

УДК 53.084: 536.58: 551.501.7: 551.502.9: 004.921
№ 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.

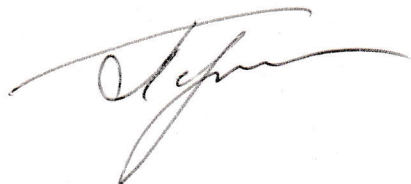

15.12.2023

ЗВІТ

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

**Розділ 4: РОЗРОБКА НОВИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ ТА СИСТЕМ
МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ДАНИХ ПРО АТМОСФЕРУ
(проміжний)**

Науковий керівник, к.т.н.

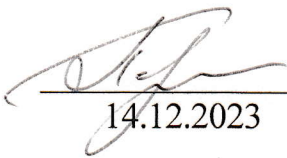
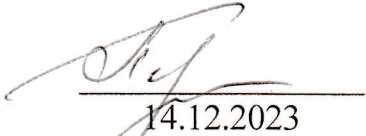
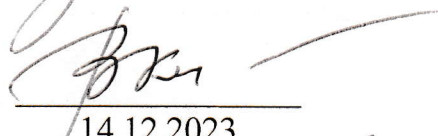
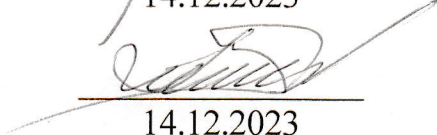
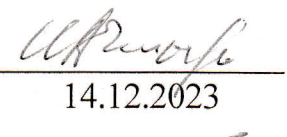
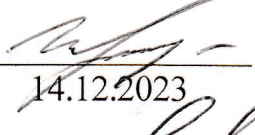
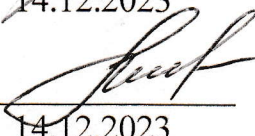
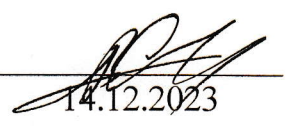
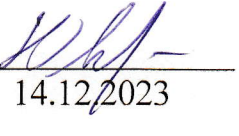
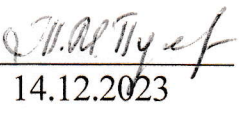


Б.В. Перелигін

Рукопис закінчено «13» грудня 2023 р.

Результати цієї роботи розглянуті на засіданні
кафедри автоматизованих систем моніторингу
навколишнього середовища та інформатики ОДЕКУ
Протокол № 6 від «14» грудня 2023 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, к.т.н., доцент	 14.12.2023	Б.В. Перелигін (загальне керівництво, вступ, висновок, розділи 1, 2, 3, 4, 5)
Відповідальний виконавець, к.т.н., доцент	 14.12.2023	Б.В. Перелигін (збір та підготовка матеріалів, розділ 3, 4)
Д.ф.-м.н., професор	 14.12.2023	В.В. Ковальчук (розділ 1)
Д.т.н., професор	 14.12.2023	В.І. Мещеряков (розділ 2)
Д.т.н., професор	 14.12.2023	І.О. Чмир (розділ 2)
Д.т.н., доцент	 14.12.2023	С.С. Великодний (розділ 5)
К.т.н., доцент	 14.12.2023	Г.А. Гнатовська (розділ 2)
К.т.н., доцент	 14.12.2023	А.В. Сергієнко (розділ 4)
К.т.н., доцент	 14.12.2023	Ю.В. Лавриненко (розділ 4)
Зав. лаб. АСМ	 14.12.2023	Т.М. Пустовіт (оформлення звіту, нормоконтроль)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 119 с., 69 рисунків, 2 таблиці, 43 джерела.

ЧУТЛИВИЙ ЕЛЕМЕНТ ТЕРМОМЕТРА ОПОРУ, ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ПЛІВКОВОГО ШАРУ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ АПАРАТУРИ, ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АПАРАТУРИ, ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ОХОЛОДЖУВАЧ, МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ЧАСОВІ РЯДИ, ПРИКЛАДНИЙ АНАЛІЗ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ, ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ОПТИМАЛЬНА РАДІОЛОКАЦІЙНА МЕРЕЖА, ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ, МОДЕЛЮВАННЯ.

Метою даного проміжного звіту є розробка технології створення чутливих елементів датчиків нового покоління для вимірювання параметрів атмосфери, розробка системи забезпечення теплових режимів тепло навантаженої апаратури, дослідження можливостей застосування методів прикладного та спектрального аналізу для метеорологічних часових рядів, розробка методики формування оптимальної радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери, моделювання поширення радіохвиль для оптимізації розміщення метеорологічних радіолокаційних станцій на місцевості з урахуванням рельєфу.

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

ЗМІСТ

ВСТУП		6
1	ПЕРШИЙ ЕТАП СТВОРЕННЯ МАКЕТА ДАТЧИКА НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ.....	9
1.1	Загальні відомості про термометри опору.....	10
1.2	Метрологічні характеристики	15
1.3	Моделювання і розрахунок характеристик чутливих елементів	17
1.4	Вимірювальна система для визначення товщини плівкового шару чутливого елемента.....	21
2	АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ.....	32
2.1	Розроблення та аналіз моделі каскадного термоелектричного охолоджувача	32
2.2	Розроблення надійнісно-орієнтованої моделі термоелектричного пристрою.....	33
2.3	Аналіз результатів моделювання надійнісних і енергетичних показників	37
2.4	Обговорення результатів аналізу зв'язку відношення числа елементів з енергетичними та надійнісними показниками	49
3	ПРИКЛАДНИЙ І СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЯДІВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА МЕТЕОРОЛОГІЧНІЙ СТАНЦІЇ ОДЕСА ЗА ПЕРІОД СПОСТЕРЕЖЕНЬ	51
3.1	Вихідні дані для аналізу	56
3.2	Прикладний аналіз даних	63
3.3	Спектральний аналіз даних	73
4	СПОСІБ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ....	84

	5
4.1 Постановка завдання.....	84
4.2 Аналіз існуючих способів створення радіолокаційних мереж	84
4.3 Створення оптимальної радіолокаційної мережі для гідрометеорологічного моніторингу	89
5 МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІЧНОГО ПЕРЕКРИТТЯ ЗОН СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ НА МІСЦЕВОСТІ З УРАХУВАННЯМ РЕЛЬЄФУ	97
5.1 Модель Френеля (Fresnel Zone Model).....	98
5.2 Модель Рейнольдса-Бесселя (Reynolds-Bessel Model).....	99
5.3 Модель з використанням цифрової моделі рельєфу (DEM).....	101
5.4 Моделі із використанням методів геометричної оптики.....	103
5.5 Модель з використанням апроксимацій Мінковського (Minkowski Model).....	107
ВИСНОВКИ	111
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	114

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 одержання надійних даних при проведенні моніторингу атмосфери радіофізичними методами потрібно, перш за все, удосконалювати засоби одержання інформації та способи її обробки.

Виміри параметрів повітря проводяться за допомогою датчиків, які в поточному часі мають не оптимальні характеристики. Тому актуальним залишається створення датчиків нового покоління.

Потрібно провести технічну модернізацію приладу на напівпровідниковій базі з використанням наноструктурних елементів (для досягнення надвисокої чутливості), який вже сьогодні сприятиме розвитку техніки теплотехнічних вимірювань. Розробити і відпрацювати технологію створення нанокластерних плівок. Дослідити властивості аморфних плівок з квазіметалевими центрами. Вирішення такої задачі дозволяє створити датчики нового покоління на основі гетеропереходів для вимірювання параметрів атмосфери.

Показники відмовостійкості термоелектричних охолоджувачів тепло навантаженої апаратури, яка працює в складних умовах і в значній мірі обумовлює життєздатність системи в цілому, закладаються на етапі проектування. У подальшій експлуатації вони тільки відпрацьовують свій ресурс, оскільки підвищення показники надійності можливо тільки структурними методами за рахунок надмірності (і відповідно вартості), а параметрична надійність закладається на етапі проектування.

Аналіз систем автоматизованого проектування термоелектричного

пристрою, обов'язковими складовими яких є результати аналізу об'єкту проектування, моделі взаємозалежності між параметрами і показниками об'єкту і інструментальна реалізація компонентів систем автоматизованого проектування, показав, що питанням підвищення показників відмовостійкості, які враховують вплив навантаження, технології виготовлення, режими роботи, зовнішні умови, приділена значна увага. Залишається недослідженим питання зв'язку показників надійності з конструктивними і енергетичними показниками каскадних термоелектричних пристроїв, які дозволять приймати проектні рішення і впливати на якість процесу проектування, є актуальною науково-технічною задачею.

