


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.


31.12.2021

ЗВІТ

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

**Розділ 2: ВДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ
МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ДАНИХ ПРО АТМОСФЕРУ
(проміжний)**

Науковий керівник, к.т.н.

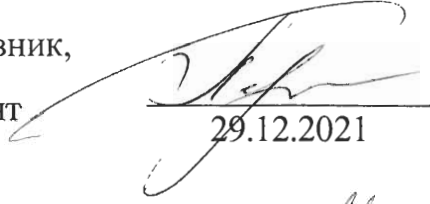
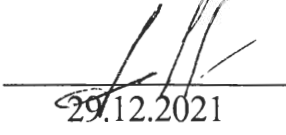
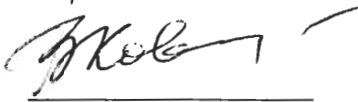
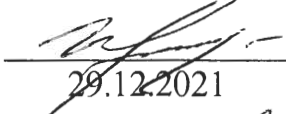
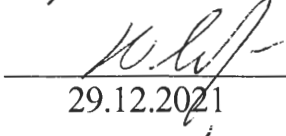
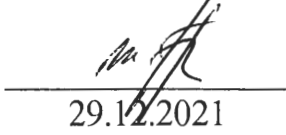
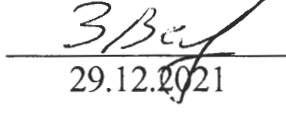
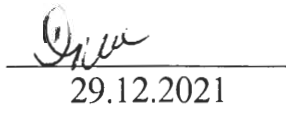
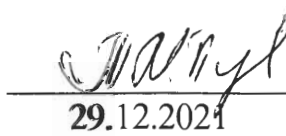
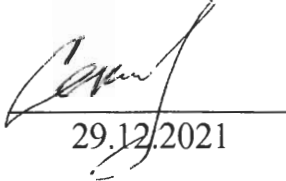


Б.В. Перелигін

Рукопис закінчено «29» грудня 2021 р.

Результати цієї роботи розглянуті на засіданні
кафедри автоматизованих систем моніторингу
навколишнього середовища та інформатики ОДЕКУ
Протокол № 5 від «16» грудня 2021р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, к.т.н., доцент	 29.12.2021	Б.В. Перелигін (загальне керівництво, вступ, висновок, розділи 1, 2, 3, 4, 5)
Відповідальний виконавець, к.т.н., доцент	 29.12.2021	С.А. Гор'єв (збір та підготовка матеріалів, розділ 5)
Д.ф.-м.н., професор	 29.12.2021	В.В. Ковальчук (розділ 2)
Д.т.н., доцент	 29.12.2021	С.С. Великодний (розділ 4)
К.т.н., доцент	 29.12.2021	Ю.В. Лавріненко (розділ 1)
Аспірант	 29.12.2021	Ж.В. Бурлаченко (розділ 4)
Аспірант	 29.12.2021	С.С. Зайцева-Великодна (розділ 4)
Аспірант	 29.12.2021	Д.О. Петухін (розділ 4)
Зав.лаб. АСМ	 29.12.2021	Т.М. Пустовіт (оформлення звіту)
Нормоконтролер	 29.12.2021	О.Б. Сененкова

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 94 с., 37 рисунків, 1 таблиця, 62 джерела.

РАДІОЗОНД, СТРУКТУРНА СХЕМА РАДІОЗОНДА, ДАТЧИКИ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ З НАНОКЛАСТЕРНОЮ ПІДСИСТЕМОЮ, РАДІОЛОКАЦІЙНЕ ПОЛЕ, СПОСІБ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ, ГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ, ГАРМОНІЙНИЙ АНАЛІЗ НЕСТАЦІОНАРНОГО РЯДУ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУРИ.

Метою даного промжінного звіту є розробка структурної схеми перспективного радіозонда, аналіз можливостей створення спектрально інверсованого фотоприймача з нанокластерною підсистемою для вимірювання параметрів атмосфери, розробка способу побудови радіолокаційного поля з метою досягнення його найкращих енергетичних і просторових характеристик, оцінювання тривимірної моделі для вирішення задачі геометричного перекриття радіолокаційного поля, гармонійний аналіз нестационарних 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	ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЗОНДА.....	7
1.1	Вибір принципу побудови структурної схеми перспективного радіозонда.....	7
1.2	Роль і місце мікропроцесора у структурі радіозонда.....	9
1.3	Елементи структурної схеми радіозонда.....	10
2	АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ДАТЧИКІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ.....	19
2.1	Актуальність.....	19
2.2	Мета і постановка задачі.....	19
2.3	Пристрій з нанокластерною системою.....	20
2.4	Наноскладові електротехнічних систем нового покоління: плівки атомарно-кластерної дисперсії. Експеримент і результаті.....	22
2.5	Спектрально інверсований фотоприймач з нанокластерною підсистемою.....	25
2.6	Висновки.....	33
3	ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	34
3.1	Аналіз існуючих способів створення радіолокаційних мереж.....	34
3.2	Спосіб побудови радіолокаційного поля з метою досягнення найкращих енергетичних і просторових характеристик.....	40
3.3	Висновки	47
4	СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНОЇ ГРАФІЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ РЕГІОНУ ДЛЯ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ	49
4.1	Види графіки та графічних моделей	49

	5
4.1.1 Векторні моделі.....	50
4.1.2 Растрові моделі.....	51
4.1.3 Тривимірні моделі.....	52
4.2 Організація рендерингу у САПР BRL-CAD	54
4.3 Розробка тривимірної геометрії	57
4.4 Оцінювання тривимірної моделі для задачі радіолокаційного геометричного перекриття.....	60
4.5 Висновки.....	63
5 СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕСТАЦІОНАРНИХ КЛІМАТИЧНИХ РЯДІВ.....	65
5.1 Вступ.....	65
5.2 Об'єкти і початкові матеріали дослідження.....	66
5.3 Методика дослідження.....	68
5.4 Обговорення результатів.....	72
5.5 Висновки.....	82
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	88

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.

Для удосконалення способів і засобів одержання даних моніторингу атмосфери радіофізичними методами потрібно, перш за все, удосконалювати засоби одержання інформації, тобто радіозонди.

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

Для якнайповнішої реалізації можливостей радіолокаційного методу моніторингу атмосфери потрібна розробка радіолокаційної системи на основі системного підходу, що дозволить створити її оптимальною з будь-якого обраного критерію.

Побудова радіолокаційних систем є складною і багатокоштовною задачею. Тому для здешевлення розробки заходів удосконалення потрібно здійснити моделювання цих заходів, а для цього треба оцінити тривимірну модель для вирішення задачі геометричного перекриття радіолокаційного поля.

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 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТЕОРОЛОГІЧНОГО РАДІОЗОНДА

У попередньому звіті були розглянуті тенденції вдосконалення метеорадіозондів з метою отримання більш повної метеоінформації, спрощення та здешевлення їх експлуатації та сформульовано вимоги до перспективного метеорадіозонду, що задовольняє цим вимогам.

У даному розділі проведено обґрунтування та подано ескізу структурну схему перспективного метеорадіозонда.

1.1 Вибір принципу побудови структурної схеми перспективного метеорадіозонда

Принципи побудови структурних схем.

В даний час широке впровадження цифрових методів отримання, обробки та зберігання інформації призвело до того, що в принципі змінився підхід до виду структурних схем радіотехнічних та телеметричних систем. Замість «послідовного» принципу побудови структурної схеми (див. рис. 1.1), коли сигнал (інформація) передається від одного пристрою (каскаду) до іншого послідовно (напрямок передачі вказується стрілками) все більшого поширення набуває «паралельний» принцип (див. рис. 1.2).

Цей принцип полягають у паралельному підключенні пристроїв за допомогою шини до мікропроцесора, який керує їхньою роботою за єдиним алгоритмом. Такий принцип побудови значно розширює можливості розв'язання задач пристроєм загалом.

Порівняльна характеристика принципів побудови структурні схеми.

Кожному принципу побудови структурної схеми пристрою притаманні свої переваги та недоліки. Проведемо порівняльний аналіз з метою вибору принципу, який найбільше задовольняє умови побудови перспективного

метеорадіозонду.

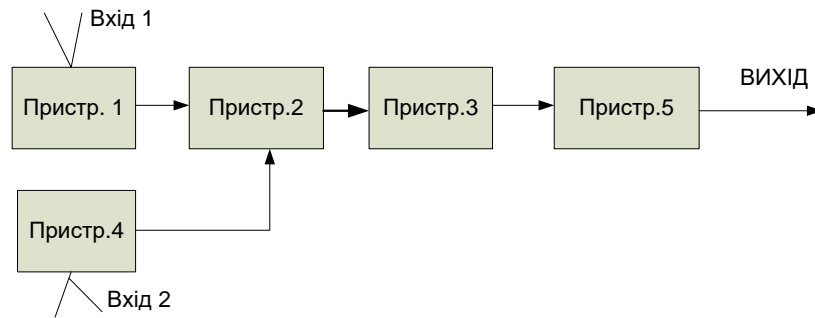


Рисунок 1.1 – Приклад реалізації «послідовного» принципу побудови структурної схеми

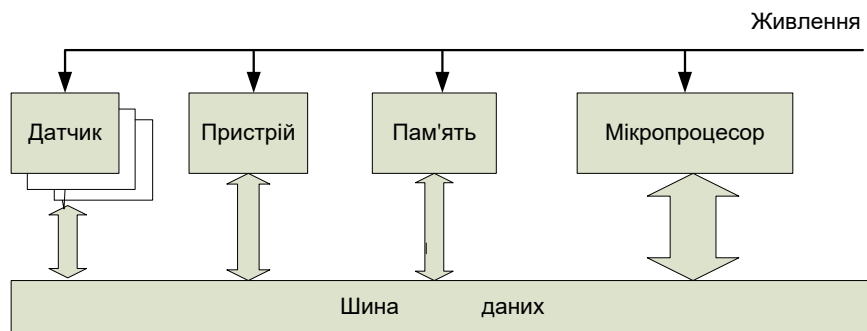


Рисунок 1.2 – Приклад реалізації «паралельного» принципу побудови структурної схеми

Послідовний принцип.

Послідовний принцип історично перший. Має гарну наочність (читабельність), досить логічний. При практичній реалізації потребує невелика кількість з'єднувальних проводів. Однак, є суттєвий недолік – реалізація цього методу конструктивно однозначна, тобто будь-які зміни схеми вимагають проведення комплексу механічних, електромонтажних та налаштувальних робіт. Метод широко застосовувався в аналоговій апаратурі першого, другого та третього поколінь.

Паралельний принцип.

Реалізація цього принципу стала можливою лише з переходом до цифрових методів отримання, зберігання та обробки інформації. Використання цього принципу вимагає використання n – розрядної шини даних та центрального мікропроцесора, який визначає умови, послідовність, час та тривалість підключення того чи іншого пристрою.

При такій структурній схемі з'являється можливість оперативно, просто програмним способом змінювати конфігурацію системи, нарощувати її функціональні можливості без виконання механічних та монтажних робіт.

З'являється можливість організувати управління, зворотний зв'язок, контроль та самоконтроль роботи окремих пристроїв системи, що у свою чергу підвищує швидкість та достовірність виконуваних операцій.

Деяке збільшення кількості з'єднувальних дротів за рахунок використання шини за сучасних технологій (використання шлейфів) незначно збільшує вагу вартість пристрою.

1.2 Роль і місце мікропроцесора у структурі метеорадіозонда

Мікропроцесор (МП) у складі перспективного метеорадіозонду є функціонально необхідним пристроєм. МП має вирішувати такі завдання:

1. Проводити циклічне опитування джерел метеорологічної інформації (датчиків), для чого з встановленим періодом посилати по шині кодову групу імпульсів запиту кожного датчика.
2. Отримувати по шині даних цифрові кодові групи величин виміряних параметрів, відповідним чином їх обробляти і архівувати.
3. Визначати місце розташування метеорадіозонду в тривимірній системі координат за допомогою GPS і за цими даними розраховувати горизонтальну складову швидкості дрейфу зонда (швидкість вітру по висотах) та вертикальну складову швидкості (швидкопідйомність).
4. Формувати метеоповідомлення, що включає: поточні координати

розташування метеорадіозонду; виміряні метеопараметри (температуру, вологість, атмосферний тиск, вміст озону тощо); розраховані параметри (горизонтальну складову швидкості переміщення зонда – швидкість вітру та вертикальну складову швидкості переміщення зонда – турбулентність повітряних мас).

5. З метою економії енергоресурсу організовувати сеанси радіопередач отриманої та накопиченої метеоінформації з адаптивною періодичністю, за якої період часу між сеансами передачі залежить від інтенсивності оновлення метеоданих.
6. Вести безперервний контроль технічного стану джерел інформації (датчиків), елементів пам'яті, радіопередаючого пристрою, бортового джерела живлення та самоконтроль.
7. Визначати момент переходу в режим роботи «Радіомаяк» при руйнуванні оболонки та початку падіння за швидкістю та градієнтом зміни метеовеличин.

Таким чином, виходячи з переліку завдань, що вирішуються мікропроцесором, може бути запропонована структурна схема перспективного метеорадіозонду зображена на рис. 1.3. Схема включає:

- набір датчиків;
- будову архівування даних (пам'ять);
- мікропроцесор;
- радіопередавальний пристрій;
- акумулятор електричного живлення;
- контролер живлення.

1.3 Елементи структурної схеми метеорадіозонда

Датчики.

Датчики (набір датчиків) призначені для вироблення електричних сигналів пропорційних вимірюваним метеовеличинам. Кожен датчик із

набору розрахований на вимірювання однієї метеовеличини, яка є аналоговою. А вихідний сигнал датчика, який надходить на шину даних, має бути цифровим. Тому у складі кожного датчика має бути аналого-цифровий перетворювач. Поточне вимірне значення метеопараметра після перетворення на цифрову форму надходить на збереження в реєстр, де зберігається до моменту приходу команди від мікропроцесора на видачу даних. Команда надходить із періодичністю встановленої для датчика метеопараметра цього виду. Крім того, в структурі датчика необхідно передбачити нормалізатор, тобто такий пристрій, який приводить електричний сигнал вимірної метеовеличини до єдиного для всіх датчиків масштабу.

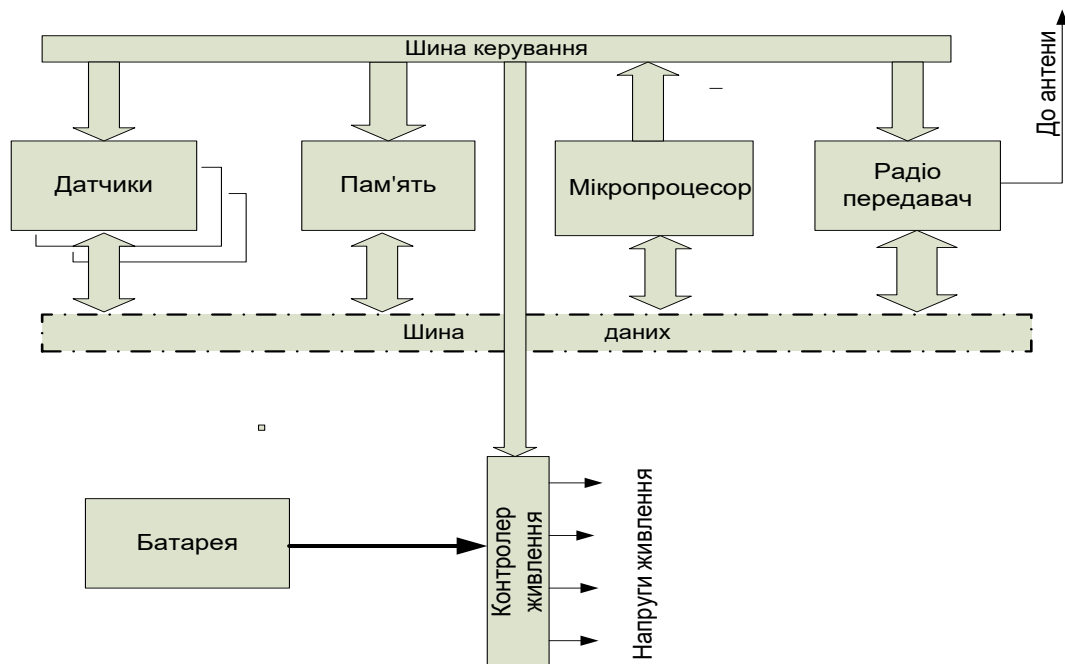


Рисунок 1.3 – Структурна схема паралельного типу перспективного метеорадіозонда

Датчики повинні бути підключені і до шини управління по якій від мікропроцесора надходять різні команди, що адаптують його роботу до змінних умов польоту зонда, наприклад, відключення датчика у разі його пошкодження або зміни крутості перетворення у разі навантаження і т.п. Для

реалізації перерахованих вище функцій елементи датчика повинні отримувати електроживлення від бортової батареї. Крім того, деякі типи датчиків при роботі вимагають підігріву. Підігрів може знадобитися і для видалення роси або криги з чутливих елементів датчиків. Всі перелічені функції реалізовані датчиком під управлінням мікропроцесора дозволяють вважати аналізований датчик як датчик, що володіє елементами штучного інтелекту. Структурна схема датчика, що реалізує описані функції, має вигляд, представлений на рис. 1.4.

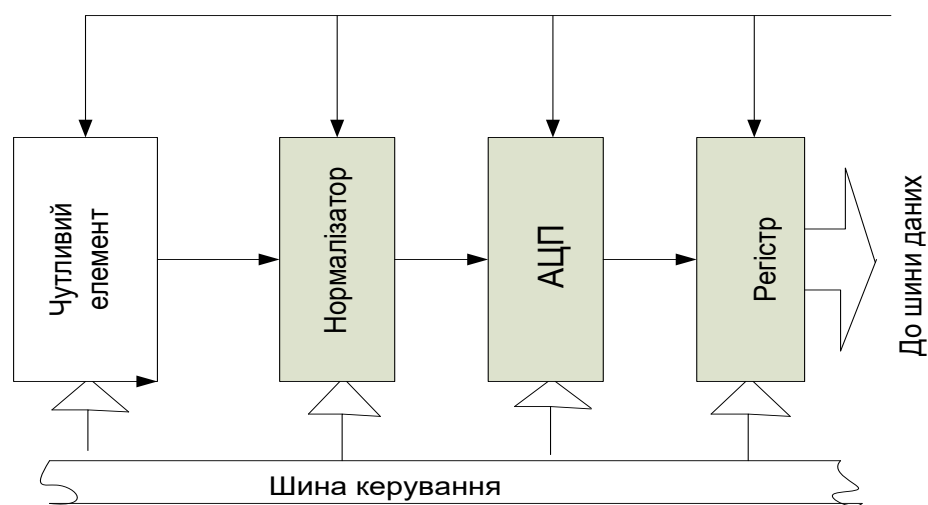


Рисунок 1.4 – Структурна схема датчика з елементами інтелектуалізації

Пристрій пам'яті.

Виходячи з умов застосування метеорадіозонду одержувані метеодані повинні не тільки передаватися на землю, але й зберігатися для проведення певних обчислень на борту, тому в структурній схемі має бути передбачений пристрій пам'яті. Пам'ять має бути енергонезалежною, тобто зберігати інформацію після вимкнення живлення на випадок падіння метеорадіозонду після руйнування оболонки кулі. Структурну схему пристрою пам'яті наведено на рис. 1.5.

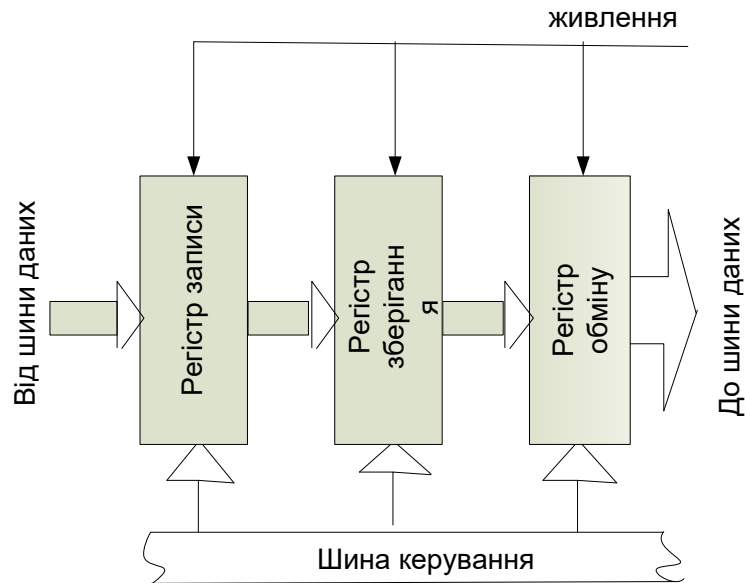


Рисунок 1.5 – Структурна схема пристрою пам'яті

Пристрій пам'яті повинен включати три реєстри: реєстр запису, реєстр зберігання (власне пам'ять) і реєстр обміну. Усі реєстри працюють за командами мікропроцесора та отримують харчування від бортової мережі. Реєстр запису призначений для перетворення даних, що приходять по шині, до виду, що забезпечує роботу реєстру зберігання (компенсацію тимчасових зрушень, нормування параметрів імпульсів тощо). Підготовлені реєстром запису дані по команді мікропроцесора переносяться в реєстр зберігання де перебувають протягом усього часу польоту. Періодично накопичені дані повинні витягуватися з реєстра зберігання передачі на землю або проведення обчислення на борту зонда. Для забезпечення цієї процедури призначено реєстр обміну, який за командою мікропроцесора формує необхідне повідомлення та направляє його споживачеві. Слід зазначити, що з огляду на швидкість оновлення інформації в процесі польоту зонда всі реєстри можуть працювати в послідовному коді. Використання послідовного коду зменшує потрібну кількість струмопровідних жил у сполучних шлейфах.

Мікропроцесор.

Як зазначалося, мікропроцесор у складі метеорадіозонду є

функціонально необхідною частиною. Він забезпечує вирішення завдань наведених вище. Враховуючи відносно невеликий обсяг інформації, що підлягає обробці, і відсутність необхідності високої швидкодії особливих вимог до мікропроцесора метеорадіозонду не пред'являється. Тому можна використати типовий бюджетний кристал.

Типова спрощена схема мікропроцесора, зображена на рис. 1.6, містить у собі наступні складові частини:

- арифметико-логічний пристрій (АЛП),
- пристрій керування,
- блок декодування команд,
- блок внутрішніх реєстрів МП,
- пристрій шинного інтерфейсу, що включає в себе блок випереджальної вибірки,
- роздільні блоки буферної пам'яті (кеш-пам'яті) команд та даних.

АЛП – це комбінаційна схема на основі суматора, який сигналами з виходів пристрою керування налагоджується на виконання певної арифметичної або логічної операції над операндами, що пересилаються з пам'яті або реєстрів МП.

Пристрій керування відповідно до кодів команд та зовнішніх керуючих сигналів та сигналів синхронізації виробляє сигнали управління для всіх блоків МП.

Внутрішні реєстри призначені для зберігання проміжних результатів обчислень. У складі внутрішніх реєстрів виділяється акумулятор - реєстр у якому зберігається один із операндів. Після виконання команди в акумуляторі замість операнда розміщується результат операції.

Блок декодування команд формує сигнали для пристрою керування згідно з дешифрованим кодом команди.

Блок випереджальної вибірки самостійно ініціює випереджуючу вибірку кодів команд з пам'яті в чергу команд.



Рисунок 1.6 – Типова спрощена схема мікропроцесора

Кеш команд (даних) – буферна статична пам'ять, звернення до якої відбувається на частоті функціонування процесора.

Послідовність функціонування мікропроцесора визначається програмним кодом.

Програмний код - це послідовність команд або інструкцій, кожна з яких певним чином закодована і розташована в цілому числі суміжних байт пам'яті. Кожна інструкція обов'язково має операційну частину, що несе процесорову інформацію про необхідні дії. Операндна частина вказує процесорові, де знаходиться його "предмет праці" - операнди. Операнди - це об'єкти у вигляді значення даних, вмісту реєстрів або чарунок пам'яті, з яким оперує команда.

Одноядерний процесор фактично може виконувати лише один процес - передачу управління від інструкції до інструкції відповідно до програми, яка виконується. При цьому можуть виконуватися переходи, розгалуження та виклики процедур, але весь цей ланцюжок запрограмований розроблювачем програми.

Таким чином, відповідно до алгоритму роботи пристроїв

метеорадіозонду мікропроцесор повинен у певні моменти часу видавати команди в шину управління за якою датчики будуть підготовлятися до проведення вимірювань і проводити їх, пристрій пам'яті буде запам'ятовувати результати вимірювань параметрів і розрахунків виконаних процесором, радіопередаючий пристрій буде посилати в ефір повідомлення, що містять виміряну та розрахункову інформацію.

Радіопередавальний пристрій.

Радіопередаючий пристрій у складі бортового обладнання метеозонду відіграє основну роль у передачі отриманої метеоформації її споживачам на землі в процесі польоту. Крім того, додатково радіопередаючий пристрій повинен служити радіомаяком у період падіння радіозонда та знаходження його на землі. Це полегшить його пошук з метою отримання повної накопиченої за політ метеоінформації та повторного використання.

Так як вся інформація представлена в цифровому вигляді, структурна схема радіопередаючого пристрою типова для імпульсних передавачів. наведено на рис. 1.7.

Задаючий генератор, формує високочастотний високостабільний по частоті сигнал, який надходить на модулятор. Модулятор змінює параметри цього сигналу відповідно до прийнятого законом модуляції, вводячи інформацію, що надходить по шині даних. Сформований модулятором сигнал після посилення потужності надходить в антену і випромінюється в простір. Роботою модулятора і підсилювача потужності управляє мікропроцесор командами, що надходять по шині управління.

