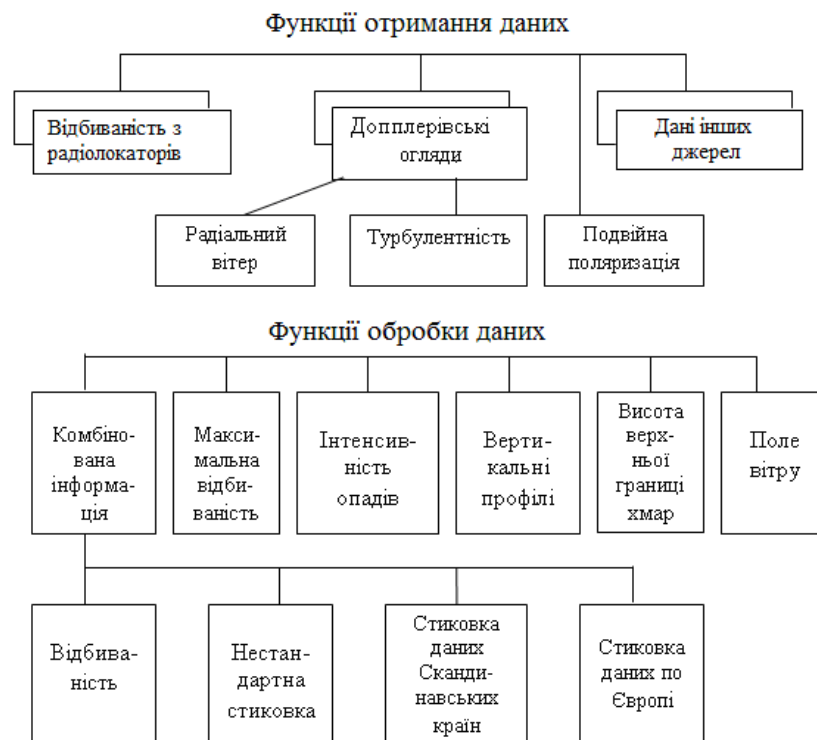


Рисунок 3.9 – Функціональна схема обробки та передачі даних мережі NORDRAD

Визначений мінімальний набір результатів спостережень МРЛС, які завжди є на МРЛС і на мережному вузлі:

- карта відбиваності;
- карта доплерівських швидкостей;
- карти за результатами вимірювань на МРЛС із подвійною поляризацією;
- дані інших джерел.

Споживач мережі NORDRAD може переводити ці зображення або дані з інших вузлів на свій власний комп'ютер. На ньому він може обробляти їх за своїм розсудом: становити свої композиції або замовити додаткові розрахунки. У Фінляндії приватним споживачам пропонується ліцензійна комп'ютерна програма. Радіолокаційні дані (комплексні ІКО ПВ і по суб'єктивній колірній шкалі дані про інтенсивність опадів у трьох градаціях: слабкі, помірні й сильні) завантажуються з Bulletin board system для мікрокомп'ютера та передаються по телефону [55].

3.4 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Іспанії

Мережа МРЛС Іспанії з 1989 року складається з 15 доплерівських радіолокаторів фірми Ericsson, установлених на Піренейському півострові, і одного – на Канарських островах (рис. 3.10) [56] (вісім з них у діапазоні S, сім в діапазоні C).

При організації мережі в північно-західних і центральних районах Іспанії були встановлені наступні пріоритети [56]:

- забезпечення радіолокаційною інформацією прогностичних служб для підготовки поточних і короткострокових прогнозів передчасністю від 0 годин до 2 години (поточний прогноз небезпечних явищ для авіації), від 0 годин до 6 годин (прогноз опадів і небезпечних явищ для населення), від 0 годин до 12 годин (прогноз при інтерактивному

сполученні радіолокаційної та супутникової інформації з подальшою перспективою введення сполучених даних у мезомасштабні чисельні моделі),

- гідрологія – кліматологія опадів для прогнозу повеней, оцінки запасів вологи ґрунту, досліджень по фізиці хмар і оцінки можливості проведення активних впливів.

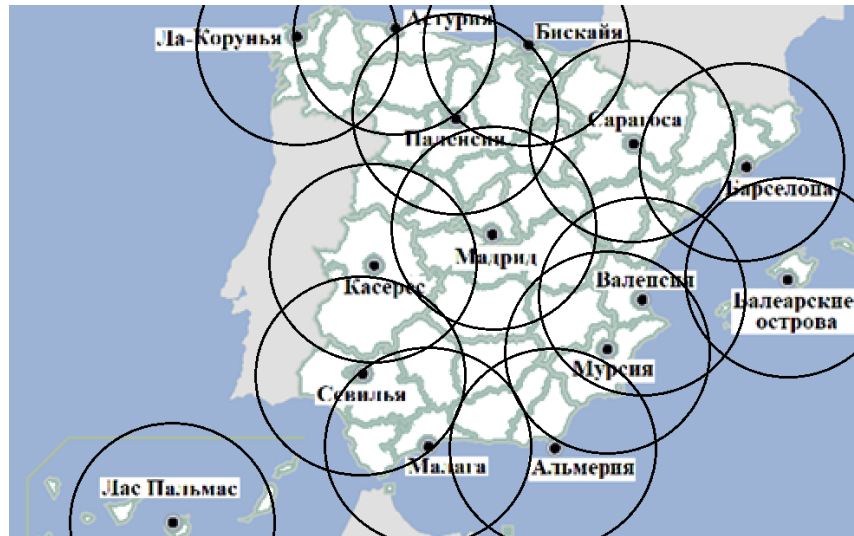


Рисунок 3.10 – Мережа доплерівських МРЛС в Іспанії

Радіолокаційні дані повинні накопичуватися й систематизуватися для трьох регіонів Іспанії: прибережного середземноморського, рівнин центральної частини Іспанії з виділенням зон опадів помірної інтенсивності або снігу взимку й північно-західного прибережного регіону для оцінки ймовірності випадання й інтенсивності слабких і помірних опадів на більших площах у будь-який час року.

Прийняті три рівня накопичення та систематизації даних:

- 1) Перший рівень: доплерівські радіолокатори, що обслуговують споживачів у радіусі огляду.
- 2) Другий рівень: регіональні контрольні центри, де поєднуються дані двох-трьох радіолокаторів (наприклад, Малага-Севілья, Сарагоса-

Барселона).

- 3) Третій рівень: об'єднання інформації всіх радіолокаторів у Національному прогностичному центрі в Мадриді на центральному комп'ютері (SIRAM).

У Національному центрі проводиться сполучення радіолокаційної й супутникової інформації. Остання виходить за допомогою SAIDAS.

Усі позиції розміщення МРЛС пов'язані з регіональними й національними центрами телефонними або оптоволоконними лініями з мінімальною швидкістю передачі 4800 байт/с.

Зона ефективного радіуса встановлена для кожної МРЛС рівної 200 км; спостереження проводяться в радіусі 240 км зі швидкістю обертання антени 6 об/хв. До базових даних ставляться відбиваність, доплерівська швидкість і спектр доплерівських швидкостей. Відновлення інформації проводиться кожні 10 хв.

За 10 хв у режимі «відбиваність» проводиться коловий огляд на 20 кутах місця, що дає 12 зображень SARPI і одне ІКО (піксель 2км×2 км), з яких виходять максимальна відбиваність у кожному стовпі, висота максимальної відбиваності, висота радіовідлуння, вертикальний розріз за будь-яким напрямком.

У доплерівському режимі під одним кутом місця з відрізненням 1км×1 км виходять три зображення ІКО. Доплерівські продукти виходять за допомогою швидкого перетворення Фур'є для 32 імпульсів при частотах проходження 900Гц і 1200 Гц. В останні роки в доплерівському режимі додалися колові огляди ще під вісьмома кутами місця.

Зображення на дисплей виводяться в 16 кольорах, які вибираються самим споживачем; у якості фону можуть використовуватися адміністративна карта Іспанії, водозбори рік, авіатраси.

До спеціальних продуктів відносять: шар накопичених опадів; прогноз переміщення та початку опадів для 16 пунктів, обраних зі списку; карта вертикальних профілів вітру на висотах SARPI, обраних споживачем. Їх

одержують за допомогою програм радіолокаційної метеорологічної обсерваторії Макгильського університету (Канада) [57, 58].

Місники видаляються за допомогою маски в режимі «відбиваність» і фільтра нульової швидкості в доплерівському режимі.

Шар опадів (дощу або снігу) у міліметрах у кожному пікселі $2\text{км}\times 2\text{км}$ одержують за наступні періоди: від 0 годин до 6 годин, від 6 годин до 12 годин, від 12 годин до 18 годин, від 18 годин до 24 годин, за добу з 7 годин до 7 годин, за добу з 0 годин до 24 годин і за будь-який період, обраний споживачем. Розрахунки шару опадів проводиться для 200 пікселів на вибір споживача.

Регіональні контрольні центри управляють радіолокаторами, що входять у регіон, і відповідають за їхній ремонт. Крім того, у них стикуються зображення $240\text{км}\times 240\text{км}$, з яких створюється зведена карта на загальній площі $960\text{км}\times 960\text{км}$ по квадратах $4\text{км}\times 4\text{км}$. Зведена карта може передаватися в сусідні регіони і Національний центр.

Досвід практичної роботи мережі дозволив встановити обмеження [59], що виникають при використанні оперативної інформації:

- великі міста навколо радіолокатора (у радіусі до 60 км) створюють «мертві» зони. Для точного моніторингу опадів у цій ситуації потрібно залучати доплерівську інформацію і наземні дані про опади,
- доплерівський радіальний вітер не дуже придатний для швидкої діагностики, але досить корисний для досвідченого синоптика,
- зимові опади на 10-сантиметрової МРЛС відображаються неточно, а під час гроз з градами відзначається помітне ослаблення на 5-сантиметровій МРЛС,
- виникають утруднення при адекватному виборі порогів відображення, визначенні максимальної висоти радіовідлуння й масок місників, особливо для ДМРЛС у діапазоні S,
- на великому віддаленні від радіолокатора помітна втрата точності, її

доводиться компенсувати, використовуючи дані сусідніх ДМРЛС.

3.5 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Західної Європи

Різні кліматичні умови в країнах Європи (табл. 3.2) [60] диктують і різні вимоги до радіолокаційної метеорологічної інформації. В одних країнах головна погроза – повені, в інших збиток заподіюють грозоградові процеси. Під час виконання проектів COST-72 і COST-73 мережі автоматизованих МРЛС сформувалися майже в кожній країні. Об'єднання їх інформації [61] стало актуальним для більшості країн.

Незважаючи на те, що вимоги до радіолокаційних метеоданих у країнах Європи відрізняються через відмінність не тільки кліматичних умов, але й соціально-економічних структур, між країнами досягнута згода по вимогах, можливостях, співвідношенні витрат і вигід, а також каналам поширення інформації. Зазначені угоди вилилися в зразкові специфікації для стандартних радіолокаційних систем Європи. Основні рекомендації COST-73 сформульовані в [62].

1. Визнана цінність і корисність побудови стикованих (комполітних) зображень з використанням міжнародних радіолокаційних даних, сполучених з супутниковими даними. Багатонаціональне сполучення радіолокаційних даних і обмін цими даними повинні ґрунтуватися:

- на використанні двосторонніх і/або багатосторонніх угод, що регулюють міжнародний обмін радіолокаційними даними;
- на розробці стандартизованих процедур спостережень і створенні банків даних;
- на розробці підходящих структур мережі;
- на використанні BUFR FM-94 і відповідних методів редукції даних у найближчому майбутньому й, можливо, іншого коду в перспективі.

2. Уже розроблена в рамках проекту програма кодування/декодування

BUFR FM-94 представлена у ВМО для широкого впровадження. Крім того, повинні бути продовжені зусилля по розробці ще більш ефективної схеми стиску для передачі результатів радіолокаційних спостережень через ГСТ, супутниковий зв'язок або будь-яким іншим підходящим способом.

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

- регіональні субрайони із власними центрами стикування даних, які будуть відповідати за збір і обробку (включаючи стикування) метеорологічних радіолокаційних даних, що надходять від країн відповідного субрайону. Планується розширення регіону збору даних, який буде включати від п'яти до восьми центрів стикування;
- розсилання результатів стикування в усі регіональні центри у вигляді набору по можливості перекриваючих субрайонів з підходящими розмірами. Зараз передбачається, що таких субрайонів буде шість. Розсилання 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 по географічних проєкціях, крокам сітки, вибору рівнів і визначенню кінцевих продуктів.

4. Внаслідок того, що: а) основні моделі циркуляції (ОМЦ) мають погане відрізнєння і характеризують кількість опадів тільки у вигляді середніх добових і місячних значень; б) зв'язок між дощем і стоком найвищою мірою нелінійний; в) швидкість інфільтрації дуже сильно змінюється, що вкрай затрудняє параметризацію, для розробки більш ефективної схеми параметризації поверхневих гідрологічних процесів у рамках ОМЦ і забезпечення адекватності бази даних для гідрологічних досліджень у континентальному масштабі необхідно використовувати комплексну базу радіолокаційних даних.

5. Створення системи «спостереження за ріками» у міжнародному

масштабі (макрогідрологія), особливо для цілей оповіщення про небезпеку повеней, а також в інтересах повсякденної експлуатації міжнародної річкової мережі, було б корисним для споживачів, розташованих як у витоків рік, так і в їхній нижній течії.

В Європі функціонує більше 110 МРЛС (рис. 3.11) [55], причому більш 60 з них доплерівські. Число ДМРЛС постійно збільшується. Більшість МРЛС С-діапазону. Національні мережі МРЛС існують у Великобританії, Іспанії та Франції.

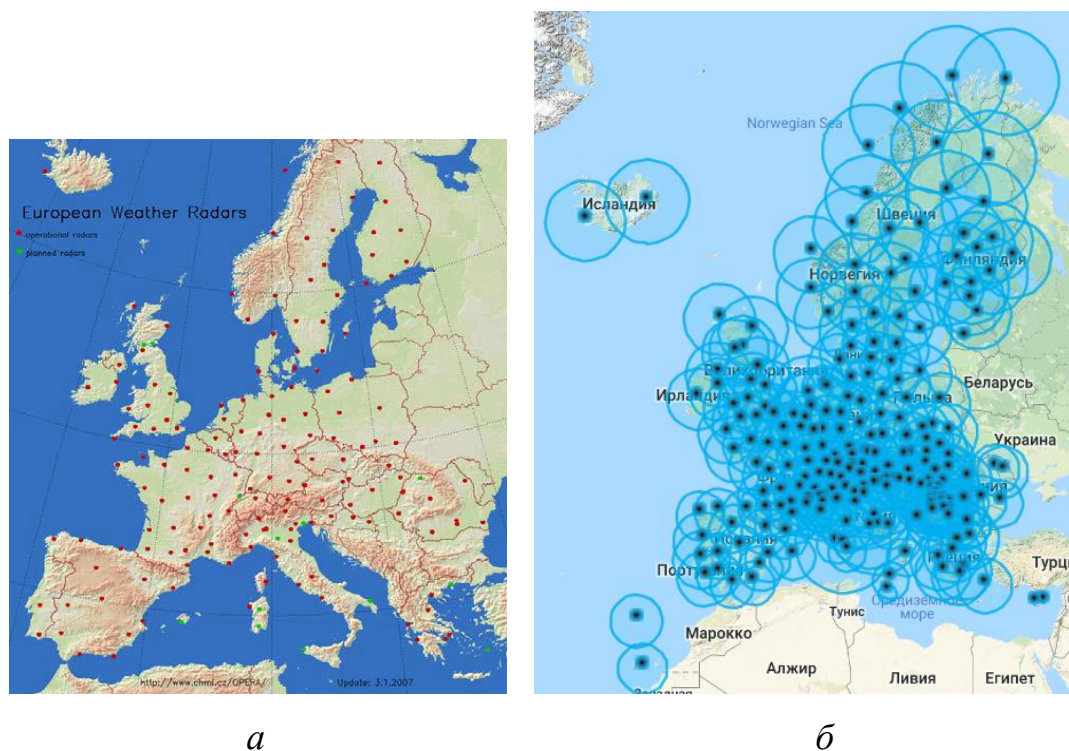


Рисунок 3.11 – Метеорологічні радіолокатори та метеорологічне радіолокаційне поле Європи

3.6 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Японії

Мережа МРЛС у Японії призначена для вимірювання характеристик опадів з метою прогнозу повеней і регулювання режиму річок при експлуатації гребель на гірських ріках [63].

Контроль режиму річок здійснюється в Японії річковими управліннями міністерства будівництва, яке має для цього мережа з 22 автоматизованих МРЛС (рис. 3.12) для передачі інформації місцевим будівельним управлінням.