Метеорологічні процеси мають циклічність і ритмічність. 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 виявлення не лише енергетично значущих періодів коливань, але і прояву найбільш "яскравих" періодичностей в кліматичній системі планети. Ці циклічності добре визначаються за допомогою спектрального аналізу рядів спостережень. Прикладний аналіз дозволяє визначити тренд кліматичного процесу.

Головним ресурсом оглядового метеорологічного радіолокатора є енергія зондувального випромінювання. Цей ресурс потребує економного витрачання. Отримання інформації необхідно забезпечити не в усій зоні спостереження метеорологічного радіолокатора, а в зоні, званій простором спостереження, яке повинне покриватися радіолокаційним полем системи гідрометеорологічного моніторингу. Тому метою дослідження є з'ясування питання про найбільш раціональний розподіл енергії зондувального випромінювання за допомогою передавальних антен метеорологічних радіолокаторів в просторі спостереження, тобто про оптимальну побудову радіолокаційної мережі.

Оптимізація розміщення радіолокаційних метеорологічних станцій з

урахуванням рельєфу – це важлива прикладна задача, оскільки рельєф може впливати на поширення радіолокаційних сигналів та точність спостережень. Щоб оптимізувати розміщення станцій, враховуючи рельєф, слід виконати ряд етапів. Для моделювання поширення радіолокаційних сигналів через рельєф місцевості використовуються різні математичні моделі та алгоритми. Вибір конкретної моделі залежить від конкретних характеристик радіолокаційної системи, рельєфу та об'єкта спостереження.

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

1 ПЕРШИЙ ЕТАП СТВОРЕННЯ МАКЕТА ДАТЧИКА НОВОГО ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОПЕРЕХОДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ

Поставлена задача проведення досліджень статичних та динамічних характеристик сучасних приладів вимірювання температури, їх модернізація, практична апробація.

Для досягнення цієї мети були відокремлені і вирішені наступні задачі.

1. Визначити різноманіття вживаних сучасних засобів вимірювання температури. Це мотивує необхідність розробки нових типів первинних перетворювачів, приладів і інформаційно-вимірювальних систем, що задовольняють зростаючим вимогам точності, швидкодії, завадостійкості термометрів опору (ТрО).
2. Визначити необхідно-допустимий діапазон вимірюваних температур при проведенні моніторингу навколишнього середовища (МНС) конкретного типу.
3. Провести технічну модернізацію приладу на напівпровідниковій базі з використанням наноструктурних елементів (для досягнення надвисокої чутливості), який вже сьогодні сприятиме розвитку техніки теплотехнічних вимірювань.
4. З'ясувати умови використання ТрО для вимірювання та обробки інформації щодо розподілу температурних полів в реальних умовах шляхом моделювання.

Стандартне рішення такої конструкторської задачі, як дослідження метрологічних характеристик будь-якого приладу полягає у побудові логічної схеми, що виконує певну послідовність дій. Типовим алгоритмом є наступна логіка: перетворення опору в напругу за допомогою струму; перетворення напруги в код за допомогою вбудованого в контролер аналого-цифрового перетворювача (АЦП); подача отриманого коду в мікроконтролер

(МК), де отримана інформація має бути обробленою і переданою далі.

На теперішній час існують фірми, що випускають АЦП, які виконують описаний вище ланцюг перетворень. Наприклад, фірма Analog Devices виробляє такі АЦП, де вже є вбудований операційний підсилювач (з запрограмованим коефіцієнтом підсилення), джерелом струму і послідовним інтерфейсом [1-5]. Ці мікросхеми адаптовані для використання у вимірювальних системах [3].

Тут датчиками можуть служити ТрО, термопара або тензорезистивний місток. Датчики підключаються безпосередньо до АЦП при мінімумі додаткових компонентів. Застосування таких АЦП збільшує кількість компонентів у схемі, що може негативно позначатися на собівартості, габаритах і надійності приладу [3,5].

Інший метод вирішення задачі – це перетворення опору безпосередньо в код [6]. На сьогодні, існує неймовірна кількість різних схем, що реалізують таке перетворення [7]. Принцип їх дії базується на вимірюванні (електронно-розрахунковим методом) часового інтервалу, який дорівнює сталій часу ланцюга розряду конденсатора через вимірюваний опір [6,7]. Основні недоліки приладів цього типу є: надмірна кількість компонентів, а також залежність точності виміру від стабільності значення зразкової ємності. Поява на промисловому ринку електронних компонентів, у вигляді досить недорогих мікроконтролерів з вбудованим аналоговим компаратором, дозволила вирішити задачу щодо мінімізації схеми вимірювання [3].

1.1 Загальні відомості про термометри опору

Корпус термометру опору, як правило, металевий або керамічний. Чутливим елементом (ЧЕ) ТрО є резистор, що виконаний з металевого дроту, або плівки. Електричний опір ЧЕ має добре протестовану, або вже відому (наприклад, з довідника) залежність від температури [8-10].

Найбільш популярний тип термометра – платиновий ТрО [8]. Це

пояснюється високим температурним коефіцієнтом платини, її стійкістю до окислення і хорошою технологічністю [9]. В якості робочих засобів вимірювань застосовуються також мідні і нікелеві термометри [10].

Новий стандарт на технічні вимоги до робочих ТрО: (ДСТУ 2858 - 94 Термометри опору з платини, міді та нікелю. Загальні технічні вимоги та методи випробувань).

У стандарті наведено діапазони, класи допуску ТрО, таблиці стандартних характеристик і стандартні залежності опір-температура. Головна перевага ТрО цього типу – широкий діапазон температур, висока стабільність, близькість характеристики до лінійної залежності, висока взаємозамінність [4].

Плівкові платинові термометри опору відрізняються підвищеною вібростійкістю, але меншим діапазоном температур [5]. Виготовляються також герметичні ЧЕ термометрів опору різних розмірів, що дозволяє їх використовувати в місцях, де важливо встановлювати мініатюрний датчик температури. Недолік ТрО і ЧЕ опору – це необхідність використання для точних вимірювань трьох або чотирьох провідної схеми включення, тому що при підключенні датчика за допомогою подвійно-жильного дроту, їх опір включає вимірюваний опір термометра.

Найважливішою технологічною проблемою для ТрО дротяного типу є герметизація корпусу ЧЕ спеціальною глазур'ю. Склад глазури повинен бути підібраний таким чином, щоб при коливаннях температури в межах робочого діапазону не відбувалося руйнування герметичного шару.

Промислові платинові ТрО у більшості випадків використовуються зі стандартною залежністю опір-температура. Це обумовлює допуск вимірювання температури не гірше за $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (клас А при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) [6,11]. Однак, висока стабільність деяких термометрів дозволяє робити їх індивідуальне градуювання і визначати характерну саме для них залежність опір-температура. Таке градуювання дозволяє підвищити точність до кількох сотих градуса Цельсія [11]. Слід зазначити, що використання функції МТШ-

90 (що можливо зараз для багатьох цифрових термометрів) може точніше описати індивідуальну залежність TpO , використання квадратичного рівняння Каллендара Ван Дьюзена, обмежує точність апроксимації до 0,01-0,3 °C в залежності від діапазону температур [10].

Для точної оцінки коливань криогенних температур з успіхом застосовують залізо-родієві TpO . Їх дія базується на ефекті аномальної температурної чутливості сплаву до 0,5 % Fe, Rd при низьких температурах з позитивним коефіцієнтом опору [12]. Практична робота з термометрами цього типу доводить, що їх стабільність сягає 0,15 мК / рік при експлуатації при 20 К. Залежність типу (R vs T) опір-температура в діапазоні 0,5-27 добре апроксимується поліномами 3-го й 5-го порядку. Однак, труднощі виникають при спробі апроксимувати діапазони, що включають 28 К. Ця точка є критичною. Тут існує т.зв. «низькотемпературний» опір, який обумовлений домішками. Він поступається місцем «високотемпературному» опору, оскільки має місце розсіювання енергії на фононах [12,13].