Контролер живлення.

Джерелом електричного живлення пристроїв метеорадіозонду є батарея. Незалежно від типу батареї, її вихідна напруга в міру розряду знижується (див. рис. 1.8). Контролер живлення повинен знижувати напругу постійного струму батареї зонда до рівня необхідного для живлення пристроїв і підтримувати цей рівень постійним протягом польоту зонда. При цьому важливою вимогою є забезпечення мінімальних втрат при перетворенні. Це

завдання нині вирішують шляхом використання широтно-імпульсних (ШІМ) контролерів. Структурна схема контролера живлення на основі ШІМ-контролера наведена на рис. 1.9. Вона включає в себе: вхідний ланцюг, ШІМ-ключ, трансформатор, випрямлячі, вимірювач та ШІМ-модулятор.

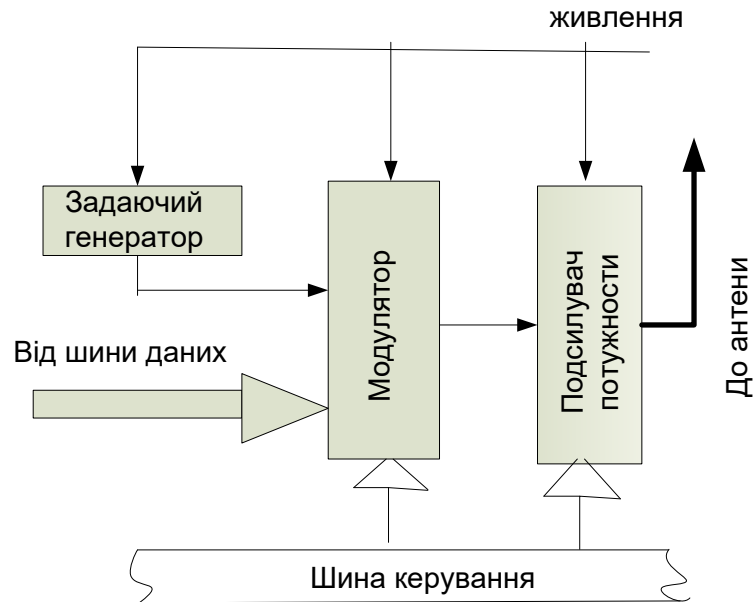


Рисунок 1.7 – Структурна схема радіопередаючого пристрою

Вхідне коло забезпечує узгодження вихідного опору батареї з вхідним опором ШІМ-ключа. Напруга батареї подається на ШІМ-ключ, який постійно закритий і відкривається тільки в момент приходу імпульсу керуючого від ШІМ-модулятора на час дії цього імпульсу. Частота проходження імпульсів ШІМ-модулятора становить 100-200кГц. Енергія, що пройшла ШІМ-ключ, трансформується високочастотним трансформатором, який має кілька вихідних обмоток (для живлення різних пристроїв потрібні напруги різної величини). Отримані напруги випрямляються та фільтруються випрямлячем.

Для підтримки необхідного рівня вихідної напруги існує петля негативного зворотного зв'язку. Вимірювач визначає відхилення вихідної напруги від номіналу і виробляє керуючий сигнал під дією якого ШІМ-

модулятор змінює тривалість імпульсу, що надходить на ШІМ-ключ, тобто змінюється кількість енергії, що надходить на трансформатор і далі до пристроїв зонда. Завдяки роботі петлі негативного зворотного зв'язку з'являється можливість повнішого використання ємності батареї (див. рис. 1.8).

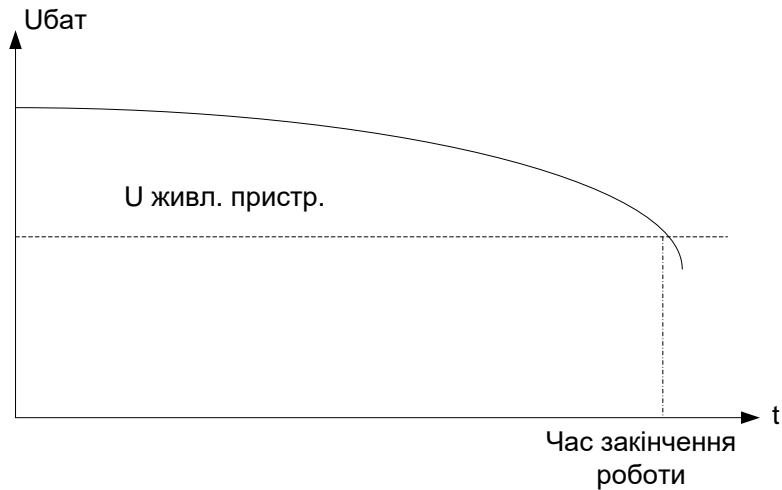


Рисунок 1.8 – Зміна напруги батареї в міру її розряду

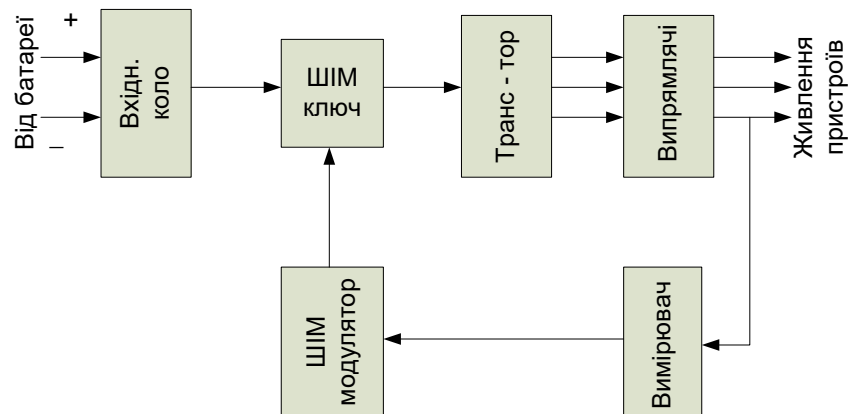


Рисунок 1.9 – Структурна схема контролера живлення

2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ДАТЧИКІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ

2.1 Актуальність

Вивчення властивостей гетероструктур у вигляді гетеропереходів (ГП) заслуговує на шляхи вирішення завдань функціональної діагностики приладів нового покоління, зокрема при створенні датчиків нового покоління для вимірювання параметрів атмосфери. Такі дослідження базуються на розробці ефективних фотоперехідних елементів [1–3].

У роботі поставлено завдання розглянути можливість прояву нових властивостей плівкових ГП типу $p\text{Cu}_2\text{S}-n\text{Si}$, до якого вводиться кластерний растр субколоїдної дисперсності у вигляді нанокластерної підсистеми (НКП), і навіть визначити оптимальні режими роботи такого гетерофотоелемента.

2.2 Мета і постановка задачі

Метою є розробка нових методів контролю властивостей, характеристик речовини з НКП у вигляді ГП та пристроїв на її основі. А отже створення теорії і принципів проведення неруйнівного контролю, функціональної та тестової діагностики подібних систем є важливою інженерною задачею.

Для досягнення поставленої мети вирішувалася низка взаємозалежних задач: провести аналіз відомих методів формування, діагностики НКП та обґрунтувати необхідність керування її властивостями; розробити математичну і фізичну модель діагностики і впливу зовнішніх факторів на властивості НКП речовини у вигляді сукупності нанокластерів (НК); розробити принципи функціональної діагностики НКП, виділивши загальні

конструктивні особливості утворення НК; розробити методика проведення фрактальної діагностики НКП речовини на основі принципів масштабної інваріантності переходу від модельної до реальної підсистеми; реалізувати на практиці розроблені принципи побудови НК речовини як складової ГП плівкового типу; розробити гетероструктурний пристрій на основі ГП з НКП.

Предмет дослідження – НКП речовини, що утворена НК і формує ГП.

Об'єкт дослідження – методи функціональної та тестової діагностики НКП речовини утворену НК.

2.3 Пристрій з нанокластерною підсистемою

В сучасних умовах розвитку промислового виробництва України надзвичайно актуальним є розвиток нових методів керування властивостями пристроїв електронної техніки. Електроніка з одного боку є каталізатором НТП, з іншого боку – вона потребує розробки нових методів для становлення нової наноелектроніки. Одним з розділів наноелектроніки є некогерентна оптоелектроніка. Електронні приладі, які використовують у цій галузі мають, як правило, шарувату структуру. Так, сучасні фотоприймачі оптичних інтегральних схем у своєму геометричному аспекті представляють собою гетеро структури, зокрема гетеропереходи (ГП). Перевагами таких пристроїв є висока швидкодія низький рівень шумів, широкий спектральний діапазон. Але найбільш важливим є низька інерційність роботи.

Розробка теорії та принципів побудови ГП нового типу представляє собою актуальну важливу наукову проблему, вирішення якої значно підвищить точність та чутливість, швидкодію та надійність приладів контролю та визначення складу речовини за допомогою поверхнево-чутливих матеріалів у вигляді кластеризованого шару – нанокластерної підсистеми (НКП) [1-3]. У цьому напрямку відкривається можливість визначення складу малих домішок нанометрового геометричного формату. Дослідження загального, локального та пошарового складу твердих тіл,

малих домішок із застосуванням методів збудження фотонами направлені на розвиток нових методів неруйнівного контролю речовини.

У ГП, у зв'язку з інтенсивним розвитком в останнє десятиліття, все більше застосування знаходять методи визначення і модифікації їх структурної будови. Аналіз робіт останнього десятиліття довів, що розробка теорії та принципів побудови ГП з НКП до цього часу не проведено в повному об'ємі. Існуючі принципи побудови ГП розглядаються без врахування метрологічних правил та теорії вимірювання морфологічних характеристик НКП. Це зумовлює зниження точності, надійності таких систем.

Більшість відомих ГП використовується, як правило, в лабораторних умовах та на виробництві без урахування і без можливостей їхньої модифікації. З нашої точки зору саме НКП може бути використана для модифікації речовини та ГП плівкового типу, зокрема.

Зміна концентрації вільних носіїв у НКП, що складає ГП спричиняє модуляцію діелектричної проникливості, а отже, і показника заломлення світла, і це нашою хує нас на розвиток гіпотези про можливість функціональної модифікації базового матеріалу.

В результаті проведених досліджень, вирішено актуальну науково-технічну проблему розробки нових методів контролю властивостей речовини з НКП, що складається з НК і формує ГП [2]. При цьому були розроблені: методи контролю формування НКП речовини у вигляді багаторівневої НК-структури з елементами синергетичного гетерофлуктуаційного їх зародження та структуризації; теоретично обґрунтовано, що у методах контролю речовини з НКП визначальне значення має різка екстенсивність властивостей кластерної субфази; фізична та математична модель об'єкта нм діапазону зі складною квантово-розмірною морфологією, яка описує властивості НКП із заданою точністю; методи коректування дій, що нівелюють фактори, які впливають на погрішність виміру (типу «варіація базисного набору») характеристик НК; встановлено у

динаміці взаємозв'язок погрішностей виміру параметрів НК з дією впливів, що їх збурюють; метод виготовлення ГП типу $p\text{Cu}_2\text{S}-(\text{HKП})-n\text{Si}$, який включає операцію нанесення на поверхню кремнієвої пластини КП; запропоновано нерйнівний метод контролю, що ґрунтується на виявленню спектрально-інверсованому і надлінійному фотоперехідному ефекті в ГП типу $p\text{Cu}_2\text{S}-(\text{HKП})-n\text{Si}$; запропоновано метод діагностики чутливості фотоелементів при надвеликих дозах опромінення фотонами.

2.4 Наноскладові електротехнічних систем нового покоління: плівки атомарно-кластерної дисперсності. Експерименти і результати

Управління властивостями матеріалів - один з ключових підходів у технології виготовлення ефективних електротехнічних та світлотехнічних систем і комплексів. У такому контексті кластерне модифікування різних фаз твердотільної речовини, у тому числі, аморфної матриці являє собою досить перспективний напрямок досліджень [3].

Однією з задач роботи є також вивчення фізико-хімічних властивостей керметів - аморфних матеріалів створених на основі SiO_2 -матриці, яка модифікувалася шляхом введення кластерного растру з d-металів (таких як Cr, Mo, Ni, Nb) [4].

Експеримент. Для отримання плівок Cr-SiO_2 , Mo-SiO_2 , Nb-SiO_2 , використовувалися очищені з'єднання: бісбензиолхром, бісбензилмолібден, Ni-SiO_2 , а також тетраетоксисилан. Щоб отримати плівку Cr-SiO_2 , очищений інертний газ пропускався через нагріті органічні рідини (бісетилбензолхром та тетраетоксисилан), насичувався парами відповідних сполук, а потім потрапляв у кварцовий реактор з підкладкою, на яку, за допомогою системи лінз, фокусувався пучок потужного ультрафіолетового випромінювання (УФВ), що створювався ртутною лампою (ПРК-200, або ДРШ-500). Температура осідання плівки кермету сягала $\sim 550^\circ\text{C}$. Змінюючи умови реакції (температуру підкладки, швидкість потоку реактиву в камері,

інтенсивність УФВ), можна було отримати плівки SiO_2 з різним змістом Cr атомно-кластерної дисперсності, при цьому величина питомого поверхневого опору плівок змінювалася від 10 до 10^4 Ом/кв. На рентгенограмах плівок Cr- SiO_2 , що знімалися на відбиття за методом Дебая-Шерера, були відсутні дифракційні лінії, за винятком розмитого максимуму в області малих кутів – гало. Загальна картина, яка була отримана на електронограмі від цих плівок, характеризується максимумом, що розташований поблизу первинного пучка. Величина зерна при цьому не перевищувала ~ 50 Å, а висота нерівностей поверхні плівок, що визначалася методом реплік по куту відтінків важким металом, складала не більше 50-70 Å, у залежності від температури осаду керметних плівок.

Нами були зафіксовані певні тенденції щодо зміни характеру структури плівок. Утворенню аморфної структури сприяє такий тип хімічних зв'язків, якому відповідає енергетичний мінімум, що свідчить про стійке структурування у найближчому оточенні кластероутворюючих атомів.

Ефекти провідності, що спостерігалися нами на аморфних плівках керметів (ці плівки складені з окремих атомів або груп атомів — нанокластерів — нанокластерних центрів [4], наприклад, d-металу, що оточені склоподібною діелектричною оболонкою SiO_2) у залежності від напруженості електричного поля можна умовно розділити на дві групи. До першої групи належать ефекти «слабого поля», що не викликають не обернених змін електричних властивостей плівок керметів. До другої – ті явища, що виникають за рахунок необернених змін, в електричній структурі зразків (сформовані «сильним полем»).

Результати. Ефекти слабого поля. Характерною особливістю провідності аморфних плівок Cr- SiO_2 в цьому діапазоні напруженостей електричного поля є різка нелінійність вольт-амперних характеристик (ВАХ) плівок на постійному та змінному сигналі. Слід зауважити, що наші результати отримано при вимірюванні повздовжньої провідності Cr- SiO_2 керметів на ситалі. Для порівняння на рис. 2.1 наведена температурна

залежність поверхневого опору плівок SiO_2 з різним змістом атомно-кластерної дисперсності (Cr та Ni).

Ефекти сильного поля. Якщо значення струму через плівку кермета перевищував деяку величину I_0 (у нашому випадку — $5 \cdot 10^{-3} \div 10^{-1}$ А), то як правило, виникав новий стан, що характеризувався необоротними змінами в електричній структурі плівки. ВАХ, що формується в режимі «сильного поля» зразків на певних частотах, довели існування не лише омичних областей, але й такої області, де виявляються характерні стрибки провідності. Абсолютна величина стрибків провідності є значно вищою в разі поперечної провідності, коли між металевими електродами знаходився тонкий шар кермету (до ~ 10 мкм).

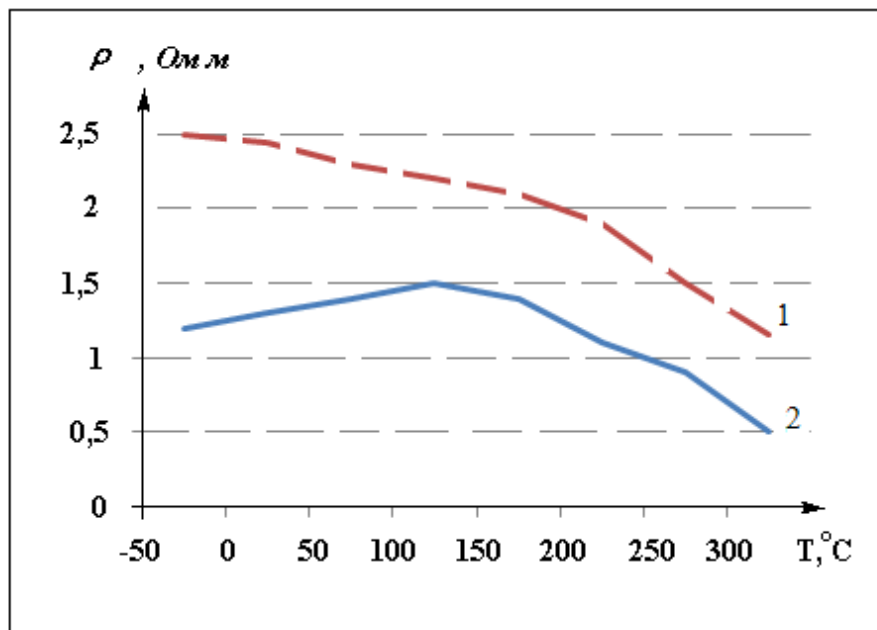


Рисунок 2.1 – Температурна залежність питомого поверхневого опору: 1- Cr (КМЦ); 2- Ni (КМЦ)

Оскільки фізична природа провідності в аморфних плівках Cr- SiO_2 залишається неясною, запропоновано наступні можливі механізми.

Високий питомий опір плівок Cr- SiO_2 може бути обумовлений: а)

тунелюванням носіїв у склоподібному Cr-SiO₂ (островкова провідність), якщо ізолюючі прошарки між Cr кластерами є малими, або ж б) стрибковій провідності у деякому гіпотетичному середовищі Cr-SiO₂, де перескок електронів по флуктуаційних рівнях в склі є полегшеним завдяки наявності великої кількості домішкових центрів Cr.

У деяких областях ВАХ має переважати інтенсивний захват інжектіваних на пастки носіїв. При цьому залежність $I(U)$ може сягати насичення або, навіть, супроводжуватися зменшенням струму із зростанням напруги.

Область стрибкоподібної зміни провідності на досліджуваних плівках може бути пов'язана з лавинним звільненням електронів з локалізованих центрів електричним полем. Між іншим модельний аналіз дозволяє зробити висновок про селективний характер стрибкової провідності на змінному струмі. Це відкриває можливість визначити частотний спектр локалізованих станів і оцінити час перескоку (τ) носіїв струму.

Великі значення часу перескоку характеризують багатотунельні переходи у межах окремих груп кластерних центрів. Якщо геометричні розміри таких груп кластерів перевищують відстані між найближчими центрами, то дипольний момент групи кластерних центрів є більшим, а отже, сумарна провідність збільшується. Кластерні центри з великими значеннями τ аналогічні до глибоких центрів захвату носіїв, що є характерним для піролітичних плівок SiO₂.

Описані вище ефекти «аномальної» провідності є стійкими і можуть знайти технічне застосування при розробці, наприклад, нових типів нелінійних носіїв інформації [6,7].

2.5 Спектрально-інверсований фотоприймач с нанокластерною підсистемою

Перехід від окремого атома до макростану характеризується

формуванням структур типу квазімолекулярних кластерів, субколоїдних і колоїдних нанокластерів (НК), які екстенсивні за своєю природою, оскільки послідовно змінюють свої властивості аж до властивостей відповідної макроречовини [4]. Останнє дуже важливо враховувати при використанні квазіметалічних ПК як легуючого початку для окремих матеріалів і гетероструктур (ГС) [5]. колоїдних частинок розміром до 1000 ангстрем. Теоретично та експериментально вивчено вплив НК різних розмірів на оптичні та деякі інші властивості кристалів («червоний зсув» забарвлення матричного матеріалу при укрупненні центрів та ін.) [6].

Доречною буде аналогія з різними стадіями фотографічного процесу в срібно-галоїдних матеріалах та напівпровідниках [7]. Крім того, в монокристалічній матриці є можливість досить широко варіювати розміри НК [4, 7] растра острівцевої структури на кремнієву підкладку перед напиленням шару Cu_2S .

Варіюючи швидкості формування НК і температуру підкладки, ми мали можливість імплантувати в $p\text{Cu}_2\text{S}-n\text{Si}$ -ГП нанокластерні центри у вигляді нанокластерної підсистеми (НКП) кремнію. Таким чином формувався ГП типу $p\text{Cu}_2\text{S}-(\text{Si}-\text{НКП})-n\text{Si}$. Для такого ГП спостерігалися «екстенсивні» ефекти, зокрема, спектрально-інверсований ефект.

Слід зауважити, що для створення НКП ГП як іплантований матеріал можуть бути використані також і перехідні метали (Fe, Ni, Co та ін.). Результати при цьому не змінювалися суттєво (навіть при заміні одного металу іншим). Останнє є хорошим підтвердженням того, що виявлені ефекти обумовлені більшою мірою наявністю саме НКП, а не їх матеріалом. Це пов'язано, з перевагою Si за класом чистоти перед іншими матеріалами, які були в нашому розпорядженні.

Спільною властивістю вентильних фотоелементів на основі Si, Ge, Se, CdS та інших є збереження в межах усієї активної області спектра незмінної полярності фото-ЕРС, при якій, згідно з звичайною схемою вентильного фотоефекту, на світлі p-область заряджається негативно по відношенню до p-

області. Разом з тим, встановлена можливість звернення інверсії полярності вентиляної фото-ЕРС при зміні довжини хвилі вздовж активної області спектру. Такий варіант фотоелемента дозволяє оптимізувати вирішення ряду важливих завдань оптоелектроніки: контроль і вимірювання колірних температур джерел випромінювання, розпізнавання колірних образів та ін. —нічують ефективність фотоелектричного перетворення енергії.

Основні рекомендації зводяться до введення в область р-п-переходу різних домішок (Fe, Ni, Co та ін.), що відіграють роль пасток і центрів рекомбінації нерівноважних електронно-діркових пар, або до виконання фотоелемента на основі складного ГП з різних матеріалів, що містить два послідовно зчленовані р-п-переходи зустрічної дії, фотоактивних у різних областях спектру. В обох випадках fotocутливість приладу виходить невисокою, а спектральний розподіл фотовольтаїчного ефекту сильно асиметричним щодо точки інверсії полярності фото-е.д.с. У першому варіанті це виходить, мабуть, через недостатньо високу ефективність зазначених домішок як центри рекомбінації, а в другому - через ускладнення оптико-фотоелектричних умов у ГС з послідовним ланцюгом переходів.

Найважливішим елементом даної конструкції є нанокластерний растр, в якому особливе значення має ступінь диспергування НК. В результаті виходить спектрально-інверсований фотоелемент з розподілом чутливості (рис. 2.2) розділених за відповідним їм активним областям спектра.

Перший з них реалізує добре відому тривіальну схему вентиляного фотоефекту в р-п-переході (рис. 2.3, а), за якою п-область (кремній) заряджається при освітленні негативно. Спектральний розподіл фотовольтаїчного ефекту в цьому випадку (рис. 2.3, а, б) відповідає фотоактивному поглинання світла в обох матеріалах Cu_2S і Si, чому сприяє сприятлива для фотоелемента зонна діаграма $\text{pCu}_2\text{S-nSi}$ - ГП.

Другий механізм (рис. 2.3, б) спрацьовує на кластеризованих ділянках ГП, тобто. там, де є НК. Його спектральна чутливість відповідає оптичному поглинанню світла НК (рис. 2.3, б, в), а результат дії - фото-ЕРС (Фотострум)

напрями, протилежного тому, що відповідає першому механізму, тобто. позитивним у цій галузі спектра виявляється Si, а негативною – Cu_2S .

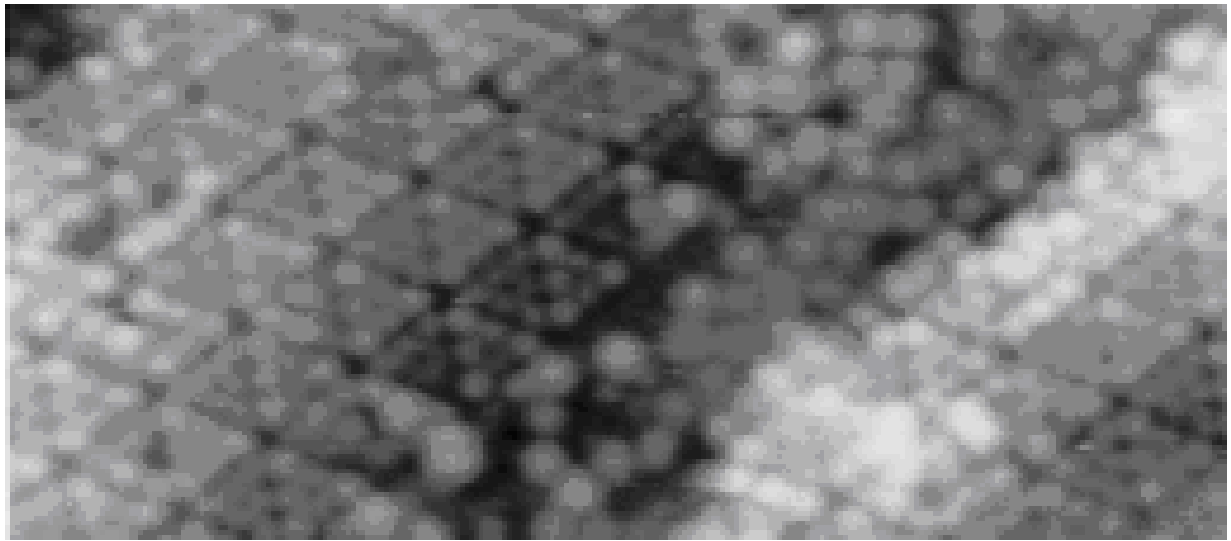


Рисунок 2.2 – Мікрофотографія нанокластерного растру на c-Si (НК відтінені вуглецем)

За своєю суттю механізм фотовольтаїчного ефекту на НК, мабуть, стоїть найближче до схеми, яка в англійській літературі отримала назву «fed in - feed out» «увійшов-вийшов». Таке припущення впливає з аналізу навколокластерної енергоситуації, яку можна визначити з урахуванням конкретних умов у ГП в такий спосіб. З одного боку, НК межують із сильно вираженим дірковим, а з іншого - електронним напівпровідником. Відповідно до розрахунків електронної структури НК Si методами квантової хімії [4], у рівновазі цим системам властиво мати деякий надлишок негативного заряду, що є умовою його стабільності та забезпечує можливість подальшого зростання аж до колоїдних розмірів. У таких умовах наявність високої концентрації дірок у Cu_2S має призводити до свого роду «сольватуванню» НК дірками з боку Cu_2S -плівки, результатом чого є зменшення ефективної роботи виходу електрона з ПК у p-область, ГП (рис. 2.4). Останнє і визначає дію схеми "feed in-feed out" (рис. 2.4, б).