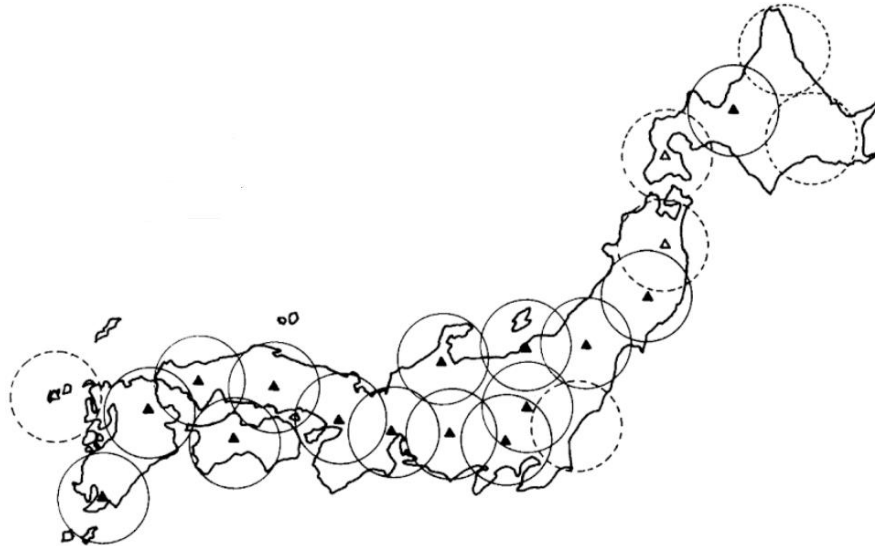


Рисунок 3.12 – Розташування радіолокаторів-дощомірів у Японії

Доведенням інформації про опади від окремих МРЛС і їх мережі до префектур і муніципалітетів займається Управління інтегрованих комунікації між ріками й басейнами FRICS.

Радіус дії радіолокаційної системи OWASAN, на базі якої створена мережа, становить 200 км, кількісні вимірювання проводяться в радіусі 120 км. Система OWASAN має наступні технічні характеристики: переносна частота 5270 МГц (5 см), ширина ДНА $1,2^\circ$, імпульсна потужність 250 кВт, швидкість обертання антени 5 об/хв, частота посилок 260 Гц, тривалість зондувального імпульсу 2 мкс. У полярній системі розмір пікселя для вимірювання ($2,81^\circ \times 3$ км) або ($1,41^\circ \times 3$ км). Усунення місників проводиться за допомогою індикатору рухомих об'єктів, або карти місників. Для одержання даних на однакових висотах радіолокатор веде спостереження на трьох кутах місця для одержання зображення ІКО ПВ. Радіолокатор у місці

установки не обслуговується, тому його робота контролюється автоматично (передбачене тестування всіх систем і виявлення несправностей).

Мережа МРЛС працює цілодобово з інтервалом 5 хвилин із комп'ютерною обробкою даних про опади, відображенням і передачею цієї інформації споживачам.

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 надходить базова інформація: середня за 5 хвилин інтенсивність опадів у полярних координатах і картина просторового розподілу опадів у радіусі огляду МРЛС.

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

У єдиному центрі міністерства будівництва складається зведена карта по Японії (4800символів×2000символів), яка передається всім зацікавленим споживачам по орендованій міністерством передавальної лінії зі швидкістю 4800 біт у секунду.

Передачу даних у префектури та муніципалітети центр FRICS здійснює по запиту терміналів цілодобово по телефонній мережі NTT по протоколу CAPTAIN PLPS.

При погрозі повені на термінал споживача передаються повідомлення й звукові сигнали. Якщо на терміналі відсутній черговий, центр FRICS передає йому повідомлення додому через автоматичний мовний генератор. 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 створений центр збору даних по регіону, який збирає інформацію про опади; до нього можливий доступ з іншого регіону.

Зображення передаються роздільно (для приймання одного), пакетами (по чотири групи) і всіх радіолокаційних зображень за 6 годин із записом для подальшого копіювання й аналізу. Щоб телефонна лінія не була зайнята без користі, вона автоматично відключається від центрів.

3.7 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі США

Мережа NEXRAD США – єдина багатофункціональна мережа, призначена для одночасного одержання інформації, що задовольняє вимогам штормового оповіщення, метеозабезпечення авіації й вимірювання опадів.

Розроблений у процесі реалізації концепції доплерівський радіолокатор WSR-88D забезпечив якісний стрибок у проведенні автоматизованих метеорологічних радіолокаційних спостережень у будь-яких погодних умовах – від чистої атмосфери до випадків проходження ураганів.

Вчасно виконані трудомісткі роботи з вибору й підготовці позицій для розміщення WSR-88D дозволили в короткий строк (з 1991 по 1997 рік) установити 138 WSR-88D в 48 штатах континентальної частини США, сім установок на Алясці, а також розмістити WSR-88D у Пуерто-Ріко й на Гавайських островах.

Розміщення мережі NEXRAD наведено на рис. 3.13. Передача інформації споживачеві 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 відновлення інформації від 5 хвилин до 15 хвилин залежно від атмосферних умов. Стратегія огляду простору антеною залежно від типу погоди не оптимізована [64].

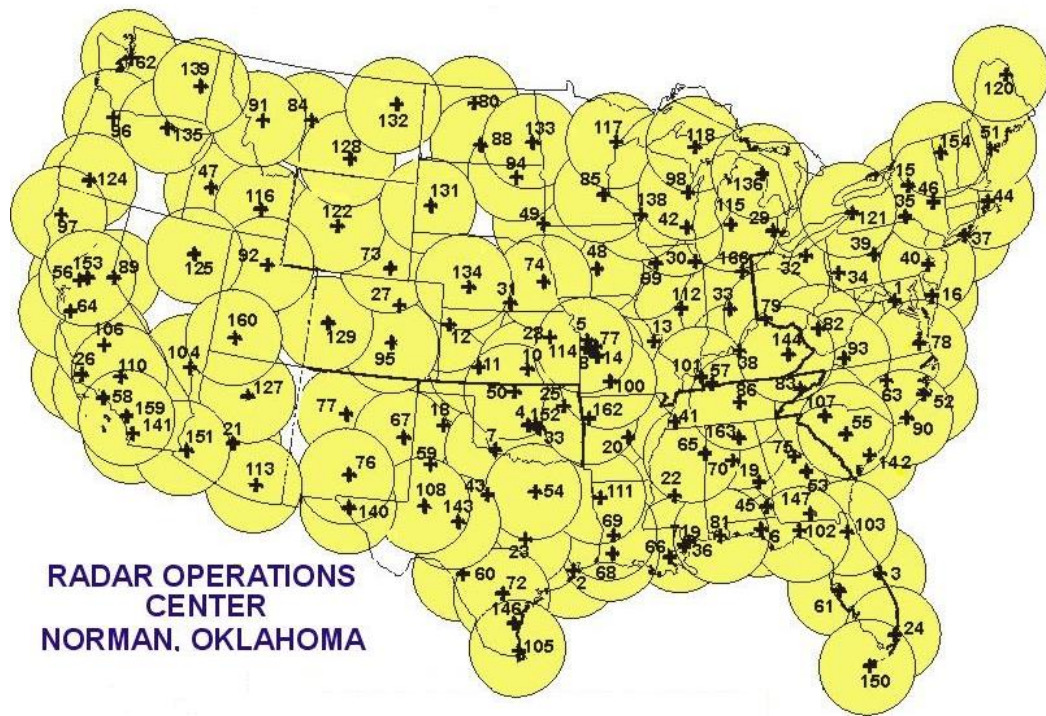


Рисунок 3.13 – Радіолокаційне поле на висоті 10 000 футів від місця установки радіолокаторів WSR-88D системи NEXRAD

У чистому повітрі застосовується повільний коловий огляд на п'ятьох кутах місця, який займає 10 хвилин.

При наявності опадів коловий огляд відбувається під кутами місця від $0,5^\circ$ до $19,5^\circ$ у двох режимах: у першому режимі потрібно 6 хвилин на дев'ятьох кутах місця, у другому – 5 хвилин на 14 кутах місця [65].

Взимку при невеликих висотах радіолуни опадів (3...4 км) синоптики віддають перевагу інформації колових 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 усім зацікавленим споживачам забезпечує складання двічі в годину стикованої карти по території США в національних центрах метеослужби у Вашингтоні, Канзас-Сіті, Майами й у Національному метеоцентрі міністерства оборони у

Вашингтоні.

У результаті оперативної роботи однією з важливих переваг інформації мережі NEXRAD визнана можливість її застосування в експертних системах поточного прогнозування синоптика й гідролога, а також для ініціації національних, регіональних і хмарних прогностичних моделей з високим відрізненням для складання чисельного метеопрогнозу передчасністю до 24 годин.

Базові дані WSR-88D – відбиваність, середня радіальна швидкість і ширина спектра радіальної швидкості – після обробки виводяться на дисплей радіолокатора й одночасно аналізуються за допомогою алгоритмів.

На WSR-88D постійно виходять вихідні продукти по 19 алгоритмах. Їх перелік постійно змінюється в міру зміни й удосконалення алгоритмів і придбання досвіду їх практичного використання синоптиками:

- 1) VIL – вертикально проінтегрована водність;
- 2) VAD – профілі вітру;
- 3) опади;
- 4) висота радіовідлуння купчасто-дощових хмар;
- 5) виявлення мезоциклонів;
- 6) розпізнавання й супровід штормів;
- 7) TVS – сигнатура смерчів (вихорів торнадо);
- 8) структура штормів (конвективних процесів з небезпечними явищами);
- 9) ширина спектру;
- 10) комплексна відбиваність шару;
- 11) контури висот радіовідлуння,
- 12) виявлення градів;
- 13) потенціал небезпечної погоди;
- 14) загальний зсув.

Інші п'ять алгоритмів використовуються епізодично.

Профіль вітру за допомогою методики VAD виходить тільки на тих WSR-88D, на яких використовується режим доплерівської швидкості. Час

відновлення інформації при цьому становить від 5хвилин до 10 хвилин. Як правило, спостереження по алгоритму VAD ведуться в районах, де відзначаються багато розсіювачів. У теплий сезон вітер вимірюється в приграничному шарі чистого повітря, у районах з опадами й часто в хмарах Сі і Аs. Синоптики використовують продукти VAD для наступних цілей:

- контролю висоти струйних потоків нижнього рівня;
- пророкування типу й інтенсивності грозових процесів по профілю вертикального зсуву вітру;
- підготовки попереджень про вітер на верхніх рівнях;
- моніторингу проходження хвиль;
- моніторингу сильного вітру на верхніх рівнях;
- уточнення границь фронтальних розділів на висотах.

У процесі створення мережі NEXRAD була організована служба поширення інформації NIDS (NEXRAD information dissemination service) [64, 66]. Для закордонних споживачів, метеорологів приватного сектору, телевізійних служб і деяких членів уряду NIDS готує у закодованому виді вісім основних продуктів NEXRAD:

- 1) базові відбиваності;
- 2) базові доплерівські швидкості;
- 3) VIL;
- 4) загальна кількість опадів (нагромадження) у штормі;
- 5) картина VAD;
- 6) профілі вітру;
- 7) відносна швидкість шторму;
- 8) таблиця атрибутів шторму.

NIDS передає їх через посередників у сфері телекомунікацій (телебачення, радіо, приватні засоби зв'язку) або через метеорологічні сервісні компанії. Із цією метою на кожному WSR-88D для споживачів виділено чотири порти. На конкурсній основі відбираються чотири компанії, первинні дистриб'ютори, які мають право продавати основні продукти й

створювати нові продукти підвищеного якості, наприклад місцеві, регіональні й національні мозаїки даних мережі NEXRAD.

Розроблена в рамках програми створення метеорологічних робочих станцій удосконалена інтерактивна система обробки метеоданих (AWIPS) здатна відображати всі дані, необхідні для проведення поточного (nowcasting) і короткострокового прогнозу [64, 66, 67].

Основне завдання AWIPS – об'єднання поточної інформації від різних джерел на одному дисплеї без витрати синоптиком часу на подолання технічних труднощів при введенні на дисплей різномірної інформації і її об'єднанні.

На дисплеї поточної погоди AWIPS можуть відображатися: карти відбиваності, опадів і радіальної швидкості з WSR-88D, супутникові зображення з більшим відрізненням, дані про блискавки, результати мезомасштабних наземних спостережень, інформація про ландшафт, гідрологічні дані, адміністративні карти й інші відомості, необхідні синоптику для роботи.

3.8 Аналіз радіолокаційного поля метеорологічної радіолокаційної мережі Російської Федерації

Колишня мережа Росгідромета, 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 лише умовно, оскільки біля 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 величину радіолокаційної відбиваності, що розраховується по ній.

З 2011 року на мережі встановлюються доплерівські поляриметричні метеорологічні станції радіолокацій ДМРЛ-С розробки ВАТ НВО "Лианозовский электромеханический завод". За своїми характеристиками вони є одними з кращих у світі МРЛС, з режимами когерентності, подвійною поляризацією і стискуванням випромінюваного імпульсу [68]. Всі вони забезпечені системою обробки і представлення даних і відразу по установці на позицію включаються в єдину систему. На початок 2014 року було виготовлено 40 комплексів, приблизно половина з них розгорнута на позиціях і поставляє інформацію. До числа вимірюваних ними параметрів сигналу входять:

- радіолокаційна відбиваність;
- середня частота спектру радіальних швидкостей гідрометеорів;
- ширина спектру радіальних швидкостей гідрометеорів;
- диференціальна відбиваність;
- диференціальна фаза;
- модуль коефіцієнта взаємної кореляції поляризаційних складових сигналу.

Такий арсенал засобів моніторингу довкілля дозволяє значно розширити перелік небезпечних явищ погоди, що виявляються, і підвищити ефективність використання МРЛС. Так, введення режиму когерентності дає можливість до традиційного списку небезпечних явищ, таких як злива, гроза, град додати:

- зони сильного вітру;
- торнадо (смерчі);
- фронти поривчастої;
- області зсуву вітру;
- зони підвищеної турбулентності;
- мікрошквали.

На основі отриманої в цьому режимі інформації розраховуються

структура поля вітру в горизонтальних шарах простору і вертикальний профіль вітру в спостережуваній області.

Головна перевага режиму подвійної поляризації полягає в можливості визначення агрегатного стану часток, з яких складаються спостережувані метеорологічні об'єкти [69]. Це означає, що град і області переохолодженої води виявляються не по непрямим методах, як це робилося в некогерентних МРЛС, а безпосередньо і, отже, з набагато більшою вірогідністю. За характерними співвідношеннями радіолокаційної і диференціальної відбиваності ідентифікуються наступні об'єкти і явища:

- сухий град, сніг, яким відповідають мале значення відбиваності Z і близьке до нуля значення диференціальної відбиваності ZDR ;
- мокрий град і сніг – великі значення Z і малі ZDR ;
- слабкий або середній дощ – середні значення обох параметрів;
- сильний дощ, злива – великі значення обох параметрів;
- скупчення птахів або комах – дуже великі значення ZDR ;
- відбиття від місцевих предметів (містники) – негативні значення ZDR .

При оцінці диференціальної фази сигналу (різниця фаз між його горизонтальною і вертикальною складовими), що приймається, дістаємо можливість удвічі збільшити точність вимірювання інтенсивності опадів. Отримані при цьому оцінки виявляються незалежними від потенціалу МРЛС і часткового блокування променю місцевими предметами. Все це робить диференціальну фазу ідеальним інструментом для калібрування МРЛС.

Модуль коефіцієнта взаємної кореляції поляризаційних складових сигналу є ідентифікатором того, що спостерігається саме метеорологічна мету. При цьому його величина дорівнює від 0,98 до 1. Інакше вона падає нижче за рівень 0,5. Отже, відкриваються можливості визначити, що спостережуваний об'єкт – це, наприклад, запорошена буря або скупчення птахів, на що додатково вказують значення диференціальної відбиваності. Є надія, що вимірювання цього параметра полегшить виявлення такого важливого об'єкту як смерч, оскільки підняті в повітря пил і сторонні

предмети приведуть до деякого зменшення його значення в спостережуваній області простору.

Все вище сказане показує, які можливості відкриваються в плані своєчасного розпізнавання і прогнозування розвитку небезпечних явищ погоди, тобто в рішенні головної задачі, що стоїть перед мережею метеорологічних радіолокаційних станцій.

Додатково до карт, що формуються колишніми системами автоматизації, нова система видає карти розподілу усіх шести вимірюваних параметрів в горизонтальних шарах простору або по поверхні конічного розрізу, а також карти профілю вітру, зсуву вітру і турбулентності.

Головний напрям роботи по розвитку нової мережі на сьогодні – розробка методики застосування даних, що надходять від неї. Інакше, встановивши на території країни 140 першокласних радіолокаторів, відповідних найвищим світовим стандартам, не доб'ємося якісного стрибка в отримуваній інформації.

Але на цьому проблеми сучасної мережі не закінчуються. Якщо подивитися на карту розташування ДМРЛ-С (рис. 3.14), побачимо, що європейська частина Росії практично уся закрыта зонами відповідальності радіолокаторів.

У східній частині вони розташовані значно рідше, але і завдання повного закриття цієї території не ставилося. Проте усе сказане відноситься до режиму роботи «Відбиваність», при якому радіолокатор працює в некогерентному режимі, а радіус дії складає 250 км.

Якщо ж подивитися на карту з нанесенням робочих зон радарів в режимі «Швидкість» (рис. 3.15), при якому оцінюються спектральні параметри сигналу, а дальність дії зменшується до 125 км, картина виходить менш оптимістичною.