Плівкові ЧЕ типу «thin-film» (рис.1.1) виготовляються нанесенням тонкого шару платини на керамічну підкладку. Товщина шару платини складає 10^{-8} см. Така товщина досягається шляхом електровакуумного напилювання матеріалу [5]. Шар платини зверху покривається епоксидним або скляним ізоляційним шаром. Технологія виготовлення такого ЧЕ добре відпрацьована [5]. Інформація про оригінальний технологічний режим виготовлення плівкового ЧЕ з глибокою субмікронною топологією була описана у попередніх звітах.

Сьогодні плівковий платиновий ЧЕ – це досить поширений, економічно вигідний сенсорний датчик. Перевагами такого ЧЕ є неймовірно маленький геометричний розмір і його маса ЧЕ. Нами була використана добре відпрацьована методика вимірювання таких надмалих мас і технологія нанесення плівкового шару з субмікронними включеннями [5-7]. Новий підхід дозволяє встановлювати такі ЧЕ в мініатюрні корпуси і отримувати високу швидкодію щодо реагування на зміни температури об'єкта. Завдяки

малим розмірам, плівкові ЧЕ можуть виготовлятися з підвищеним номінальним опором. Вже розроблені та виготовлені ЧЕ з опором до 10 кОм.

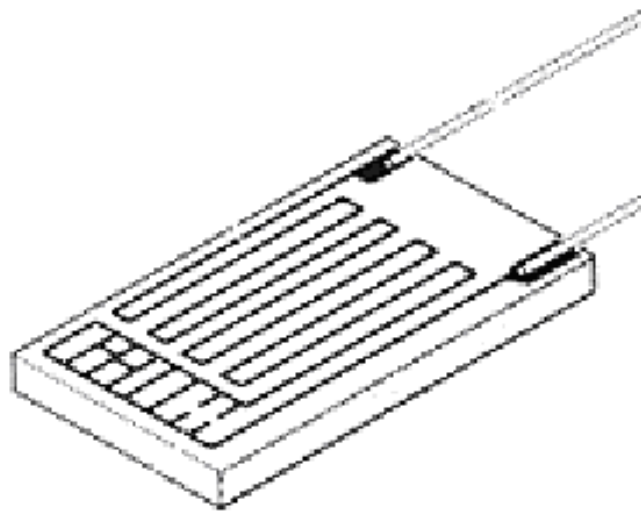


Рисунок 1.1 – Конструкція ЧЕ «thin-film»

Слід зауважити, що за стабільністю показників, плівкові ЧЕ все ще поступаються дротяним. Але незважаючи на це, технологія їх виготовлення постійно вдосконалюється. Це відкриває нові горизонти щодо підвищення стабільності роботи таких ЧЕ у ТрО, а також розширенні робочого температурного діапазону.

Один з прикладів складання ТрО з ЧЕ наведено на рис. 1.2. У даній конструкції матеріалом для внутрішніх кінцівок служить мідь, що покрита нікелем (27%), шляхом холодного пресування (так званий матеріал Kulgrid), або корозійностійкий високотемпературний сплав. Для зовнішніх кінцівок використовується ізольована тефлоном багатожильна мідь із нікелевим покриттям [14].

Збірка ЧЕ з внутрішніми кінцівками розміщується в циліндричній металевій трубці – корпусі ТрО і засипається дрібнодисперсним гігроскопічним порошком з оксиду алюмінію або магнію. Кінець трубки, в місці виходу провідників герметизується. Для надійної герметизації при високих температурах використовується спеціальна «кришка» з вбудованим

переходом метал-скло або кераміка-скло. Кінцівки дротів, попередньо впаяні в кришку, зварюються з кінцівками термометра, а кришка заварюється у корпус. Такий спосіб забезпечує повну герметизацію термометра і значно підвищує його довговічність і надійність [15]. Матеріалом корпусу ТрО служить латунь (для низьких і кімнатних температур), сталь 314, сталь 316, інконель 600. Найкращу корозійну стійкість забезпечує інконель 600. Довжина ТрО повинна вибиратися виходячи з необхідної глибини занурення ТрО у об'єкт. Глибина занурення ТрО в об'єкт вимірювання є важливим фактором, що впливає на похибку вимірювання температури об'єкта, яка виникає через теплові втрати від ЧЕ в навколишнє середовище.

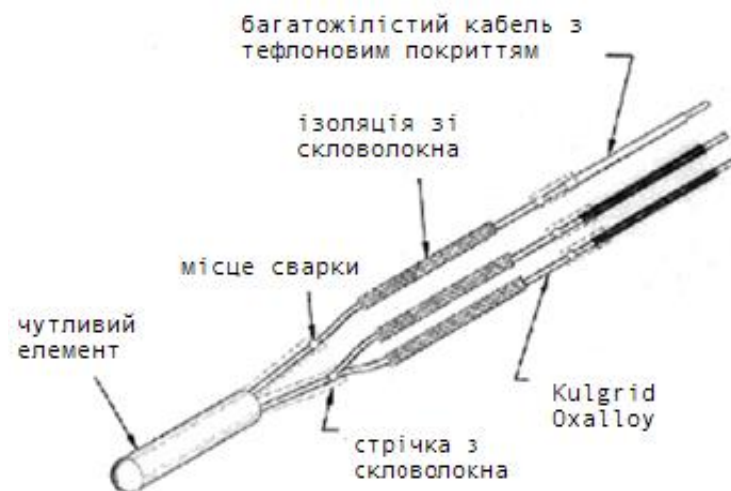


Рисунок 1.2 – Конструкція складання ТрО з ЧЕ

Вимірювання температури за допомогою ТрО базується на властивості провідників і напівпровідників змінювати свій електричний опір при зміні їх температури [12]. Температурний коефіцієнт електричного опору (ТКЕО) провідників (металів) є позитивним, а напівпровідників від'ємний. Напівпровідникові терморезистори (термістори) виготовляються з оксидів, або кристалів деяких металів (наприклад, германію) з різними домішками. Їх

електричний опір в робочому інтервалі температур змінюється за експоненціальним законом. Робочий інтервал температур для напівпровідників, як правило, невеликий, що обмежує їх практичне застосування.

Найбільшу точність вимірювання температури забезпечують ТрО з використанням платини. Платина має високу хімічну стабільність, високий ТКЕО і лінійну залежність опору від температури. Робочий інтервал платинових ТрО від $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Мідні ТрО забезпечують вимірювання температури в інтервалі від -50 до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.2 Метрологічні характеристики

Основні джерела похибок вимірювання температури за допомогою ТрО є наступними. По-перше. Похибки градування ТрО і підгонки сполученої лінії у процесі градування при проведенні реальних вимірювань. По-друге. Похибки, обумовлені основною і додатковою похибками вимірювального приладу. По-третє. Методичні похибки, які залежать від умов застосування термоперетворювачів, зокрема, від умов теплообміну з навколишнім середовищем тощо.

Контактні методи вимірювання температури базуються на тому, що ЧЕ ТрО занурюється у вимірюване середовище, що знаходиться в твердому, рідкому або газоподібному стані і повинен знаходитися в умовах теплової рівноваги з об'єктом вимірювання. Лише за виконанням цієї умови температура ЧЕ дорівнює температурі об'єкта вимірювання.

Розглянемо схему установки термоперетворювача на об'єкті вимірювання температури. ТрО, занурений у вимірюване середовище, не може знаходитися з ним в стані теплової рівноваги в результаті процесів теплообміну, обумовлених різницею температур вимірюваного середовища, стінки, що оточує середовища. Окрім теплової дії з боку вимірюваного середовища, термоперетворювач може піддаватися низці негативних

теплових дій з боку інших теплових об'єктом. А саме: 1) теплообмін процесу випромінюванням між перетворювачем і оточуючими його тілами, якщо вимірюване середовище прозоре; 2) кондуктивний теплообмін між окремими елементами перетворювача, що мають різну температуру; 3) нагрів термоперетворювача в результаті гальмування потоку вимірюваного середовища, оточуючого перетворювач; 4) нагрів ТрО вимірювальним струмом тощо. Усі ці перераховані дії порушують початковий принцип контактної термометрії і є джерелами методичної похибки. Якщо тепла взаємодія перетворювача з об'єктом вимірювання змінюється в часі, то виникає динамічна складова методичної похибки, обумовлена тепловою інерційністю самого перетворювача.

Інструментальну похибку можна розділити на дві складові: основну і додаткову. Основна похибка визначає точність характеристик засобів вимірювання температури в нормальних умовах, додаткова враховує вплив відхилення умов роботи від нормальних. Вимірювана температура може бути стаціонарною (постійною) або нестаціонарною, тобто змінюваною у часі. У залежності від цього похибка вимірювання температури визначається, як статична та динамічна.