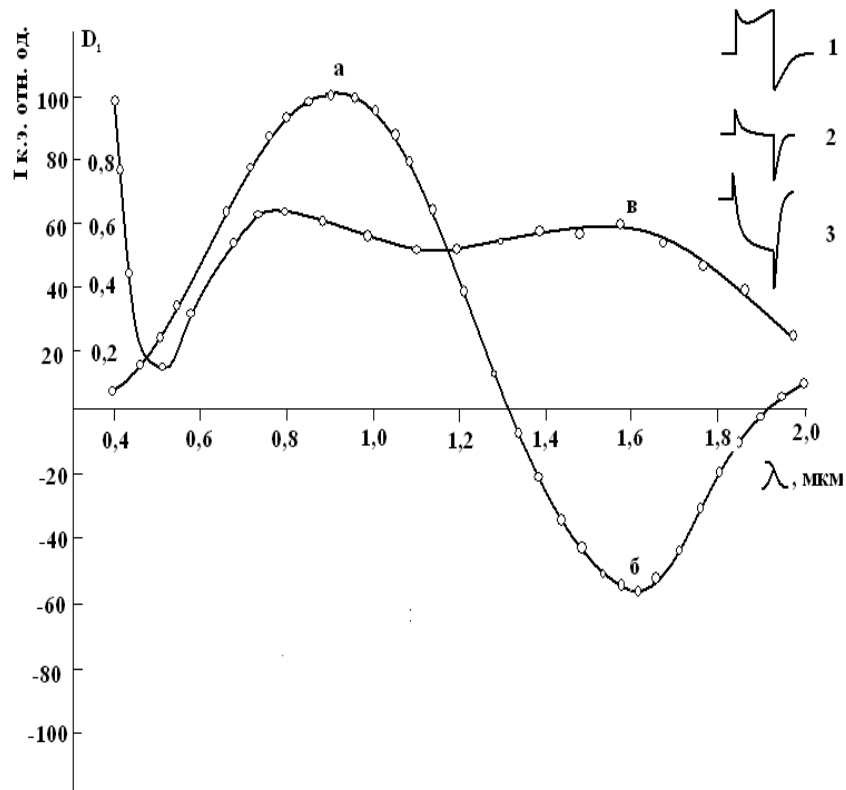


Рисунок 2.3 – Спектральний розподіл інвентарного фотовентильного ефекту (з кластерами); а - область нормального ефекту, б - аномального. Епюри (праворуч вгорі) кінетики фотовідгуку: 1 - в області нормального ефекту, 2 - в точці інверсії, 3 - в області аномального ефекту; в – оптичне поглинання плівки Cu_2S .

Фотовзбуджений електрон зривається з НК вглиб плівки Cu_2S , де, найімовірніше, уловлюється сильно розвиненою у цьому квазімонополярном напівпровіднику системою рівнів прилипання для електронів.

Одночасно з фотозбудженням першого електрона в НК тунелює інший - з валентної зони кремнію і т.д., тобто. відтворюється той процес, який і становить суть схеми feed-in-feed out.

Область спектральної активності негативного фотовольтаїчного елемента (рис. 2.5) визначає ефективну енергетичну глибину ПК 0,8 еВ. Цей параметр має важливе значення для спектрального інверсування фотоефекту,

оскільки він забезпечує тунельний контакт з валентною зоною кремнію.

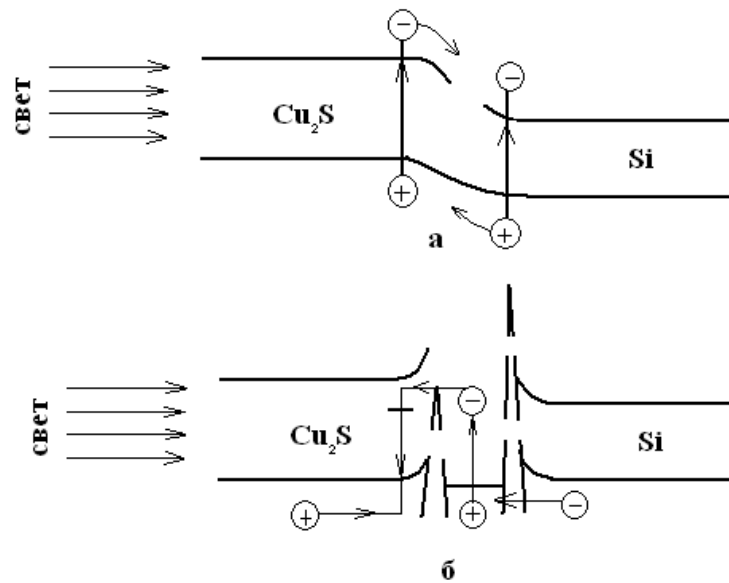


Рисунок 2.4 – Зонні енергетичні діаграми: (а) вільного від НК ГП типу $\text{pCu}_2\text{S-nSi}$ (б) ГП, що має НКП – $\text{pCu}_2\text{S-(Si-НКП)-nSi}$ ГП

При переході до кластерного растру з НК великих розмірів (більше, ніж 20 ангстрем) ефект "feed in - feed out" зникає, іншими словами, спектрально-інверсований фотовольтаїчний ефект не спостерігається. Це можна пояснити погашенням сольватуючих факторів, що забезпечують необхідний для спрацьовування «feed in - feed out» - механізму профіль потенційних бар'єрів навколо НК, в результаті ослаблення кулонівського поля НК при переході до великих за розмірами.

Пряме підтвердження наведеного механізму спектрально-інверсованого фотопотенціального ефекту було отримано при паралельних вимірюваннях кінетики фотопровідності у базовій області фотоелемента – пластині Si .

Під час освітлення $\text{pCu}_2\text{S-(Si-НКП)-nSi}$ фотоелемента світлом з області спектру, що створює аномальний фотопотенціальний ефект (фільтр ІКС-3), фотовідгук базової області елемента виявляється істотно меншим, коли

фотоелемент розімкнуто (режим холостого ходу), ніж у разі короткого замикання (рис. 2.5).

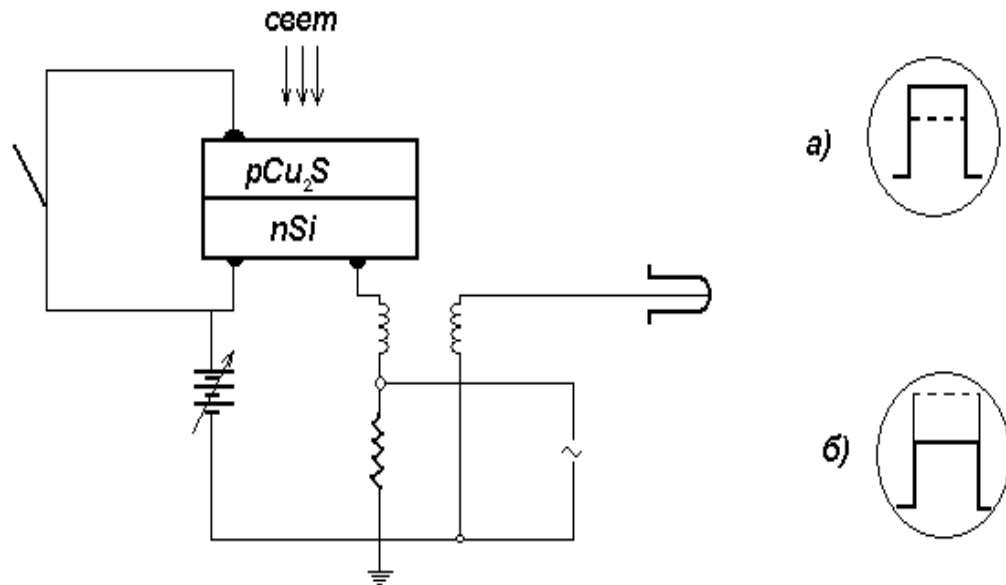


Рисунок 2.5 – Схема спостереження кінетики (фільтр ІКС-3) у низькоомному базовому шарі фотоелемента та епюри кінетики фотоструму (пунктир відповідає режиму короткого замикання фотоелемента): а) pCu_2S-nSi – фотоелемент; б) $pCu_2S-(Si-НКП)-nSi$ – фотоелемент

Для pCu_2S-nSi -фотоелемента, що не містить НКП, у подібних ситуаціях поведінка буде зворотною у всій активній галузі спектра. Отримані нами результати легко інтерпретувати, зіставляючи два механізми фотовентильного ефекту – звичайний та «feed in – feed out».

В останньому випадку екстракція електронів з кремнію на НК призводять до зменшення фотоструму в базовому ланцюзі. Природно, що у режимі струму короткого замикання подібні спостереження виявляються менш виразними внаслідок безперервного відновлення концентрації нерівноважних електронів у кремнії через зовнішній ланцюг.

Є також інші міркування, що підтверджують запропонований нами

механізм спектрального інверсування фотовентильного ефекту в $p\text{Cu}_2\text{S}-(\text{Si}-\text{НКП}) - n\text{Si}$ ГП. Справа в тому, що в цій ситуації можна було б припустити участь у спектрально-інверсованому ефекті мікробар'єрів Шоттки на межі «НК-матричний матеріал», що створюють електричне поле, протилежне бар'єрному полю в гетеро-переході і забезпечували аномальний фотовентильний ефект, останнє, проте, мало ймовірно з наступних причин. Відомо, що значні контактні бар'єри утворюються в результаті переходу $\sim 10^{15}$ електронів з одного матеріалу до іншого, що викликає викривлення енергетичних зон. Виникнення бар'єрів Шоттки в контакті з НК з матричною речовиною неможливе внаслідок дрібності НК.

Теоретичні оцінки представлені в [4,5] показують, що іонізація чи захоплення навіть одного електрона в НКП призводить до різкої зміни положення рівня Фермі НК на одиниці еВ. Цей факт, з одного боку, істотно ускладнює подальший електронний обмін НК з матричним матеріалом, а з іншого боку, виявляється зовсім недостатнім для викривлення енергетичних зон матричного кристала в даній області внаслідок малості заряду, що бере участь в обміні.

Незначність ролі Шоттковських бар'єрів між НК і матричним матеріалом впливає також із самих експериментальних фактів. При розмірах НК до 20 ангстрем, до утворення сітчастої структури межі розділу роль бар'єрів Шоттки, мала б посилюватися, тобто слід було б очікувати домінування аномального фотовентильного ефекту або навіть повного обігу фотовентильного ефекту в $p\text{Cu}_2\text{S}-(\text{Si}-\text{НКП})-n\text{Si}$ ГП від звичайного до аномального. Але цього насправді не відбувається, оскільки з збільшенням розмірів НК до сотні і більше ангстрем фотовентильний ефект не тільки не посилюється, але навпаки зовсім зникає. Коефіцієнт дифузії, наприклад, Ni в Si при температурах $\sim 100^\circ\text{C}$ зневажливо малий. Інакше кажучи, атомарне легування Si нікелем у процесі отримання $p\text{Cu}_2\text{S}-(\text{Si}-\text{НКП})-n\text{Si}$ - фотоелементів ефективно.

2.6 Висновки

Запропоновано технологію зміни властивостей плівкового ГП типу $p\text{Cu}_2\text{S}-n\text{Si}$ шляхом введення кластерного растру субколоїдної дисперсності у вигляді НКП, яка забезпечує гладкий зонно-енергетичний профіль переходу.

Пропонується використовувати таку структуру як основу для фотоперетворювачів енергії. Визначено оптимальні режими роботи такого гетерофотоелемента. Зміна структури ГП може відбуватися через імплантацію кластерного растру острівцевої структури на кремнієву підкладку перед напыленням шару Cu_2S . Варіювання швидкості формування НК і температури підкладки відкриває можливість імплантування НК розмірами від 10 до 150 ангстрем. Для такого ГП спостерігався спектрально-інверсований фотоперетворювальний ефект.

На наш погляд ці процеси за своєю природою є екстенсивними, оскільки обумовлені, більшою мірою, геометрією, морфологією НК, а не їх матеріалом. Наведені результати дослідження заслуговують на шляхи вирішення завдань сучасної функціональної діагностики приладів з НКП, а також при розробці фотоперетворювальних елементів [8-10] бістабільних оптронів, наприклад, біхроматичного світлодіода з керованою частотою випромінювання [11].

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ І ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

3.1 Аналіз існуючих способів створення радіолокаційних мереж

У ряді країн створені та функціонують радіолокаційні мережі моніторингу атмосфери або метеорологічні радіолокаційні мережі [12-15]. Усі вони створювалися різними способами і на основі відомих вимог, що задаються замовниками. У усіх випадках замовники були різні і їх було багато, тому усі існуючі мережі мають різні властивості. Аналіз показує, що жодна з цих мереж, незважаючи на заяви про застосування системного підходу, не побудована на підставі системного підходу до створення великих систем, тому в них не вдалося реалізувати істотні можливості, які надає метод радіолокації моніторингу атмосфери і, з цієї причини, якість моніторингу істотно нижче потенційно можливого.

Тому існує наполеглива необхідність розробити спосіб створення радіолокаційної мережі моніторингу атмосфери, який дозволяє в найбільшій мірі реалізувати можливості радіолокаційного методу моніторингу атмосфери і підвищити якість моніторингу.

Спосіб створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери NEXRAD (США) полягає в тому, що метеорологічні радіолокатори WSR-88D розставлені на поверхні Землі таким чином, при якому висота нижньої межі суцільного радіолокаційного поля, яке утворює радіолокаційна мережа, складає 10000 футів або близько 3 км [12]. За такої умови відстань між радіолокаторами може досягати 440 км, що легко можна побачити з рис. 3.1, на якому відображено розташування метеорологічних радіолокаторів WSR-88D мережі NEXRAD на континентальній частині США у поєднанні з горизонтальними перерізами їх зон спостереження на висоті 3 км.

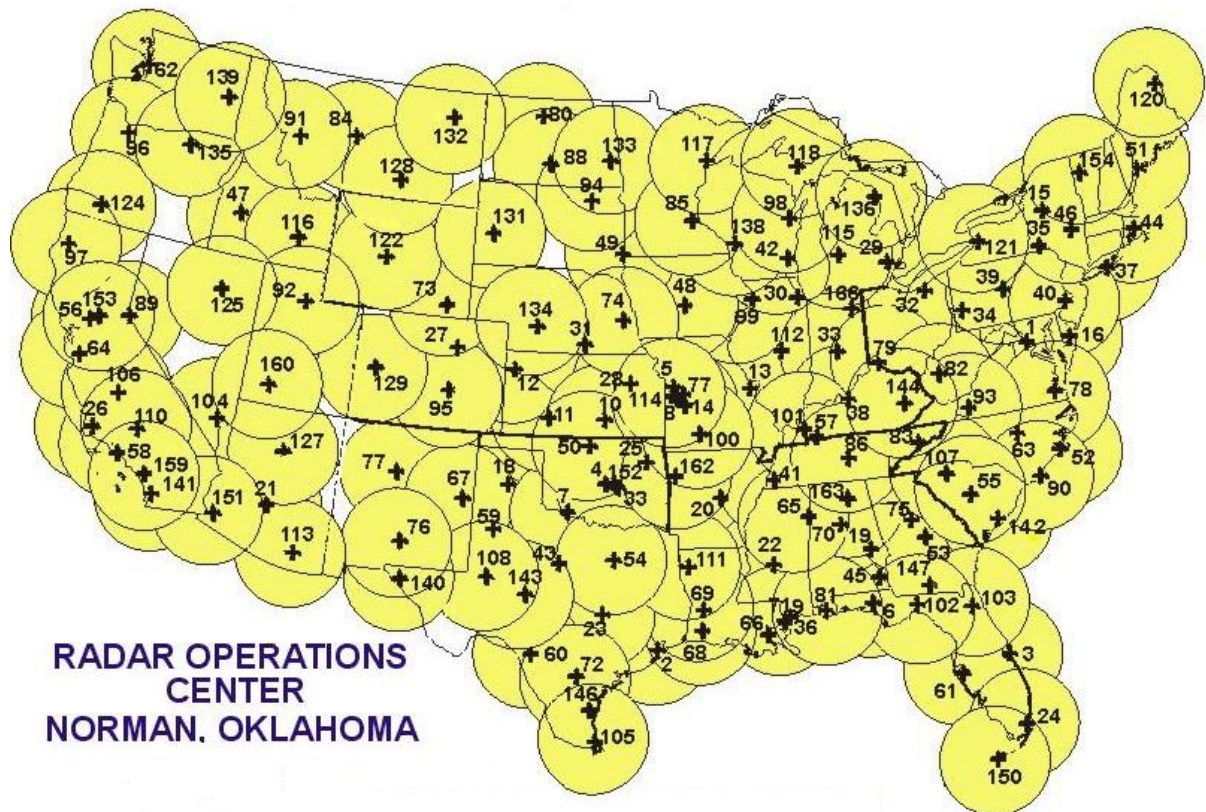


Рисунок 3.1 – Радіолокаційне поле системи NEXRAD

Імпульсна випромінювана потужність WSR-88D складає 250 кВт, що забезпечує, за твердженням розробників, дальність в режимі виміру відбиваності 450 км і в режимі виміру швидкості 250 км. Для забезпечення безпровальності радіолокаційного поля при відстанях між радіолокаторами 440 км, як було вказано вище, був розроблений метеорологічний радіолокатор DWSR-10001C EEC USA з імпульсною випромінюваною потужністю 1 МВт і дальністю дії в режимі виміру відбиваності більше 600 км і в режимі виміру швидкості 450 км. Таким чином, на висотах менше 3 км радіолокаційне поле є осередковим і не покриває простір спостереження.

Спосіб створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери МАРС (РФ) полягає в тому, що метеорологічні радіолокатори ДМРЛ-С розставлені на поверхні Землі так, що відстань між радіолокаторами дорівнює 300 км [13]. На думку творців мережі, подібна дальність дії обумовлена тією обставиною, що найбільш небезпечні явища виникають

влітку, коли для надійного виявлення літніх купчастих хмар потрібно невисоку щільність радіолокаційних станцій, а суцільне перекриття зон спостереження метеорологічних радіолокаторів передбачається тільки для основних промислових і сільськогосподарських районів і авіаційних трас з інтенсивною грозовою діяльністю. Інша територія прикривається дискретно. Наочна побудова мережі МАРС наведено на рис. 3.2, на якому відображено розташування метеорологічних радіолокаторів ДМРЛ-С на 140 позиціях за підсумками виконання двох федеральних цільових програм "Геофізика" і "ОрВД".

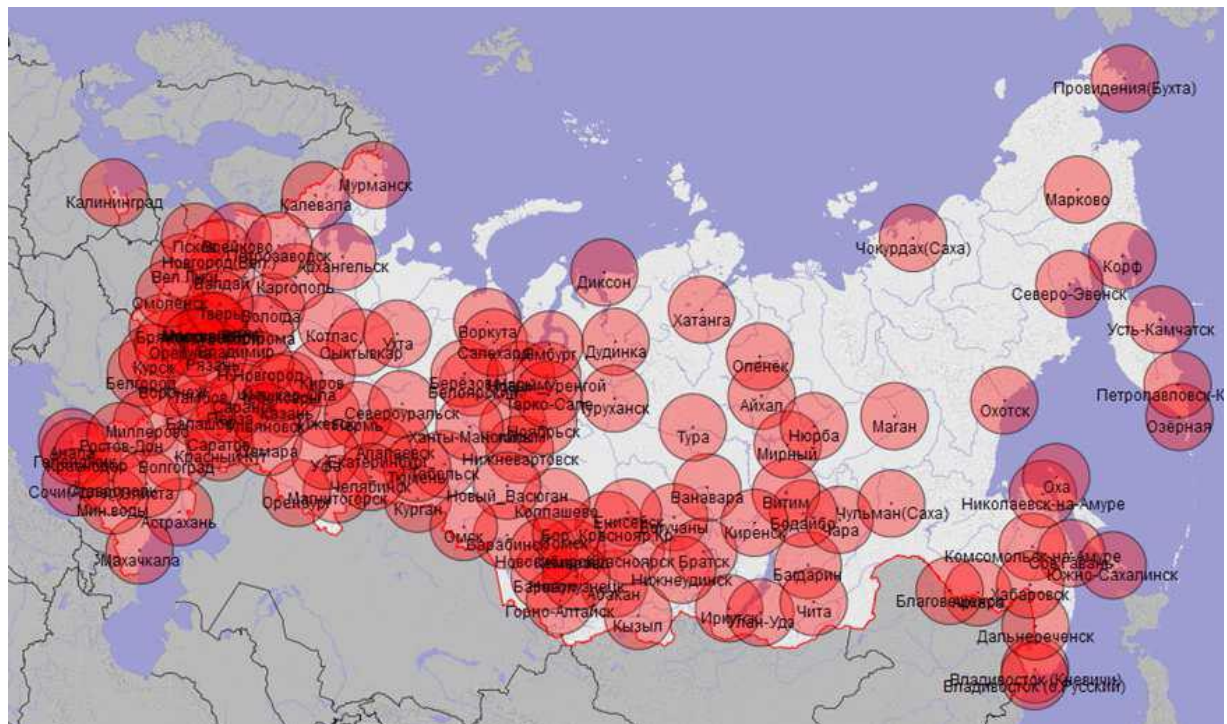


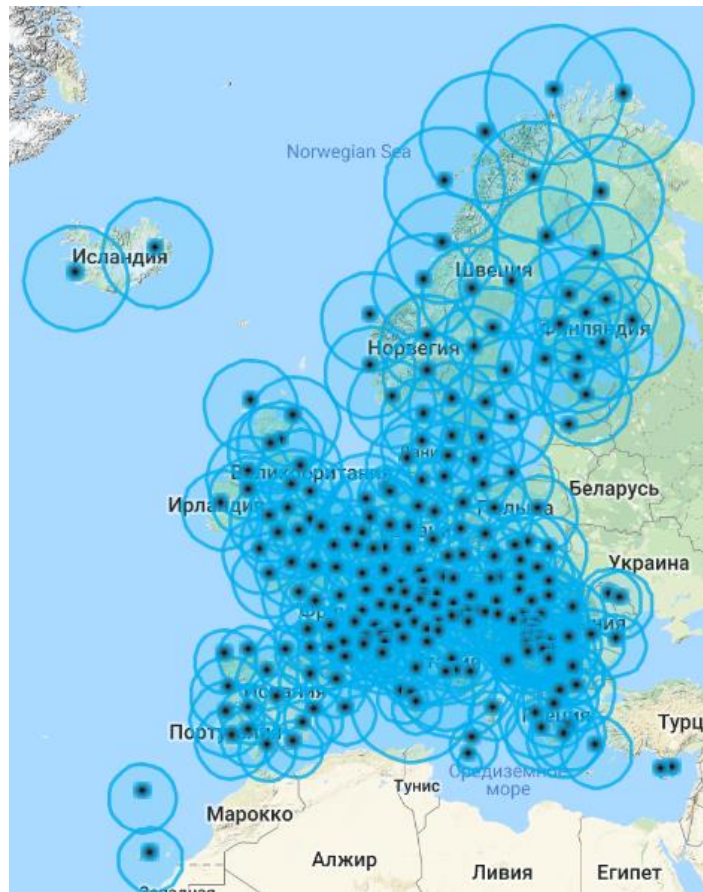
Рисунок 3.2 – Радіолокаційне поле системи МАРС

Радіолокатор ДМРЛ-С випромінює модульований складним чином сигнал імпульсною потужністю більше 15 кВт и має дальність дії в режимі виміру відбиваності 250 км. Таким чином, за самим замисленням створювачів мережі за економічними чинниками радіолокаційне поле є осередковим і не покриває простір спостереження навіть при перекритті зон

спостереження окремих радіолокаторів.