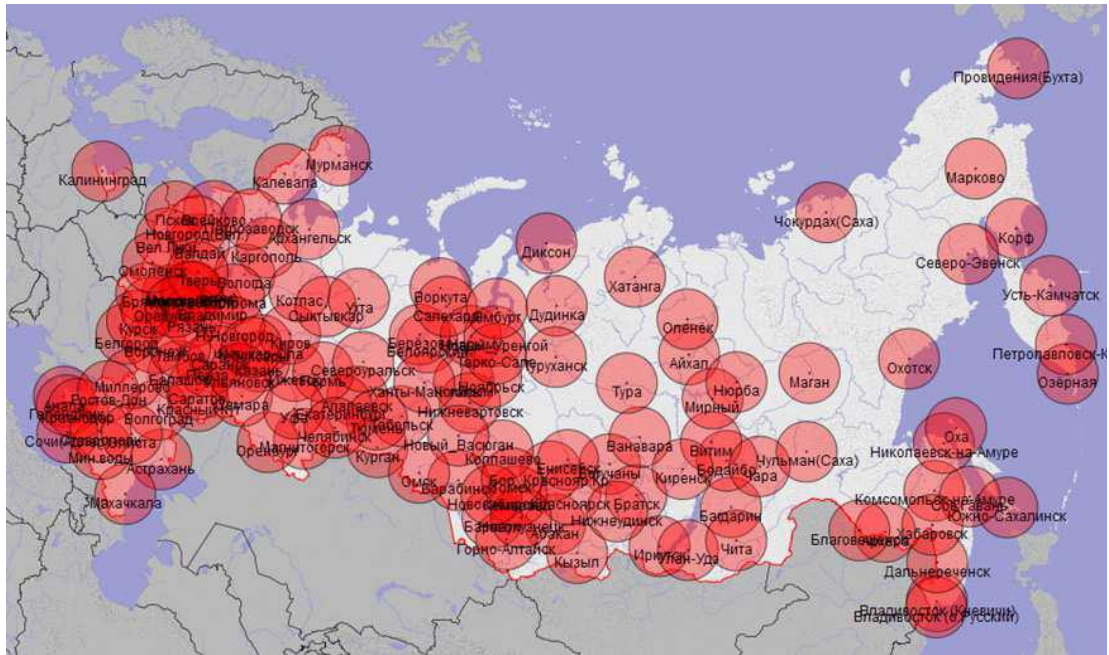


Рисунок 3.14 – Карта радіолокаційного поля на території Росії створювана мережею радіолокаторів ДМРЛ-С (радіус огляду 250 км)



Рисунок 3.15 – Карта радіолокаційного поля на території Росії створювана мережею радіолокаторів ДМРЛ-С (радіус огляду 125 км)

Стають видні значні території, не охоплені радіолокаційними спостереженнями. Отже, говорити про побудову єдиного для країни поля розподілу параметрів вітру поки що не доводиться.

4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ГРАФІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ ДЛЯ АНАЛІЗУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ПОЛІВ

Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення будь-яких складних систем, що піддаються візуалізації. Комп'ютерні моделі простіше і зручніше досліджувати у силу їх можливості проводити так звані обчислювальні експерименти, у тих випадках, коли реальні експерименти ускладнені через фінансові або фізичні перешкоди або можуть дати непередбачуваний результат.

В наш час є велика кількість програмних засобів, які виконують значну кількість спеціалізованих задач. Деякі з них прив'язані лише на одну галузь промисловості, інші – застосовуються у великій кількості галузей, але тенденція йде шляхом спеціалізації програмних систем (ПС) у цілому.

Однією з важливих складових частин систем графічного моделювання (СГМ) (як окремого класу ПС) є комп'ютерна графіка, що являє собою сукупність засобів та прийомів, за допомогою яких здійснюється управління (введення, перетворення та виведення) спеціалізованими середовищами графічної інформації.

Комп'ютерна графіка – актуальна галузь проектування та застосування ПС, що інтенсивно розвиваються у останній час. Термін «комп'ютерна графіка» означає управління обчислювальною обробкою інформації, а також виведення результатів у вигляді різних графічних зображень. Дані, необхідні для управління відображенням результатів у графічному форматі, створюються на підставі графічної інформації. Особливий інтерес до комп'ютерної графіки став проявлятися у зв'язку з інтенсивним розробленням та впровадженням у даний час СГМ не тільки у машинобудуванні, приладобудуванні, радіоелектроніці, дизайні інтер'єрів, але і в інших галузях виробництва та навчання.

Відмінною складовою завдань комп'ютерної графіки є управління графічними базами даних (ГБД), які, по суті являють собою «звичайні» БД, але в основу управління якими закладено математичні алгоритми відновлення зображення за сформованими статистичними координатними даними. Такі можливості є далеко не у кожній СГМ, але сучасні тенденції вимагають цього, велика кількість ПС розроблюється з широким спектром моделюючих характеристик.

Мета поданого розділу полягає в обґрунтуванні обрання СГМ (маркетингові дослідження, управління, створення, підключення, еволюційне удосконалення тощо) для проекту аналізу рельєфу, як композиційного компоненту відкритої ПС.

4.1 Використання CAD/CAM/CAE-систем в задачах графічного моделювання

Однією з головних умов, що ставиться перед розвитком CAD/CAM/CAE-систем або СГМ – це вирішення проблеми якості векторизації у проекті. Інакше кажучи, відчувається потреба у використанні інтерактивних методів управління одержанням векторної моделі, при застосуванні яких користувач задає на екрані монітора набір точок зображення і ряд інших параметрів, що дозволяють керувати процесом розпізнавання і, як наслідок цього, впливати на точність проектного результату.

При розгляді СГМ з цієї позиції, очевидний висновок, що найбільш складні проблеми при проактивному розвитку СГМ пов'язані саме з тими питаннями, які було сформульовано як завдання дослідження.

Було проведено аналіз предметної галузі дослідження, яка включає огляд існуючих проектів розв'язання траєкторних задач та розгляд різноманітних СГМ для створення складних геометричних поверхонь. Насамперед, були піддані аналізу ПС та засоби автоматизованого

проектування формоутворення, що використовуються на профільних підприємствах. Це ПС від провідних пострадянських і західних розробників: CATIA, Unigraphics, Pro/Engineer, Duct, PowerMill, ProCAM, CADDs, Euclid, Anvill, КРЕДО, ГЕМА-3D, САП-УФА, АРТ, БАПТ, MODART, а також пакети Anvil, AutoCAD, «КОМПАС» і багато інших проектів.

Корпорації, що управляють проектами з розвитку СГМ – проектують багато спеціалізованих ПС, наприклад – AutoDesk. В них є цілі портфелі програм для роботи з машинобудівним профілем (Inventor), архітектурою (ArchiCad), дизайном (3dMax) та проектуванням у широкому сенсі (AutoCad).

Із проведеного аналізу ПС можна виділити, що сучасні СГМ дозволяють реалізувати будь-які закони управління, однак, властивий цифровим обчислювальним пристроям послідовний характер реалізації алгоритмів, ставить вимоги розробки проблемно-орієнтованого ПЗ, заснованого на ефективних обчислювальних методах, при застосуванні яких забезпечуються висока швидкість у проекті та найвища точність опису траєкторій.

Згідно із загальноприйнятою методологією – СГМ класифіковано за трьома рівнями проектів:

- прості – це більша частина ПС виробника AutoDesk, ADEM, КОМПАС та інші;
- середні – ПС рівня SolidWorks;
- високі – спеціалізовані ПС високої потужності (CATIA).

Широкий спектр проектних робіт, складність конструкції, стислість термінів виконання замовлень, посилення конкурентної боротьби на ринку змушують сьогодні проводити роботи на найсучаснішому технічному рівні, тому конструювання, аналіз, технологічна підготовка виробництва здійснюється з використанням так званих «інтегрованих» СГМ, вибір і організація роботи яких, проходять в рамках єдиної концепції розвитку

засобів проектування [70] і технологічної підготовки виробництва, здатних вирішувати поставлені задачі нелінійної візуалізації.

4.2 Аналіз методологій управління проектами зі створення відкритих, вільних та комерційних програмних систем

Розглядаючи питання проактивного розвитку ПС, необхідно розглянути методології їх створення з точки зору доступу та використання вихідного коду ПС.

Відкриті ПС (англ. Open-Source Software) – ПС з відкритим вихідним кодом. Вихідний код у таких ПС доступний для перегляду, вивчення та зміни [71]. На основі такого ПЗ можна створювати модифікації, виправляти помилки, створювати нове ПЗ.

Дуже часто використовується ще один термін для надання характеристики ПС – вільне програмне забезпечення (ПЗ). Визначення відкритого і вільного ПЗ не цілком збігаються один з одним, але близькі.

Відмінності між відкритим і вільним ПЗ полягають, в основному, у точці зору їх розробників. Ті, хто підтримує методологію «Open-Source» дивляться на ПС з точки зору ефективності їх відкритих початкових кодів як методу розробки, модернізації та супроводу. Прихильники методології «Free-Software», як правило, вважають, що найголовнішим у такому програмному продукті (ПП) є його безоплатне розповсюдження [72]. Як ми бачимо, відмінності не дуже істотні, але у своїх рамках їх утримують певні ліцензійні угоди, які й визначають статус продукту.

Комерційне ПЗ з відкритим вихідним кодом (синонім англ. Open-Core) являє собою ПП, який містить деякі елементи вільного і відкритого ПЗ для того, щоб законно претендувати на статус «Open-Source». Іноді у відкритій, безкоштовній версії виключаються деякі можливості, присутні у комерційній версії цього ж продукту, яка поширюється за пропрієтарною ліцензією. Відкриття частини вихідного коду, створеного раніше під пропрієтарною

ліцензією, залишає потенційну можливість прив'язки такого рішення до одного єдиного постачальника.

На просторах глобальної мережі можна знайти ПП, які є платними, але при цьому мають відкритий програмний код. Прикладом може бути архіватор UnRAR. Такі ПП – цілий окремий клас. Вони використовують термін «Open-Source» щодо платного ПЗ. Найчастіше зустрічаються 2 варіанти таких програм:

а) умовно-безкоштовна версія з відкритим кодом та обмеженими можливостями (3 – 4 основних або дуже корисних модулі є платними);

б) платне ПП із відкритим кодом: таке ПЗ розвиває власним темпом компанія, код відкривається для загального розвитку або ж для пошуку нових програмістів до компанії.

Випуск ПП під подвійною ліцензією – це зовсім інший спосіб створення методології «Open-Source» рішення на основі пропрієтарного коду.

Вихідні коди відкритих програм випускаються або як суспільне надбання, або на умовах «вільних» ліцензій як, наприклад, методологія General Public License (GNU) чи BSD License. Вільна ліцензія дозволяє використовувати вихідний код програми для своїх потреб із мінімальними обмеженнями, що не суперечать визначенню «Open-Source» **[Ошибка! Закладка не определена.]**. Таким обмеженням може бути вимога посилатися на попередніх творців або вимога зберігати властивість відкритості при подальшому поширенні тієї ж самої або модифікованої відкритої програми – методологія копілефт [73] . У деяких випадках (наприклад, Apache або FreeBSD) ці обмеження дуже малі, в інших (наприклад, GNU) досить поширювати ПЗ разом із вихідним кодом і текстом ліцензії, не змінюючи її.

САП з відкритим вихідним кодом так само мають значне поширення. Наприклад, якщо взяти Linux, то майже всі САД-системи, у яких можна комфортно працювати, є безкоштовними і вільно поширюваними, тобто модифікуються тільки силами добровольців-ентузіастів. Звичайно, у

порівнянні з тими ж AutoCad або SolidWorks їх можливості поки виглядають не так стабільно, але чи багато хто використовує ці САП на повну потужність? Знову ж таки: зручністю відкритих систем є можливість роботи з усіма простими, але потрібними функціями, а чого не вистачає – завжди можна дописати чи знайти того, хто вже дописав, тому будь-які модифікації з часом з'являються в Інтернеті. Існує досить багато перспективних проектів з відкритим кодом, які, з часом, переростуть у щось більше [74]. Отже, суть методології «Open-Source» (систем з відкритим кодом) є можливість змінювати та створювати ПП під свої потреби [75]. У розвитку проектів зі створення таких ПС існує низка переваг та недоліків, що зведено до табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Переваги та недоліки розвитку проектів зі створення ПП з відкритим кодом

Відкрите ПЗ (методологія «Open-Source»)	
Переваги:	Недоліки:
повна або часткова безкоштовність для користувачів, а звідси й поширеність	безкоштовне ПЗ не має такого функціоналу, як у платного ПП
систему піддано декомпозиції на модулі, кожен з яких відповідає за власну задачу, у наслідок чого розробка, удосконалення та налагодження виконуються набагато швидше і легше	вихідний код доступний будь-якому користувачеві, тобто будь-хто може знайти уразливості й помилки ПП і використовувати їх зі своєю метою (але цей варіант досить рідкісний)
виробник ПЗ не може шпигувати, обманювати і створювати спеціальні незручності – backdoors (поняттям «backdoors» фахівці позначають спеціально залишені або розроблені вразливості у захисті ПС, які можна використовувати для крадіжки та зміни даних користувача)	у безкоштовного ПЗ відсутні підготовчі курси, системи допомоги у програмах, сертифіковані навчальні посібники та служби технічної підтримки, тобто будь-які питання з помилками, нестикуваннями тощо доводиться вирішувати самотужки
можливість поліпшення ПП власноруч	метод розробки – дуже часто подальша розробка ПЗ виконується недосвідченими фахівцями, результатом чого стають недопрацьовані модулі.
чим більше поширений ПП, тим легше знайти тестерів і вільних програмістів, готових працювати над поліпшенням продукту	
проста інтеграція компонентів від різних розробників	розвиток одного ПП в принципово різних напрямках – випадки, коли розробки настільки різні, що поєднувати модулі неможливо (найвідоміший прикладом є дистрибутиви Linux, де існують розробки компаній та вільних користувачів і, як результат, не повна сумісність)
при виникненні помилки виправляти треба тільки модуль, у якому вона виникла	

На цей момент більше половини компаній включили ПЗ з відкритим кодом у свої ІТ-стратегії, як заявляють в Gartner. При цьому майже третина респондентів назвала переваги такого ПЗ: а) гнучкість; б) швидкість впровадження; в) скорочення часу розробки.

ПЗ з відкритим вихідним кодом використовується в багатьох галузях, включаючи управління бізнес-процесами, проектування, ІТ-безпека, управління ризиками тощо. Як відзначають аналітики [Ошибка! Закладка не определена.], конкурентні переваги у галузі ІТ відіграють все більшу роль і використання рішень «Open-Source» може дати їх компаніям значні переваги перед конкурентами. Наприклад, якщо компанія змінює код додатку, зробивши його унікальним, вона отримує певну перевагу. Найчастіше відкриті рішення використовуються компаніями у комплексі з власними розробками. За результатами аналізу попиту розробок 228 компаній було виділено переваги проектів зі створення відкритих ПП над комерційними, які знайшли відображення у відповідних процентних відношеннях гістограми, наведеної на рис. 4.1.

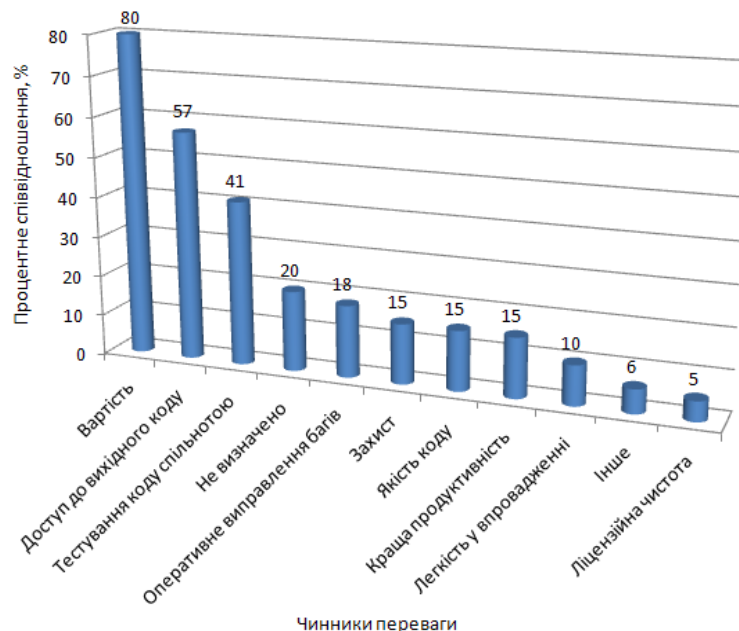


Рисунок 4.1 – Переваги проектів зі створення відкритих ПП над комерційними

Розвиток проектів зі створення платних ПП так само має низку переваг та недоліків, що зведено у табл. 4.2.

Само опитування тривало 2,5 місяця, відбувалося у шести містах України (Київ, Харків, Одеса, Львів, Запоріжжя, Миколаїв) та чотирьох містах Польщі (Варшава, Торунь, Люблін, Вроцлав), причому подекуди опитування проводилося через спеціалізовані форуми.

Таблиця 4.2 – Переваги і недоліки розвитку проектів зі створення комерційного ПП

Платне (ліцензійне) ПЗ	
Переваги:	Недоліки:
легке впровадження в організації: у будь-яких фірм-розробників, що займаються ПП є план з швидкого і якісного впровадження	комерційне ПЗ закрито, його розробники зберігають таємниці своїх рішень та не розкривають: внутрішньої архітектури, форматів представлення даних, інтерфейсів
краща продуктивність і оптимізація	будь-які комерційні рішення випускаються у формі великих модулів, дрібні модифікації не проводяться, що призводить до того, що людина отримує разом з однією потрібною функцією декілька функцій, які не використовуються
система підтримки: питаннями та виправленням помилок займається спеціальна команда	
захищеність ПП: кожен комерційний ПП має свою систему захисту (що постійно розвивається) від шпигунства	у 60% випадків не передбачена заміна компонентів, тобто не розвинена система підключення модулів;
автоматичне оновлення – ліцензійний пакет містить не тільки покупку продукту та виправлення помилок, але й можливість поліпшення ПС з часом	не існує єдиного стандарту – можливість інтеграції з продуктами третіх фірм практично не передбачена
організована система продажу – сервіси надаються постачальниками комерційного ПЗ	якщо ПП не влаштовує клієнта у можливостях, то доводиться купувати нову версію
	якщо побудоване рішення (у новій версії) не влаштовує клієнта або виникають проблеми, то залишається чекати (наступної версії), а при урахуванні того, що випускаються нові рішення тільки у формі великих модулів – це займає великий проміжок часу

Анкета опитування була складена за допомогою Google-форм. Вона містить 242 можливих варіанти відповідей. Результати опитування,

статистика, гістограми та сама анкета зберігається на Google-диску автора розділу.