Динамічна похибка викликана швидкістю зміни досліджуваної величини і неможливістю реєстрації засобами вимірювання миттєвих значень нестаціонарної температури завдяки їх теплоінерційних властивостей. Існує також похибка градування ТрО. При перевірці, в процесі виробництва промислових ТрО, визначають відхилення від значення стандартизованих номінальних статичних характеристик. Відхилення номінальних статичних характеристик, що допускаються, регламентуються шляхом встановлення відхилень номінального значення опору R_0 , що допускаються, при 0°C і відхилення значення відношення опору термоперетворювачів W_{100} при 100°C до опору при 0°C . Сумарне відхилення номінальної статичної характеристики Δ_Σ визначається за формулою

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_R + \Delta_W + \Delta_I, \quad (1.1)$$

де Δ_R – похибка, обумовлена відхиленням опору при 0 °С від номінального значення; Δ_W – похибка, обумовлена відхиленням відношення опору ТрО при 100 °С до опору при 0°С від номінального значення; Δ_I – похибка, обумовлена нагрівом термоперетворювача вимірювальним струмом.

Похибка, обумовлена нагрівом термоперетворювача вимірювальним струмом, для платинових перетворювачів всіх класів встановлена рівною 0,1 при температурі 0 °С, це відповідає 0,25 К. Допустиме відхилення від номінальної статичної характеристики перетворювача ТрО з номінальним значенням опору $R_0=100$ при 0 °С.

1.3 Моделювання і розрахунок характеристик чутливих елементів

Проведемо кількісну оцінку характеристик чутливого елемента ТрО. Для цього використаємо програмні пакети Curve Expert, MathLab.

На попередньому етапі оцінювання статичних та динамічних характеристик ТрО та його складових необхідно провести розрахунки параметрів окремих ланок приладу. Отримані величини дозволяють розрахувати чутливість приладу та графічно відобразити її у вигляді шкали. Статична характеристика термометра опору $\varphi=f(\Theta)$ розраховується виходячи з наступного рівняння:

$$\varphi = \frac{6lBF\omega(a\theta + b\theta^2)}{bh^3ER} . \quad (1.2)$$

За допомогою програмного пакету Maple та його математизованій складовій Curve Expert проводимо візуалізацію аналітичного співвідношення

(1.1) для статичної характеристики. Це ілюструє рис. 1.3.

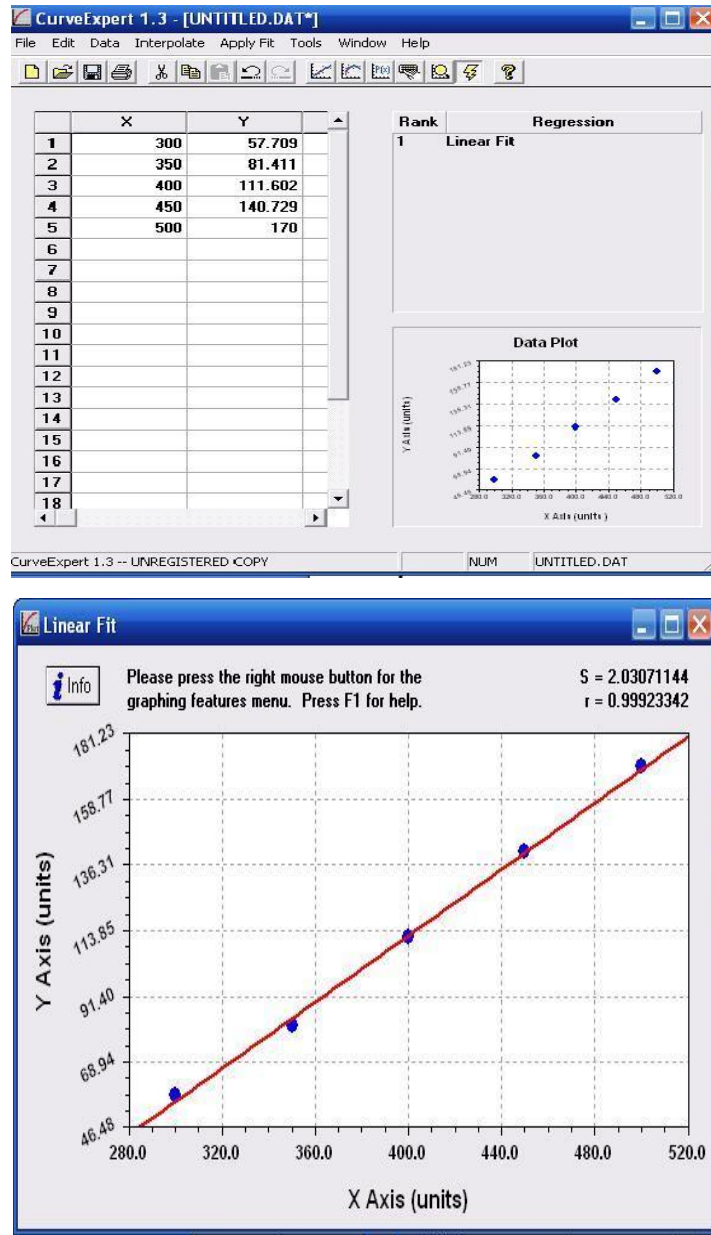


Рисунок 1.3 – Графічна інтерполяція статичної характеристики ЧЕ приладу

Результати аналізу рис. 1.3 засвідчують лінійну залежність параметрів статичної характеристики. Така шкала приладу дозволяє передбачити зміну температури під час проведення вимірювань за допомогою ТрО, що відповідає фізичній природі ефекту.

Динамічний розрахунки проводимо за умовою сталої величини

чутливості приладу до усього спектру робочого діапазону вимірювань температури.

Відповідно до структури і з урахуванням передавальних функцій ланок загальна передавальна функція приладу може бути описана співвідношенням:

$$W(p) = \prod_{i=1}^4 W_i(p) = \frac{S_1 S_2 S_3 S_4}{(\tau_1 p + 1)(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1)}. \quad (1.3)$$

При значеннях параметра $\xi=0,9$ динамічна характеристика приладу має вигляд, який був отриманий при проведенні комп'ютерного моделювання в рамках програмного пакету CurveExpert та SciLab. Ці залежності ілюструє рис. 1.4. На графіку представлена шкала – швидкість зміни температури (град / с), отримана за допомогою програми Curve Expert. За допомогою програмного пакету SciLab нами були отримані залежності для віртуального фільтруючого каналу.

Результати комп'ютерного моделювання засвідчують, що залежності динамічних характеристик мають явно означений екстремум. Фізична інтерпретація цього факту є, ймовірно, наступною. Для певної швидкості зміни температури ЧЕ ТрО починає давати некоректні результати. Тобто саме ця величина є границею похибки вимірювання температури. Теплова інерція – це вада ТрО. До похибки, що вноситься датчиком (термопарою) відноситься похибка із-за втрат від тепловипромінювання і теплопровідності. Ця похибка є методичною. Для її зменшення слід збільшити довжину занурюваної частини датчика, зменшити товщину стінок захисного кожуха, теплоізулювати не занурену частину датчика і місце його кріплення. При розрахунку цю похибку можна не враховувати.