Спосіб створення міжнародної радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери (Західна Європа) забезпечує нижню межу радіолокаційного поля 1,5 км [14]. Ця мережа створена з 229 різних радіолокаторів на основі об'єднання мереж окремих країн, що становлять Євросоюз (рис. 3.3, *a*), тому вона виявилася дуже різномірною, як по завданнях, так і по складу, оскільки в кожній з країн мережа будувалася на основі різного розуміння пріоритетів [16]. Це привело до того, що загальна мережа не змогла сформуватися як єдина велика система, а змогла сформуватися тільки на інформаційному рівні як програма OPERA – Operational Program for the Exchange of Weather Radar Information (на рис. 3.3, *b* відмічені радіолокатори, що увійшли до програми OPERA). Проте, в проєкті COST-75, присвяченому вдосконаленню європейської метеорологічної радіолокаційної мережі, відзначалося, що створювати мережу треба способом розставлення радіолокаторів на місцевості так, щоб вони утворювали на місцевості трикутну сітку з довжиною сторони рівної 300 км [14, 15]. Надалі творці дотримувалися цієї вимоги наскільки це було можливо. Таким чином, на висотах менше 1,5 км радіолокаційне поле є розривним, особливо в гірських районах, і не покриває простір спостереження.

Спосіб створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери OWASAN (рис. 3.4, *a*) полягає в тому, що метеорологічні радіолокатори з дальністю дії 200 км розставлено на поверхні Землі так, щоб здійснити вимір характеристик опадів [15]. На пріоритеті виміру опадів побудована і радіолокаційна мережа у Великобританії (рис. 3.4, *b*) [15, 16].

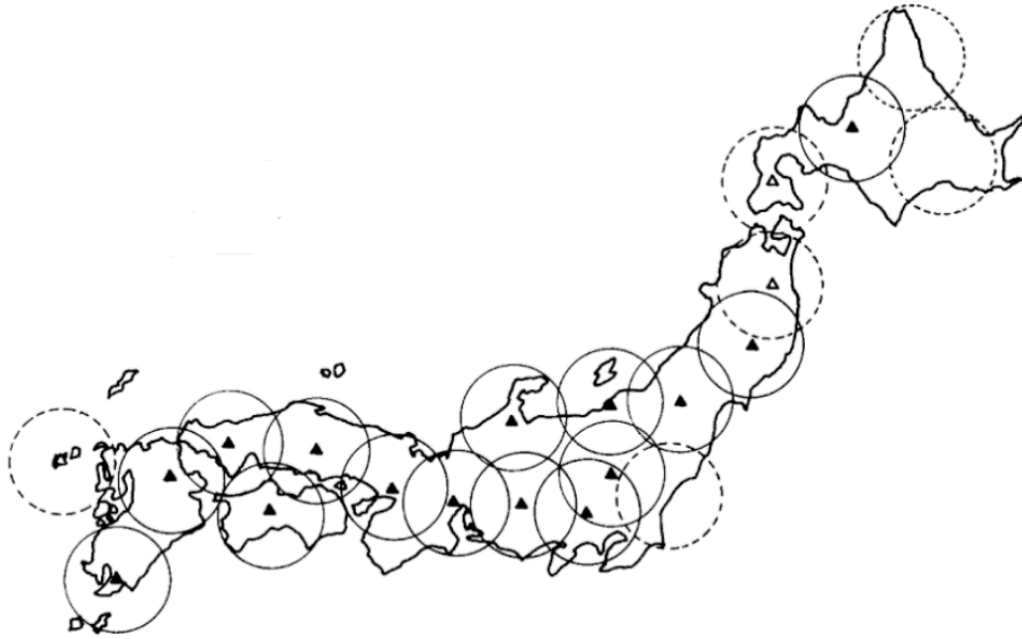


a

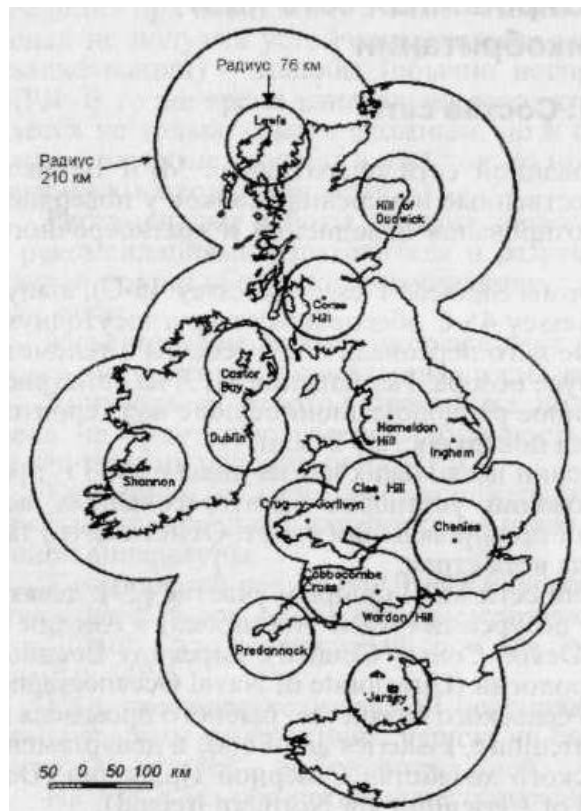


б

Рисунок 3.3 – Радиолокаційне поле системи проекту COST-75 для Європи



а



б

Рисунок 3.4 – Радіолокаційне поле системи OWASAN Японії (а) і Великобританії (б)

3.2 Спосіб побудови радіолокаційного поля з метою досягнення найкращих енергетичних і просторових характеристик

Усі, окрім двох останніх, способи побудови метеорологічних радіолокаційних мереж були піддані геометричному [17] і системному [18] аналізу.

Результатом геометричного аналізу став висновок про те, що наведені вище способи створення радіолокаційних мереж моніторингу атмосфери об'єднує одна ідея, покладена в їх основу, – радіолокатори з різною або з однаковою дальністю дії розміщені на поверхні Землі таким чином, що їх сукупність утворює на місцевості геометричну фігуру у вигляді трикутної сітки із стороною, довжина якої змінюється від 250...300 км до 450 км (рис. 3.5, *a*). Назвемо ці способи узагальнено першим способом побудови мережі.

Результатом системного аналізу став висновок про те, що саме через розташування радіолокаторів на основі першого способу не повністю реалізуються істотні можливості, які надає метод радіолокації моніторингу атмосфери і, з цієї причини, якість моніторингу знижується в порівнянні з потенційно можливим.

У основу пропонованого способу створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери покладено розміщення радіолокаторів з дальністю дії до 100 км таким чином, при якому їх сукупність утворює на місцевості геометричну фігуру у вигляді шестикутної сітки, при цьому відстань між сусідніми радіолокаторами дорівнює дальності дії радіолокаторів (рис. 3.5, *б*). Назвемо його другим способом побудови мережі.

Для виявлення переваг другого способу проведемо порівняльний аналіз обох способів побудови метеорологічних радіолокаційних мереж.

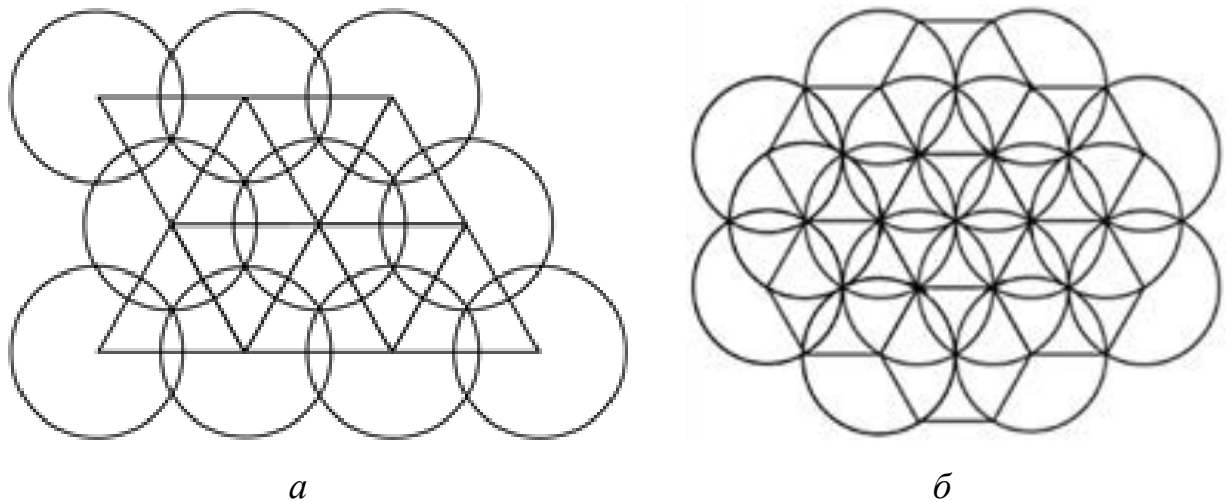


Рисунок 3.5 – Можливі способи побудови радіолокаційної мережі

Збільшені відстані між радіолокаторами при першому способі (рис. 3.6, а) призводять до підвищення висоти нижньої межі суцільного радіолокаційного поля, що перешкоджає виявленню і ідентифікації гідрометеорологічних об'єктів, процесів і явищ, включаючи небезпечні, усередині простору спостереження. При другому способі побудови за рахунок зменшення відстані між радіолокаторами і, отже, зменшення зон, що не переглядаються (мертвих), витягається інформація з більшої частини простору спостережень. З рис. 3.6, б легко зрозуміти, що зменшення мертвої зони відбуватиметься при зближенні радіолокаторів і, внаслідок цього, зменшуватиметься висота нижньої межі утворюваного радіолокаційного поля, що і забезпечить витягання інформації з більшої частини простору спостережень.

Чисельні значення на рис. 3.6 легко розраховуються на основі відомих з [19] міркувань. Вважаючи, що вказані на рис. 3.6 відстані реалізуються при куті місця антенної системи $\varepsilon = 0^\circ$ (тобто на рівні радіогоризонту), можемо скористатися відомим рівнянням радіогоризонту:

$$D_{\Gamma} = 4,11 \cdot \left(\sqrt{H_3} + \sqrt{h_a} \right), \quad (3.1)$$

де D_{Γ} – де горизонтальна дальність в кілометрах, H_3 – поправка висоти на кривизну Землі в метрах або висота нижньої межі суцільного радіолокаційного поля, h_a – висота електричного центру антени в метрах.

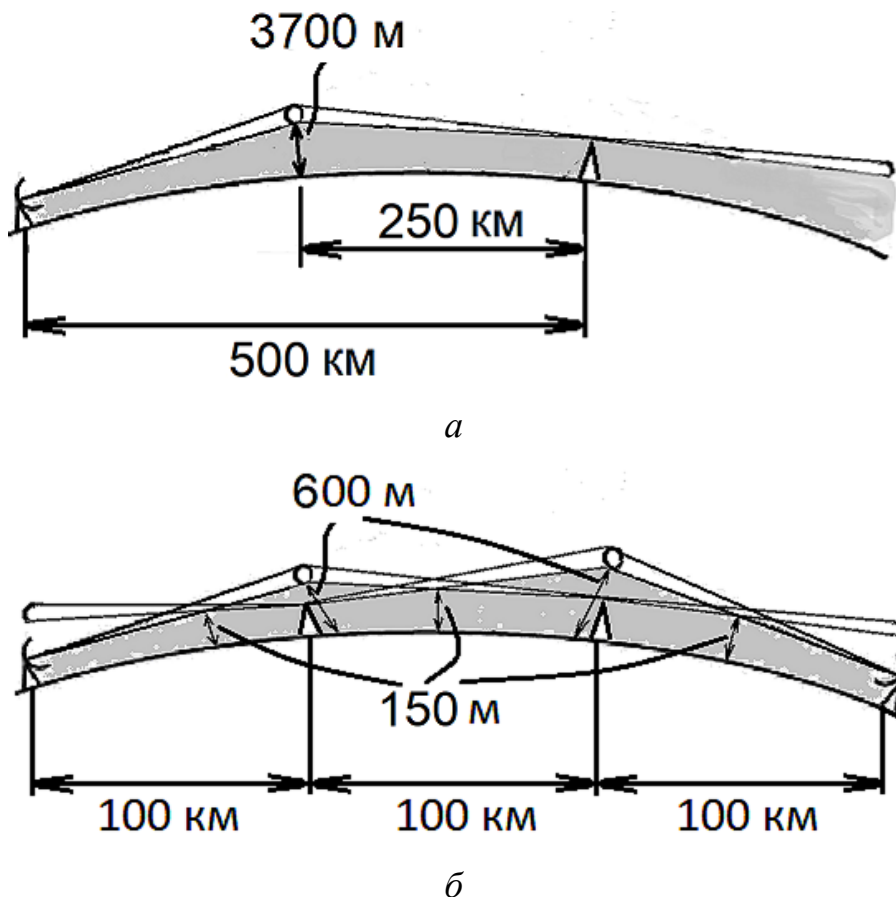


Рисунок 3.6 – Ілюстрація зміни радіолокаційного поля при зміні відстані між радіолокаторами

Підставивши в (3.1) вказані вище значення відстаней і поклавши $h_a = 0$, набудемо значення висоти нижньої межі суцільного радіолокаційного поля для радіолокаторів, розташованих безпосередньо на поверхні Землі:

$$H_3 = \frac{D_{\Gamma}^2}{16,9} \quad (3.2)$$

Змінюючи висоту електричного центру радіолокатора h_a в розумних межах можна підібрати необхідну висоту нижньої межі суцільного

радіолокаційного поля.

За рахунок збільшених відстаней між радіолокаторами при першому способі побудови також збільшуються розміри ділянок в районах затінювання перешкодами (за рахунок появи кутів закриття) [20], що породжує зони, які не переглядаються, в яких не виявляються об'єкти, процеси і явища. На рис. 3.7 нескладно побачити зменшення мертвої зони за рахунок наближення радіолокаторів один до одного за другим способом і, внаслідок цього, зменшення об'єму зони затінювання перешкодою, тобто якщо радіолокатор 2 відсунути управо, тим самим збільшивши відстань до радіолокатора 1, то об'єм мертвої зони зросте (затемнена ділянка на рис. 3.7), оскільки лінія радіогоризонту радіолокатора 2 віддалятиметься від перешкоди.

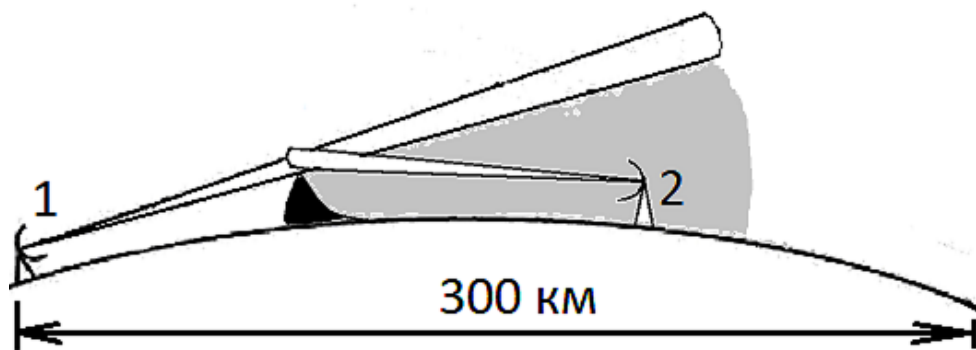


Рисунок 3.7 – ілюстрація мертвої зони

На збільшених відстанях при першому способі побудови мережі за рахунок розширення діаграми направленості антени збільшуються лінійні розміри імпульсного об'єму, що погіршує лінійну роздільну здатність усередині мережі [20]. При застосуванні другого способу за рахунок меншого просторового розширення променя діаграми направленості антени радіолокатора при меншій його дальності дії досягається вища просторова роздільна здатність усередині радіолокаційної мережі (рис. 3.8). Ширина діаграми направленості антени на рис. 3.8 вважається рівною 1 градусу.

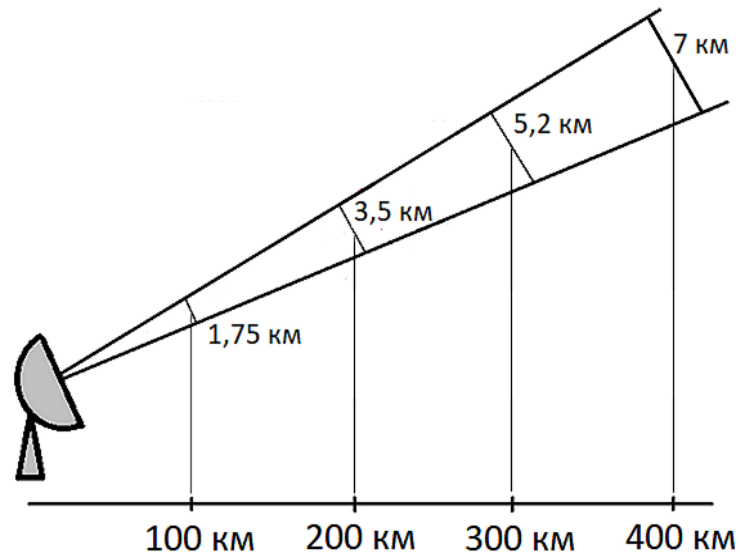


Рисунок 3.8 – Ілюстрація зміни лінійних розмірів імпульсного об'єму

Збільшені відстані між радіолокаторами при першому способі побудови мережі знижують стійкість функціонування мережі, оскільки при виході з ладу одного радіолокатора станеться істотна втрата інформації через те, що простір навколо радіолокатора, який вийшов з ладу, обслуговуватися не буде. При другому способі за рахунок щільнішого перекриття зон спостереження радіолокаторів підвищується стійкість радіолокаційної мережі при виході з ладу частини радіолокаторів [21]. На рис. 3.9 проілюстровано скорочення радіолокаційного поля радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери при зменшенні кількості радіолокаторів, наприклад, з 16 до 8 для першого (верхній рядок малюнків) і другого (нижній рядок малюнків) способів побудови мережі. Зліва направо в кожній вертикальній парі малюнків зменшується кількість радіолокаторів на 2 штуки в кожному із способів.

В результаті по обох правих рисунках кожного із способів добре видно, що радіолокаційне поле при другому способі побудови мережі в порівнянні з першим способом скорочується в істотно меншій мірі навіть при виході з ладу половини радіолокаторів мережі.

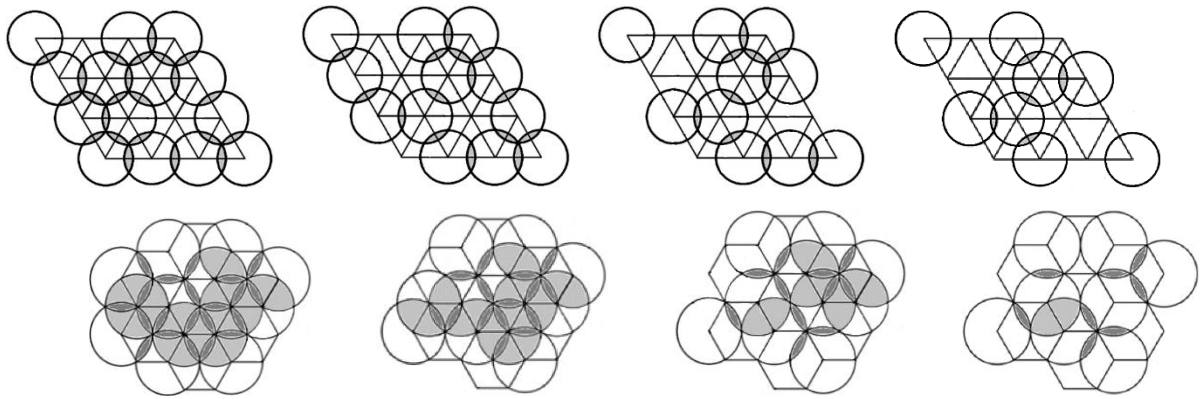


Рисунок 3.9 – Ілюстрація стійкості радіолокаційного поля

Збільшені відстані між радіолокаторами при першому способі побудови мережі і побудова мережі на трикутній сітці на основі торкання зон спостереження або невеликого їх накладення до отримання необхідної висоти верхньої межі радіолокаційного поля $H_{вг}$ призводить до необхідності здійснення сканування повністю в усій зоні спостереження радіолокатора (рис. 3.10). Процедура сканування може виявитися тривалою, що приведе до пропуску небезпечного процесу або явища. Прискорення процедури сканування, як це проводиться в існуючих мережах, призводить до втрати інформації або зниження її якості [22].

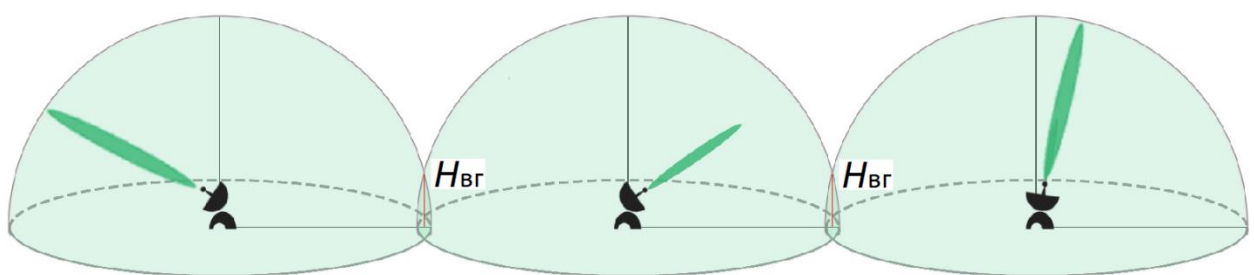


Рисунок 3.10 – Ілюстрація сканування усієї зони спостереження

При побудові мережі за другим способом за рахунок відсутності необхідності здійснення кожним з радіолокаторів огляду простору під

великими кутами місця (рис. 3.11) радіолокаційною мережею економно витрачається енергія зондувального випромінювання і витримуються часові параметри сканування, тому що немає необхідності підвищувати до 90° кут місця діаграми направленості антени радіолокатора вище $26,6^\circ$ внаслідок досягнення необхідної висоти верхньої межі радіолокаційного поля $H_{\text{ВГ}}$ в точці перетину O діаграм направленості сусідніх радіолокаторів. А висота нижньої межі радіолокаційного поля $H_{\text{НГ}}$ буде забезпечена автоматично при опусканні діаграм направленості антен радіолокаторів до $\varepsilon = 0^\circ$ [23].

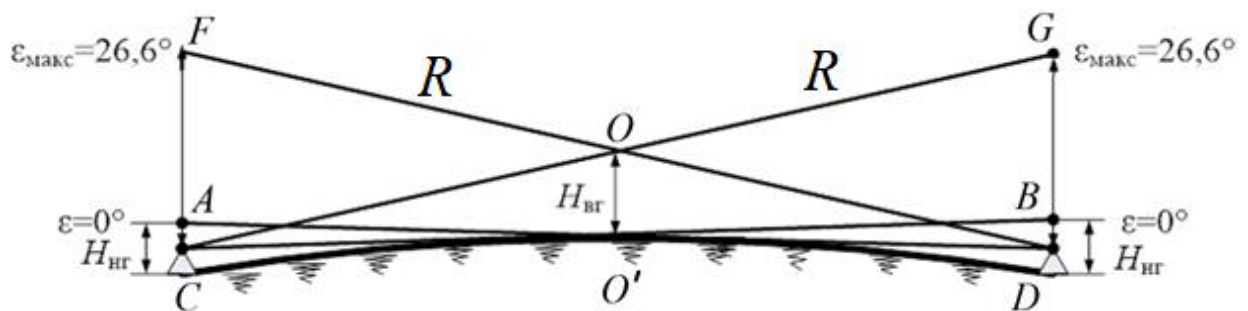


Рисунок 3.11 – Принцип формування зони спостереження з економним витрачанням енергії зондувальних імпульсів

Рис. 3.12 ілюструє структуру зони спостереження декількох радіолокаторів при обмеженому скануванні простору, при цьому утворюване радіолокаційне поле повністю покриває простір спостереження.

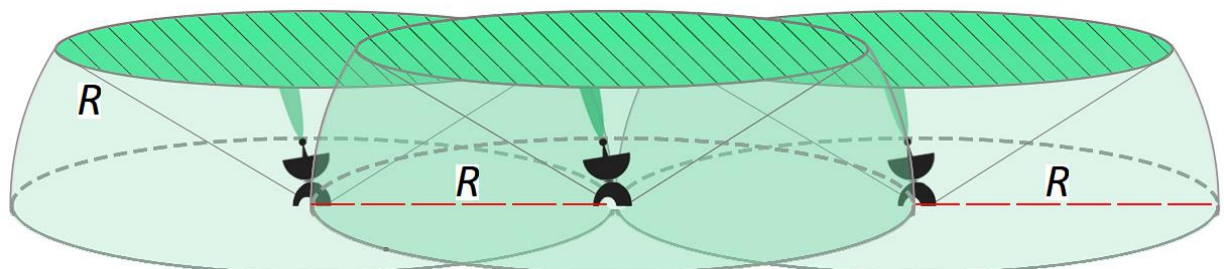


Рисунок 3.12 – Структура радіолокаційного поля

При побудові мережі за другим способом дальність дії радіолокаторів зменшена. Це означає, що у простір випромінюється менша кількість енергії. А за рахунок зменшення енергії зондувального випромінювання, і, як наслідки, зменшення потужності випромінювання, знижується небезпека дії на людей електромагнітного випромінювання кожного з радіолокаторів і радіолокаційної мережі в цілому, що для другого способу є фактом.

Крім того, при побудові мережі за другим способом, із зменшеною дальністю дії радіолокаторів, зменшуються розміри зони спостереження кожного з радіолокаторів. Звідки явно витікає, що темп видачі даних моніторингу кожним з радіолокаторів і мережею в цілому може бути або збільшений, або понижені вимоги до системи передачі даних.