Серед респондентів були присутні різні класи користувачів ПЗ, які погодилися надати відповіді на запитання автору розділу. Опитування являє собою модель управління джерелом знань в умовах динамічного оточення. Модель охоплює науковців, студентів, аспірантів, співробітників бюджетних організацій, приватних підприємців, держслужбовців. Серед усіх названих ПЗ, була підрахована кількість розробників – 228.

Першою і, безумовно, найголовнішою перевагою відкритого ПЗ виявилася ціна. Звичайно відкрите ПЗ – це набагато більше ніж просто безкоштовна програма на просторах Інтернету, але при цьому замовники і власники фірм на перше місце ставлять саме цей фактор. Досить часто трапляються випадки, коли корпоративний замовник звертає увагу тільки на ціну, але при цьому не враховує функціональність, що призводить до сумних наслідків.

Другим пунктом є доступ до вихідного коду. 57% респондентів сказали, що це є одним з найбільш важливих факторів. По суті – це так і є, адже якщо є професійна команда програмістів, то можливо створити будь-який потрібний додаток або знайти його. Все одно: витрати будуть менші, а результати швидші ніж у комерційній сфері, але далеко не кожному споживачеві, як виявилось, потрібна можливість працювати з вихідним кодом – досить часто вистачає й стандартних функцій.

Оперативне виправлення багів та захист стоять на наступному місці, тому і те й інше у ПЗ з відкритим кодом часто страждає або взагалі відсутнє. Як показує статистика – потреби у складному захисті немає, адже відкрите ПЗ найчастіше використовують малі та середні компанії, у яких посправжньому серйозні атаки відбуваються дуже рідко.

Якість коду і краща продуктивність за статистикою займають одне з останніх місць. Це не дивно тому, що модифікації ПЗ та модулів часто проводяться недосвідченими програмістами (найчастіше є першими

проектами початківців), в наслідок чого «чистота» коду й продуктивність залишають бажати кращого.

Легкість у впровадженні в організацію та ліцензійну чистоту відзначили лише 10% та 5% респондентів. З причини безкоштовності продукту впровадженням, зазвичай, доводиться займатися самому споживачеві, що у випадку невеликих фірм не спричиняє великих проблем. Середні фірми, зазвичай, мають складнощі з впровадженням, які доводиться вирішувати своїми силами, що займає чимало часу ще й з причини поганої оптимізації продукту під потреби великої кількості користувачів.

Переваги проектів зі створення комерційних ПП над відкритими знайшли відображення у відповідних процентних відношеннях гістограми, поданої на рис. 4.2.

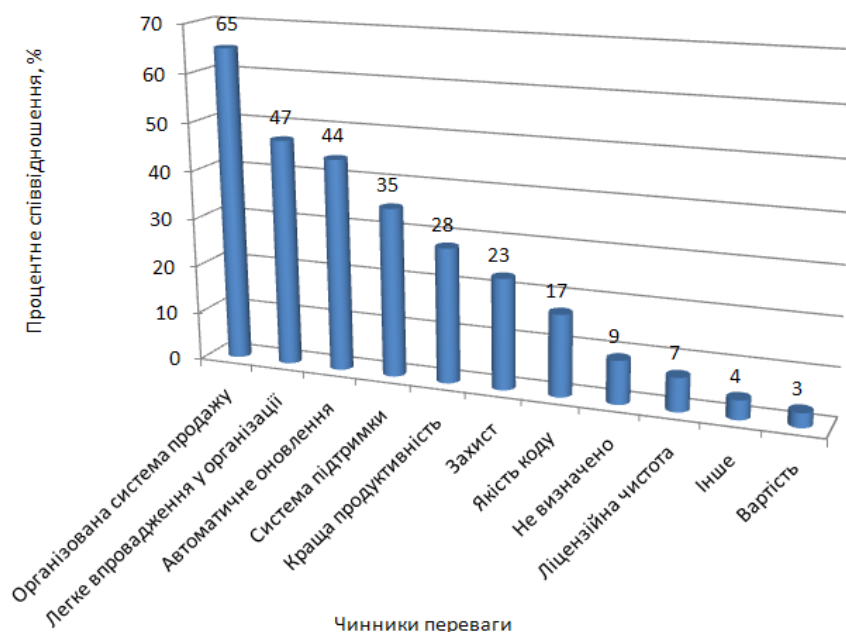


Рисунок 4.2 – Переваги проектів зі створення комерційних ПП над відкритими

У комерційного ПП є одна дуже велика перевага, відзначили 65% респондентів – це організована система продажу. В Інтернеті, в магазинах можна знайти повний список властивостей, книг-помічників, консультантів

тощо. Великий відсоток людей, які купують ПЗ, звертають на це увагу, адже набагато простіше використовувати інформацію, яка вже сформульована.

Друга велика перевага комерційного ПЗ – легкість у впровадженні. Політика впровадження комерційного ПЗ має на увазі подальшу співпрацю підприємства з виробником протягом кількох років, після чого проводиться аналіз ефективності та приймається рішення про подальшу співпрацю із компанією або перехід на інший ПП.

Важливу роль відіграють автоматичне оновлення та система підтримки. Багато фірм вважають за краще залишати вирішення питань і виправлення помилок спеціалістам, які створили ПП. Хоча, з іншого боку, вони не мають вибору – адже код ПП закритий. Що ж до автоматичного оновлення – багато залежить від договору із клієнтом. Великі фірми, зазвичай, домовляються про створення нової версії під потреби та фіксовану мету; малі компанії часто задовольняються й стандартними оновленнями, що зафіксовано у ліцензійній угоді.

За переваги захисту проголосувало всього лише 23% опитаних. Проаналізованих причин для такого результату дві:

- а) захист не потрібен тому, що не проводиться масивних атак та витоків інформації (ситуація звичайна для дрібних фірм);
- б) захист, який існує – занадто слабкий для відбиття серйозних атак (ситуація звичайна для великих фірм).

Якість коду зацікавила тільки 17%. Звичайно це впливає на продуктивність, але при цьому код є закритою частиною проекту в комерційному ПП, тому не особливо зрозуміло: чим зумовлено таке зацікавлення компаній.

Ліцензійна чистота і вартість відіграють не значну роль у перевагах комерційних ПП тому, що сплачувати за продукт не є багато бажаючих, крім того, модифікації виконує тільки одна компанія, а це є великим мінусом.

Переваги та недоліки СГМ з різною методологією розповсюдження інтегровано у табл. 4.3.

Досить цікавий факт, що користувачів не особливо хвилює ліцензійна чистота продуктів: відкриті вони чи загальнодоступні, чи є комерційними проектами. Таке саме становище із захистом та якістю коду.

Таблиця 4.3 – Наявність проектних показників у комерційних та вільних СГМ

Властивості:	Комерційний варіант	Відкритий варіант
вартість	+	–
служба підтримки	+	–
автоматичне оновлення	+	–
захист	+	–
організована система продажу	+	–
відкритий вихідний код	–	+
робота з великими модулями	+	–
робота з дрібними модулями	–	+
єдиний стандарт проектів	–	–
легкість впровадження	+	–
підготовчі курси, навчальні посібники	+	–
виробниче шпигунство розробниками	+	–
розробка і поліпшення модулів власними силами	–	+
зручність виправлення помилок	–	+
декомпозиція на модулі	–	+

Отже, на цей час багато західних аналітиків схиляються до використання відкритого ПЗ, тому вже з'явилися корпорації та фірми, які забезпечують розвиток й підтримку для безкоштовних ПП, при цьому є можливість управляти проектом створення коду. Проте, ні допомогу спільноти, ні низькі ціни на ПП комерційний розробник забезпечити не в змозі.

Що ж стосується ситуації із Україною – наші розробники не активні в розвитку відкритого ПЗ. Однією з причин є те, що такі проекти не так давно з'явилося на наших ринках та стейкхолдери поки «не влилися» у світовій потік модифікацій ПП. Так само: багато власників компаній та менеджерів ще не досконалі у знаннях про можливості проектів із відкритим ПЗ й

обирають недорогі аналоги за критерієм мінімізації вартості створення проекту ПС. Слід додати, що в останні роки зростає тенденція відмови від УП за допомогою російських галузевих ПП (проектування, облік та аудит, фінанси, системи управління підприємствами та проектами тощо).

4.3 Аналіз розвитку систем управління базами проектних даних, методи подання та класифікація графічних баз даних

У літературі пропонується множина визначень поняття «база даних», що відображають скоріше суб'єктивну думку тих чи інших авторів, однак єдине загальновизнане формулювання відсутнє. Слід зазначити, що багато фахівців вказують на поширену помилку, що складається в некоректному використанні терміна «база даних» замість терміна «система управління базами даних» (СУБД), та вказують на необхідність розрізнення цих понять [76].

Сам термін «database» (база даних) з'явився на початку 1960-х років і був введений у вживання на симпозіумах, організованих фірмою SDC (System Development Corporation) у 1964 – 1965 роках, хоча розумівся спочатку в досить вузькому сенсі, у контексті систем штучного інтелекту. У широке вживання, у сучасному розумінні, термін увійшов лише в 1970-ті роки [77].

Наступний важливий етап пов'язаний з появою на початку 1970-х реляційної моделі даних, завдяки роботам Едгара Ф. Кодда. Роботи Кодда відкрили шлях до тісного зв'язку прикладної технології БД з математикою і логікою. За свій внесок в теорію і практику Едгар Ф. Коддом також отримав премію Тюрінга [78].

Одночасно, вживаються визначення БД з міжнародних стандартів, що подано нижче. БД – сукупність даних, що зберігаються у відповідності зі схемою даних, маніпулювання якими виконують відповідно до правил засобів моделювання даних [79]. БД – сукупність даних, організованих

відповідно до концептуальної структури, яка описує характеристики цих даних і взаємовідносини між ними, причому таке зібрання даних, яке підтримує одну або більше областей застосування [80]. Приклад такої концептуальної структури із визначеними зв'язками між даними, що спроектовано автором поданої дисертації стосовно до графічних БД (ГБД), наведено на структурній моделі (рис. 4.3).

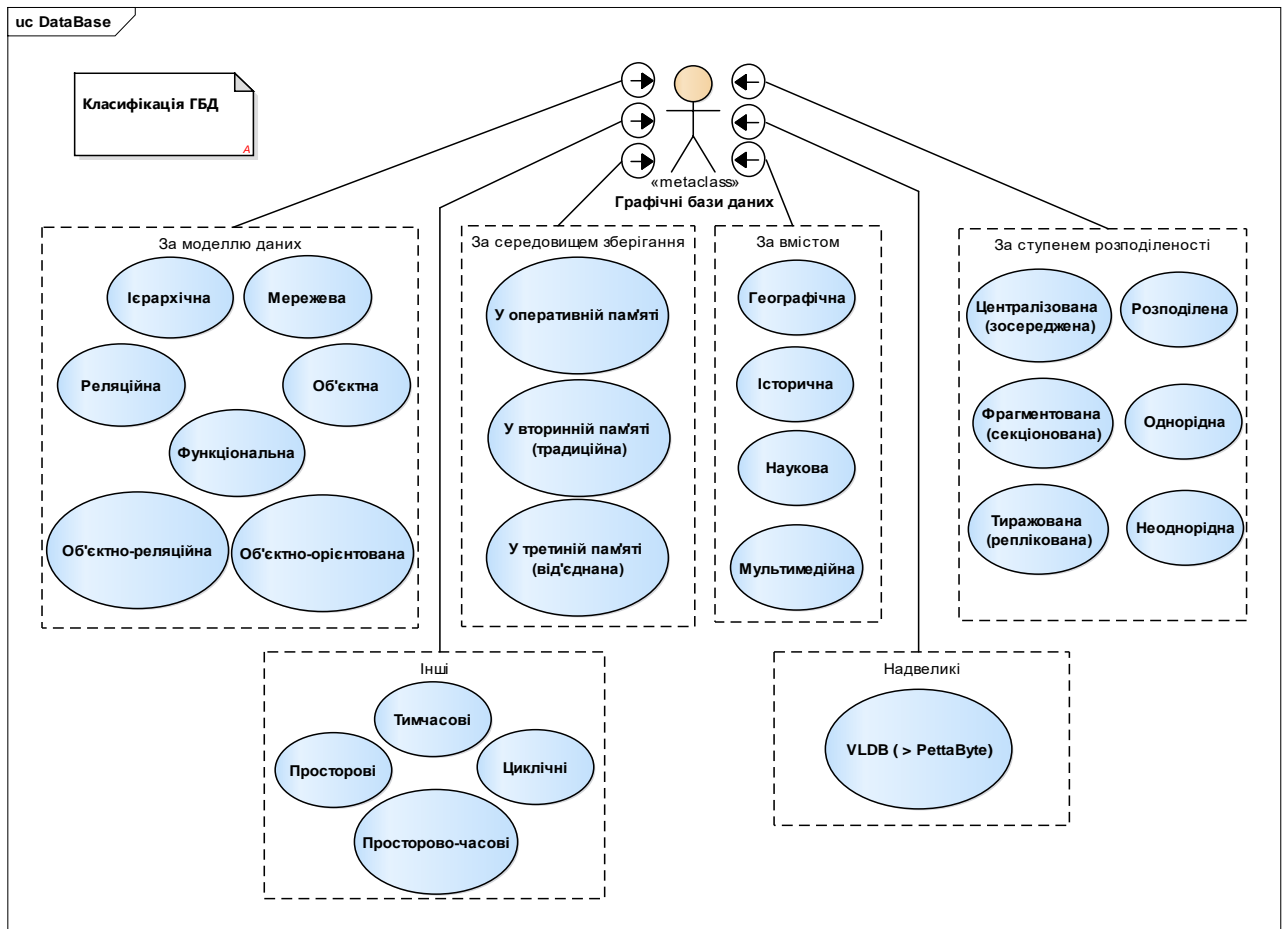


Рисунок 4.3 – Структурна модель класифікації ГБД

Для повноцінної роботи із ГБД, приведемо нижче визначення БД з декількох авторитетних монографій. БД – організована відповідно до певних правил і підтримувана в пам'яті комп'ютера сукупність даних, що характеризує актуальний стан деякої предметної області і використовується для задоволення інформаційних потреб користувачів [81]. БД – деякий набір

перманентних (постійно збережених) даних, що використовуються прикладними програмними системами управління підприємства. БД – спільно використовуваний набір логічно зв'язаних даних (та опис цих даних), призначений для задоволення інформаційних потреб організації [82] .

При аналізі усіх наведених визначень БД (додавши ще й [83]), слід виділити найбільш часто (явно або неявно) присутні наступні ознаки:

а) БД зберігається та обробляється у обчислювальній системі (таким чином, будь-які позакомп'ютерні сховища інформації (архіви, бібліотеки, картотеки тощо) БД не є);

б) дані у БД логічно структуровані (систематизовані) з метою забезпечення можливості їх ефективного пошуку та обробки в обчислювальній системі (структурованість передбачає явне виділення складових частин (елементів), зв'язків між ними, а також типізацію елементів і зв'язків, за якої з типом елемента (зв'язком) співвідноситься певна семантика й припустимі операції);

в) БД включає схему або метадані, що описують логічну структуру БД у формальному вигляді (відповідно до деякої метамоделі, наприклад, відповідно до **[Ошибка! Закладка не определена.]**: «постійні дані в середовищі БД включають в себе схему і БД. Схема включає в себе описи змісту, структури і обмежень цілісності, використовувані для створення і підтримки БД. БД включає в себе набір постійних даних, визначених за допомогою схеми. Система управління даними використовує визначення даних у схемі для забезпечення доступу і управління доступом до даних у БД»).

З перерахованих ознак лише перша є суворою, а інші допускають різні трактування й різні ступені оцінки. Можна лише встановити деяку ступінь відповідності вимогам до ГБД.

У такій ситуації не останню роль відіграє загальноприйнята практика. Відповідно до неї, наприклад, не називають БД файлові архіви, Інтернет-портали або електронні таблиці, незважаючи на те, що вони, в деякій мірі,

володіють ознаками БД. Прийнято вважати, що ця ступінь, в більшості випадків, недостатня (хоча можуть бути винятки).

При виконанні аналізу досліджень і публікацій, особливу увагу, у науковому сенсі, було приділено методам, що застосовуються при роботі із складними графічними об'єктами та базами проектних даних.

Нижче розглянуто основні наукові геометричні методи, що використовуються при графічному моделюванні об'єктів, процесів, явищ в техніці та тенденції їхнього розвитку [84]. За напрямком наукового дослідження обирається твердотільне моделювання об'єктів, що утворюються (та змінюються в часі) під впливом різних зовнішніх чинників.