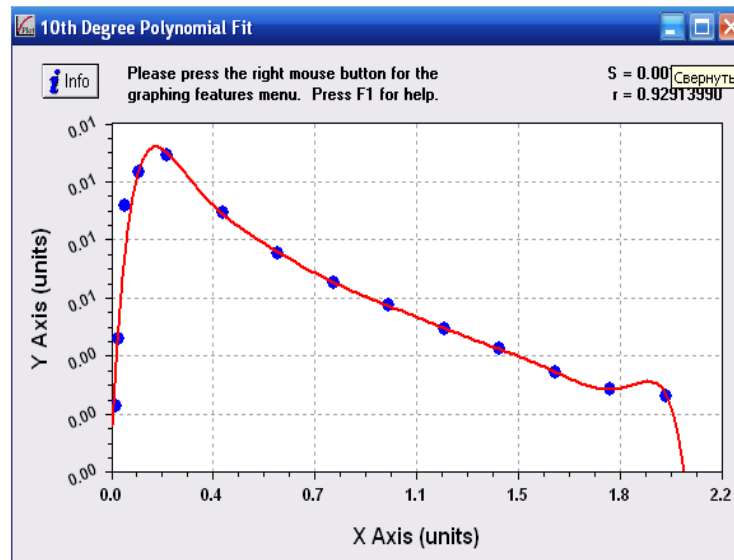
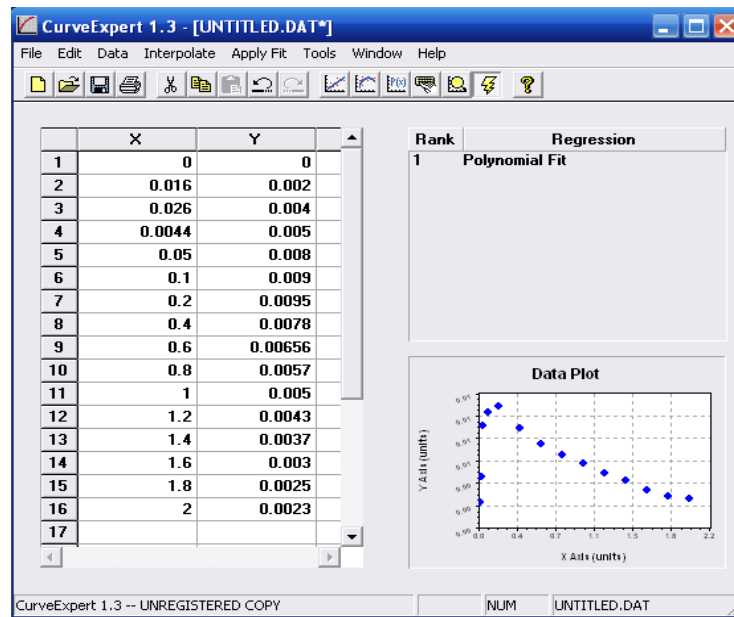


Рисунок 1.4 – Динамічна характеристика ЧЕ ТрО

Далі наведемо перелік похибок, які дають ТрО. Похибки приладу складаються з похибок, що вносяться датчиком, електричним ланцюгом і логометром.

Температурна похибка φ_{θ} (вноситься електричним ланцюгом), викликана зміною електричних опорів чутливого елемента, сполучних дротів і рамки логометра. Розрахунок похибки проводять за співвідношенням:

$$\Delta\varphi_{\Theta} = \frac{Rr_0 \cdot \alpha_r + R_{TC0} \cdot \alpha_{TC}}{R_{r0} + R_{\Theta} + R_{TC0}} \Delta\Theta \varphi_{\max}, \quad (1.4)$$

де $\Delta\varphi_{\Theta}$ – абсолютна температурна похибка логометра: $\Delta\theta = \theta_{OKP} - \theta_0$, $\Delta\theta = 600 - 20 = 580$ °C; α_R , α_{TC} – температурні коефіцієнти ($\alpha_R = 0.004$, $\alpha_{TC} = -0.006$); $\Delta\varphi_{\Theta} = 0.0022$.

Відносна температурна похибка γ_{Θ} буде дорівнювати:

$$\gamma_{\Theta} = \frac{\Delta\varphi_{\Theta}}{\varphi_{\max}}, \quad (1.5)$$

де φ_{\max} – максимальний кут відхилення стрілки логометра дорівнює величині $\gamma_{\Theta} = 0.0000069$, яку слід приймати до уваги при проведенні вимірювань температури.

Для того, щоб позбавитися недоліків ТрО, або їх складових – ЧЕ, слід використати новітні технології, які забезпечують високу швидкодію роботи приладу, низьку інерцію та високу роздільну здатність показників. Саме вирішення цього питання є мотивуючим фактором створення ТрО нового покоління, де основним елементом є саме плівковий ЧЕ з глибоко субмікронною морфологічною структурою.

1.4 Вимірювальна система для визначення товщини плівкового шару чутливого елемента

Методам управління, діагностики, контролю параметрів навколишнього середовища, або властивостей речовини присвячена низка статей і монографій [6-10]. Серед них слід виокремити температурні та радіаційні методи. У цих підходах, як правило, не торкаються шляхів використання новітніх технологій – т.зв. нанотехнологій. Зокрема, мова йде

про такі прилади, які експлуатують квантово-розмірні ефекти [5]. У цьому контексті, на основі єдиного підходу, що класифікує різнобіччя прояву квантово-розмірних (зокрема, кластеризованих) фаз речовини, далі наведено результати дослідження механізмів формування плівкової кластеризованої структури (ПКС), яка може стати основним компонентом ЧЕ ТрО.

У цьому розділі детально описана запропонована нами вимірювальна система (ВС) для визначення морфологічних параметрів (маса, товщина шару, геометрія) ПКС. Для проведення кількісних оцінок були розроблені програмні засоби, інтерфейс для роботи з ВС.

У вимірювальній техніці знаходять широке застосування гетероструктури до складу яких входять тонкі плівки з високою надчутливістю. Підбір матеріалу і товщину плівок обирають з урахуванням потрібних, для проведення вимірювань, фізико-хімічних властивостей, або особливостей навколишнього середовища. Як правило, перевага віддається плівкам, що мають співрозмірну з підкладкою основного кристалу зонною структурою, відповідною радіаційною та температурною стійкістю.

В такому контексті перспективними є саме ті плівки, що мають нанокластерну морфологію і сформовані на поверхні твердотільної речовини. Технологія виготовлення таких плівок, як складових ЧЕ ТрО, або інших приладів електронної техніки – це комплекс складних технологічних процесів, одним з етапів якого є вимірювання її товщини та визначення її морфології – субмікронної структури.

Нами досліджувалися процеси формування ПКС на основі кремнію, що були синтезовані з парової фази на підкладку монокристалічної Si-пластини. В якості підкладки використано монокристали з площею 0,28 см², та товщиною у декілька мкм.

Підкладка наносилася на поверхню Ag-електродів кристалічного кварцу, який є основою п'езокварцового резонатора. Кристалічна структура ПКС відповідала «сильно розмитій текстурі» (що визначається нами, як кластерний растр на Si).

Досліджувані зразки ПКС синтезувалися методом відкритого випаровування порошку кремнію у вакуумі. Їх товщина контролювалася за допомогою мікроінтерферометра типу МІІ-4 [5]. Електронномікроскопічні дослідження морфології плівки, тобто її субмікронної структури, проводилися за допомогою мікроскопу ПЕМ-100.

Процес формування ПКС проводився з використанням п'єзокварцового датчика зі сталою частотою у 1,67 МГц/мм. Датчик підключався до стандартного приладу КВТП-5 (кварцовий вимірювач товщини плівки) з попередньо проградуваною шкалою (на монокристал кремнію). Градувальний графік будувався таким чином, щоб його можна було вжити для вимірювання малих товщин, що наносили на підкладку кремнію. Оперативний контроль товщини ПКС проводився методом кварцового резонатора з елементами методики, яка описана в роботі [5].

Принцип роботи КВТП-5 базується на вимірюванні зсуву резонансної частоти кварцового датчика в залежності від осажденного на нього шару матеріалу. Система дозволяє провести вимірювання товщини напиленого у вакуумі покриття з точністю до 0,1 нм.

Призначення КВТП: а) кварцовий контроль фізичної товщини матеріалу у процесі нанесення у вакуумі тонкоплівкової структури на підкладку; б) для вимірювання використовують ефект зсуву резонансної частоти кварцового кристалу при зміні її маси. Маса кристала збільшуються за рахунок нанесення матеріалу на його поверхню.

КВТП-5 – це програмований прилад. Зовнішній вигляд КВТП-5 представлений на рис. 1.5. Прилад дозволяє проводити керування процесом напилення матеріалу на поверхню підкладки за допомогою програмного забезпечення на основі пакету SciLab. КВТП-5 – оснащений клавіатурою, багатофункціональним дисплеєм для візуалізації режимів роботи і програмування параметрів процесу нанесення тонкої плівки.

Процедуру напилення шару матеріалу на підкладку проводять на основі аналітичного співвідношення, що відповідає математичній моделі

текстури плівки. Таким чином можна задавати складні, багат шарові плівки. Кожний шар характеризується конкретною товщиною і типом покриття, густиною напилуваного матеріалу та коефіцієнтом розпилення у камері. Виходячи з цих параметрів та відносної зміни частоти кварцового датчика, розраховують товщину плівки.