3.3 Висновки

Слід зазначити, що застосування другого способу при створенні радіолокаційної мережі моніторингу атмосфери призводить до системного підходу і дозволяє отримати системний ефект у вигляді економного витрачання енергії зондувального випромінювання, оптимального покриття радіолокаційним полем простору спостережень без погіршення при цьому показників якості інформації. При подібному створенні мережі практично зникає поняття радіогоризонту, зменшується вплив великомасштабного рельєфу місцевості і знижується дія опадів на можливості моніторингу. Зменшення потрібної дальності дії метеорологічної радіолокаційної станції покращує просторову роздільну здатність всередині мережі і дозволяє знизити імпульсну потужність зондувального випромінювання, що зменшить небезпеку мережі для людини, тобто другий спосіб створення радіолокаційної мережі моніторингу атмосфери значною мірою дозволяє не лише наблизити якість моніторингу до потенційно можливого, але і ослабити обмеження, властиві радіолокаційному методу отримання метеорологічної інформації.

Таким чином, створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери на основі запропонованого способу дозволить в повнішій мірі реалізувати можливості радіолокаційного методу моніторингу атмосфери, ослабити обмеження, властиві радіолокаційному методу отримання метеорологічної інформації і істотно наблизити якість моніторингу до потенційно можливого.

4 СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНОЇ ГРАФІЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ РЕГІОНУ ДЛЯ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ПОЛЯ

4.1 Види графіки та графічних моделей

На сьогодні існує чотири види графіки на яких базується вся сучасна робота з графічними представленнями у цілому [24], це:

- растрова графіка;
- векторна графіка;
- фрактальна графіка;
- тривимірна графіка;

Кожен з цих типів графіки вже давно досяг своєї популярності у певних сферах. Всі ці типи ми зустрічаємо у нашому віртуальному житті кожен день, починаючи з моменту включення персонального комп'ютеру, та закінчуючи рендерінгом різноманітних сторінок у глобальній мережі. Саме тому така велика їх популярність породжує неймовірний попит на створення систем для робіт з ними [25]. Можна перерахувати безліч програмних забезпечень по роботі з тим чи іншим типом графіки (рис. 4.1), але далі буде представлена найпопулярніша вибірка засобів не розділяючи їх на типи [26]:

- Free CAD;
- Blender;
- Auto CAD;
- BRL-CAD;
- Photo Pos Pro;
- Adobe Photoshop;
- Paint Net;
- Chaos Pro;

Слід також зазначити, що найпопулярнішим видом графіки, саме для комп'ютерного моделювання 3-D систем та автоматизації різноманітних

наукових процесів, є тривимірна [27]. Це досягається завдяки можливості з її допомогою найкраще описувати системи реального світу у цифровому форматі, а тому і проводити опити з найменшими погрішностями.

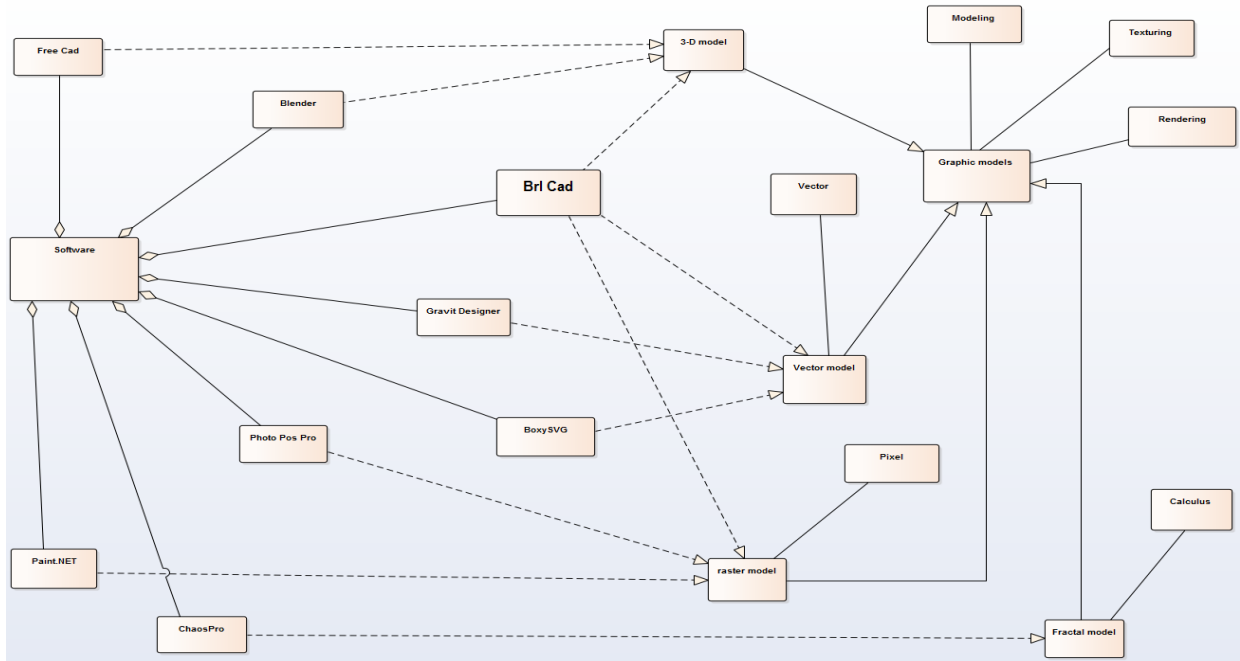


Рисунок 4.1 – Діаграма класів відношення графічних моделей та програмного забезпечення

4.1.1 Векторні моделі

Векторна графіка, є доволі потужним інструментом, для створення зображень, тому що в її основі лежить спосіб конструювання об'єктів за допомоги різноманітних ліній (векторів, вигнутих ліній, прямих ліній та інших) [28].

Головна перевага векторної графіки – можливість зміни розмірів зображення без втрати якості зображення [29]. Це значно спрощує роботу з графікою та підвищує якість кінцевого результату. Ця перевага у значній мірі досягається завдяки підходу створення графічного уявлення за допомоги математичних формул, тому при зміні зображення, досягається постійний

перерахунок значень. Саме тому файли в яких використовується векторна графіка займають досить мало місця на диску.

Недоліком даної методологіє є те, що вона не здатна передати дійсну картину світу так, як наприклад це може зробити растрова графіка [30]. Також слід зазначити, що розробляти ПЗ для роботи з векторною графікою, це дуже складна та невдячна робота, все те через те, що будь-які бібліотеки фільтрів, є зовсім безкорисними при роботі з вигнутими лініями. Все це доповнюється тим фактом, що проводити будь які зміни з зображенням, можливо тільки з стандартного редактору, в якому починалась робота.

Слід зазначити, що існує певний шаблон, за яким створюються майже всі програмні засоби для роботи з векторами [31]. Він складається з таких інструментів:

- крива Безьє (інструмент, який дозволяє створювати фігури будь якого типу, а також змінювати лінії).
- заливка (як і во всіх інших редакторах, дозволяє наповнювати фігуру будь-яким кольором).
- текст (дозволяє створювати з букв, та слів художні об'єкти).
- набір з геометричних фігур, для облегшення створення об'єктів.
- можливість “малювання” (наприклад інструмент карандаш).

4.1.2 Растрові моделі

Найбільшого поширення набули растрові формати, саме з їх використанням зберігаються різні фотографії, а також інші графічні растрової графіки дозволяє створювати реалістичні фотографічні зображення, які використовуються практично в будь-якому журналі, газеті і навіть на web-сайтах в Інтернеті [32]. Наприклад, якщо необхідно помістити до комп'ютера свою фотографію, вона теж буде збережена в растровому форматі.

Найважливішим плюсом растрової графіки виступає те, що в цьому форматі можливо зберігати графічні зображення, які мають схожість з реальним світом. Також слід зазначити, що ця графічна модель має доволі високу деталізацію, та має можливість до передачі реалістичних градацій кольорів. Ще однією перевагою є той факт, що усі принтери дуже якісно печатають ці графічні моделі, цей ефект досягається за рахунок того що сучасні принтери працюють за принципом «точка на кожен елемент картинки». Саме цим обумовлене таке широке розповсюдження растрової графіки у світі [33]. На сьогодні існує безліч різних редакторів по роботі з нею. Найпопулярнішим програмним забезпеченням відповідним до цього критерію є Adobe Photoshop.

За всіх своїх плюсів растрові зображення, що використовують велику бітову глибину (16 або 24 біт на піксель), займають дуже багато місця. До того ж для того, щоб редагувати високоякісні фотографії, вам знадобиться досить потужний комп'ютер з великою кількістю оперативної пам'яті, а також добрий процесор. Ще один мінус полягає в тому, що для растрового графічного файлу завжди використовується фіксована кількість пікселів, саме тому для користувача не можливо досягнути такого кейсу, де він зможе редагувати частини зображення окремо, а не увесь файл разом.

Растрова графіка має свою найвищу популярність при роботі саме з фотографіями, надав їм найвищу точність та реалістичність, вона дозволяє редагувати їх на найвищому рівні якості.

4.1.3 Тривимірні моделі

Тривимірна графіка – це певний вид комп'ютерної графіки, який складається з сучасних інструментів для розробки та прорисовки тривимірних моделей [34].

3D-зображення не складно відрізнити від двовимірного, оскільки воно включає створення геометричної проекції 3D-моделі сцени на площину за

допомогою спеціалізованих програмних продуктів. Модель, що отримується, може бути об'єктом з реальної дійсності, наприклад модель будинку, автомобіля, планети, або бути абсолютно абстрактною. Процес побудови такої тривимірної моделі отримав назву 3D моделювання і спрямований, перш за все, на створення візуального об'ємного образу об'єкта, що моделюється.

Тривимірні моделі оточують нас повсюди, а найбільшого свого поширення вони досягли у таких сферах сучасного життя, як кінематограф і мультиплікація, рекламні ролики, моделювання дизайну різного плану, наукові дослідження у цифрових сферах, та інші.

3D-графіка зазвичай має справу з віртуальним, уявним тривимірним простором, який відображається на плоскій двовимірній поверхні дисплея або аркуша паперу [35]. В даний час існує кілька методів відображення тривимірної інформації в об'ємній формі, хоча більшість з них представляють об'ємні характеристики дуже умовно, оскільки працюють зі стереозображенням.

Щоб отримати тривимірне зображення на площині, необхідно виконати наступні дії (рис. 4.2):

- моделювання (створення віртуального простору, а також задачі тривимірного моделювання в залежності від мети);
- текстурування (проектування текстур на створеному віртуальному просторі в залежності від їх координат);
- освітлення (міри прийняття користувачем рішень по налаштуванню світла для моделі, все це досягається завдяки роботі з тінями);
- анімація (перенесення динамічних властивостей об'єктів реального світу на об'єкти моделювання, з метою аналіз їх поведінки);
- динамічна симуляція (основна логіка по розрахунку усіх сил, які впливають на цільову модель, за допомоги фізичних та математичних формул);
- рендерінг (побудова проекції відповідно до обраної фізичної моделі);

– композитінг (добробка тривимірної моделі);

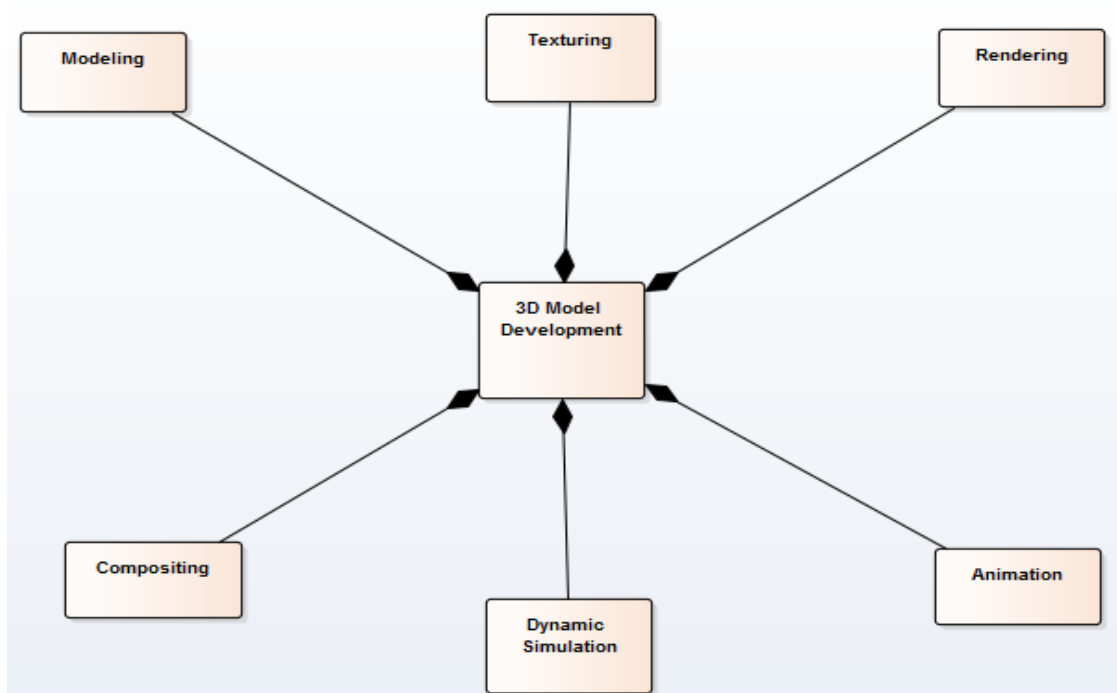


Рисунок 4.2 – Діаграма класів для 3D моделювання

4.2 Організація рендерингу у САПР BRL-CAD

В цьому проєкті розглядається виключно моделювання тривимірних систем, за допомогою САПР, а якщо точніше відкритої кросплатформної САПР BRL-CAD [36].

На жаль, єдиного загальновизнаного методу створення тривимірних моделей у САПР системах не існує. Насправді, як відомо, професійні архітектори використовують безліч унікальних методів для досягнення рівноцінних результатів [37]. Тим не менш, існує кілька основних етапів або процедур, які зазвичай використовуються більшістю моделей для створення точних, реалістичних та корисних геометричних зображень вчасно та ефективно.

Ці кроки можна описати різними способами, але для зручності їх можна узагальнити на наступні п'ять категорій (рис. 4.3) і представити аббревіатурою M-O-D-E-L:

- M – полегшення (або збір / перетворення) даних.
- O – Організація структури.
- D – розвиваюча (або будівельна) геометрія.
- E – Електронне оцінювання (або перевірка) геометрії на правильність.
- L – logging (або створення) документації.

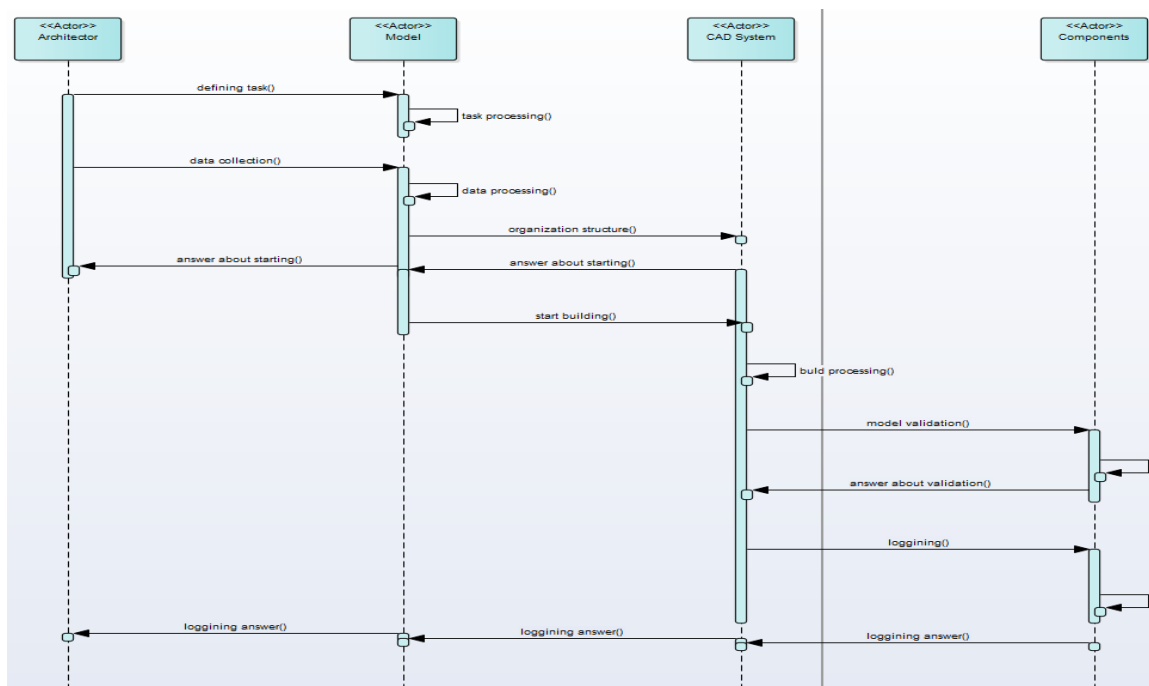


Рисунок 4.3 – Діаграма послідовності методів створення 3D структур

Процес моделювання можна розглядати як колесо-візок з п'ятьма спицями. Кожна спиця виходить за межі внутрішньої маточини – місія моделі і однаково важлива для надання колесу міцності та функціональності.

Крім того, хоча загальноприйнятим є розгляд кроків у тому порядку, в якому вони перераховані (тобто M, то O, то D, то E, то L), Процес моделювання є динамічним, і не є незвичайним, що певна фаза відбувається в

іншому порядку, повторюється або взагалі пропускається в процесі розвитку проекту.

Наприклад, фаза організації часто є першим кроком у великих або складних модельних проектах, оскільки вона допомагає архітектору створити деревоподібну структуру, яка допоможе йому у зборі / вимірюванні правильної (або потрібної кількості) даних. Крім того, модельєр часто виявляє відсутні або неточні дані на етапі розробки геометрії, що вимагає повернення до фази вимірювання. Нарешті, у випадках, що стосуються перетворення геометрії з іншого джерела, вимірювання та – етапи розробки можуть бути не застосовними, і модельєр може перейти безпосередньо до фази оцінки.

Незалежно від того, чи призначена модель для балістичного аналізу, радіолокаційних досліджень або чогось ще, ціль моделі повинна бути основою для визначення того, як повинні проводитися всі частини процесу моделювання. Це включає в себе рівень деталізації, якого повинен досягти розробник моделей: деревоподібну структуру моделі, кількість часу моделювання, яке повинно бути виділено, типи валідації та верифікації, які повинна мати модель, і навіть спосіб створення документації і зареєстрований. Цей момент може здатися очевидним, але невизнання цілі може призводити до втрати часу і ресурсів і, в кінцевому підсумку, до неефективної моделі.

Якщо архітектор не створює концептуально нову геометрію, він повинен працювати з різними джерелами інформації для побудови моделі. У деяких випадках існують креслення або механічні креслення. В інших випадках поїздка на полігон потрібна для фізичного виміру об'єктів і орієнтації.

Геометрія існує в іншому форматі САПР і повинна бути перетворена в формат в потрібний архітектору формат. Кожен тип джерела вимірювань має свій набір переваг і недоліків в залежності від точки зору розробника і / або користувача.

Витрата часу на складання деревної структури об'єкта перед його побудовою – ще один важливий крок у процесі моделювання, особливо якщо об'єкт, що будується, є складним, якщо час моделювання та ресурси обмежені, якщо робота виконується в команді, або якщо модель буде передана комусь іншому пізніше.

4.3 Розробка тривимірної геометрії

Зрештою, основою процесу моделювання є власне побудова геометрії [38]. Усі найкращі вимірювання, організація, оцінка та документація були б неефективними, якщо геометричні фігури, які складають модель, не побудовані або були побудовані неправильно.

По суті, є два кроки до розробки геометрії: (1) створення геометрії та (2) позиціонування геометрії. Звичайно, як і на всіх інших етапах процесу моделювання, є різні варіації думки щодо того, як ці кроки мають бути виконані, і кожен метод має свій власний набір переваг та недоліків.

Фактори, які необхідно враховувати, вирішуючи, які методи використовувати, включають у себе зручність розташування тривимірної моделі та спосіб (наприклад, геометрія будівлі в початковій точці або в порядку, який використовує попередньо визначені вимірювання або математичні розрахунки), також кількість реплікацій об'єктів, які знадобляться в моделі, легкість редагування однієї або кількох реплікацій, місце для зберігання, час підготовки/рендерингу і так далі.

Нижче наведено декілька шляхів ефективного розвитку тривимірної геометрії (рис. 4.4) в BRLCAD:

- створення основної структури моделі (рекомендується створити побудову з «головної» моделі цільового об'єкта). Це може бути сама велика частина, наприклад: модель регіону, деталь, найбільш центральна частина щодо інших частин моделі, або деталь розташування якої представляє собою виступаючий кут або точку. Так само, як і на конвеєрі виробника, створення

основної структури моделі спочатку забезпечує загальну систему координат моделі для решти менших другорядних частин для посилення. Крім того, для проектів, у яких кілька моделей одночасно працюють над окремими деталями, починаючи з основної конструкції, інші елементи можна встановлювати на місце або встановлювати відразу після завершення. Ця практика є більш ефективною, оскільки вона виключає наявність зайвих частин, що плавають навколо, що очікують на розміщення, а також забезпечує кращу картину завершення моделі протягом усього проекту.

– розуміння чотирьох рівнів моделювання та їх відмінностей. Всі моделі, створені в BRL-CAD, будуються в межах чотирьох його рівнів моделювання: (1) примітивний рівень, (2) рівень комбінації, (3) рівень регіону та (4) рівень складання. Знання характеристик цих рівнів моделювання є одним із перших ключів до розробки ефективної геометрії.

– знання основних примітивів та їх обмежень. Ще одним ключем до хорошої побудови моделі є розуміння необхідних введених даних, параметрів редагування, геометричних характеристик та відносних переваг/недоліків основних «будівельних блоків» пакета – примітивних форм. Хоча в даний час пакет містить понад 20 первинних примітивів (також ще десяток примітивів для розробки/спеціального використання), лише деякі з цих примітивів використовуються на регулярній основі.

– використання найкращих команд для створення примітивів. На додаток до розуміння основних будівельних блоків і рівнів моделювання пакета, важливо розуміти поведінку та переваги/недоліки його основних «інструментів» для створення. Використання правильної команди побудови в потрібний час може максимізувати ефективність моделювання, в деяких випадках використовуючи дані з попередньо створеної геометрії та зберігаючи вимірювання та/або час введення.

– створення об'єктів в найзручнішому місці: хоча системи координат різняться залежно від типу ситуації (наприклад, перетворена геометрія або групове моделювання, де встановлено певну орієнтацію),

моделі BRL-CAD, як правило, центруються в початку координат ($x_{yz} = 0\ 0\ 0$), де вісь $+X$ знаходиться спереду, вісь $+Y$ ліворуч, а вісь $+Z$ – вгору. Для об'єктів, які є симетричними за своєю природою, ця практика може скористатися перевагами операцій дзеркального відображення BRL-CAD і надати простіші контрольні номери для об'єктів, які є більш складними за композицією та/або орієнтацією. У деяких випадках, однак, розробник моделі вважає, що доцільніше будувати об'єкти на місці в моделі. Сюди входять випадки, коли раніше створені об'єкти пропонують зручні контрольні номери для розташування/орієнтації об'єкта, а також випадки, коли дотики* та інші необхідні розрахунки було б важче отримати з об'єктом у початку координат.

– створення кількох входжень об'єктів найбільш вигідним способом. Іноді розробнику моделей доведеться зробити кілька входжень об'єкта. Існують дві основні методики створення таких колекцій. Перший включає фактичне відтворення геометрії; другий включає посилання на спільну геометрію. Незалежно від використовуваної техніки, розробник моделі зазвичай починає зі створення прототипу об'єкта. У першій техніці розробник моделювання створює повні копії об'єкта, який потрібно відтворити. Кожна копія потім розміщується всередині моделі. У другій техніці створюється комбінація «посилання», яка містить лише прототип. Потім ця комбінація розміщується в моделі.

– зберігання обмежувальних примітивів, якомога меншими та компактними. Можна використовувати великі примітиви для досягнення перетинаних форм у BRL-CAD, використовуючи обмеження або примітиви віднімання, які значно виходять за межі позитивного об'єму області, зазвичай не рекомендується, оскільки це сповільнює програми трасування променів і може ускладнити перегляд геометрії каркаса, особливо в складна база даних.

– розглядання можливості артикуляції, анімації та презентації. Іноді моделям потрібно вміти імітувати рух частин і персоналу або

показувати унікальність переглядів для презентаційних цілей. На жаль, розробник моделі (або навіть користувач) не завжди може передбачити всі можливі варіанти використання на початку проекту. Тому розумно, особливо в організаціях, які використовують багато різних типів додатків моделей, намагатися розробити та побудувати моделі з думкою про те, що в якийсь момент їх, можливо, потрібно буде сформулювати, анімувати або представити в різних конфігураціях.