Тривимірний опис об'єкта (англ.: 3D) – це представлення об'єкта у трьох просторових вимірах. Як правило, ці виміри представлені у вигляді координат X , Y , та Z . Можливо мати дані з ідентичними координатами X та Y при відмінній координаті Z . Наприклад, для цифрового представлення океанічних потоків, використовують 3D [85].

Твердотільне моделювання – це найдосконаліший і достовірний метод створення копії реального об'єкта, природний спосіб вираження сутності виробу [86].

Рендеринг (англ.: rendering – відтворення, відрисовування) в комп'ютерній графіці – це процес отримання зображення за моделлю за допомогою комп'ютерної програми [87]. Тут модель – це опис тривимірних об'єктів (3D) суворо визначеною мовою або у вигляді структури даних. Такий опис може містити геометричні дані, положення точки спостерігача, інформацію про освітлення. Зображення – це цифрове растрове зображення. Зазвичай під рендерингом розуміють накладення текстури на уже готову твердотільну модель (solid-works) у машинобудівних проектах [87] та на каркас (framework) в інженерній графіці .

Трасування променів (англ.: ray tracing) у комп'ютерній графіці є способом створення зображення тривимірних об'єктів чи сцени за допомогою відстеження ходу променя світла крізь точку екрану і симуляції взаємодії

цього променя з уявними об'єктами, що підлягають відображенню [88]. Цей спосіб дозволяє створювати надзвичайно реалістичні зображення, зазвичай значно вищої якості, ніж дає типовий алгоритм Scanline або ж метод відбивання променів (англ.: Ray casting), проте має значно вищу обчислювальну складність. Із цієї причини алгоритми трасування променів використовуються там, де немає суттєвих обмежень часу рендерингу.

Граничне подання – це опис меж об'єкту або абсолютного аналітичного завдання граней, що описують тіло [88]. Цей метод дозволяє створити якісне зображення геометричного твердого тіла, щоб встановити взаємну відповідність, потрібно задати кордони або контури об'єктів, а також ескізи різних видів об'єктів, і вказати лінії зв'язків між даними видами.

Методи визначення складних контурів та векторизації растрових моделей було розглянуто у [89]. Для створення ГБД існують методи граничного (B-Rep) та конструктивного (C-Rep) їх представлення. В системі з B-Rep поданням моделі будуються з твердотільних примітивів. Ці примітиви визначаються розмірами, орієнтацією, формою та точкою прив'язки. Інструментами побудови C-Rep є булеві операції, вони базуються на алгебраїчній теорії множин. Найчастіше використовуються операції: різниця, перетин та об'єднання.

У кожного з цих методів управління об'ємними моделями є плюси і мінуси у порівнянні з іншими. У системи з C-Rep поданням, перевага полягає в первинному формуванні моделі. Крім того, дане представлення забезпечує більш зручний опис моделей у ГБД. B-Rep метод актуальний в утворенні складних структур, які дуже складно відтворити за допомогою C-Rep методу.

Перевагою систем з B-Rep є простіша зміна граничного подання у каркасну модель та зворотною її зміною. Причиною є те, що опис меж аналогічний опису каркасної моделі. Наприклад, проектування литтєвого оснащення та ливарних форм є традиційною областю суцільного, об'ємного моделювання із імітацією руху. Найбільшою очевидною відмінністю від двовимірного креслення є точне створення об'ємної комп'ютерної моделі.

Існує величезна кількість різновидів БД, що відрізняються за різними критеріями. Наприклад, у [90], визначаються понад 50 видів БД. Основні класифікації ГБД наведені нижче, а їх графічну структуру вже подано на у вигляді структурної моделі на рис. 4.3. Деякі деталізовані пояснення щодо ГБД зведемо до табл. 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 – Класифікації ГБД за середовищем зберігання

Середовище зберігання:	Характеристика управління
оперативна пам'ять (англ.: in-memory database, memory-resident database, main memory database)	всі дані на стадії виконання знаходяться у оперативній пам'яті
вторинна пам'ять або традиційна (англ.: conventional database)	периферійна енергонезалежна пам'ять – як правило жорсткий диск (в оперативну пам'ять система управління БД (СУБД) поміщає лише кеш і дані для поточної обробки)
третинна пам'ять (англ.: tertiary database)	пристрій масового зберігання, що від'єднується від сервера (флеш-накопичувач або оптичний диск, віртуальне або хмарне сховище)

Таблиця 4.5 – Класифікація ГБД за ступенем розподіленості

Вид:	Характеристика управління
централізована, або зосереджена (англ.: centralized database)	ГБД, що повністю підтримується на одному комп'ютері
розподілена (англ.: distributed database)	ГБД, складові частини якої розміщуються в різних вузлах комп'ютерної мережі
неоднорідна (англ.: heterogeneous distributed database)	фрагменти розподіленої ГБД в різних вузлах мережі підтримуються засобами більше однієї СУБД
однорідна (англ.: homogeneous distributed database)	фрагменти розподіленої ГБД в різних вузлах мережі підтримуються засобами однієї і тієї ж СУБД
фрагментована, або секціонована (англ.: partitioned database)	методом розподілу даних є фрагментованість (секціонування), вертикальне чи горизонтальне
тиражована (англ.: replicated database)	методом розподілу даних – є тиражування (реплікація)

Проте, не усі види ГБД можна класифікувати за загальними ознаками БД. Існують деякі ГБД, які традиційно відносяться до так званих інших видів (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Інші види ГБД

Вид:	Характеристика управління
просторова (англ.: spatial database)	ГБД, в якій підтримуються просторові властивості сутностей предметної області, такі ГБД широко використовуються в геоінформаційних системах [91]
тимчасова, чи темпоральна (англ.: temporal database)	ГБД, в якій підтримується будь-який аспект часу, не враховуючи часу, обумовленого користувачем
просторово-часова (англ.: spatial-temporal database)	ГБД, в якій одночасно підтримується одне або більше вимірів в аспектах як простору, так і часу
циклічна (англ.: round-robin database)	ГБД, обсяг збережених даних якої не змінюється з часом, оскільки в процесі збереження даних одні й ті ж дані використовуються циклічно
надвелика (англ.: Very Large DataBase – VLDB)	ГБД, яка займає надзвичайно великий обсяг на пристрої фізичного зберігання; термін передбачає максимально можливі обсяги ГБД, які визначаються останніми досягненнями у технологіях фізичного зберігання даних і в технологіях програмного оперування даними

Кількісне визначення поняття «надзвичайно великий обсяг» змінюється із часом. У даний час вважається, що це обсяг, який вимірюється щонайменше ПБ (10^{15} байт). Для порівняння: у 2010 р. – найбільшими в світі вважалися БД з об'ємом сховища близько 100 ТБ [92].

Фахівці відзначають необхідність особливих підходів до УП, що містять надвеликі ГБД. Для їх створення нерідко виконуються спеціальні проекти з метою пошуку таких системотехнічних рішень, які дозволили б хоч якось працювати з такими великими обсягами даних. Як правило, необхідні спеціальні рішення для дискової підсистеми, спеціальні версії операційної системи і спеціальні механізми звернення СУБД до даних [93].

Дослідження в галузі управління VLDB-проектами завжди знаходяться на вістрі теорії і практики БД. Зокрема, з 1975 року проходить щорічна конференція International Conference on VLDB (Міжнародна конференція з надвеликих баз даних). Більшість досліджень проводиться під егідою некомерційної організації VLDB Endowment (Фонд цільового капіталу «VLDB»), яка забезпечує просування наукових робіт та управління інформацією у галузі надвеликих БД і суміжних областях, зокрема ГБД.

4.4 Система графічного моделювання BRL-CAD

Проектування об'єктів машинобудування, промислового, цивільного будівництва та радіоелектроніки вступає в новий етап свого розвитку, коли разом зі зростанням складності проектів мають забезпечуватися скорочення термінів проектування й зменшення числа проектувальників, значною мірою за рахунок моделювання управління проектуванням та комп'ютеризації інженерної праці.

Об'єктом моделювання стане управління поведінковою частиною ГБД відкритого проекту BRL-CAD. Виконане моделювання важливе, оскільки дозволяє удосконалити відкритий проект BRL-CAD шляхом високорівневого мовного оновлення.

Розв'язання проблеми неможливе без глибокого проникнення в фізичну сутність досліджуваних явищ, розробки та вдосконалення відповідних теоретичних положень, впровадження досягнутих результатів у виробництво. Геометричні методи давно та успішно використовуються в багатьох галузях промисловості. Велику роль тут мають відіграти нові методи геометричного моделювання та їх реалізація в системах комп'ютерної графіки, що дозволить розв'язувати задачі управління ГБД.

Графічна інформація – це найбільш ємне і наочне уявлення великого обсягу інформації, однак, практичне застосування машинної графіки довгий час стримувалось відсутністю відповідного обладнання та математичного забезпечення для його управління.

Логічність та формалізованість комп'ютерних моделей управління ГБД дозволяють виявити основні фактори, що визначають властивості досліджуваного об'єкта-оригіналу (або цілого класу об'єктів), зокрема, досліджувати відгук фізичної системи, що моделюється на зміни параметрів управління та початкових умов.

Побудова комп'ютерної моделі управління ГБД базується на абстрагуванні від конкретної природи явищ або досліджуваного об'єкта-

оригіналу і складається з двох етапів: спочатку створення якісної, а потім і кількісної моделі. Само комп'ютерне моделювання полягає у проведенні серії експериментів на ПК, метою яких є аналіз, інтерпретація та зіставлення результатів моделювання з реальною поведінкою об'єкта моделювання та, за необхідністю, подальше уточнення моделі.

Одним з головних переваг тривимірного моделювання є швидке управління кресленнями. Використовувати результати моделювання можна і на подальших стадіях ЖЦ продукту – це є ще однією перевагою твердотільного моделювання [94]. Задачам створення програмних комплексів на базі відкритого вихідного коду, мовами «C» та «C++», що цікавлять з погляду реінжинірингу ГБД присвячено публікацію [95].

BRL-CAD – це спеціалізована крос-платформова ПС з відкритим кодом. Вона являє собою потужну 3D САП для моделювання об'ємних тіл методами Constructive Solid Geometry (CSG). Ця ПС включає в себе інтерактивний геометричний редактор, паралельне трасування променів, рендеринг та геометричний аналіз.

BRL-CAD розроблялася близька 40 років та набула застосування у збройних силах США. Продукт працює із вихідного коду, а тому його можна використовувати на будь-яких платформах: GNU/Linux, MacOS, Solaris та Windows. Наведемо визначальні характеристики, що стосуються відкритого ПП та технологій проектування ГБД.

96 code») – будь-який набір інструкцій або оголошень, написаних мовою програмування і у формі, що її може прочитати людина. Сирцевий код дозволяє програмісту спілкуватися з комп'ютером за допомогою обмеженого набору інструкцій.

Сирцевий код програми – це набір файлів, потрібних для перетворення з форми, доступної для читання людині, на деякі види комп'ютерного виконаного коду. Можливі два напрямки виконання сирцевого коду: транслювання у машинний код за допомогою компілятора (призначений для

певної комп'ютерної архітектури) або виконання безпосередньо з тексту за допомогою інтерпретатора.

Відкрите ПЗ (англ.: open-source software) – це забезпечення, для якого є доступним (вихідний) програмний код, що забезпечує найкращі умови для вивчення такого ПЗ та можливого подальшого внесення змін (удосконалень тощо) до нього [95].

Досить часто останнє поняття вважають тотожним вільному ПЗ, що не є абсолютно правильним. Найістотніша відмінність полягає в тому, що ліцензії на вільне ПЗ обумовлюють, що усі подальші модифіковані версії такого ПЗ теж повинні розповсюджуватись як вільні, в той час як більшість ліцензій на ПЗ з відкритими кодами надають повну свободу авторам модифікованих версій. В результаті вільне ПЗ завжди є ПЗ з відкритими вихідними кодами, але зворотнє є вірним далеко не завжди.

Одна з перших ПС з характеристиками відкритого проекту з'явилась тому, що у 1979 році балістична науково-дослідна лабораторія армії США (U. S. Army Ballistic Research Laboratory (BRL), зараз – United States Army Research Laboratory, висловила гостру потребу в інструментах та засобах, які могли б управляти комп'ютерним моделюванням та інженерним аналізом бойових систем озброєння (танків, ракет, літаків тощо) та їх умовами роботи.

Коли жодна з ПС, які існували на той час, виявились неготовими для досягнення цієї мети, розробники з BRL почали систематизувати набір утиліт, що здатні на управління інтерактивним перегляданням та редагуванням дерев геометричних моделей. Архітектори приступили до розробки власного пакету додатків, що призначені для відображення, редагування та суміщення геометричних моделей. Результатом став створений проект BRL-CAD – пакет додатків для управління твердотільним моделюванням. Перший публічний реліз був зроблений у 1984 р. У грудні 2004 р. BRL-CAD став проектом із відкритим кодом. Важливо, що проект BRL-CAD впроваджується на умовах ліцензій *BSD та GNU LGPL.

З того часу проект постійно розвивається, з'являються нові можливості, проте зараз вже само лінгвістичне забезпечення подання ГБД (мова «C») у ПП BRL-CAD потребує операцій переходу (реінжинірингу) на високорівневі мови («C++» чи «C#»). Сьогодні, завдяки приблизно мільйону рядків C-коду, відкритий проект став найпотужнішим пакетом графічного моделювання, що набув застосування більш ніж у 2 тис. організацій по всьому світу.

Проект BRL-CAD підтримує одночасно два способи взаємодії з користувачем: за допомогою командного рядка та графічного інтерфейсу користувача (GUI). Також ПП підтримує управління різноманітними геометричними засобами роботи з графічною інформацією: великий набір традиційних CSG-примітивних твердих речовин (еліпсоїди, конуси, тори), а також явні тверді (із закритих колекцій) уніформи, β -сплайнові поверхні, нерівномірні раціональні β -сплайни (NURBS), n -різноманітну геометрію (НРГ), грановані сітки тощо. Всі геометричні об'єкти можуть бути об'єднані із використанням логічних теоретико-множинних операцій, включно із CSG-об'єднаннями та перетинами [96].

Найактуальніша властивість проекту полягає в здатності конструювати та аналізувати реалістичні моделі на основі складних об'єктів, які складаються з великого набору графічних примітивів (primitive shapes). Для управління складними об'єктами використовуються булеві операції: об'єднання, віднімання та перетину. Ще один потужний бік ПП BRL-CAD – швидкість засобів управління візуалізацією та трасувальником променів, який є одним із найшвидших серед існуючих. Нарешті, користувачі BRL-CAD можуть проектувати моделі із великою точністю, від субатомних до галактичних масштабів за принципом «бачимо всі деталі увесь час». Для наочності сприйняття аналітиками та системними архітекторами, представимо (у другому проміжному розділі) моделі ГБД відкритого ПП BRL-CAD із використанням методології UML.

5 СПЕКТРАЛЬНИЙ ТА СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСОВИЙ АНАЛІЗ ДОВГИХ КЛІМАТИЧНИХ РЯДІВ

Спектральний аналіз часових рядів – це один з методів обробки результатів експерименту й зокрема, даних метеорологічних спостережень. Теорія спектрального спостереження заснована на рівносильності подання функцій у часовій і частотній області за допомогою перетворення Фур'є. Ця обставина дозволяє побудувати ефективні методи одержання характеристик досліджуваного сигналу в частотній області в тих випадках, коли в часовій області це зробити важко. Важливу роль у спектральному аналізі грають методи статистики, тому що аналізовані часові ряди, як правило, є випадковими [97, 98]. Спектральний метод дозволяє виділити зі складного сигналу більш прості складові та визначити їхні інтенсивності. У якості міри інтенсивності сигналу і його найпростіших складових прийнято використовувати потужність. Основною метою спектрального аналізу є оцінювання спектральної щільності потужності (СЩП) дискретизованого випадкового процесу й виявлення в ньому періодичних складових. За допомогою перетворення Фур'є можна досліджувати розподіл потужності випадкового процесу по гармонійних складових. Теоретичним фундаментом спектрального аналізу часових рядів є теорема Вінера-Хінчина [98], що встановлює зв'язок між двома характеристиками випадкового процесу – щільністю спектра потужності й кореляційною функцією.

5.1 Корелограмний метод оцінювання спектральної щільності потужності

Оцінки спектральної щільності потужності, для визначення яких спочатку за вихідним даними формуються оцінки кореляційних функцій,

одержали назву корелограммних.

Оцінка кореляційної функції перебуває по заданій реалізації $x(t)$ випадкового процесу. Якщо визначені N відліків $x(n)$, $n=0, 1, 2, \dots, N-1$, сигналу, то оцінку кореляційної функції можна обчислити за формулою

$$R_{x+}^*(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} [x(n) - m_x^*][x(n+m) - m_x^*], \quad m = 0, 1, \dots, M-1, \quad (5.1)$$

де m_x^* – математичне очікування.

Оцінка $R_{x+}^*(m)$ кореляційної функції являє собою дискретну послідовність, визначену на скінченному інтервалі $[0, M-1]$. Відомо, що чим більше значення m , тим більше помилка визначення кореляційної функції. Тому формулу використовують при $M < N/10$. Доповнивши $R_{x+}^*(m)$ симетричними відліками для негативних значень $m = -M+1, \dots, -1$ одержимо оцінку $R_x^*(m)$ кореляційної функції.