Рисунок 1.5 – Кварцовий вимірювач товщини плівки КВТП-5

Генератор кварцового кристалу BF-100 проєктований для збільшення терміну роботи кварцових кристалів промислового стандарту з робочою частотою у 5 та 6 МГц. Генератор забезпечує роботу кварцового кристала, формує, або (та) підсилює сигнал для передачі його до КВТП-5. Генератор BF-100 працює з кабелем на відстані у 1 м від кристала. Кабель, що з'єднує генератор і контролер, можуть мати довжину до 4-х м. Генератор BF-100 має модифікацію корпусу з провухами для кріплення на плоску поверхню підкладки.

Охолоджуваний за допомогою води тримач кристалу типу BFAG-140 використовують у складі системи кварцового контролю товщини покриття. Датчик запроектований таким чином, щоб заміна кристала кварцу

відбувалася за максимально спрощеною схемою. До утримувача типу BFAG-140 встановлено стандартні кварцові кристали з геометричним розміром 0,55 мм. Наявність у BFAG-140 системи водяного охолодження дозволяє здійснювати контроль за нанесенням плівкового покриття при температурі до 300°C. Основні характеристики КВТП-5: а) діаметр патрубків для охолодження водою до 5 мм; б) довжина патрубків – до 500 мм; в) матеріал корпусу – нержавіюча сталь; д) термостійкий коаксіальний кабель. Утримувач кристалу встановлюють у вакуумну камеру через герметичний вхід. До BFAG-140 приєднують два входи для трубок діаметром 5 мм і один електричний вхід. Трубки для водоохолодження можна вигинати. Це дозволяє орієнтувати положення кристала у камері. З зовнішньої сторони камери до електричного виходу підключають генератор для формування та підсилення сигналів, що поступають від кварцового кристала.

Сигнал від генератора подається на вимірювальний прилад, що розраховує товщину нанесеної плівки шляхом зміни частоти коливань кварцового кристалу. Утримувач може додатково оснащуватися пневматичною заслінкою для того, щоб запобігти потраплянню пилу на кристал при різних режимах нанесення покриття. Герметичний вхід є необхідним для введення трубок, що забезпечують охолодження кварцового тримача всередині камери водою. У комплект з приладом КВТП-5 входить програмний пакет на основі SciLab.

Автоматизована система роботи КВТП-5 забезпечена протоколом. Сервісна програма на платформі SciLab для персонального комп'ютера дозволяє забезпечити нанесення більш складних за морфологією плівок. Програма дозволяє створювати необмежену кількість шарів та плівок з використанням будь-яких матеріалів. Забезпечує зберігання усіх конфігураційних даних та їх редагування. Графіки дозволяють наочно проілюструвати та відслідковувати хід нанесення покриття.

У камері, де підтримують вакуум $\sim 1 \cdot 10^{-6}$ Торр, розташовано пластини кварцового вимірювача на сітловій основі, човника з фольги танталу, де

знаходиться кремній, який випаровується. Через контакти на тантал подають напругу, що нагріває Si до температури випаровування. Струм змінюється в межах 10-15 А. Задаючи силу струму, можна отримувати різні за товщиною плівки, різної морфологічної структури.

Інша можливість нагрівання танталової човника є подача на електроди через контакти імпульсів напруги, тривалість яких задають таймером. Частота послідовності імпульсів змінювалася у межах від 0,1 до 0,01 Гц. Частота імпульсів була такою, щоб забезпечити відновлення вакуумних умов у вакуумній камері у проміжку між розрядами. Енергія, що випромінювалася при розряді змінювалася від імпульсу до імпульсу. Для контролю параметрів розряду розроблено схему вимірювання енергії, що виділяють на електродах за один імпульс.

Мікрофотографія плівки (рис. 1.6) була отримана за допомогою тунельного мікроскопу, який був використаний на базі Інституту фізики напівпровідників АН України ім. В.Є. Лашкарьова. Кластерний растр плівки на підкладці кремнію дозволяє провести оцінку геометричних розмірів глибоко субмікронних утворень Si (з розмірами у $15\div 20 \text{ \AA}$) – нанокластерів, які відтінялися вуглецем.

Для отримання особливо тонких плівок товщиною $\sim 25\text{-}50 \text{ \AA}$ передача енергії, що випромінюється при подачі струму на тантал, має бути достатньою для того, щоб густина потоку випарюваних атомів Si була сталою. Як зазначалося вище, основним компонентом КВТП-5 є платівка кварцового резонатора, що визначає частоту стабільного автогенератора. Оскільки генерована частота залежить від маси кварцового резонатора, то у випадку відходу генерованої частоти, з урахуванням проведеного калібрування, можна визначити товщину плівки, що осаджена на кварцовій підкладці, а отже і на зразках що знаходиться у тих самих умовах.

Маса нанесеного на одиницю поверхні кварцу шар Δm_c і зміна частоти кварцового резонатора Δf пов'язані простим співвідношенням:

$$\Delta m = \frac{m_g}{f_g} \Delta f, \quad (1.6)$$

де m_g – маса кварцової підкладки одиничної площі;

f_g – резонансна частота.

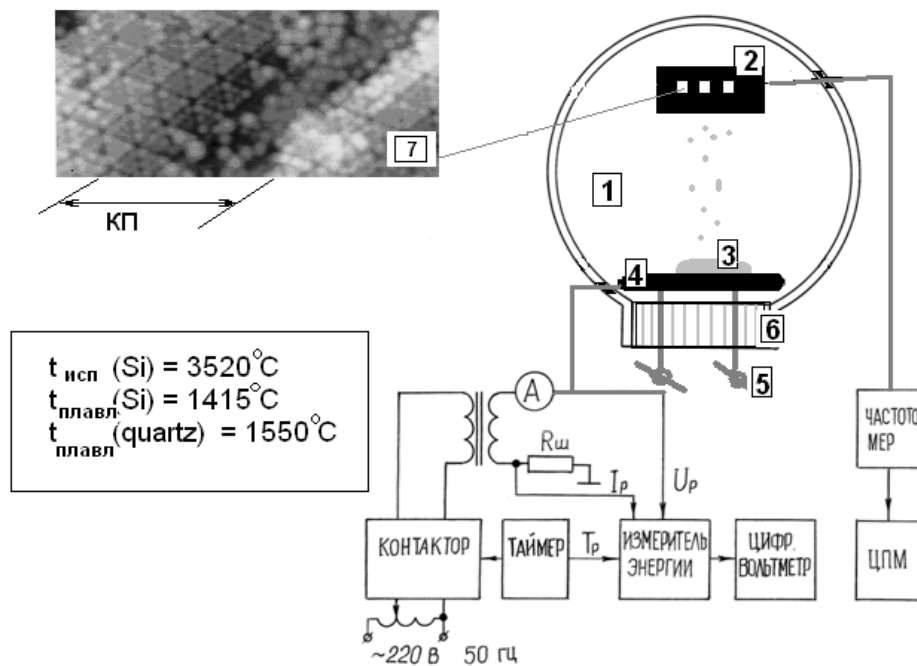


Рисунок 1.6 – Схема експериментальної установки для отримання плівки

Чутливість метода кварцового резонатора є досить високою. Так, наприклад, для кристала з резонансною частотою $f = 5$ МГц, масою $m_g = 100$

мг чутливість дорівнює величині $\frac{m_g}{f_g} = 0,02$ мкг/Гц. Тобто реєструючи відхід частоти кварцового резонатора на 1 Гц, можна контролювати збільшення маси плівки у соті долі мікрограма.

Слід зауважити, що кварцовий резонатор досить чутливий до зміни температури. Щоб врахувати відхід резонансної частоти при зміні

температури, у наших вимірюваннях використано кварцові резонатори, що були відібрані за результатами вимірювань температурної залежності резонансної частоти.

Нами було проведено тестування понад 40 резонаторів марки РК170 и РК171 з частотою власного резонансу у 5...10 МГц. Найбільш типові залежності $f(T)$ наведені на рис. 1.7.