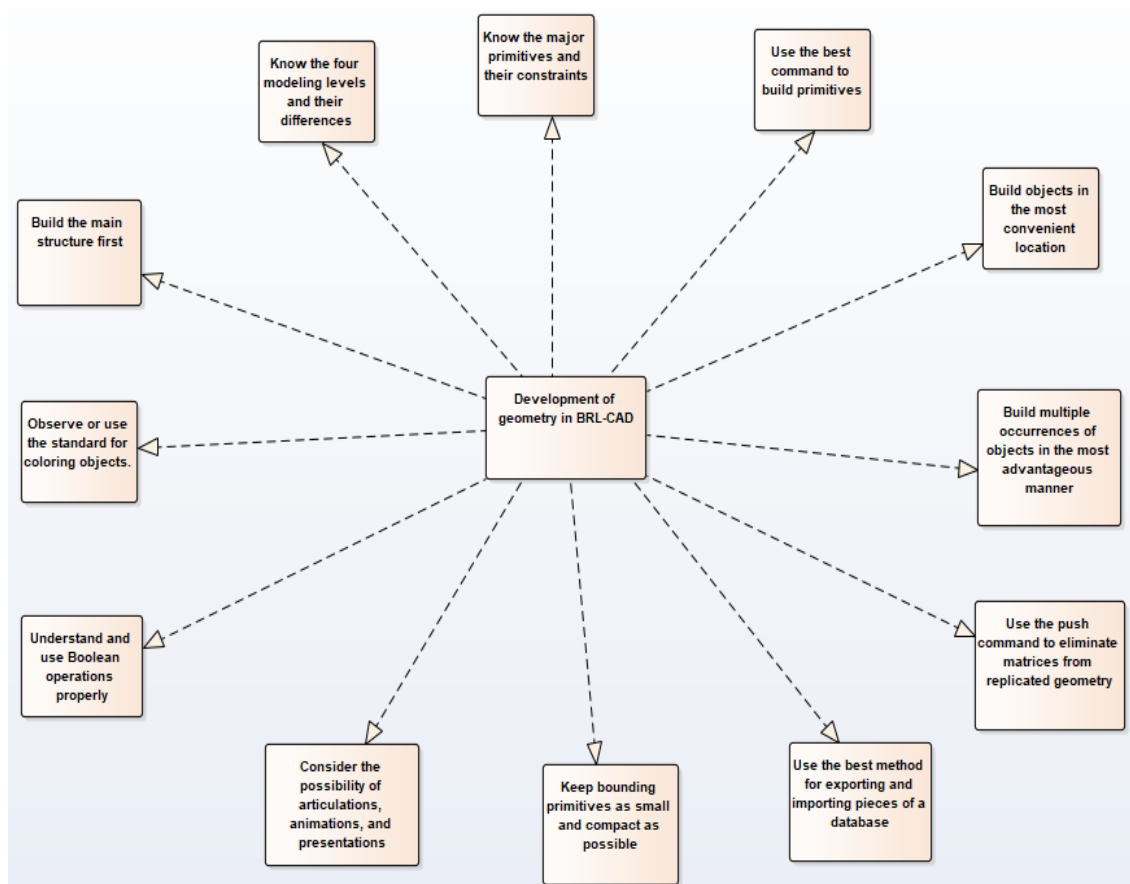


Рисунок 4.4 – Діаграма класів розробки геометрії в BRL-CAD

4.4 Оцінювання тривимірної моделі для задачі радіолокаційного геометричного перекриття

Оцінювання правильності геометрії є важливим супутником побудови реальних моделей. Фактично, без перевірки правильності розташування та

композиції геометрії процес моделювання фактично не був завершений. Оцінка виконується в наступні два моменти процесу моделювання: (1) після того, як окремі об'єкти побудовані та організовані в області та комбінації, і (2) після того, як модель повністю побудована. В обох випадках головною метою оцінки є виявлення будь-яких помилок у вимірюванні, логіці чи введенні даних, які б зробили модель недійсною або нереалістичною. Однією з поширених помилок, яку виявляє процес оцінки, є перекриття геометрії [39].

Перекриття – це фізичне порушення, яке виникає, коли два або більше об'єктів (областей) займають однаковий об'єм у просторі. Хоча ця умова іноді прийнятна (наприклад, при моделюванні об'ємів повітря), вона створює неточності, коли згодом аналізується геометрія.

Існує кілька способів оцінки геометрії BRL-CAD (рис. 4.5).

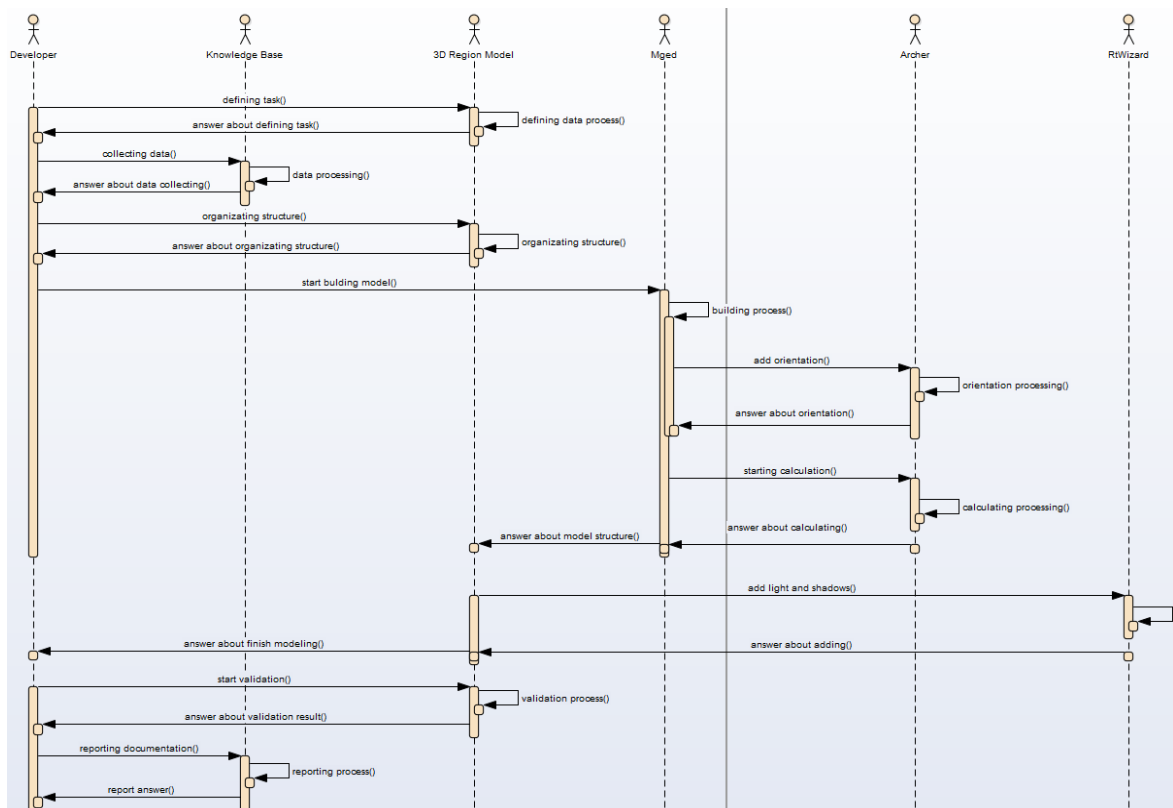


Рисунок 4.5 – Діаграма послідовності оцінки перекриття

Вони включають в себе (1) відтворення зображення за допомогою `rt`, (2) перевірку на перекриття за допомогою `rtcheck` (або менш відомого/використовуваного інструменту перекриття `g_lint` або `MGED`) і (3) перевірку неправильного складу матеріалу (наприклад, щільності) за допомогою `rtweight`.

Загалом, як тільки область буде завершена, хороша практика трасування променів за допомогою `rt` (рис. 4.6). Це дозволяє користувачеві візуально перевірити, чи вся булева логіка правильна, а геометрія не має очевидні проблеми. Якщо є щось сумнівне, то це можна детальніше вивчити за допомогою трасування променів, що виділяє цю конкретну область.

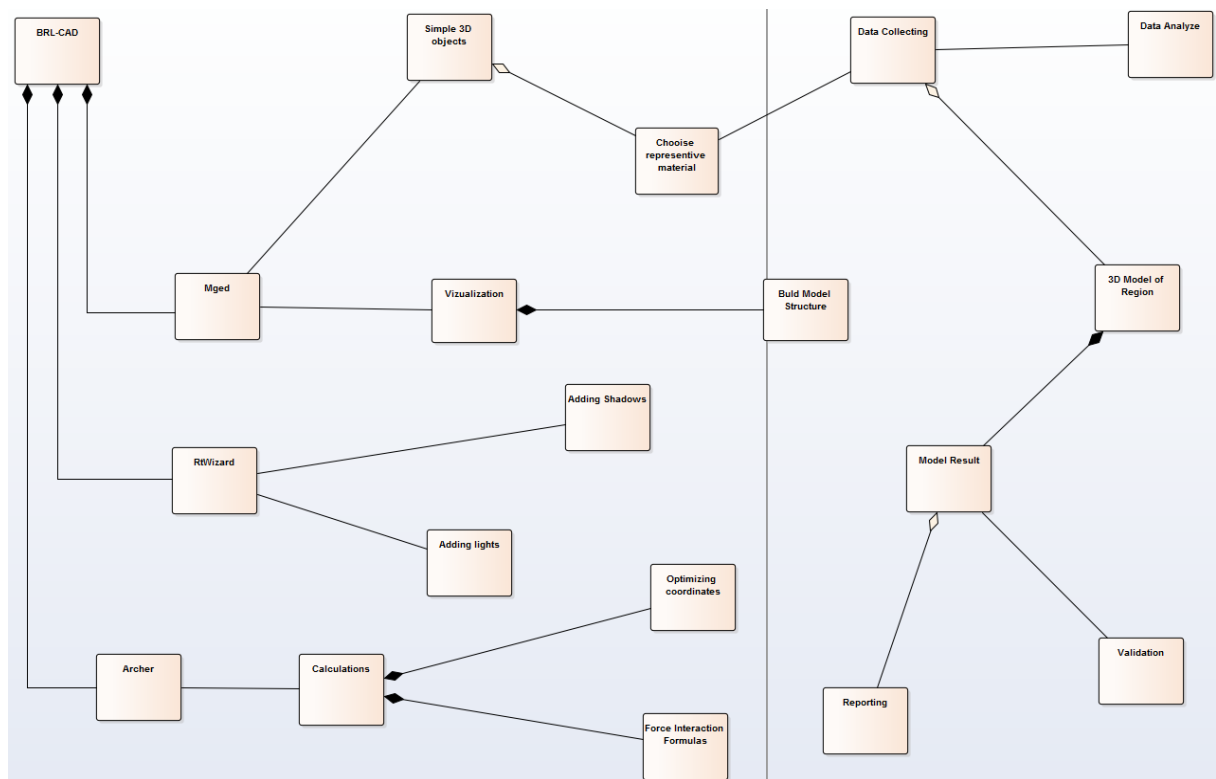


Рисунок 4.6 – Пакетна діаграма модульної перевірки геометричного перекриття

Слід додати, що візуалізація також є хорошим способом порівняння геометрії з кресленнями, ескізами, фотографіями чи зображеннями з інших

систем САПР. Оскільки підкомпоненти організуються в збірки, а складність геометрії збільшується, доцільно використовувати `rtcheck` (або `g_lint` або інструмент перекриття), щоб допомогти знайти будь-які помилки в геометрії та ізолювати будь-які проблеми.

4.5 Висновки

Скорочення часу та зусиль на моделювання – виробники часто витрачають сотні годин на побудову детальних моделей САПР для впорядкування процесів проектування, виробництва та складання (наприклад, за допомогою комп'ютерного цифрового обладнання).

Сумісність зі стандартизованими форматами – більшість комерційних пакетів мають пряму або непряму (через сторонніх постачальників) можливість перетворення на стандартні або посередницькі формати геометрії, роблячи пакети сумісними (принаймні, до певної міри) з широким спектром інших форматів САПР.

У наведеному нижче переліку подано методика щодо досягнення структуризації тривимірних моделей.

По-перше, слід використовувати підхід зверху вниз. Ідея проектувати структуру, використовуючи підхід зверху вниз, починаючи з найбільших, найбільш охоплюючих або найбільш функціонально значущих частин / систем і працюючи звідти. Знову ж таки, місія моделі тут дуже важлива. Якщо радіолокаційна станція моделюється для радіолокаційного аналізу, модель має бути побудована таким чином, щоб усі частини підключені до вершини були згруповані разом і були спроможні рухатися разом при обертанні башти.

По-друге, необхідно скористатися встановленими організаційними конвенціями: розумно дотримуватися будь-яких традиційних або широко використовуваних конвенцій, які можуть бути доступні в посібнику власника або оператора. Якщо механік або користувач зазвичай очікує від конкретного

компонента бути частиною системи підвіски локатору, тоді модельєру доцільно структурувати свою модель якщо немає вагомих причин робити інакше.

По-третє, добра практика іменування тісно пов'язана з ідеєю використання організаційних конвенцій для структурування геометрії та ідея використання конвенцій іменування для іменування геометрії. Хоча іменування регіонів може здатися тривіальною справою, справа в тому, що не завжди легко встановити заголовки та схеми, які інтуїтивно зрозумілі, надійні та корисні, щоб допомогти кінцевому користувачеві.

5 СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕСТАЦІОНАРНИХ КЛІМАТИЧНИХ РЯДІВ

5.1 Вступ

У метеорологічних і кліматичних дослідженнях застосування математичних методів грає ключову роль. Оброблювані дані в цих галузях геофізичної науки найчастіше представлені у вигляді полів або рядів спостережень. Як правило, вони нестационарні і відбивають процеси взаємодії природних чинників [40]. Нині, коли явно змінюється клімат, в дослідженнях в цій предметній області цілком виправдано застосування методів спектрального і, як окремий випадок, гармонійного аналізу даних для виявлення енергетично найбільш виражених періодів коливань в досліджуваних полях і рядах спостережень [40]. У строгому математичному сенсі гармонійний аналіз є окремий випадок спектрального розкладання функції, яке розуміється як розкладання в ряд по власних функціях деякого лінійного оператора або в інтеграл за системою функцій, залежною від аргументу, що безперервно змінюється [41]. Тому під гармонійним аналізом тут розуміємо оцінювання частот, амплітуд і фаз ряду гармонійних компонент (ряду Фур'є), на які розкладається аналізована функція. Під спектральним аналізом розуміємо оцінку частотних залежностей спектральної щільності амплітуди, фази або потужності в інтегралі Фур'є функції на континуумі частот [41].

З середини минулого століття все більшу роль у вивченні кліматичних систем минулого грає аналіз керн з глибоких свердловин, пробурених на льодовиках в зонах акумуляції. Безперервно удосконалюються способи аналізу керн. Аналіз крижаного керн і змісту в нім дейтерію, мікрочасток, парникових газів і ізотопів вже дозволив оцінити зміни температури повітря за період близько 800 тис. років. Детальні палеорекоконструкції температури

будуються на основі аналізу ізотопного складу кернів, а саме, відсоткового вмісту важкого ізотопу кисню ^{18}O (його середній вміст в природі – близько 0,2% від усіх атомів кисню). Молекули води, що містять цей ізотоп кисню, важче випаровуються і легше конденсуються.

Тому, наприклад, у водяній парі над поверхнею моря вміст ^{18}O нижче, ніж в морській воді. А в конденсації на поверхні снігових кристалів, що формуються в хмарах, більш охоче беруть участь молекули води, що містять ^{18}O , завдяки чому їх зміст в осіданнях вищий, ніж у водяній парі, з якої опади формуються. Чим нижче температура формування опадів, тим сильніше проявляється цей ефект, тобто тим більше в них ^{18}O . Тому, оцінивши ізотопний склад снігу або льоду, можна оцінити і температуру, при якій формувалися опади. Був виявлений зв'язок між ізотопною кривою з гренландської свердловини Crete і кривими температур в Англії і Ісландії. Ці температури реконструйовані для останніх 300...500 років по надійних записах прямих спостережень за природними процесами [42-45]. Усе це дає підстави розглядати гренландські льодовикові керни як чутливі природні реєстратори температурних флуктуацій в Північній Півкулі і, зокрема, в Європі.

5.2 Об'єкти і початкові матеріали дослідження

Дослідження проводилися з опорою на дані, отримані від двох найбільш відомих з пробурених в Гренландії за останні чверть століття свердловин, – GRIP і GISP2 [42-45]. Аналіз стану льодових кернів дає повну картину про зміни клімату Землі і стан атмосфери у минулому. Нашарування льоду, що збереглися, дозволяють робити висновки про значення і хід температур далеких епох з 1% помилкою [42-45]. Відновлена температура повітря в приземному шарі в центральній частині Гренландії за останні 50000 років була отримана на основі аналізу стабільних ізотопів N_2 і Ar , отриманих з льодових кернів. Вона відбиває хід зимових значень температури повітря,

які, як відомо, близькі до середньорічних температур [7]. Реконструйовані ці температури за останні 50 тисяч років надано World Data Center for Paleoclimatology, Boulder, USA. Ці дані є набором особливих точок і не є регулярним дискретним рядом. Для дослідження були використані перетворений ряд реконструйованих даних температури приблизно за 50 000 років (точніше – за 49 830 років). Для цього з початкового ряду була сформована вибірка значень температури через кожні тридцять років [46] (рис. 5.1).

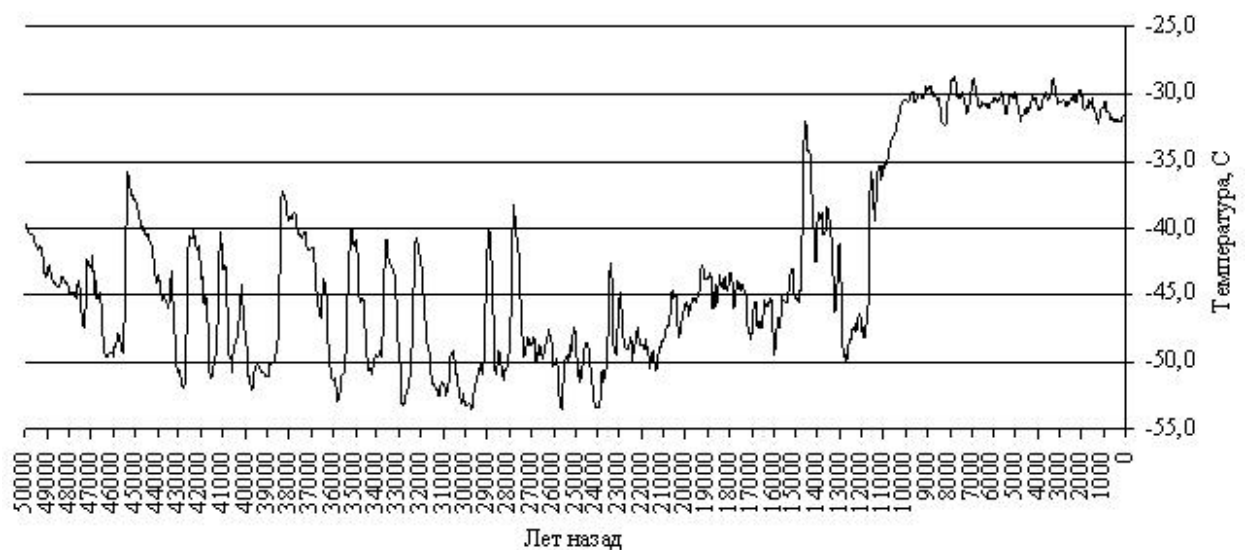


Рисунок 5.1 – Перетворений ряд реконструйованих даних температури в центральній частині Гренландії з дискретністю 30 років

Такий період вибірки пов'язаний з тим, що зміна тенденцій в зміні тиску і температури, що спричиняють за собою зміну типу атмосферної циркуляції, призводять до відповідних змін в кутовій швидкості обертання Землі. При зниженій частоті появи меридіональної форми циркуляції спостерігається прискорення обертання Землі і навпаки, ця тенденція має квазіперіодичний характер в 30...35 років, кратні гармоніки з періодами $\approx 30...60$ років характерні для глобальної температури повітря і температури

поверхні океану [47]. Температура повітря за 49 830 років зазнавала значні зміни (рис. 5.1).

Будь-які періодичності коливання атмосферної циркуляції проявляється упродовж деякого часового інтервалу (десятки, тисячі або мільйони років) і, з часом, змінюється, або зникають повністю. Кожна циклічність має свою міру стійкості в часі і цим циклам відповідає певна енергетика, яка залежить від багатьох зовнішніх і внутрішніх кліматоутворюючих чинників. Тому важливим завданням є не лише виявлення значущих періодів коливань, але і визначення того, які з цих періодичностей енергетично найяскравіше проявляються в кліматичній системі планети.

5.3 Методика дослідження

Часто використовуване для гармонійного аналізу гідрометеорологічних рядів одновимірне перетворення Фур'є дозволяє виділити найбільш значущі періодичності відповідно до значення енергії, яка доводиться на кожне коливання. Припущення про стаціонарність досліджуваного ряду при проведенні гармонійного аналізу призводить до отримання в спектрі постійної складової, яка за потужністю на 4...5 порядків перевищує ті спектральні компоненти, які цікавлять дослідника [48]. Гармонійний аналіз аномалій температур усього ряду, як це прийнято в кліматології і метеорології, також проблеми не вирішує, оскільки спектральні компоненти, які цікавлять дослідника, виявляються на 3...4 порядків менше постійної складової. Розбиття усього ряду аномалій температур на великі геологічні періоди знову ж таки проблеми не вирішує, оскільки ряд залишається за математичним очікуванням нестационарним і, отже, від постійної складової, що на 2...3 порядки перевищує досліджувані спектральні компоненти, позбавитися не вдається. Та ще втрати в спектральних компонентах через розбиття досліджуваного ряду. Виникає потреба переходити до методів

Фур'є-фільтрації початкового ряду температур або ряду температурних аномалій. В цьому випадку з-за дискретності ряду також виникають складнощі з вибором функції зважування часових відліків при фільтрації.

Аналіз реконструйованого температурного ряду (рис. 5.1) дозволяє дійти висновку про те, що цей ряд є випадковим процесом, оскільки неможливо простежити характер причинно-наслідкових зв'язків зміни температури в джерелі. Необхідність використання для опису ряду теорії випадкових процесів обумовлюється природою кліматичних процесів і недоліком апріорних відомостей про останні [40]. Випадковість процесу складається з двох компонент – швидких змін значень температури і повільних змін значень температури. Повільні зміни значень температури мають тривалий період зміни і загалом можна їх вважати модулюючою функцією або трендом випадкового процесу [49]. Подібний підхід до випадкового процесу, з точки зору його характеристик, дозволяє віднести його до класу нестационарних випадкових процесів, оскільки не виконуються умови стаціонарності ні у вузькому сенсі (статистичні характеристики стійкі і залежать тільки від часових зсувів і не залежать від самих значень часу), ні в широкому сенсі (моментна функція першого порядку постійна і моментна функція другого порядку залежить тільки від часових зсувів і не залежить від самих значень часу) [50].

Оскільки передбачається проводити гармонійний аналіз нестационарного випадкового процесу, то для отримання спектральних характеристик, що відображують часові зміни процесу або його поточні властивості, можна скористатися миттєвим спектром потужності $G(\omega, t)$ процесу $\zeta(t)$, відповідно до якого [51]:

$$G(\omega, t) = \frac{\partial}{\partial t} |S_t(\omega)|^2, \quad (5.1)$$

$$\text{де } |S_t(\omega)|^2 = \int_0^t \xi(t) e^{-j\omega t} dt = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |S_t^{(i)}(\omega)|^2 \quad \text{и} \quad S_t^{(i)}(\omega) = \int_0^t X_i(t) e^{-j\omega t} dt, \quad X(t) - \epsilon$$

реалізацією випадкового процесу, в нашому випадку – одна реалізація.

У нашому випадку, вирішуючи питання про допустимість визначення спектральної функції $G(\omega, t)$ по одній реалізації, необхідно знати, чи відноситься досліджуваний процес до класу процесу, який характеризується узагальненою ергодичністю, оскільки при визначенні поточних значень характеристик нестационарних процесів усереднюванням за часом мають місце принципові обмеження точності оцінки. Тому при розподілі нестационарних випадкових процесів на два види – що допускають і не допускають оцінку за допомогою усереднювання за часом – вводять критерій. Цим критерієм є середній квадрат помилки δ . Для процесу з узагальненою поточною ергодичністю ця помилка, що включає поточні помилки через кінцівки інтервалу спостереження через зміщеність оцінки, через зміни виду функції $s(t)$, що описує часову залежність досліджуваної характеристики від реалізації до реалізації, позначена як $\delta_{f \min}^t$ має бути менше деякого порогового значення середнього квадрата помилки $\delta_{\text{пор}}$. Процеси з узагальненою поточною ергодичністю характеризуються повільною нестационарною. Це дає можливість довести інтервал усереднювання до досягнення значення помилки. Таким чином, процес з узагальненою поточною ергодичністю повинен задовольняти умові (5.2) :

$$R(t) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} K_{2s}(t, \tau) d\tau}{\int_{-\infty}^{+\infty} K_{2x}(t, \tau) d\tau} \gg 1 \quad (5.2)$$

де $K_{2s}(t, \tau)$ – поточна кореляційна функція $s(t)$, $K_{2x}(t, \tau)$ – поточна кореляційна функція процесу $X(t)$.

В теорії нестационарних процесів відомі два напрями їх аналізу: 1) поширення положень теорії стаціонарних випадкових процесів на нестационарні випадкові процеси і 2) розробка спеціальних методів аналізу нестационарних випадкових процесів [51]. Для проведення досліджень було вибрано перший напрям аналізу – стаціонаризація одного з параметрів випадкового процесу, а саме, математичного очікування.

При аналізі нестационарних процесів, представлених однією реалізацією, умови нестационарної не дозволяють значно збільшити тривалість реалізації. Щоб вийти з цього положення, треба реалізацію нестационарного випадкового процесу розділити на ділянки тривалістю T . При цьому характер ділянок і час вибираються такими, щоб із заданою мірою точності можна було оцінки характеристик процесу на кожній ділянці вважати стаціонарними. Знаючи оцінки на ділянках, можна потім побудувати графік зміни характеристик процесу в часі. Найбільший інтерес представляє вибір оптимальної тривалості ділянки реалізації T_{opt} , при якій сумарна похибка оцінки буде мінімальною.