Застосуємо до оцінки $R_x^*(m)$ дискретне перетворення Фур'є

$$S_x^*(\omega) = \sum_{m=1-M}^{M-1} R_x^*(m) e^{-j\omega T m}. \quad (5.2)$$

Теоретично спектральна щільність потужності $S_x(\omega)$, визначена в частотній області, є невідповідною характеристикою. Однак, оскільки її оцінювання завжди виробляється по обмежених реалізаціях випадкового процесу, значення спектра можуть бути знайдені тільки приблизно.

5.2 Використання віконних функцій

Для оцінки $S_x(\omega)$ у якій замість нескінченної кореляційної послідовності використовується кінцеве число значень, характерне просочування енергії, викликане явищем Гібса (ефект прямокутного вікна). Позбутися від просочування енергії можна шляхом попереднього

перетворення оцінки кореляційної функції за допомогою віконної функції $w(m)$, що відрізняється від прямокутної. Тоді в якості оцінки спектральної щільності будемо мати:

$$S_x^*(\omega) = \sum_{m=1-M}^{M-1} R_x^*(m)w(m)e^{-j\omega Tm}. \quad (5.3)$$

Деякі віконні функції, які використовуються для поліпшення оцінок спектральної щільності, розглянуті в [97]. Обробка за допомогою віконної функції дозволяє послабити вплив бічних пелюсток, викликаних явищем Гібса. Але при цьому погіршується спектральний відрізнення. Ефект просочування енергії також можна зменшити згладжуванням самої оцінки спектральної щільності, отриманої за формулою (5.2), за допомогою додаткового фільтра.

5.3 Періодограмний метод оцінювання спектральної щільності потужності

У цьому методі перетворення Фур'є застосовується безпосередньо до послідовності, отриманої в результаті дискретизації кінцевої реалізації випадкового процесу [99].

Оцінка спектральної щільності виробляється по відомій реалізації $x(t)$ випадкового процесу шляхом формування з її дискретної послідовності $x(n)$, $n=0,1, \dots, N-1$ й обробки цієї послідовності відповідно до наведеного вище формулами. Перетворення Фур'є дійсної послідовності кінцевої довгі $x(n)$, $n=0,1, \dots, N-1$, дорівнює

$$X(e^{j\omega T}) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\omega Tn}. \quad (5.4)$$

Як оцінку спектральної щільності використовують функцію

$$P_x(\omega) = \frac{1}{N} |X(e^{j\omega T})|^2. \quad (5.5)$$

Оцінка спектральної щільності, отримана за допомогою прямого перетворення Фур'є відповідно до формул (5.4) і (5.5), одержала назву періодограми. При використанні дискретного перетворення Фур'є формули (5.4) і (5.5) приймають наступний вид:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\Omega T kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad (5.6)$$

$$P_x(k) = \frac{1}{N} |X(k)|^2, \quad k = 0, 1, \dots, N-1.$$

У загальному випадку періодограма не є заможною оцінкою й існує можливість її флуктуації біля істинного значення спектра. Для одержання заможної оцінки спектра використовуються фільтри й методи усереднення періодограм. Використовуючи фільтр нижніх частот із частотною характеристикою $H(k)$, одержують модифіковану періодограму

$$\tilde{P}_x(k) = H(k)P_x(k). \quad (5.7)$$

Зокрема, фільтрація може бути виконана за допомогою алгоритму ковзного усереднення [100].

При використанні методу усереднення періодограм із вихідної послідовності даних формується псевдоансамбль дискретних послідовностей (сегментів) і відповідний псевдоансамбль періодограм. Одержав популярність алгоритм Уелча. В алгоритмі вихідна дискретна послідовність із N відліків розбивається на V сегментів, що перекриваються.

Розглянемо послідовність дій при використанні алгоритму Уелча. На **першому етапі** з аналізованої дискретної послідовності $x(n)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$, формується кілька сегментів. При цьому вибирається коефіцієнт D перекриття сусідніх сегментів і визначається число V сегментів. Як правило,

коефіцієнт перекриття $D=0.5$ або $D=0.75$. Число V сегментів визначається за формулою

$$V = \text{Eu}[(N-D*L)/(L-D*L)],$$

де N – загальна кількість відліків аналізованого процесу,

L – кількість відліків у формованих сегментах,

Eu означає «ціла частина числа, укладеного у квадратні дужки».

Після цього з заданої дискретної послідовності формується V дискретних послідовностей $x_r(l)$, $r = 1, \dots, V$, $l = 0, 1, \dots, L-1$... Варіанти перекриття сегментів, що відповідають даним значенням коефіцієнта $V = 3$, показані на рис. 5.1.

На другому етапі вибирається віконна функція $w(l)$, здійснюється перетворення дискретних послідовностей $x_r(l)*w(l)$, $r = 1, \dots, V$, $l = 0, 1, \dots, L-1$ по Фур'є:

$$X_r(k) = \sum_{l=0}^{L-1} x_r(l)w(l)e^{-j\Omega Tkl}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1, \quad r = 0, 1, \dots, V. \quad (5.8)$$

і проводиться розрахунок функцій:

$$P_{xr}(k) = \frac{1}{N} |X_r(k)|^2. \quad (5.9)$$

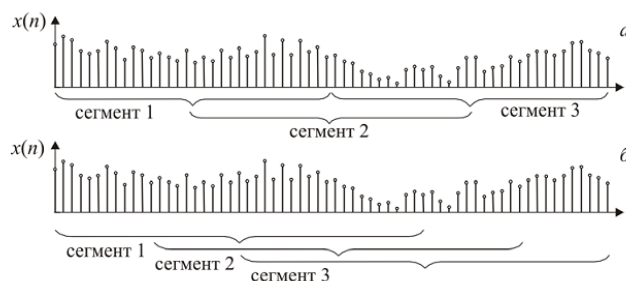


Рисунок 5.1 – Варіанти перекриття сегментів: а – з коефіцієнтом перекриття $D=0,5$; б – з коефіцієнтом перекриття $D=0,75$

На третьому етапі виконується усереднення результатів, отриманих для декількох сегментів, з метою зменшення дисперсії оцінки. Усереднена оцінка розраховується за формулою

$$S_x^*(k) = \frac{1}{V} \sum_{r=1}^V P_{xr}(k). \quad (5.10)$$

5.4 Спектральний аналіз сигналів у системі Matlab

Спектральний аналіз. Пряме і зворотне дискретне перетворення Фур'є (ДПФ). ДПФ є основою спектрального аналізу сигналів. Функція $v = \mathit{fft}(x)$ – обчислює пряме ДПФ для вектора x ; якщо x – матриця, перетворення виробляється для кожного її стовпця окремо; $v = \mathit{fft}(x, N)$ – попередньо наводить вихідні дані до розміру N , урізуючи їх або доповнюючи нулями. Команда $x = \mathit{ifft}(y)$ і $x = \mathit{ifft}(y, N)$ – аналогічні варіанти виклику для функції зворотного ДПФ. Для прискорення обчислень використовується швидке перетворення Фур'є (ШПФ).

Дискретне пряме перетворення Фур'є визначається:

$$Y(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \cdot e^{-\frac{2\pi i(j-1)(k-1)}{N}} \quad (5.11)$$

При спектральному аналізі розглядається фрагмент (сегмент) сигналу на деякому інтервалі часу. Для виділення сегмента із усього сигналу використовуються вагові функції (часові вікна). Використання вагових функцій підвищує точність спектрального аналізу. Система MATLAB містить (у пакеті Signal Processing) цілий ряд стандартних вагових функцій. Всі вагові функції приймають як параметр необхідну довжину вектору (n), що повинна бути цілим додатним числом, і повертають вектор-стовпець w . Розглянемо для прикладу дві функції. Функція *boxcar*, що реалізує «прямокутне вікно», уведена в MATLAB лише для повноти набору вагових функцій, тому що вона

відповідає відсутності операції зважування: $w = \text{rectwin}(n)$. Вектор, що повертається, заповнений одиницями: $w = \text{ones}(n,1)$. Функція *hamming* реалізує вікно Хемінга: $w = \text{hamming}(n, 'sflag')$. Строковий параметр *'sflag'* дозволяє вибрати режим розрахунку вікна. При значенні *'symmetric'*, прийнятому за замовчуванням, генерується симетричне вікно, для якого $w(k) = w(n + 1 - k)$. Воно використовується при розрахунку фільтрів. При значенні *'periodic'* створюється злегка несиметричне вікно, що використовується при спектральному аналізі.

Періодограма. Періодограмою називається оцінка спектральної потужності сигналу, отримана по N відлікам однієї реалізації випадкового процесу. Періодограма використовується для оцінки спектра потужності стаціонарного випадкового процесу.

Періодограма визначається як зміщена оцінка перетворення Фур'є:

$$\hat{P}(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=1}^{N-1} x_n e^{-i2\pi f n} \right|^2, \quad -\frac{1}{2\Delta t} < f \leq \frac{1}{2\Delta t}. \quad (5.12)$$

де Δt – інтервал дискретизації, $1/2\Delta t$ – частота Найквіста.

Модифікована періодограма множить вхідний сигнал на зважувальну функцію вікна й визначається:

$$\hat{P}(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=1}^{N-1} h_n x_n e^{-i2\pi f n} \right|^2, \quad -\frac{1}{2\Delta t} < f \leq \frac{1}{2\Delta t}. \quad (5.13)$$

де h_n – зважувальна функція вікна.

На практиці, фактичне обчислення $P_{xx}(f)$ може виконуватися тільки в кінцевому ряді частот, періодограми обчислюють СПМ на частотах:

$$f_k = \frac{k \cdot f_s}{N} \quad \text{для } k = 0, 1, \dots, N - 1$$

Для обчислення періодограми призначена функція *periodogram*.

Синтаксис її виклику наступний:

$$[P_{xx}, f] = \text{periodogram}(x, \text{window}, N_{fft}, F_s, \text{'range'}).$$

Обов'язковим вхідним параметром є x – вектор відліків сигналу. Інші параметри мають значення за замовчуванням, які використовуються, якщо як параметр зазначений порожня матриця або якщо деяка кількість параметрів (починаючи з останнього) опущені при виклику. Вектор *window* повинен містити коефіцієнти використовуваного вікна (при цьому говорять про модифіковану періодограму). За замовчуванням використовується прямокутне вікно. Параметр *Nfft* задає розмірність ШПФ, використовуваного для обчислення періодограми. За замовчуванням цей параметр дорівнює максимальному із двох чисел: **256** й $2k$. Значення k таке, що виконується умова $2k > \text{length}(x)$. Вхідний сигнал, помножений на вікно, приводиться до розміру *Nfft* (обрізається або доповнюється нулями). Параметр F_s – частота дискретизації в герцах. Значення за замовчуванням дорівнює 2π . Строковий параметр *'range'* визначає частотний діапазон для вектору, що повертається, P_{xx} . Можливі два значення: *'twosided'* – вектори P_{xx} й f мають довжину *Nfft* і відповідають повному діапазону частот $0 \dots F_s$. Цей варіант використовується за замовчуванням, якщо x містить комплексні відліки; *'onesided'* – вектори P_{xx} й f мають довжину $\text{ceil}((N_{fft} + 1)/2)$ і відповідають половинному діапазону частот $0 \dots F_s/2$. Цей варіант використовується за замовчуванням у випадку дійсного вектору x . Параметр *'range'* може бути зазначений у списку параметрів у будь-якому місці після *window*. Параметри, що повертаються: P_{xx} – вектор значень спектральної щільності потужності, f – вектор значень частот, використаних для розрахунку. Крок між сусідніми елементами цього вектору дорівнює F_s/N_{fft} , перший елемент дорівнює нулю. Якщо вихідні параметри при виклику не зазначені, то функція буде графік спектральної щільності потужності.

Обчислення періодограми за методом Уелча. При обчисленні

періодограми по довгому фрагменту випадкового сигналу вона виявляється досить порізаною, що утрудняє оцінку форми спектра. Для зменшення порізаності необхідно застосувати усереднення, що реалізується методом Уелча [101]. Обчислення при використанні методу Уелча організуються в такий спосіб:

1. Вектор відліків сигналу ділиться на сегменти, що перекриваються. Як правило, використовується перекриття на 50%. Кожен сегмент множиться на використовувану вагову функцію.

2. Для зважених сегментів обчислюються модифіковані періодограми.

3. Періодограми всіх сегментів осереднюються.

Слід зазначити, що метод Уелча для оцінки спектра використовує менші за розміром сегменти сигналу, тому розрізняльна здатність спектрального аналізу (можливість розрізнити дві поруч розташовані спектральні лінії) у цьому випадку знижується. Для реалізації методу Уелча використовується функція *pwelch*. Синтаксис виклику функції наступний: $[Pxx, f] = pwelch(x, Nwin, Noverlap, Nfft, Fs, 'range')$. Обов'язковим вхідним параметром є x – вектор відліків аналізованого сигналу. Всі інші параметри мають значення за замовчуванням, які використовуються, якщо при виклику як параметр зазначений порожня матриця або якщо кілька останніх параметрів опущено. Параметр *Nwin* управляє вибором вікна, використовуваного для аналізу. Якщо *Nwin* – число, використовується вікно Хемінга зазначеної довжини, якщо вектор, то даний вектор використовується як вікно. За замовчуванням використовується вікно Хемінга, довжина якого вибирається так, щоб з урахуванням заданого перекриття сигнал виявився розділеним на вісім фрагментів. Параметр *Noverlap* задає (у відліках) перекриття сусідніх фрагментів сигналу, для яких обчислюються періодограми. За замовчуванням перекриття дорівнює половині довжини вікна. Параметр *Nfft* задає розмірність ШПФ, використовуваного для обчислення періодограми. За замовчуванням *Nfft* дорівнює максимальному із двох чисел: 256 й 2^k . Значення k таке, що виконується умова $2^k > Nwin$, де

$Nwin$ – довжина фрагмента сигналу (довжина використовуваного вікна).

Параметр F_s указує частоту дискретизації сигналу. Це значення використовується для нормування розрахованого спектра потужності, а також при розрахунку вектору, що повертається, f і для оцифрування графіка. За замовчуванням значення цього параметра дорівнює 2π .

Строковий параметр *'range'* визначає частотний діапазон для вектору, що повертається, P_{xx} . Можливі два значення:

– *'twosided'* – вектори P_{xx} й f мають довжину $Nfft$ і відповідають повному діапазону частот $0...F_s$. Цей варіант використовується за замовчуванням, якщо x містить комплексні відліки;

– *'onesided'* – вектори P_{xx} й f відповідають половинному діапазону частот $0...F_s/2$. Цей варіант використовується за замовчуванням у випадку дійсного вектору x .

Параметр *'range'* може бути зазначений у списку параметрів у будь-якому місці після *Noverlap*. Параметри, що повертаються: P_{xx} – вектор значень спектральної щільності потужності, f – вектор значень частот, використаних для розрахунку. Крок між сусідніми елементами цього вектору дорівнює $F_s/Nfft$, перший елемент дорівнює нулю. Якщо вихідні параметри при виклику не зазначені, функція буде графік спектральної щільності потужності за допомогою функції *psdplot*.

Розрахунок спектра здійснюється в такий спосіб. Аналізований сигнал x ділиться на фрагменти, що перекриваються, відповідно до параметрів $Nwin$ й $Noverlap$. Для кожного фрагмента обчислюється модифікована періодограма з використанням заданого вікна й розмірності ШПФ. Отриманий набір модифікованих періодограм осереднюється.

5.5 Спектральний аналіз часових рядів

Вихідні дані. Рівномірний часовий ряд температури автоматичної метеорологічної станції (АМС). Метеостанція Одеса (аеропорт), Україна,

вибірка з 01.05.2017 по 31.05.2017, всі дні з інтервалом через кожні 30 хвилин.

Графічне подання вихідних даних у часовій області. Дуже часто візуальне вивчення графіка вихідного ряду дозволяє виявити низькочастотну компоненту (тренд) [102]. Цю складову корисно виключити з даних, оскільки вони можуть привести до більших погрешностей в періодограмі в її високочастотній області.