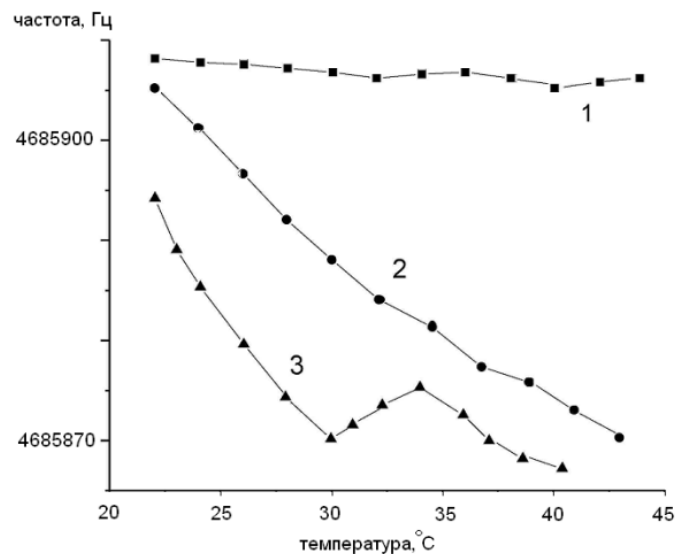


Рисунок 1.7 – Температурні залежності частоти кварцового резонатора від температури

Як видно з графіка температурна крива 1 характеризується слабкою залежністю частоти від температури. Таку графічну залежність мали приблизно п'ять відсотків резонаторів. Приблизно 75% резонаторів характеризувалися спадаючою залежністю (крива 2 на рис. 1.7). Між іншим, нами було виокремлено (відбраковані) приблизно 20% резонаторів, які характеризувалися ломаними залежностями (типу 3) з яскраво визначеним екстремумом.

Крім усього вищезазначеного, враховуючи, що точність методу вимірювання маси нанесеного плівкового шару на підкладку з використанням кварцового резонатора, визначається стабільністю частоти

генератора нами запропонована електрична схема стабільного кварцового генератора, яка наведена на рис. 1.8.

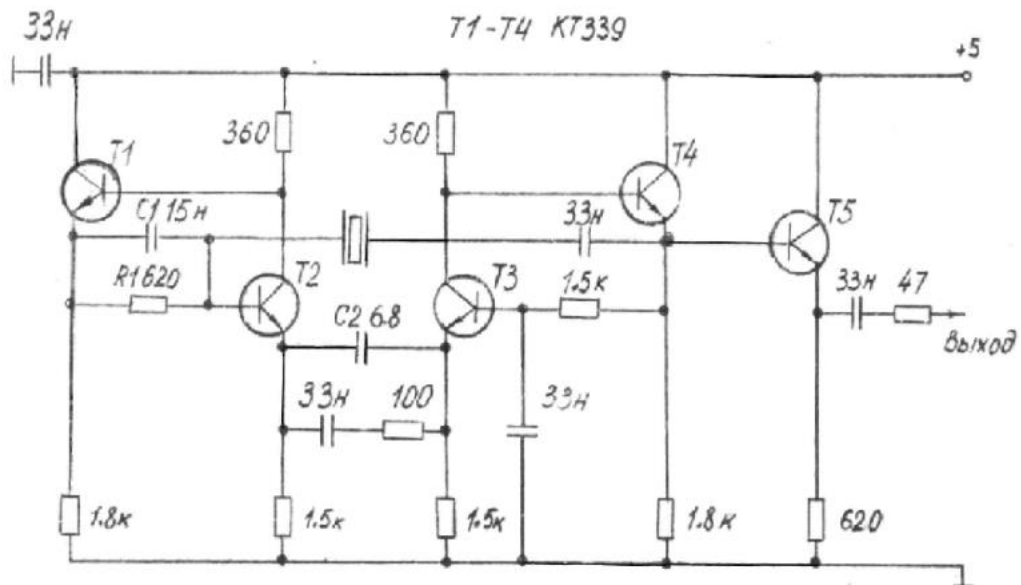


Рисунок 1.8 – Принципова електрична схема кварцового генератора

Генератор призначений для роботи у діапазоні частот від 1 до 100 МГц і зібраний на високоякісному, надчутливому, високочастотному підсилювачі з кварцовим резонатором (транзистори Т1-Т4). Транзистор Т5 є буферним емітерним повторювачем, що зменшує вплив навантаження на параметри генерованого сигналу. Підсилювач генератора виконаний за схемою: загальний колектор – загальна база – загальний колектор (Т2-Т4). Транзистор Т1 включено в мережу від'ємного зворотного зв'язку, що нейтралізує ємність тримача кварцу. Між іншим, від'ємний зворотний зв'язок стабілізує амплітуду коливань на виході. Корегувальна ємність C_2 збільшує стійкість генерації на високих частотах.

В цій схемі генератора була досягнута широка полоса перепускання сигналу підсилювача. Саме тому підсилювач має неймовірно малий додатковий набіг фаз майже до частот приблизно у 100 МГц. А це, у свою чергу, обумовлює високу стабільність частоти генерування.

Сума вхідного і вихідного опору підсилювача є меншою за еквівалентний опір розсіювання кварцового резонатора. Відносна нестабільність частоти генератора складає десяті долі мкГц.

Генератор змонтовано на невеликій платі. Він розміщений у вакуумній камері. Живлення та зняття результуючого сигналу відбувається через вакуумний роз'єм. Таке розміщення дозволяє суттєво скоротити довжину провідників, що з'єднують кварцовий резонатор і зменшують наводки на схему. У момент випаровування кремнію виділяється енергія частина якої виникає у вигляді випромінювання. Останнє здатне розігріти платівку кварцового резонатора. Проведені нами вимірювання довели, що температура підкладки дещо збільшується на протязі сеансу. Відновлення відбувається через 2-3 хв. Щоб уникнути паразитного впливу температурного відходу частоти на результати вимірювання були використані саме ті резонатори, що мали слабку температурну залежність (крива 1, рис. 1.7).

Рис. 1.9 представляє залежність, що ілюструє кінетику частоти резонансу кварцового кристала після проведення напилення плівки. Дрейф частоти після нанесення покриття обумовлений адсорбцією остаточного газу свіженанесеним шаром кремнію.

Використовуючи кристали зі слабкою температурною залежністю (крива 1 рис. 1.7) точність у зміні відходу частоти від резонансного значення Δf нам вдалося довести до 1 Гц.

. Похибка метода обумовлена точністю, яка відповідала відходу від резонансної частоти Δf і точністю у визначенні маси кристалу m_g . У нашому випадку похибка вимірювання товщини покриття відповідала 5%.

Метод кварцового резонатора дозволив нам розробити методику виготовлення плівок з контрольованою і наперед завданою товщиною.

У табл.1.1 наведено результати вимірювання товщини плівки методом кварцового резонатора.

Отже, описаний у цьому розділі метод дозволив нам вимірювати товщину шару речовини (кремнію) в процесі напилення у чистому вигляді,

тобто без урахування маси адсорбованого газу. Це є дуже важливим для визначення товщини мішені в експериментах з іонними потоками.

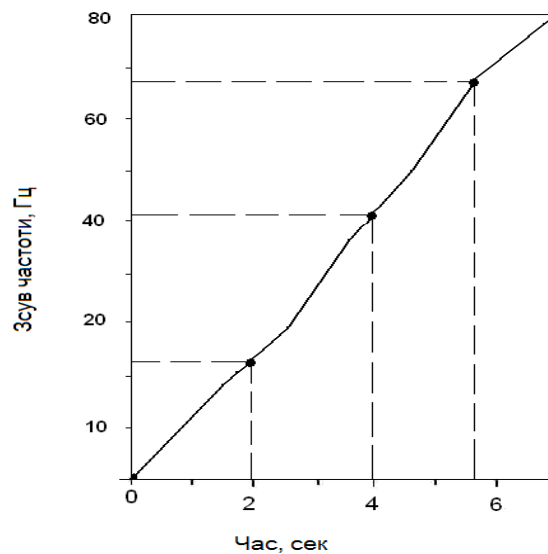


Рисунок 1.9 – Кінетичні криві синтезу плівок на підкладку кремнію, що отримані за допомогою п'єзореzonансного датчика

Таблиця 1.1 – Порівняння результатів вимірювання товщини плівки кремнію

Номер зразка	Δf кварцу, Гц	Товщина плівки за даними кварцу, мкм
1	80	1,034
2	105	1,368
3	120	1,519
4	136	1,748
5	156	2,006
6	200	2,584
7	320	4,134

Наведена вище методика керування процесом формування певної товщини плівки, яка має глибоко субмікронну морфологію, як основа складової ЧЕ ТрО відкриває нові можливості для створення високоефективних приладів нового типу.