Таким чином, для процесів, що відносяться до класу процесів з узагальненою поточною ергодичністю, характерні мала зміна функції $s(t)$ від реалізації до реалізації і повільна зміна в часі. У нашому випадку реалізація одна, вона відноситься до класу процесів з узагальненою поточною ергодичністю і, значить, в процесі дослідження вимагається згодом оцінювати помилку при різних значеннях часових усереднювань процесу, оскільки задатися значенням δ_{nor} за наявності однієї реалізації дуже проблематично.

Підводячи підсумок, можна визначитися з методикою дослідження. Застосувавши до процесу процедуру згладжування одним з відомих методів (лінійної регресії, ковзного середнього, вейвлет-обробки або іншим) отримаємо його оцінку математичного очікування. Потім віднімаємо ординати отриманої кривої математичного очікування з відповідних ординат реалізації, тим самим отримуємо процес, стаціонаризований за математичним

очікуванню. Після цього здійснюємо перетворення Фур'є отриманого стаціонаризованого процесу. Процедуру перетворення Фур'є треба застосувати багаторазово до стаціонаризованого процесу, кожного разу змінюючи час усереднювання при згладжуванні. Оцінку точності при цьому слід проводити, порівнюючи отримані спектри і оцінюючи їх за відомими кліматичними і геологічними подіями. У роботі застосовувалися два із згаданих вище методів згладжування, а саме, ковзного середнього і вейвлет-обробки. Для виявлення енергетично найбільш виражених періодів коливань був застосований апарат спектрального Фур'є-аналізу математичного пакету прикладних програм MatLab.

5.4 Обговорення результатів

Для проведення усереднювання необхідно вибрати такі періоди, процеси з якими простежуються упродовж тривалого часу і є найбільш характерними для досліджуваного ряду приземної температури повітря. Попередній аналіз досліджуваного ряду температур показав, що для усереднювання початкового ряду температур треба використовувати декілька відрізків часу $T_{оср}$ різної тривалості.

Представлений в роботі [6] аналіз тисячолітніх змін клімату за даними GISP2 ^{18}O , показав наявність яскраве виражених періодичностей в діапазоні 830-1050 років. Вейвлет-аналіз GISP2 [52] також показав наявність домінуючих періодичностей 1130-1140, 790-770, 560-590 і 390-360 років. У роботах [53, 54] виділена добре виражена періодичність ~ 1500 років, яка носить назву циклів Бонда і визначається під час голоцену в основному за матеріалами флуктуацій в обламаннях айсбергового льоду. Події Бонда можуть бути міжльодовиковими аналогами осциляцій Дансгора-Ешгера 1 470-річної циклічності, з магнітудою близько 15-20% від льодовиково-дольодовикової температурної зміни [55]. Таким чином, для кліматичних змін найбільш характерна періодичність $\approx 1470 \pm 500$ років [42, 45]. Крім

того, в роботі [56] показано, що для кліматичних змін також характерні циклічності з періодом 2000-3000 років.

Раніше застосовані методи Фур'є-аналізу [48] і вейвлет-аналізу [57] до перетвореного ряду реконструйованих значень приземної температури повітря за ~50000 років в центральній частині Гренландії, також дозволили виділити основні гармоніки з періодами в 2500, 1500, 1000 і 450 років. Таким чином, незважаючи на різні ряди, використовувані для виявлення значущих періодичностей, в результаті набуті близьких значень. Отже, для проведення досліджень було вибрано три значення часу усереднювання : 1-й – в межах 400...500 років, 2-й – близько 2000 років і 3-й – до 4000 років. Процес з періодом в 4000 років, в принципі, може бути описаний подіями Хайнриха [58] – явищами порушення термохалинної циркуляції, які викликали похолодання в північній півкулі.

Результати усереднювання представлені на рисунках 5.2 а-е. На рисунках зображені початковий ряд температур з накладеним на нього власним трендом, вичисленим методами ковзного середнього і вейвлет-перетворенням, з різним часом усереднювання. Усереднювання методом ковзного середнього традиційно і особливих пояснень не вимагає. Усереднювання вейвлет-перетворенням здійснювалося шляхом вейвлет-розкладання процесу до певного рівня, відповідному заданому часу усереднювання, з наступним вейвлет-відновленням тільки апроксимуючих коефіцієнтів на один рівень вгору. Ці відновлені на один рівень апроксимуючі коефіцієнти і є трендом процесу із заданим часом усереднювання. Час усереднювання T_{ocp} залежно від рівня розкладання n обчислюється за формулою (3) :

$$T_{ocp} = 30 \cdot 2^{n-1}, \quad (5.3)$$

де число 30 відповідає кроку за часом досліджуваного ряду (роки).

Для проведення дослідження вибраний досить довгий симетричний вейвлет $\text{sym}10$. Втім, для побудови тренду тип вейвлета особливої ролі не грає, оскільки часовий масштаб аналізу визначає глибина розкладання, а не довжина вейвлета, а застосування вейвлета з коротшим носієм надає деяку незграбність отриманому тренду. Застосування ж в нашому випадку більш протяжного вейвлета більшого згладжування процесу не здійснить, але збільшить час рішення задачі.

Проведене усереднювання методом ковзного середнього і шляхом вейвлет-розкладання процесу, з використанням найменшого періоду усереднювання в межах 400...500 років, показало, що тренди практично повторюють початковий ряд реконструйованих температур, а результати усереднювання різними методами відрізняються лише трохи (рис. 5.2, а, б).

Використання другого періоду усереднювання в межах 2000 років, при усереднюванні методом ковзного середнього і шляхом вейвлет-розкладання процесу, показало, що тренди значно відрізняються від початкового ряду реконструйованих температур. Період усереднювання в 2000 років дозволив позбавитися в тренді від значної частини короткоперіодичних коливань. Крім того, результати усереднювання, проведені різними методами, також значно відрізняються. Метод вейвлет-розкладання дав більше згладжений результат (рис. 5.2, в, г).

Тренди в обох випадках добре характеризують початковий ряд температур, виявляючи основні закономірності його динаміки.

Третій період усереднювання в 4000 років, використаний в методах ковзного середнього і вейвлет-розкладання, дав задовільні результати. Слід зазначити, що тренди в цьому випадку істотно відрізняються від початкового ряду реконструйованих температур. Період усереднювання в 4000 років дозволив позбавитися від більшої частини коротко- і середньоперіодичних коливань. Крім того, результати усереднювання, отримані різними методами, сильно відрізняються (рис. 5.2, д, е). Отримані тренди в обох випадках виявляють тільки основні тенденції динаміки початкового ряду температур.

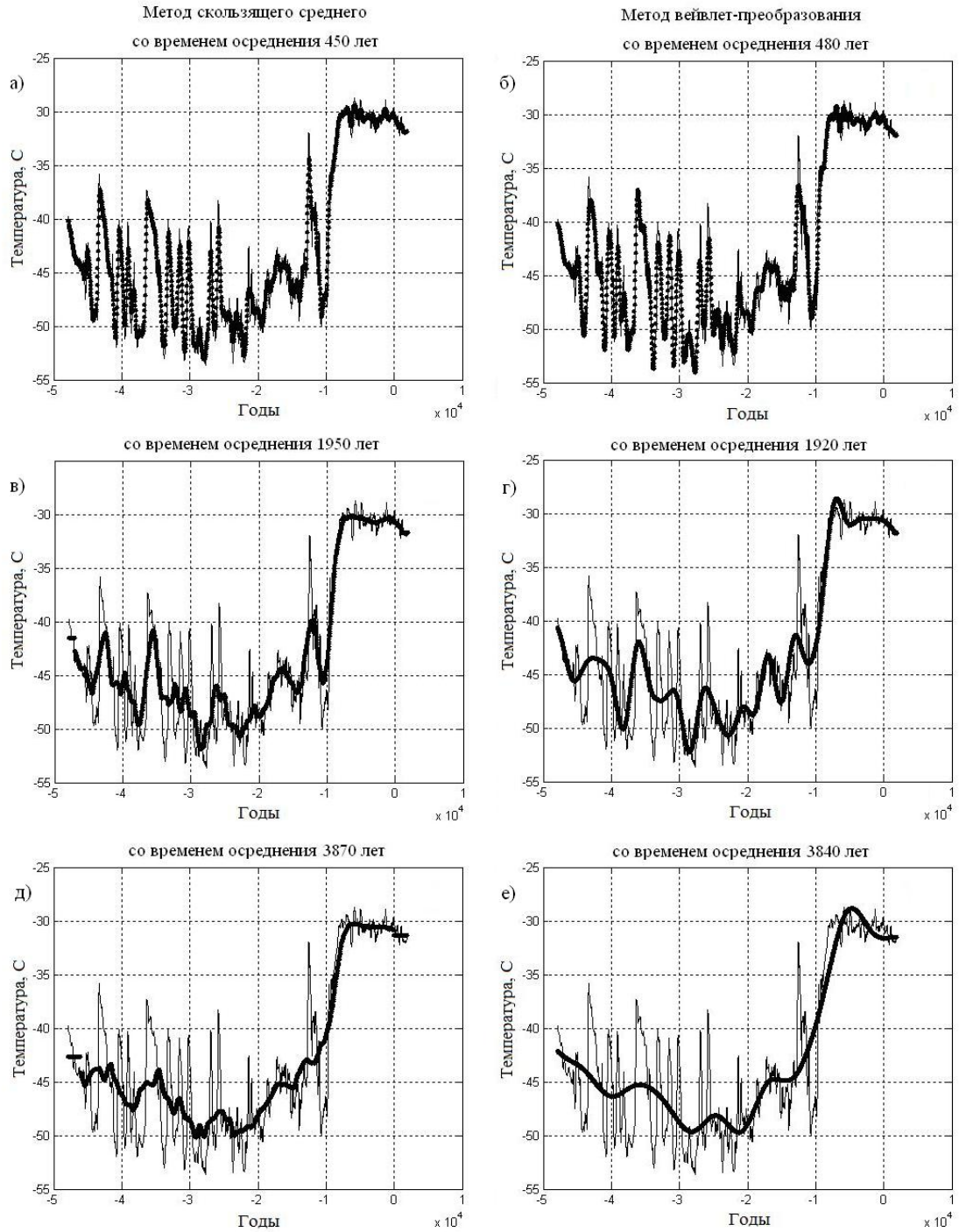


Рисунок 5.2 – Початковий ряд реконструйованих температур (вузька лінія) з накладеними трендами (широка лінія), отриманими методом ковзного середнього (а) з часом усереднювання 450 років, (в) з часом усереднювання 1950 років, (д) з часом усереднювання 3870 років і методом вейвлет-перетворення (б) з часом усереднювання 480 років, (г) з часом усереднювання 1920 років, (е) з часом усереднювання 3840 років

Таким чином, відрізок часу в 4000 років, використаний для усереднювання і інтерпретований як події Хайнриха, дав самі гірші результати. Причина цього полягає в тому, що, чим більший період усереднювання використовується, тим більше згладжений ряд виходить, який відбиває тільки найзагальнішу тенденцію ходу температур. Крім того, події Хайнриха, упродовж усього періоду їх спостережень, не мають постійної періодичності і можуть мінятися від 4000 до 10000 років, що пов'язано з енергетикою процесу, що призводить до реалізації події.

Зміна періодичності події Хайнриха в два – два з половиною рази, нехай навіть на досить великому часовому відрізку, приведе до того, що при усереднюванні з використанням постійної величини 4000 років, станеться втрата значних подій основного ряду температур. Так, проведене усереднювання в 4000 років привело до втрати яскраво вираженого сплеску, який описує різку зміну температури повітря, – спочатку різке підвищення, а потім різке пониження в межах 11...13 тисяч років тому. Саме цей відрізок часу, який характеризується стрімким падінням температури, називається пізнім дриасом і в геохронології є завершуючим етапом останнього обледеніння [59-62].

Далі проводилася стаціонаризація одного з параметрів випадкового процесу, а саме, математичного очікування. Зі значень процесу віднімалися значення тренду, після чого проводилося Фур'є-перетворення стаціонаризованого ряду температур. В результаті проведеного Фур'є-перетворення були отримані спочатку амплітудно-фазові частотні спектри і на їх основі розраховані енергетичні спектри. Усі енергетичні спектри нормувалися за тривалістю для того, щоб дістати можливість порівнювати їх між собою за рівнем енергії. Графічне відображення спектрів не стандартне, а трансформоване: вздовж осі ординат усіх отриманих спектрів відкладені нормовані значення енергії спектральних компонент (мод), а вздовж осі абсцис відкладена не частота, а час, тобто період (в роках) появи відповідної

спектральної компоненти. При цьому максимальна ширина спектру визначатиметься половинною частотою самого короткоперіодичного процесу, яким є крок ряду рівний 30 рокам. Таким чином, максимальна ширина спектру складе значення, рівне $1/60 \text{ лет}^{-1}$, а роздільна здатність спектру складе значення, залежне від величини вибірки, тобто від довжини ряду.

Результати розрахунків відображені графічно на рис. 5.3...5.5 для різних періодів і методів усереднювання. Розглянемо результати стаціонаризації ряду реконструйованих температур методом ковзного середнього з часом усереднювання 450 років (рис. 5.3, а). Аналіз стаціонаризованого ряду показав, що в льодовиковому і перехідному періодах спостерігаються великі коливання температури по амплітуді ($>4,0^\circ\text{C}$), але малі за тривалістю. Це свідчить про досить різкі коливання енергії, яка витрачається на реалізацію процесу зміни температури. У голоцен амплітуда цих коливань досягає ($\sim 1,0^\circ\text{C}$), тобто цей період часу характеризується стійкістю, майже незмінними значеннями енергії. Результати стаціонаризації ряду реконструйованих температур методом вейвлет-перетворення з часом усереднювання 480 років показав, що в льодовиковому і перехідному періодах коливання температури по амплітуді досягають ($\sim 6,0^\circ\text{C}$) і також є малими за тривалістю (рис. 5.3, в).

Графічне відбиття спектрів, отриманих в результаті Фур'є-перетворення стаціонаризованого ряду температур, показало значні відмінності, обумовлені різними методами усереднювання. Спектр, розрахований на основі стаціонаризованого методом ковзного середнього ряду дав досить великий часовий розкид гармонік від 1000 до 6000 років, максимальна з яких відповідає періоду ~ 2500 років (рис. 5.3, б). Аналіз спектру, отриманого на основі стаціонаризованого методом вейвлет-перетворення ряду дав набагато менший розкид гармонік від 1500 до 4000 років, з яких потрібно виділити основні, з періодом ~ 1500 і 2500 років (рис. 5.3, г). Оскільки усі енергетичні спектри нормувалися за тривалістю для того,

щоб ми могли порівнювати їх між собою по рівню енергії, то порівняльний аналіз показав, що гармоніка 2500 років, отримана на основі стаціонаризованого методом ковзного середнього ряду має енергію в два рази меншу, ніж на основі ряду, стаціонаризованого методом вейвлет-перетворення.

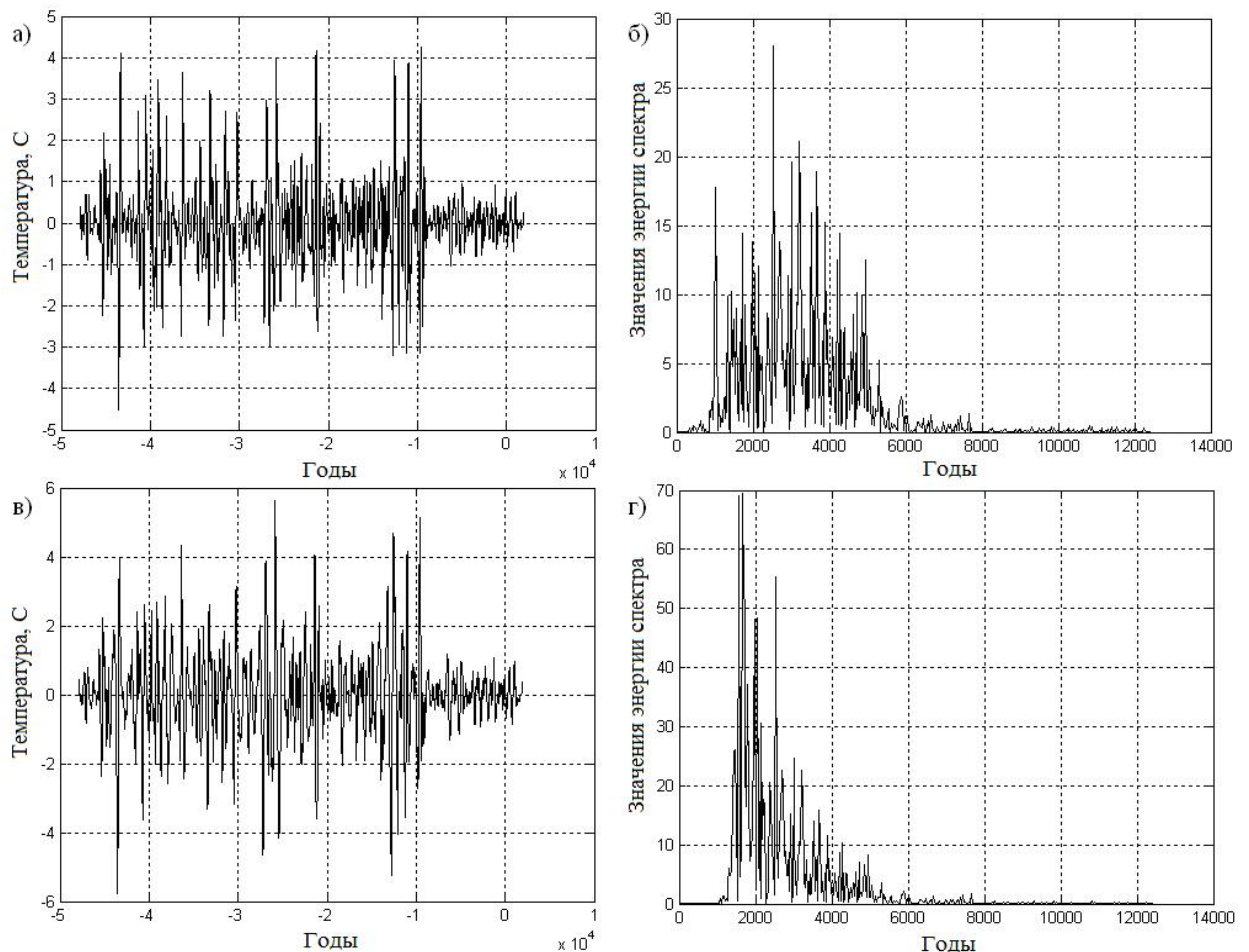


Рисунок 5.3 – Стаціонаризований початковий ряд реконструйованих температур, отриманий методом ковзного середнього (а) з часом усереднювання 450 років, і його спектр (б); методом вейвлет-перетворення (в) з часом усереднювання 480 років, і його спектр (г)

Розглянемо результати стаціонаризації ряду реконструйованих температур двома методами з часом усереднювання $\sim 2\ 000$ років (рис. 5.4).

Аналіз стаціонаризованого методом ковзного середнього ряду показав, що в льодовиковому і перехідному періодах спостерігаються великі коливання температури по амплітуді ($\sim 9,0^{\circ}\text{C}$), в голоцен амплітуда цих коливань досягає ($\sim 2,0^{\circ}\text{C}$) (рис. 5.6, а). В результаті стаціонаризації методом вейвлет-перетворення ці коливання по амплітуді досягають, відповідно: ($\sim 10,0^{\circ}\text{C}$), а в голоцен ($\sim 3,0^{\circ}\text{C}$) (рис. 5.4, в). Спектр стаціонаризованого методом ковзного середнього ряду дав одну головну гармоніку з періодом 1000 років (рис. 5.4, б), а спектр стаціонаризованого методом вейвлет-перетворення ряду дав дві гармоніки з періодом ~ 400 років і 1000 років (рис. 5.4, г). Енергія 1000 літньої гармоніки, отриманої різними методами, трохи відрізняється.

Перейдемо до аналізу результатів стаціонаризації ряду реконструйованих температур двома методами з часом усереднювання ~ 4000 років (рис. 5.5). Аналіз стаціонаризованих рядів двома методами виявив однакові по амплітуді коливання в льодовиковому і перехідному періодах ($\sim 12,0^{\circ}\text{C}$) і в голоцені ($\sim 2,0^{\circ}\text{C}$) (рис. 5.5, а, в). Крім того, стаціонаризований ряд (двома методами) з часом усереднювання ~ 4000 років досить добре описує початковий ряд реконструйованих температур.

Також дуже схожі спектри стаціонаризованих рядів двома методами (рис. 5.5, б, г). У обох випадках виявлено дві основні гармоніки: з періодами ~ 300 років і 1000 років. Крім того, можна виділити два сплески зі значеннями 1300 і 1400 років. Значення енергії основних гармонік, отриманих різними методами, відрізняється лише трохи.

Отже, оцінімо отримані результати і порівняємо їх з результатами проведеного Фур'є-аналізу аномалій ряду реконструйованих температур розділеного на три частини [48]. У згаданій роботі було проведено виділення часових періодів, яким властиві свої коливання і середні значення: льодовиковий період тривалістю 35280 років (49830...14550 років тому), довжина ряду складає 1176 значень; перехідний період тривалістю 4530 років (14550...10020 років тому), довжина ряду складає 151 значення;

післяльодовиковий період (наш час) тривалістю 10020 років (10020 років тому – по наш час), довжина ряду складає 334 значення. Для зменшення в спектрі долі постійної складової для кожного з трьох часових періодів було визначено середнє значення температури і відносно середнього розраховані відхилення температур, тобто аномалії. При проведенні досліджень здійснювався Фур'є-аналіз аномалій. При цьому передбачалося, що в усіх трьох аналізованих періодах процес є стаціонарним.

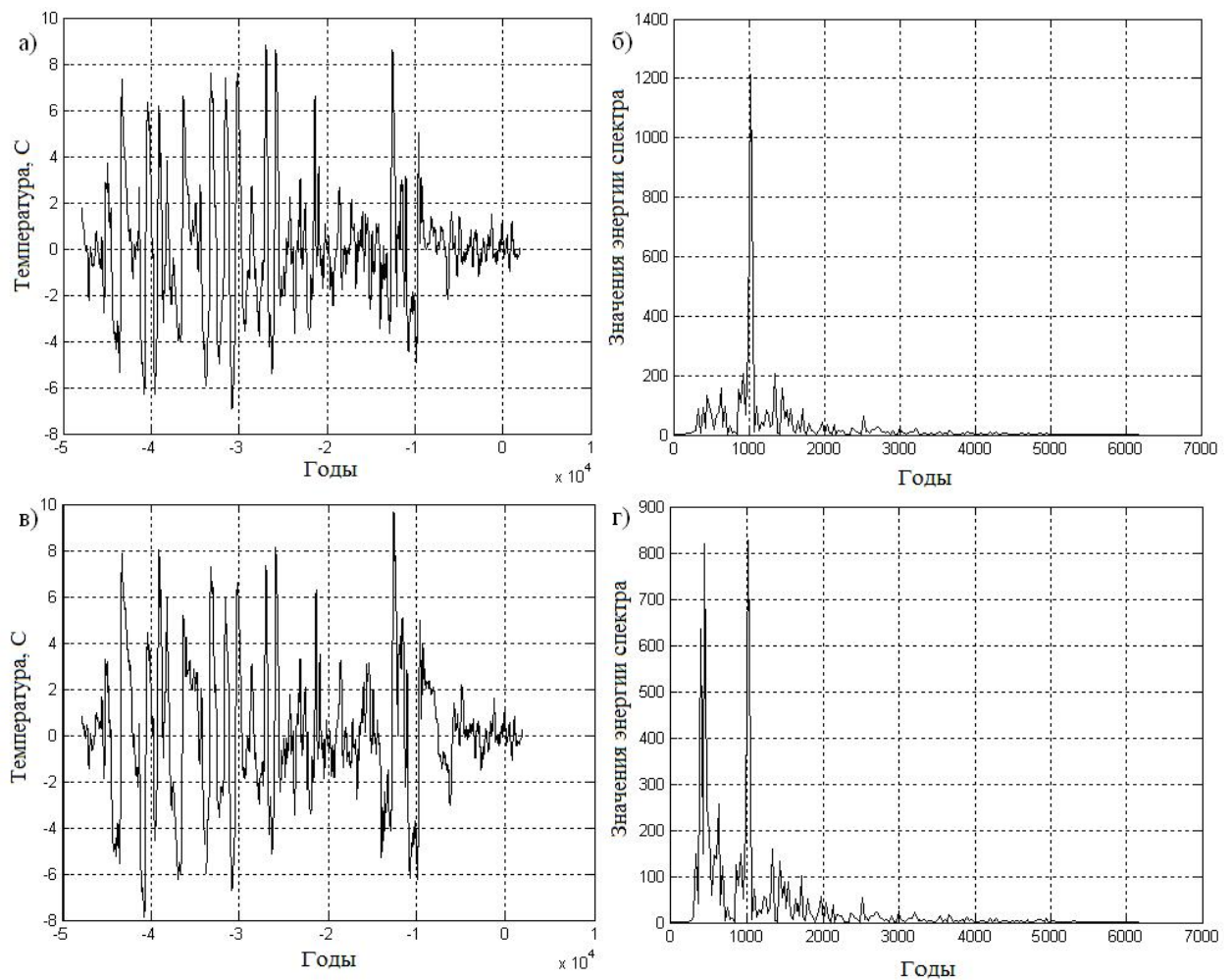


Рисунок 5.4 – Стаціонаризований початковий ряд реконструйованих температур, отриманий методом ковзного середнього (а) з часом усереднювання 1950 років, і його спектр (б); методом вейвлет-перетворення (в) з часом усереднювання 1920 років, і його спектр (г)