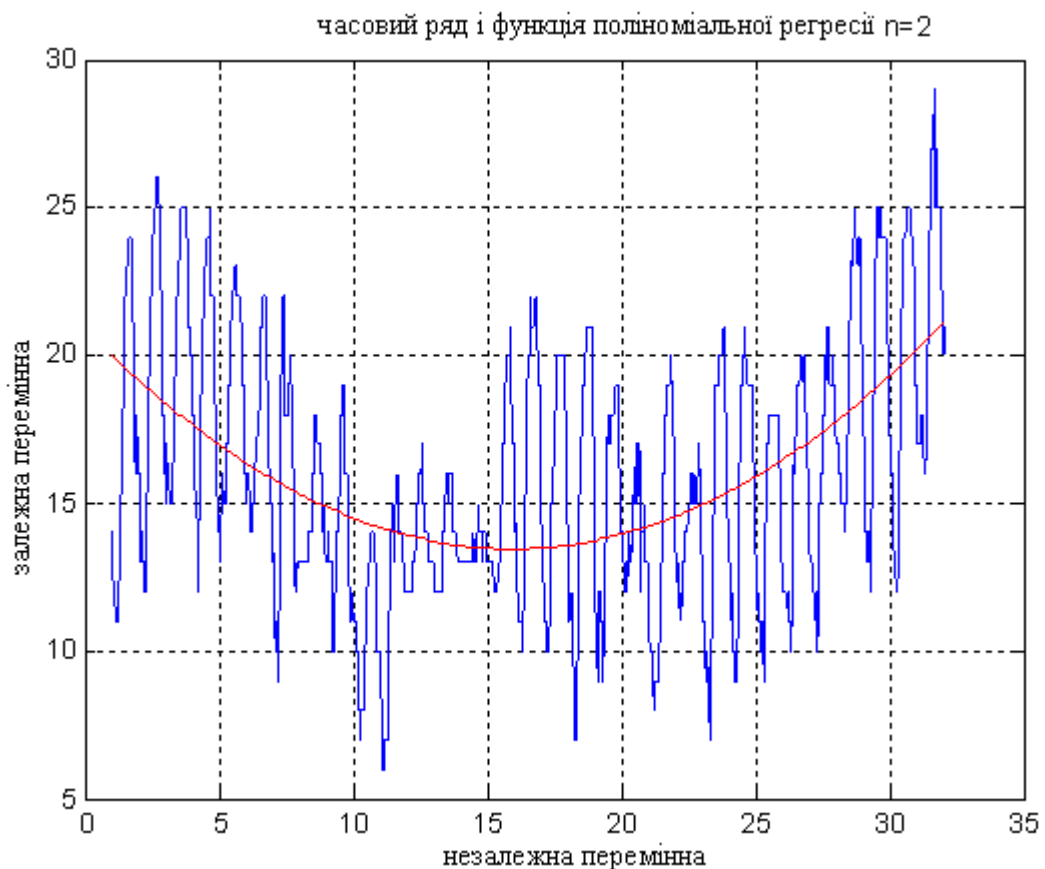


Рисунок 5.2 – Часовий ряд температури (коливання) AMC і його поліноміальна регресія (гладка крива)

З візуального аналізу вихідного ряду рис. 5.2 видно, що ряд має помітно виражений квадратичний тренд і квазіперіодичну складову.

Виключення тренду і центрування ряду. Для виключення тренду необхідно задати його модель. Найчастіше в якості формальної моделі використовують апроксимацію тренду за допомогою лінійної комбінації

поліномів. Параметри моделі тренду визначаються за допомогою методу найменших квадратів, а потім значення тренду віднімаються з вихідного тренду.

Аналізуючи ряд залишку, після виключення (віднімання) параметричного тренду з часового ряду, можна відзначити, що розбіжності між середніми значеннями та дисперсіями двох вибірок значимо не відрізняються одне від одного. Це говорить про те, що розглянутий ряд є стаціонарним по середньому арифметичному значенню, і стаціонарним по дисперсії. Після віднімання тренду графік центрованого часового ряду, для подальшого спектрального аналізу, наведений на рис. 5.3.

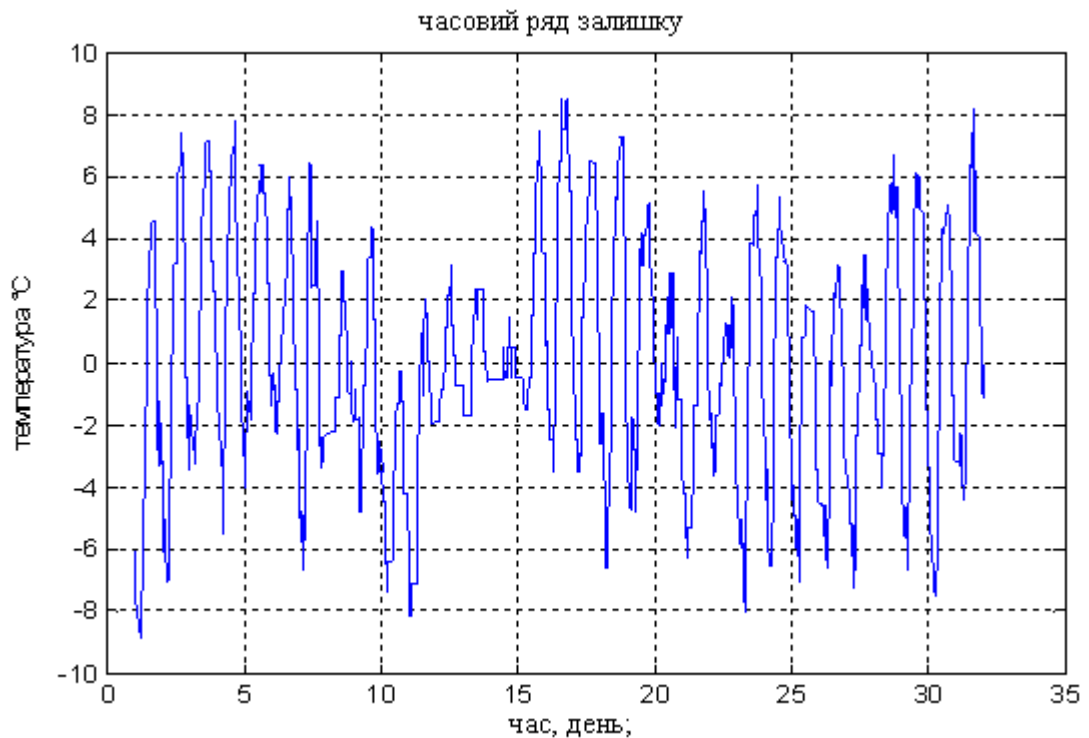


Рисунок 5.3 – Графік центрованого часового ряду

Обчислення періодограми. Щоб скористатися процедурою ШПФ зі збільшенням роздільної здатності по частоті доповнюємо нулями довжину нового ряду, $N_1 = 2^p > N$.

% Оцінка спектральної щільності потужності із прямокутним зважувальним

вікном відповідно до виразу (5.12)

$T_s=30*60$; % інтервал дискретизації відліків ряду 30 хв= $30*60=1800$ сек

$f_s=1/T_s$; % частота дискретизації Гц,

$nfft=2^{11}$; % розмірність ШПФ, що перевищує довжину ряду TS_ost

$[Pf1,f]=periodogram(TS_ost,rectwin(length(TS_ost)),nfft,f_s)$;

figure, plot(f,Pf1),grid,title('СПМ часового ряду-TS-ost, окно-прямоуг') ,

xlabel('частота, Гц') ,ylabel('СПМ, $V^2/Гц$ '),

Відліки періодограми відповідають частотам

$$f_j = df \cdot j, j = 0, 1 \dots, nfft/2, \text{ де крок частоти } df = \frac{1}{nfft \cdot T_s} = 3.1 \cdot 10^{-7} \text{ Гц.}$$

Графічне подання періодограми центрованого ряду дано на рис. 5.4.

% Оцінка спектральної щільності потужності зі зважувальним вікном

Хемминга відповідно до виразу (5.13)

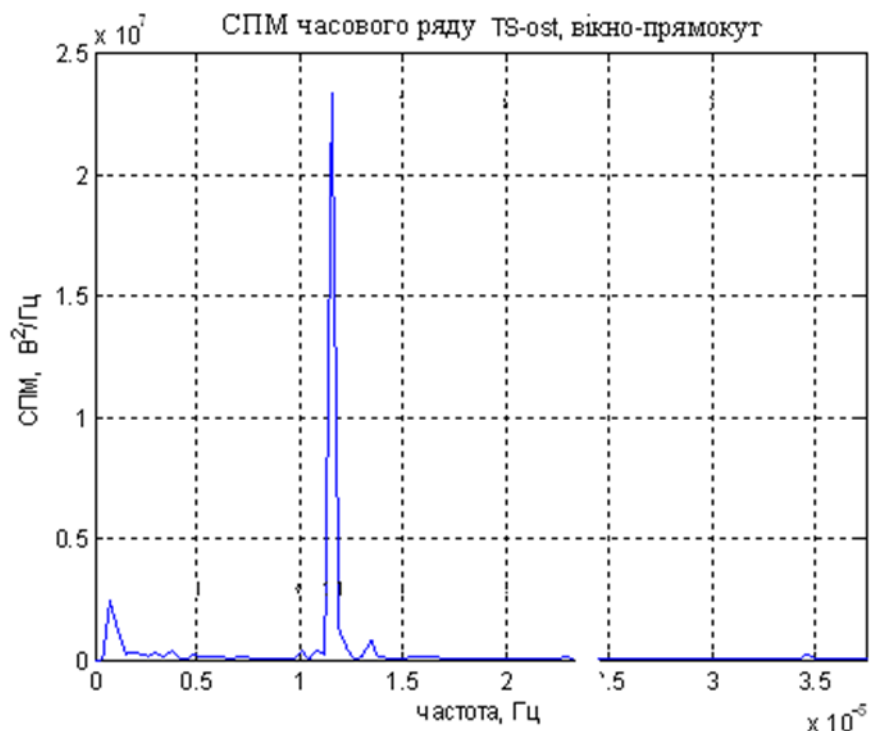


Рисунок 5.4 – Періодограма із прямокутним зважувальним вікном

$[Pf3,f]=periodogram(TS_ost,hamming(length(TS_ost)),nfft, f_s)$;

figure, plot(f,Pf3),grid,title('СПМ часові ряди-TS-ost з вікном-hamming') ,

```
xlabel('частота, Гц') ,ylabel('СПМ, В^2/Гц'),
```

%Оцінка спектральної щільності потужності методом періодограм Уелча згладжування періодограми досягається за рахунок розбивки вихідної послідовності довжини N_{win} на фрагменти, що перекриваються на половину 4-фрагмента

```
Nwin=round(length(TS_ost)/4); % довжина фрагмента
```

```
[Pf2,f2]=pwelch(TS_ost,Nwin,[],nfft/2, fs);
```

```
figure, plot(f2,Pf2),grid,title(['СПМ Уелча часові ряди-TS-ost з вікном-  
hamming, усереднений ' mat2str(round(length(TS_ost)/Nwin)) '-фрагм']),
```

```
xlabel('частота, Гц') ,ylabel('СПМ, В^2/Гц'),
```

Відліки періодограми Уелча відповідають частотам

$f_j = df \cdot j, j = 0, 1 \dots, nfft/2$, де крок частоти $df = \frac{1}{\frac{nfft}{2} \cdot T_s} = 6.2 \cdot 10^{-7}$ Гц.

Оцінки спектральної щільності потужності, для визначення яких спочатку за вихідним даними формуються оцінки автокореляційних функцій і подальше перетворення Фур'є автокореляційних функцій відповідно до виразів (5.1, 5.2, 5.11).

% Корелограмний метод оцінювання спектральної щільності потужності

```
[Cov,lag]=xcov(TS_ost,length(TS_ost),'biased'); %автоковаріаційна функція  
зміщена оцінка.
```

```
figure, bar(lag,Cov),xlim([-100 100]),grid,title('автокореляційна функція  
залишків часового ряду'),
```

```
xlabel('лаг,номер інтервалу зрушення') ,ylabel('амплит-ACF'),
```

```
Nfft=length(Cov);
```

```
df=1/(Nfft*Ts); % Крок між сусідніми елементами цього вектору дорівнює  
частоті
```

```
Fmax=1/Ts; % Hz максимальний діапазон частот
```

```
fc=0:df:Fmax; %вектор відліків частоти, для відображення спектра, крок  
частоти df
```

```
dl=length(lag); %довжина вектору автокореляції
```

```
Pf_acf=fft(Cov); Abs_Pf=abs(Pf_acf);
```

```
figure, plot(fc(1:end-1),Abs_Pf/(fs*1)),grid,xlim([0 Fmax/2]), title('СПМ часові  
ряди-TS-ost оцінка по автокореляц'),
```

```
xlabel('частота, Гц'),ylabel('СПМ, В^2/Гц'),
```

Відліки спектральної щільності потужності відповідають частотам $f_j = df \cdot j, j = 0, 1 \dots, Nfft/2$, де крок частоти $df = \frac{1}{Nfft \cdot T_s} = 1.86 \cdot 10^{-7}$ Гц.

При використанні будь-якого методу оцінювання СПМ кінцевої дискретної послідовності доводиться приймати ряд компромісних рішень, які дозволили б одержати статистично стійкі оцінки з максимально можливим відрізненням. До таких компромісних рішень ставляться вибір віконних функцій і параметрів усереднення в часовий й у частотній областях. Оцінки СПМ, одержувані в результаті обробки того самого відрізка сигналу різними методами, як правило, відрізняються одна від одної. Їх можна пояснити розходженням допущень, прийнятих відносно даних, різними способами усереднення і т.п. Тому практика спектрального аналізу вимагає певного мистецтва.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті та проаналізовані характеристики існуючих сучасних радіозондів, які використовуються на метеорологічних мережах у багатьох країнах, у тому числі в Україні. Визначені найкращі на цей час радіозонди – RS92-SGP фінської фірми Vaisala, японський радіозонд Mesei RS-06G і німецький Graw DFM-09. Вони мають найвищий рівень ефективності вимірювання атмосферного тиску, температури й відносної вологості повітря і можуть служити еталоном. З оглядом на це, сучасний радіозонд повинен вимірювати температуру і відносну вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, власні координати 3D за допомогою систем позиціонування ГЛОНАСС/GPS і обчислювати параметри руху повітряних мас в горизонтальній площині (параметри вітру) і у вертикальній площині (турбулентність). Розвиток техніки радіозв'язку, використання нових принципів прийому і передачі інформації, досягнення мікроелектроніки ставлять на порядок денний питання про побудову системи аерологічного моніторингу атмосфери без спеціалізованих наземних засобів безпосереднього забезпечення польотів радіозондів. У ідеалі, наземна частина системи повинна тільки виконувати функції: зберігання радіозондів і оболонок; передполітну перевірку апаратури радіозонда; наповнення оболонок газом; визначення дозволеного моменту пуску і запуск радіозонду. Після відриву від землі і набору мінімальної висоти радіозонд починає передавати інформацію усім зацікавленим користувачам по виділених каналах зв'язку по Протоколу який вони отримують або як власники зонду, або як споживачі інформації, які заздалегідь придбали код доступу. У процесі польоту необхідно організувати архівацію даних. Ці накопичені дані дозволять після приземлення радіозонда усунути втрати інформації, які неминуче виникають у польоті з різних причин. Тому треба передбачити процедуру оперативного збору апаратів, що приземлилися, по координатах

визначених за допомогою системи ГЛОНАСС/GPS і переданих бортовим передавачем.

2. Для визначення фрактальності нанокластерної системи слід розглядати три аспекти. По-перше, реальний фізичний об'єкт має фрактальні властивості лише у визначеному інтервалі масштабів. Граничні геометричні масштаби для розглянутого нанокластера можна визначити, виходячи з експериментальних або теоретичних даних. Нижній масштаб пов'язаний з кінцевим розміром структурних елементів, а в рамках нанокластерної моделі таким елементом буде розмір статистичного сегмента. І, нарешті, третій аспект стосується безпосереднього математичного визначення фрактальної розмірності нанокластера та нанокластерної підсистеми в цілому.

3. Аналіз вимог різних споживачів метеорологічної радіолокаційної інформації до її обсягу, якості, формі і оперативності подання показує, що оптимальний шлях задоволення максимально можливого числа споживачів передбачає створення багатофункціональної автоматизованої системи метеорологічних радіолокаційних спостережень. Її головною і важливою перевагою є можливість, в рамках єдиної системи, комплексного використання радіолокаційної інформації для вирішення завдань моніторингу, а саме, штормового оповіщення, прогнозування погоди, метеорологічного забезпечення транспортного комплексу, органів влади та управління, вимірювання інтенсивності і кількості опадів, активних впливів на атмосферні процеси і інших задач. Обслуговування споживачів можливо лише при беззастережному виконанні їхніх вимог до форм, термінів, регулярності і достовірності метеорологічної інформації, яка дозволяє їм приймати рішення, що сприяють мінімізації збитку від погодних умов або приносити прибуток. Оскільки споживачі різні, то задовольнити всі їхні поточні і ті що можуть виникнути в майбутньому потреби можна тільки побудувавши радіолокаційну систему гідрометеорологічного моніторингу так, щоб створюване нею радіолокаційне поле повністю покривало простір спостереження, тобто ту область атмосфери, в якій існують всі

метеорологічні об'єкти, явища і процеси. Нижня межа радіолокаційного поля повинна бути розташована якомога ближче до поверхні Землі, при цьому поле повинно бути без розривів, суцільним, а верхня межа безразривного поля не повинна бути більше висоти, на якій вже не існують гідрометеорологічні об'єкти, явища і процеси. При цьому всередині поля повинні забезпечуватися задана точність і дискретність вимірювань. Принципи побудови радіолокаційного поля, що відповідає зазначеним вище вимогам, відомі. Необхідно організувати огляд простору спостереження таким чином і такими засобами, щоб реалізувати раціональний розподіл енергії зондувального випромінювання з забезпеченням необхідної якості радіолокаційної інформації.

4. У розділі вирішено встановлену мету обґрунтування обрання СГМ, що включає маркетингові дослідження, управління, створення, підключення, еволюційне удосконалення тощо, для проекту аналізу рельєфу, як композиційного компоненту відкритої ПС. Відмінною складовою завдань проектів комп'ютерної графіки є обробка ГБД, які, по суті являють собою «звичайні» БД, але в основу яких закладено математичні алгоритми управління зображенням за сформованими статистичними координаційними даними проекту. Такі можливості є далеко не у кожному проекті СГМ, але сучасні тенденції вимагають цього. Велика кількість ПП розроблюється з широким спектром моделюючих характеристик, BRL-CAD – один з таких ПП. Відкритий проект BRL-CAD є прийнятним у застосуванні для досвідченого проектувальника, проте для початківця процес її застосування виявиться дуже ускладненим. У глобальній мережі немає жодних матеріалів українською або російською мовами, які хоча б поверхнево описували проектувальнику роботу із системою у режимі «інструкція користувача». Матеріали англійською мовою – поверхневі та містять тільки декілька десятків консольних команд. При детальному аналізі середовища було виявлено наявність двох модулів, що містяться у структурі ПС, які допомагають потенційному користувачеві системою швидко конструювати

необхідні ГБД. Також фундаментальною цією СГМ можна назвати здатність підтримувати конструювання та аналіз візуальних моделей на основі складних об'єктів, що складаються з великого набору графічних примітивів. Після проведених досліджень можна зробити висновок: потужний бік СГМ BRL-CAD – це надзвичайна швидкість засобів візуалізації, трасувальника променів та рендерингу. Після порівняння проекту з аналогами, можна стверджувати, що процес візуалізації є одним із найшвидших серед існуючих. Остання перевага надає широкі перспективи для застосування ПП BRL-CAD у різноманітних галузях: військових, промислових чи навчальних застосуваннях, таких як системи проектування та аналізу у машинобудуванні, механічні вузли, архітектурні споруди, будова молекул тощо. Передумовою виконання аналізу можливостей СГМ стало моделювання проектного каркасу (системної архітектури проекту) на основі якої буде складено майбутні засади проактивного розвитку ГБД для композиційного підключення до оновленої відкритої СГМ BRL-CAD для задач моделювання рельєфу. При формуванні проектної архітектури буде використано розширену нотацію UML 2.5 та CASE-інструментарій Enterprise Architect 15.2. Перспективи досліджень СГМ полягають у наступному удосконаленні: інструментальної групи роботи з утилітами відкритого ПП BRL-CAD, графічних бібліотек проекту, системи використання команд та можливостей, домовленостей про іменування файлів та геометрії. Також потребують удосконалення: проектні процеси створення простих тіл, логічні операції, операції із комбінованими тілами, організація рендерингу та трасування променів. Автор розділу хоче висловити велику подяку корпорації BRL-CAD за можливість відкритого користування і тестування вихідних файлів, збірок та систем, а також за підтримку крос-платформної методології відкритого проекту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гольцман М.И. Основы методики аэрофизических измерений. – М.-Л.: ГТТИ, 1950. – 300 с.
2. Молчанов П.А. О точности зондирования атмосферы методом радиозондов // Метеорология и гидрология. – 1936. – № 2. – С. 30–41.
3. Иванов В.Э., Фридзон М.Б., Ессяк С.П. Радиозондирование атмосферы. Технические и метрологические аспекты разработки и использования радиозондовых измерительных средств. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. – 596 с.
4. Зайчиков П.Ф. Метод “тройного контроля” и его применение для исследования точности радиозондов // Труды ЦАО. – Вып. 16. – М., 1956. – С. 10–15.
5. Решетов В.Д. Изменчивость метеорологических элементов в атмосфере. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 215 с.
6. Марфенко О.В. Оценка точности результатов радиозондирования на аэрологической сети Советского Союза // Метеорология и гидрология. – 1969. – № 3. – С. 14–21.
7. Фридзон М.Б. Оценка погрешности измерений температуры и влажности при радиозондировании на аэрологической сети СССР // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 5.
8. Final report of Commision for instr. and methods of observation (CIMO) on 2 session of the working group on upper-air technology basic to user needs. De Bilt, Netherlands, 17–21 Sept, 1984.
9. Guide to meteorological instrument and observing practices // WMO. – 1984. – № 6. – 600 p.
10. Hinzpeter-Max F.E. The reference radiosonde as a tool for improving meteorological data from conventional radiosondes. – IEEE Trans. Geosci. Electron., 1973. – V. 11. – № 2. – P. 110–123.

11. Lenhard R.W. A ravished assessment of radiosonde accuracy // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 1973. – V. 54. – № 7. – P. 691–694.
12. Lenhard R.W. Accuracy of radiosonde temperature and pressureheight determination // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 1979. – V. 61. – № 9. – P. 842–846.
13. Richner H., Phillips P.D. Reproducibility of VIZ radiosonde data and same sources of error // J. Appl. Meteorol. – 1981. – V. 20. – № 8. – P. 954–982.
14. Upper-air sounding studies. Studies on radiosonde performance // WMO Tecn. Notes. – 1975. – № 140. – P. 1–140.
15. Азаров А.С., Азаров М.А., Кочин А.В. О корреляционном методе обработки телеметрической информации в аэрологических системах радиозондирования // Научный вестник МГТУГА. Серия Физика – 1999. – № 18. – С. 9–12.
16. Фридзон М.Б. Физическая модель погрешности измерения температуры и влажности при радиозондировании атмосферы // Труды НИИ приборостроения. – Вып. 48. – М., 1985. – С. 24–37.
17. Балагуров А.М., Дозорцев А.Р., Зайчиков Б.П., Немировский И.Б., Фридзон М.Б. Комплексный эксперимент по исследованию погрешностей измерения температуры и влажности сетевым радиозондом // Второй Всесоюзный семинар “Технические средства для государственной системы наблюдений и контроля природной среды (ГСКП)”: Тез. докл. – Обнинск, 1983. – С. 138–139.
18. Мильвидский М.Г., Чалдышев В.В. Наноразмерные атомные кластеры в полупроводниках - новый подход к формированию свойств материалов // ФТП.-1998.-Т.32, № 5.-С.513-522.
19. Находкін М.Г., Сізов Ф.Ф. Елементи функціональної електроніки.- К.:ВД «Професіонал», 2002. - 201 с.
20. Ковальчук В.В. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур. – К.: «Хай Тех Пресс», 2007.- 308 с.
21. Покутній С.І., Ковальчук В.В. Міжзонне поглинання світла у напівпровідникових нанокристалах //УФЖ.-1999.-т.44, № 9.-С.1160-1163

22. Hofmeister H., Kodderitzsch P., Dutta J. Structure of nanometerized silicon particles prepared by various gas phase processes // *J.Non-Cryst.Solids.* - 1998.- V.232-234. – P.182-187.
23. Ковальчук В.В., Панченко А.А., Сербов Н.Г. Вимірювальна система визначення геометричних параметрів нанокластерної підсистеми речовини // *Метрологія та прилади.* - 2015. – № 3 (53). -С. 57-62
24. Bloomfield L.A., Freeman R.R., Brown W.L. Photofragmentation of Mass-resolved Si_{2-12}^+ clusters // *Phys.Rev.Lett.*-1985.- v.54,No20.-p.2246-2249.
25. Ковальчук В. В., Сербов М.Г. Модифікація твердотільної матриці шляхом формування нанокластерної підсистеми // *Метрологія та прилади.* - 2015. – № 3 (53). -С. 57-62
26. Cluster assembled materials / Eds. K. Sattler. Zurich:Tech.Publ.1996.v.232.187p.
27. Ковальчук В.В. Ультрадисперсні субфази в молекулярній електроніці (огляд). *ТКЭА.*-2002. №3. С.6-14.
28. Kovalchuk V., Smorgh M. Metrology of the Real Nanoclusters: Structure and Optical Characteristics. *Metrology & Devices.* 2020. №2. P.56-60
29. Kovalchuk V. Optical Properties of clusters // *J. of Physics & Electronics.* 2018.V. 26 (1). P. 29-34
30. Звіт про НДР «Визначення вимог щодо побудови системи одержання і обробки вимірювальної інформації з метою моніторингу довкілля» каф. АСМНС м. Одеса: ОДЕКУ. – 2013р. – 299 с.
31. Звіт про НДР «Оцінка енергетики та геометрії радіолокаційної інформаційної системи моніторингу навколишнього середовища » каф. АСМНС м. Одеса: ОДЕКУ. – 2014 р. – 249 с.
32. Durand R.L. Weather radar systems: Radar compositing now makes the big picture even bigger. – *COST 73*, 1989, P. 153 – 162.
33. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5 РД52.04.320.91. – Л.: Гидрометеиздат, 1993. – 360 с.

34. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 344 с.
35. Код для сообщения данных метеорологических наблюдений, проводимых с помощью наземных радиолокаторов (международная форма FM20-V RADOB). – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 24 с.
36. Федоров Ю.К. Программная реализация алгоритмов стыковки данных МРЛ. – Труды ГГО, 1976, вып. 383. – С. 39 – 44.
37. Федоров Ю.К. Способ автоматической стыковки данных метеорологических радиолокаторов. – Труды Гидрометцентра СССР, 1973, вып. 102. – С. 62 – 74.
38. Брылёв Г.Б., Николаев П.Н., Фогель И.А. Применение метеорологических радиолокаторов (МРЛ) штормооповещения в СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1979, С. 1 – 15.
39. Брылёв Г.Б., Завдовьев А.В. Методические аспекты обработки информации комплексов МРЛ-ААОМ с помощью ЭВМ. – В сб.: Радиолокационная метеорология. – Гидрометеиздат, 1981. – С. 15 – 23.
40. Collier C.G. United Kingdom weather radar status report. Measurement of precipitation by radar. – COST Project 72 – Proceedings of a final seminar, 1985.
41. Collier C.G., Fair C.A., Newsome D.H. International weather radar networking in Western Europe. – Boston, AMS, 1988, v. 69, P. 16 – 21.
42. Collier C.G., James P.K. On the development of an integrated weather radar processing system. Proc. 23d Conference on radar meteorology. – Boston, AMS, 1986, P. 95 – 97.
43. Smith A.H., Kitchen M. A review of the quality evaluation of radar rainfall measurements carried out by the UK Met Office. – COST 75, 1999, P. 68 – 81.
44. Fair C.A., James P.K., Larke P.R. The United Kingdom weather radar network. – COST 73, 1989, P. 145 – 152.

45. Anderson T., Lindstrom B., Ullerstig A. Operative experience of a development plans for SMHIs Doppler weather radar. – COST 72, 1985, P. 199 – 221.
46. Berglund T., Aberg P. Flight weather forecasts based on modern radar presentation. – COST 72, 1985, P. 107 – 109.
47. Gustafsson S.G., Ekengreen B. Weather radar networking. – COST 72, 1985, P. 124 – 131.
48. Isaksson B. Design of radar signal processors for operational Doppler weather radar. – COST 73, 1989, P. 293 – 299.
49. King R. Weather radar status report. – COST 72, 1985, P. 173 – 174.
50. King R. Operational experience with the Finnish weather radar network. – COST 73, 1989, P. 87 – 96.
51. Koistinen J., King R., Harju A. Monitoring and assessment of systematic measurements errors in the NORDRAD network. – COST 75, 1999, P. 62 – 67.
52. Nilsson S., Brunsberg J.O. Promis 600: an operational system for very short range weather forecasting in Sweden. – COST 73, 1989, P. 393 – 402.
53. Overgaard S. A Nordic weather radar network. – COST 73, 1989, P. 47 – 58.
54. Overgaard S., Wienberg E. Distribution of weather radar images to agricultural end users. – COST 73, 1989, P. 567 – 580.
55. Meischner P. The potential of advanced weather radars in Europe. – COST 75, 1999. P. 24 – 34.
56. Martinez C. The Spanish weather radar network project. – COST 72, 1986, P. 191 – 199.
57. Austin G.L., Kilambi A., Biron H.-P. The operational use of a high speed interactive radar data processing system (RDPS). Part I. A technical description. – COST 73, 1989, P. 229 – 236.
58. Biron H.-P., Austin G.L., Kilambi A. The operational use of a high speed interactive radar data processing system. Part II. – COST 73, 1989, P. 415 –

421.

59. Camacho Ruiz J.L. Weather radar observations in Spain: operational limitations. – COST 75, 1999, P. 593 – 601.

60. Svabik O. Documentation of severe weather: thunderstorm and hail frequency in Europe. – COST 75, 1999, P. 357 – 363.

61. Goddard D.M., Conway B.J. Near-real-time precipitation analysis over Europe. – COST 73, 1989, P. 331 – 340.

62. Кольер К.Г. Создание сети метеорологических радиолокаторов в Европе – проект COST-73 Комиссии европейского сообщества. – Бюллетень ВМО, 1991, т. 40, № 4, С. 445 – 451.

63. 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.

64. Serafin R.J., Wilson J.W. Operational weather radar in the U.S.: Progress and Opportunity. – COST 75, 1998, P. 35 – 61.

65. 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.

66. Golden J.H. The prospects and promise of NEXRAD: 1990's and beyond. – COST 73, 1989, p. 17 – 36.

67. Schlatter T.W. An integrated approach to the display of Doppler radar and other meteorological data. – COST 73, 1989, P. 317 – 330.

68. Абшаев М.Т., Вовшин Б.М. Вылегжанин И.С. и др. Доплеровский метеорологический радиолокатор с поляризационной селекцией сигнала для исследования облаков и осадков. Сборник докладов 23-й Всероссийской научной конференции „Распространение радиоволн”, Йошкар-Ола, 2011, Т. 1. – С.107 – 110.

69. Ryzhkov A., Diederich M., Zhang P., Simmer C. Potential utilization of specific attenuation for rainfall estimation, mitigation of partial beam blockage, and radar networking. Submitted to the Journal of Atmospheric and Oceanic

Technology, February 13. 2013.

70. Писаренко Д. М. Инструментальные средства проектирования многофункциональных самоорганизующихся мобильных роботов. Искусственный интеллект. 2005. №1. С. 86–92.

71. Goodbye, «free software»; hello, «open source». URL: <http://www.webcitation.org/617oVjIKk> (дата звернения: 10.09.2020).

72. Categories of free and nonfree software. URL: <http://www.gnu.org/philosophy/categories.en.html> (дата звернения: 10.09.2020).

73. What is free software? URL: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.en.html> (дата звернения: 10.09.2020).

74. High Priority Free Software Projects by Free Software Foundation. URL: <https://www.fsf.org/campaigns/priority-projects/> (дата звернения: 12.09.2020).

75. Open Source Paradigm Shift by Tim O'Reilly. URL: http://archive.oreilly.com/pub/a/oreilly/tim/articles/paradigmshift_0504.html (дата звернения: 12.09.2020).

76. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. Изд. 8-е. Москва: Вильямс, 2005. 1328 с.

77. Haigh T. How Data Got its Base: Information Storage Software in the 1950s and 1960s. IEEE Annals of the History of Computing, 2010. Vol. 31. Iss. 4. P. 6–25. DOI: 10.1109/МАНС.2009.123.

78. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс. Москва: Вильямс, 2003. 1088 с.

79. С. J. Date. Date on Database: Writings 2000–2006. New York City: Apress, 2006. 566 p.

80. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. Москва: ДМК Пресс; Компания АйТи, 2003. 288 с.

81. Когаловский М. Р. Энциклопедия технологий баз данных. Москва: Финансы и статистика, 2012. 460 с.

82. Коннолли Т., Бегг К. Базы данных. Проектирование, реализация и

сопровождение. Теория и практика. 3-е изд. М.: Вильямс, 2003. 1436 с.

83. Мирошниченко Е. А. К формальному определению понятия «база данных». Проблемы информатики. 2011. № 2. С. 83–87.

84. Норенков И. П. Автоматизированное проектирование. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 188 с.

85. Ли Дж., Уэр Б. Трёхмерная графика и анимация. Изд. 2-е. Москва: Вильямс, 2002. 640 с.

86. Концевич В. Г. Твердотельное моделирование машиностроительных изделий в Autodesk Inventor. Киев, Москва: ДиаСофтЮП, ДМК Пресс, 2007. 672 с.

87. Херн Д., Бейкер М. П. Компьютерная графика и стандарт OpenGL. Изд. 3-е. Москва: Вильямс, 2005. 1168 с.

88. Энджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL. Изд. 2-е. Москва: Вильямс, 2001. 592 с.

89. Снук Г. 3D-ландшафты в реальном времени на C++ и DirectX 9. Изд. 2-е. Москва: Кудиц-пресс, 2007. 368 с.

90. Козир А. Є., Славко Г. В. Алгоритми і методи визначення складних контурів динамічних об'єктів з використанням технологій web-графіки. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2016. Вип. 3 (98). Ч. 1. С. 20–26.

91. Когаловский М. Р. Энциклопедия технологий баз данных. Москва: Финансы и статистика, 2012. 460 с.

92. Вамболь В. В. Идентификация источников формирования экологической опасности в местах несанкционированного скопления отходов. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2016. Вип. 1 (96) С. 122–128.

93. Date C. J. Date on Database: Writings 2000–2006. New York City: Apress, 2006. 566 p.

94. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. Москва: ДМК Пресс; Компания АйТи, 2003. 288 с.

95. Потемкин А. В. Трехмерное твердотельное моделирование. Москва: Компьютер-Пресс, 2002. 296 с.
96. Жуковський В. В. Про деякі підходи до створення програмних комплексів комп'ютерного моделювання підземних процесів. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2017. Вип. 2 (103). Ч. 1. С. 64–73.
97. Перелигін Б.В., Ткач Т.Б., Гор'єв С.А. Спектрально-часовий аналіз даних моніторингу: навчальний посібник. – Одеса: ТЕС, 2018. – 124 с.
98. Дженкинс Г., Ваттс Д., Спектральный анализ и его приложение. Т.1,2. – М.: Мир. 1972.
99. Витязев В.В. Спектрально-корреляционный анализ равномерных временных рядов: учебное пособие. – СПб: Изд-во СПб. университета, 2001. – 48 с.
100. Вадутов О.С. Математические основы обработки сигналов: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с.
101. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие. – СПб: Питер, 2002. – 608 с.
102. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 228 с.