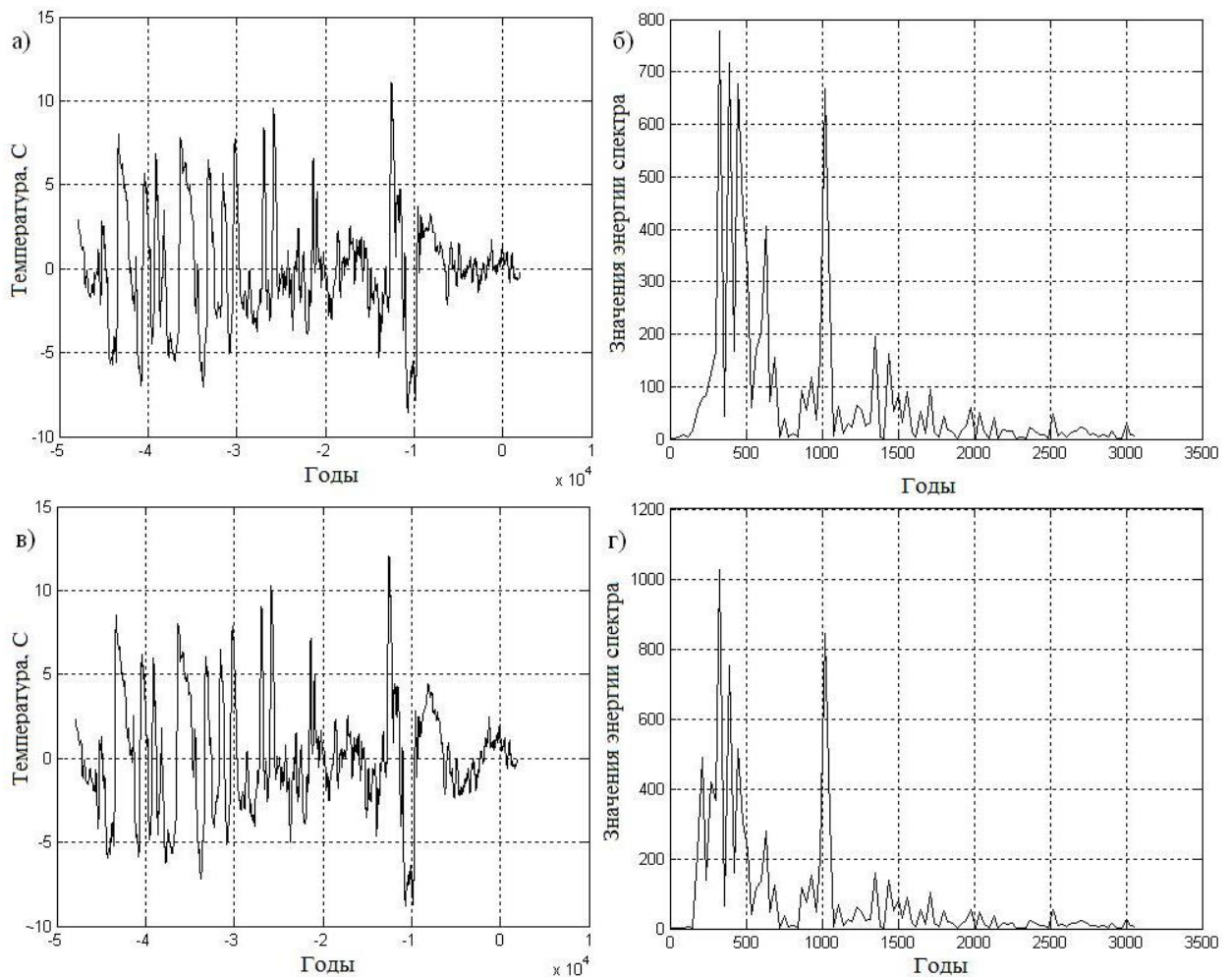


Рисунок 5.5 – Стаціонаризований початковий ряд реконструйованих температур, отриманий методом ковзного середнього (а) з часом усереднювання 3870 років, і його спектр (б); методом вейвлет-перетворення (в) з часом усереднювання 3840 років, і його спектр (г)

Представимо тепер усі отримані різними методами спектральні моди у вигляді таблиці. Проаналізуємо тільки основні моди, а саме ті, які найчастіше фіксуються при діленні ряду на періоди, а також енергії, що мають максимальні значення, для стаціонаризованого різними методами ряду (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Періодичність процесів, отриманих в результаті Фур'є-аналізу

Нестаціонаризований ряд з розділом на періоди [9]			Стаціонаризований ряд					
49830- 14550 років тому	14550- 10020 років тому	10020 років назад – по наш час	Метод ковзного середнього			Метод вейвлет-перетворення		
			Час осереднення			Час осереднення		
			450	1950	3870	480	1920	3840
Періодичність появи спектральних мод (роки)								
2325	2272		2500			2500		
1408		1666				1500		
1000		1000		1000	1000		1000	1000
400	411	385			~300		400	~300

До осциляцій Дансгора-Ешгера, які являють собою високочастотну або короткоперіодичну циклічність (1000, 1450 і 3000 років) можна віднести отримані моди 2500, 1500 і 1000 років. Тут також можна говорити про багатовікові цикли Бонда з періодом 1470 ± 500 років. Таким чином, нам відомо, що клімат і загальна зволоженість материків Північної півкулі змінювалися циклічно, в інтервалі 1500...2500 років. Як бачимо, отримані нами результати, добре узгоджуються з відомою циклічністю процесів в кліматичній системі планети, а виявлені моди цілком порівнянні і добре відповідають один одному.

5.5 Висновки

Проведений аналіз стаціонаризованого різними методами ряду реконструйованої за даними льодових кернів температури в центральній частині Гренландії дозволяє зробити наступні висновки:

1) проведене усереднювання методом ковзного середнього і шляхом вейвлет-розкладання процесу з використанням найменшого періоду усереднювання в межах 400...500 років показало, що тренди практично

повторюють початковий ряд реконструйованих температур, а результати усереднювання різними методами відрізняються лише трохи;

2) використання другого періоду усереднювання в межах 2000 років при усереднюванні методом ковзного середнього і шляхом вейвлет-розкладання процесу показало, що тренди в обох випадках добре характеризують початковий ряд температур, виявляючи основні закономірності його динаміки;

3) використання періоду з часом усереднювання ~ 4000 років, обумовленого подіями Хайнриха, показало гірший результат. Це обумовлено тим, що події Хайнриха не мають постійної періодичності і можуть мінятися від 4000 до 10000 років. Зміна періодичності події Хайнриха в два...два з половиною рази, нехай навіть на досить великому часовому відрізку, привели до того, що при усереднюванні з використанням постійної величини 4000 років сталася втрата значної події основного ряду температур;

4) стаціонаризація ряду реконструйованих температур методом ковзного середнього і методом вейвлет-перетворення, показала кращі результати з часом усереднювання ~ 400 і ~ 2000 років, причому метод вейвлет-перетворення дав результати, добре відповідні результатам раніше проведених досліджень;

5) порівняльний аналіз отриманих результатів з результатами проведеного раніше Фур'є-аналізу аномалій розділеного на три частини ряду реконструйованих температур показав, що обидва підходи доповнюють один одного, оскільки отримані моди цілком порівнянні.

Таким чином, були виявлені основні, характерні для ряду реконструйованої температури, гармоніки, що узгоджуються з циклічністю процесів у кліматичній системі планети. Надалі представляє інтерес дослідження динаміки виявлених гармонік протягом всього часу спостереження.

ВИСНОВКИ

1. Проведене обґрунтування та подано ескізну структурну схему перспективного метеорадіозонду.

2. Запропоновано технологію зміни властивостей плівкового ГП типу $p\text{Cu}_2\text{S}-n\text{Si}$ шляхом введення кластерного растру субколоїдної дисперсності у вигляді НКП, яка забезпечує гладкий зонно-енергетичний профіль переходу. Пропонується використовувати таку структуру як основу для фотоперетворювачів енергії. Визначено оптимальні режими роботи такого гетерофотоелемента. Зміна структури ГП може відбуватися через імплантацію кластерного растру острівцевої структури на кремнієву підкладку перед напыленням шару Cu_2S . Варіювання швидкості формування НК і температури підкладки відкриває можливість імплантування НК розмірами від 10 до 150 ангстрем. Для такого ГП спостерігався спектрально-інверсований фотоперетворювальний ефект. На наш погляд ці процеси за своєю природою є екстенсивними, оскільки обумовлені, більшою мірою, геометрією, морфологією НК, а не їх матеріалом. Наведені результати дослідження заслуговують на шляхи вирішення завдань сучасної функціональної діагностики приладів з НКП, а також при розробці фотоперетворювальних елементів бістабільних оптронів, наприклад, біхроматичного світлодіода з керованою частотою випромінювання.

3. Застосування другого з наведених способів при створенні радіолокаційної мережі моніторингу атмосфери призводить до системного підходу і дозволяє отримати системний ефект у вигляді економного витрачання енергії зондувального випромінювання, оптимального покриття радіолокаційним полем простору спостережень без погіршення при цьому показників якості інформації. При подібному створенні мережі практично зникає поняття радіогоризонту, зменшується вплив великомасштабного рельєфу місцевості і знижується дія опадів на можливості моніторингу. Зменшення потрібної дальності дії метеорологічної радіолокаційної станції

покращує просторову роздільну здатність всередині мережі і дозволяє знизити імпульсну потужність зондувального випромінювання, що зменшить небезпеку мережі для людини, тобто другий спосіб створення радіолокаційної мережі моніторингу атмосфери значною мірою дозволяє не лише наблизити якість моніторингу до потенційно можливого, але і ослабити обмеження, властиві радіолокаційному методу отримання метеорологічної інформації. Таким чином, створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери на основі запропонованого способу дозволить в повнішій мірі реалізувати можливості радіолокаційного методу моніторингу атмосфери, ослабити обмеження, властиві радіолокаційному методу отримання метеорологічної інформації і істотно наблизити якість моніторингу до потенційно можливого.

4. Скорочення часу та зусиль на моделювання – виробники часто витрачають сотні годин на побудову детальних моделей САПР для впорядкування процесів проектування, виробництва та складання (наприклад, за допомогою комп'ютерного цифрового обладнання). Сумісність зі стандартизованими форматами – більшість комерційних пакетів мають пряму або непряму (через сторонніх постачальників) можливість перетворення на стандартні або посередницькі формати геометрії, роблячи пакети сумісними (принаймні, до певної міри) з широким спектром інших форматів САПР. Розроблено методику щодо досягнення структуризації тривимірних моделей. По-перше, слід використовувати підхід зверху вниз. Ідея проектувати структуру, використовуючи підхід зверху вниз, починаючи з найбільших, найбільш охоплюючих або найбільш функціонально значущих частин / систем і працюючи звідти. Знову ж таки, місія моделі тут дуже важлива. Якщо радіолокаційна станція моделюється для радіолокаційного аналізу, модель має бути побудована таким чином, щоб усі частини підключені до вершини були згруповані разом і були спроможні рухатися разом при обертанні башти. По-друге, необхідно скористатися встановленими організаційними конвенціями: розумно дотримуватися будь-

яких традиційних або широко використовуваних конвенцій, які можуть бути доступні в посібнику власника або оператора. Якщо механік або користувач зазвичай очікує від конкретного компонента бути частиною системи підвіски локатору, тоді модельєру доцільно структурувати свою модель якщо немає вагомих причин робити інакше. По-третє, добра практика іменування тісно пов'язана з ідеєю використання організаційних конвенцій для структурування геометрії та ідея використання конвенцій іменування для іменування геометрії. Хоча іменування регіонів може здатися тривіальною справою, справа в тому, що не завжди легко встановити заголовки та схеми, які інтуїтивно зрозумілі, надійні та корисні, щоб допомогти кінцевому користувачеві.

5. Проведений аналіз стаціонаризованого різними методами ряду реконструйованої за даними льодових кернів температури в центральній частині Гренландії дозволяє зробити наступні висновки:

1) проведене усереднювання методом ковзного середнього і шляхом вейвлет-розкладання процесу з використанням найменшого періоду усереднювання в межах 400...500 років показало, що тренди практично повторюють початковий ряд реконструйованих температур, а результати усереднювання різними методами відрізняються лише трохи;

2) використання другого періоду усереднювання в межах 2000 років при усереднюванні методом ковзного середнього і шляхом вейвлет-розкладання процесу показало, що тренди в обох випадках добре характеризують початковий ряд температур, виявляючи основні закономірності його динаміки;

3) використання періоду з часом усереднювання ~4000 років, обумовленого подіями Хайнриха, показало гірший результат. Це обумовлено тим, що події Хайнриха не мають постійної періодичності і можуть мінятися від 4000 до 10000 років. Зміна періодичності події Хайнриха в два...два з половиною рази, нехай навіть на досить великому часовому відрізку, привели

до того, що при усереднюванні з використанням постійної величини 4000 років сталася втрата значної події основного ряду температур;

4) стаціонаризація ряду реконструйованих температур методом ковзного середнього і методом вейвлет-перетворення, показала кращі результати з часом усереднювання ~ 400 і ~ 2000 років, причому метод вейвлет-перетворення дав результати, добре відповідні результатам раніше проведених досліджень;

5) порівняльний аналіз отриманих результатів з результатами проведеного раніше Фур'є-аналізу аномалій розділеного на три частини ряду реконструйованих температур показав, що обидва підходи доповнюють один одного, оскільки отримані моди цілком порівнянні.

Таким чином, були виявлені основні, характерні для ряду реконструйованої температури, гармоніки, що узгоджуються з циклічністю процесів у кліматичній системі планети. Надалі представляє інтерес дослідження динаміки виявлених гармонік протягом всього часу спостереження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Твердотільна електроніка : навчальний посібник / О. А. Борисенко, О. М. Кобяков, А. І. Новгородцев, І. А. Кулик, Є. Л. Онанченко, Б. К. Лопатченко. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 271 с.
2. Находкін М.Г., Сізов Ф.Ф. Елементи функціональної електроніки.– К.: СЛОВО. – 2002. – 201 с.
3. Красников Г.Я., Зайцев Н.А. Система кремний-диоксид кремния субмик-ронных СБИС. – М.:Техносфера, 2003. – 367 с.
4. Ковальчук В.В. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур. – Наукове видання. К.: «Хай-Тек Пресс», 2007. – 304 с.
5. Ковальчук В.В. та ін. Свойства аморфных пленок с квазиметаллическими центрами / Дроздов В.А., Дроздов М.А., Дроздова В.В., Ковальчук В.В., Афанасьєва О.В., Зикін О.Д. // Зб.наукових праць ВІКНУ ім.Т.Шевченка. – 2009. – №17. – 38–41.
6. Ковальчук В.В. Optical Properties of clusters // Journal of physics and electronics. –2018. – Vol. 26 (1). – p. 29-34
7. Ковальчук В.В. Механічні властивості нанокластерів кремнію: геометричний аспект // Метрологія та прилади. - 2018. – № 2.-С. 11-15
8. Ковальчук В.В., Сербов Н. Г. Модифікація твердо тільної матриці шляхом формування нанокластерної підсистеми // Метрологія та прилади. – 2015. – № 1 (51). -С. 57-61
9. Kovalchuk V.V., Kovalenko L.B., Smorgh M.V. Nanometrology: optical properties of Si-Nanoclusters // Metrology and Devices. — 2019. — № 1. — С. 62-65
10. Glushkov A.V., Kovalchuk V.V., Sofronkov A.N., Svinarenko A.A. Optimized quasiparticle density functional approach for multielectron atomic systems // Photoelectronics.-2020, 29, 38-44
11. Kovalchuk V.V. Hetero photocell based on super-line photo-ventil effect // American Journal of Engineering Research (AJER) (2021) e-ISSN: 2320-0847

p-ISSN : 2320-0936

12. Golden J.H. The prospects and promise of NEXRAD: 1990's and beyond // J.H. Golden // COST 73. — 1989. — P. 17–36.

13. Технический проект „Общесистемные решения по сбору, анализу, контролю и предоставлению радиолокационной информации от ДМРЛ-С”. — Режим доступа: <http://www.aviamettelecom.ru/docs/lib2/TP-DMRL-2014.pdf> — Дата доступа: 07.02.2019. — Технический проект.

14. European Commission, EUR 18567, „COST 75 – Advanced weather radar systems – International seminar”, ed. C.G. Collier, Luxemburg, Office for official publications of the European Communities. — 1999. — 858 p.

15. Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Брылев Г.Б. [и др.] Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети / Под редакцией Г.Б. Брылева. — С.Пб.: Гидрометиздат, 2002. — 332 с.

16. Perelygin, B.V. Reasonable deployment of radar field for environmental monitoring system // Telecommunications and radio engineering. 2016. Vol. 75. № 9. P. 823–833. Doi: 10.1615/TelecomRadEng.v75.i9.70.

17. Перельгин Б.В., Лужбин А.М. Построение сплошного радиолокационного поля системы гидрометеорологического мониторинга на основе геометрического подхода // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. — 2017. № 191. — С. 173–180.

18. Perelygin, B.V. Implementation of systematic approach in the creation of radar systems of meteorological monitoring // Telecommunications and radio engineering. 2018. Vol. 77. № 3. P. 199–209. Doi: 10.1615/TelecomRadEng.v77.i3.20

19. Мищенко Ю.А. Зоны обнаружения. — М.: Воениздат, 1963. — 96 с.

20. Абшаев М.Т., Абшаев А.М. Возможности и ограничения радиолокационных метеорологических измерений // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля природной среды. Труды II Всероссийской конференции. Том I. С.-Петербург, 24–26 апреля 2012 года.

— СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. — С. 276–288.

21. Перельгин Б.В. Обеспечение устойчивости радиолокационного поля при построении системы гидрометеорологического мониторинга // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. — 2018. № 192. — С. 21–27.

22. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. Вторая редакция. — Режим доступа: <http://www.meteorad.ru/static/VMU-DMRL-180503.pdf> — Дата доступа: 07.02.2019. — Нормативный документ.

23. Перельгин Б.В. Рациональное распределение энергии зондирующего излучения в пространстве наблюдения системы гидрометеорологического мониторинга // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. — 2018. № 194. — С. 12–18.

24. Великодний С. С., Тимофеева О. С. Реінжинірінг програмного забезпечення інформаційних систем. Монографія. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 162 с.

25. Великодний С. С. Моделі та методи проактивного управління проектами із розвитку програмних систем і продуктів. Монографія (електронне видання). Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. 322 с. ISBN 978-966-186-182-3

26. Velykodniy S., Burlachenko Zh., Zaitseva-Velykodna S. Modelling the behavioural component of the emergent parallel processes of working with graph databases using Petri net-tools // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems (Scopus). 2021. Vol. 36. Iss. 6. P. 498–515. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445760.2021.1934836>. Taylor & Francis Group, England & Wales. London.

27. Великодний С. С. Методологические основы реинжиниринга систем автоматизированного проектирования. Управляющие системы и

машины. 2014. № 2. С. 39–43. Видання національної академії наук України.

28. Великодний С. С. Идеализованные модели реинжиниринга программных систем. Радиоэлектроника, информатика, управления. 2019. № 1. С. 150–156.

29. Великодний С. С. Проблема реинжиниринга видов обеспечения систем автоматизированного проектирования. Управляющие системы и машины. 2014. № 1. С. 57–61, 76. Видання національної академії наук України.

30. Великодний С. С., Тимофеева О. С., Зайцева-Великодная С. С., Нямцу К. Є. Порівняльний аналіз властивостей відкритого, вільного та комерційного програмного забезпечення. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2018. № 1 (41). С. 21–27.

31. Великодний С. С. Реинжиниринг систем мониторингу та дистанційного управління судновими енергетичними установками. Матер. XXII міжн. конф. з автом. управл. «Автоматика 2015», 10–11 вер. 2015, Одеса, 2015. С. 133–134.

32. Velykodniy S., Tymofieieva O. The paradigm of linguistic supply submission by generative grammar assistance. American Scientific Journal. 2017. №17. P. 4–7. Закордонне видання (New York, USA).

33. Великодний С. С. Методи реинжиниринга программных систем. Технологии приборостроения. 2014. Спец. вып. С. 65–68.

34. Великодний С. С., Бурлаченко Ж. В., Зайцева-Великодная С. С. Реинжиниринг графических баз данных у средовищі відкритої системи автоматизованого проектування BRL-CAD. Моделювання поведінкової частини. Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. 2019. Вип. 2 (115). С. 117–126.

35. Velykodniy S. S. Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open CAD systems. Applied Aspects of Information Technology. 2019. Vol. 2. No 3. P. 186–205.

36. Великодний С. С., Бурлаченко Ж. В., Зайцева-Великодная С. С. Розробка архітектури програмного засобу для управління мережевим

плануванням реінжинірингу програмного проекту. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2019. № 2 (8). С. 25–35. (кат. «Б»)

37. Великодний С. С., Тимофєєва О. С., Зайцева-Великодна С. С. Метод розрахунку показників оцінки проекту при виконанні реінжинірингу програмних систем. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2018. № 4. С. 135–142.

38. Velykodniy S., Burlachenko Zh., Zaitseva-Velykodna S. Software for automated design of network graphics of software systems reengineering. Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology. 2019. No 2 (03). P. 20–32. DOI://10.15276/hait.02.2019.2.

39. Великодний С. С. Моделювання процесів роботи із графічними базами даних за допомогою інструментарію мереж Петрі. Матер. ХХ наук. конф. мол. вчених ОДЕКУ. Одеса. Україна. 26 – 30 квіт. 2021 р. С. 20–21.

40. Казакевич Д.И. Основы теории случайных функций и её применение в гидрометеорологии. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 320 с.

41. Залманзон Л. А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 496 с.

42. Grootes P.M., Stuiver M., White J.W.C., Johnsen S.J., Jouzel J. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. Nature 366. – 1993. – P. 552-554.

43. Meese D.A., Alley R.B., Fiacco R.J., Germani M.S., Gow A.J., Grootes P.M., Illing M., Mayewski P.A., Morrison M.C., Ram M., Taylor K.C., Yang Q., Zielinski, G.A. Preliminary depth-agescale of the GISP2 ice core. Special CRREL Report 94-1, US, 1994.

44. Stuiver M., Braziunas T.F., Grootes P.M., Zielinski G.A. Is there evidence for solar forcing of climate in the GISP2 oxygen isotope record. Quaternary Research 48. – 1997. – P. 259-266.

45. Stuiver M., Grootes P.M., Braziunas T.F. The GISP2 18O climate record

of the past 16,500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes. *Quaternary Research* 44. – 1995. – P. 341-354.

46. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.

47. Кляшторин Л.Б, Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. – М.: ВНИРО, 2005. – 235 с.

48. Данова Т.Е., Перелыгин Б.В. Результаты Фурье-анализа данных палеорекострукции температуры в центральной части Гренландии // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. Научно-теоретический журнал. – СПб.: РГГМУ, 2013. – № 32. – С. 83-93.

49. Лоева И.Д., Евсеева Л.П. Статистический анализ временных рядов. // Труды ГГО, 1983. – вып. 475. – С. 101-108.

50. Грибанов Ю.И., Мальков В.Л. Спектральный анализ случайных процессов. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.

51. Котюк А.Ф., Цветков Э.И. Спектральный и корреляционный анализ нестационарных случайных процессов. – М.: Издательство стандартов, 1970. – 103 с.

52. Humlum O., Solheim J-E, Stordahl K. Identifying natural contributions to late Holocene climate change, *Global and Planetary Change* 79. 2011. P. 145-156.

53. Bond G.; et al. „A Pervasive Millennial-Scale Cycle in North Atlantic Holocene and Glacial Climates”. 1997. *Science* 278 (5341): P. 1257-1266. DOI:10.1126/science.278.5341.1257. Bibcode: 1997 Sci...278.1257B.

54. Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R. Evans M.N., Showers W., Hoffmann S., Lotti-Bond R., Hajdas I., Bonani G. «Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene». 2001. *Science* 294 (5549): P. 2130-2136.

55. Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup N., Hammer, C. U., and Oeschger, H. North Atlantic climatic

oscillations revealed by deep Greenland ice cores. *Geophysical Monograph* 29. – 1984. – P. 288-298.

56. Bond Gerard C. and Rusty Lotti, 1995. Iceberg Discharges into the North Atlantic on Millennial Time Scales During the Last Glaciation *Science* 17 February 1995: 1005-1010. [DOI:10.1126/science.267.5200.1005].

57. Данова Т.Е., Перелыгин Б.В. Применение вейвлет-анализа для уточнения возраста событий Хайнриха. // *Геофизический журнал. Международный журнал.* – Киев: Институт геофизики НАН Украины, 2015. – Т. 37, № 1. – С. 165-175.

58. Primeau F. Characterizing transport between the surface mixed layer and the ocean interior with a forward and adjoint global ocean transport model, *Journal of Physical Oceanography*, 35. – 2005. – P. 545-564.

59. Donald Rapp. *Ice Ages and Interglacials: Measurements, Interpretation and Models.* Springer, 2009. ISBN 978-3-540-89679-1.

60. Taylor K. C. «The Holocene-Younger Dryas transition recorded at Summit, Greenland». *Science* 278 (5339). – 1997. – P. 825-827. DOI:10.1126/science.278.5339.825. Bibcode: Sci...278.825T.

61. Hughen Konrad A. «Synchronous Radiocarbon and Climate Shifts During the Last Deglaciation». *Science* 290 (5498): 2000. 1951–1954. DOI:10.1126/science.290.5498.1951. PMID 11110659. Bibcode: Sci...290.1951H.

62. Spurk M. «Revisions and extension of the Hohenheim oak and pine chronologies: New evidence about the timing of the Younger Dryas/Preboreal transition». *Radiocarbon* 40 (3). – 1998. – P. 1107-1116.