2 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ

2.1 Розроблення та аналіз моделі каскадного термоелектричного охолоджувача

Застосування каскадних термоелектричних пристроїв (КТЕП) зумовлено не тільки необхідністю досягнення максимально можливого рівня охолодження, а й підвищенням економічності. У низці випадків під час проектування в розпорядженні розробника є низка обраних конструкцій КТЕП, побудованих на основі уніфікованих модулів. Необхідно визначити максимально можливу енергетичну ефективність за заданого перепаду температури, вибрати такий струмовий режим роботи КТЕП, який відповідав би максимуму енергетичної ефективності КТЕП заданої конструкції (режим E_{\max}). Актуальність забезпечення максимуму енергетичної ефективності зумовлена потребою зниження масогабаритних показників систем забезпечення теплових режимів теплонавантажених елементів.

Метою цієї роботи є розробка моделі, що дає змогу оцінювати економічність функціонування та прогнозування показників надійності двокаскадного ТЕП обраної конструкції.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити модель взаємозв'язку показників надійності КТЕП з конструктивними та енергетичними показниками в режимі найбільшої енергетичної ефективності;

- провести аналіз моделі для виявлення умов підвищення економічності КТЕП різних конструкцій.

2.2 Розроблення надійнісно-орієнтованої моделі каскадного термоелектричного перетворювача

Для розв'язання поставленого завдання скористаємося відомими співвідношеннями [16]. Холодопродуктивність Q_0 двокаскадного КТЕП можна записати у вигляді

$$Q_0 = n_1 I_{\max 1}^2 R_1 (2B_1 - B_1^2 - \Theta_1), \quad (2.1)$$

де $I_{\max 1}$ – максимальний робочий струм, А, $I_{\max 1} = e_1 T_0 / R_1$;

n_1 – кількість термоелементів у першому каскаді, шт.;

T_0 – температура теплопоглинаючого спаю першого каскаду, К;

e_1 – коефіцієнт термоЕРС гілки термоелементів першого каскаду, В/К;

R_1 – електричний опір гілки термоелементу першого каскаду, Ом;

B_1 – відносний робочий струм першого каскаду, відн. од., $B_1 = I / I_{\max 1}$;

Θ_1 – відносний перепад температури першого каскаду, відн. од., $\Theta_1 = (T_1 - T_0) / \Delta T_{\max 1}$;

T_1 – проміжна температура, К;

$\Delta T_{\max 1}$ – максимальний перепад температур в каскаді, К.

Послідовне електричне з'єднання каскадів визначає рівність струмів в каскадах, що можна записати у вигляді

$$I_{\max 1} B_1 = I_{\max 2} B_2 \quad (2.2)$$

де B_2 – відносний робочий струм другого каскаду, відн. од.,

$B_2 = I / I_{\max 2}$;

$I_{\max 2} = e_2 T_1 / R_2$;

e_2 – коефіцієнт термоЕРС гілки термоелементів другого каскаду, В/К;

R_2 – електричний опір гілки термоелементу другого каскаду, Ом.

Загальний перепад температур на двокаскадному КТЕП можна записати у вигляді

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = \Delta T_{\max 1} \theta_1 + \Delta T_{\max 2} \theta_2, \quad (2.3)$$

де ΔT_1 – перепад температур у першому каскаді, К, $\Delta T_1 = T_1 - T_0$;

ΔT_2 – перепад температур у другому каскаді, К, $\Delta T_2 = T - T_1$;

θ_2 – відносний перепад температур у другому каскаді, відн. од., $\theta_2 = (T - T_1) / \Delta T_{\max 2}$;

$\Delta T_{\max 2}$ – максимальний перепад температур у другому каскаді, К.

Умову теплового сполучення каскадів можна записати у вигляді

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_{\max 2}^2 R_2 (2B_2 - B_2^2 - \Theta_2)}{I_{\max 1}^2 R_1 \left[2B_1 \left(1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right) + B_1^2 - \Theta_1 \right]}, \quad (2.4)$$

де n_2 – кількість термоелементів у другому каскаді, шт.

Холодильний коефіцієнт двокаскадного КТЕП можна записати у вигляді

$$E^{N=2} = \frac{Q_0}{W_1 + W_2}, \quad (2.5)$$

де W_1 – потужність поглинання першого каскаду, Вт,

$$W_1 = 2n_1 I_{\max 1}^2 R_1 B_1 \left(B_1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right). \quad (2.6)$$

W_2 – потужність поглинання другого каскаду, Вт,

$$W_2 = 2n_2 I_{\max 2}^2 R_2 B_2 \left(B_2 + \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \Theta_2 \right). \quad (2.7)$$

Використовуючи співвідношення (2.1–2.7), холодильний коефіцієнт

можна записати у вигляді

$$E^{N=2} = \frac{2aB_1b - aB_1^2c + 2a^2B_1^3 \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} - a \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}}}{2B_1^2A - 2B_1^3B + 2B_1D \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}}}, \quad (2.8)$$

де

$$a = \frac{n_1 I_{\max 1}^2 R_1}{n_2 I_{\max 2}^2 R_2};$$

$$b = \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + \frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}};$$

$$c = \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + 2a \left(1 + 2 \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right) + \frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2};$$

$$A = \left(\frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + a \right) \left(a + \frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} \right) - 2a \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} + 2 \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} - a \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right);$$

$$B = \left(a + \frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} \right) \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + a \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right);$$

$$D = a \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right).$$

Функціональна залежність $E^{N=2} = f(B_1)$ має максимум для різних конструкцій ТЕП (n_1/n_2) і перепадах температур $\Delta T = 60$ К; 70 К; 80 К; 90 К при $T = 300$ К, $n_1 = 9$, $l_2/s_2 = l_1/s_1 = 10$.

При зростанні перепаду температур ΔT оптимальне значення відносного робочого струму B_1 зміщується і сторону більших значень.

За умови $\frac{dE^N}{dB_1} = 0$ одержимо співвідношення для визначення оптимальної величини відносного робочого струму B_1 , який відповідає максимуму холодильного коефіцієнту E^N ТЕП заданої конструкції (n_1/n_2) і перепаду температур ΔT :

$$B_1^4 \left(Bc - 2aA \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \right) - 4B_1^3 \left(Bb + aD \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} \right) + B_1^2 \left(2Ab + Dc \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} + 3B \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} \right) - 2B_1 A \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} - \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} \right)^2 = 0 \quad (2.9)$$

Представлене співвідношення (2.9) дозволяє визначити величину оптимального відносного робочого струму B_1 , який забезпечує максимум холодильного коефіцієнту E^N , при заданих значеннях відношення n_1/n_2 і перепадів температур ΔT .

Потім визначаємо відносні перепади температури в каскадах θ_1 і θ_2 , використовуючи метод послідовних наближень з урахуванням температурної залежності параметрів (достатньо одно-двох наближень):

$$\Theta_1 = \frac{B_1^2 \left(a + \frac{I_{\max 1}^2}{I_{\max 2}^2} \right) - 2B_1 \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{\max 2}} - a \right) + \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}}}{\frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} + a - 2aB_1 \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0}}; \quad (2.10)$$

$$\Theta_2 = \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max 2}} - \frac{\Delta T_{\max 1}}{\Delta T_{\max 2}} \Theta_1 \quad (2.11)$$

та холодопродуктивність Q_{01} заданої конструкції (n_1/n_2) ТЕП в режимі E_{\max} при заданих ΔT .

У відповідності до [17, 18] для двокаскадного ТЕП величину відносної інтенсивності відмов можна записати у вигляді

$$\frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_0} = \frac{n_1 B_1^2 (\Theta_1 + C_1) \left(B_1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta T_{\max 1}}{T_0} \Theta_1 \right)^2} K_{T_1} + \frac{n_2 B_2^2 (\Theta_2 + C_2) \left(B_2 + \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \Theta_2 \right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta T_{\max 2}}{T_1} \Theta_2 \right)^2} K_{T_2}, \quad (2.12)$$

де λ_0 – номінальна інтенсивність відмов, 1/год;

C_1, C_2 – відносне теплове навантаження першого і другого каскадів, відн. од.,

$$C_1 = \frac{Q_{01}}{n_1 I_{\max 1}^2 R_1}; \quad C_2 = \frac{Q_0 + W_1}{n_2 I_{\max 2}^2 R_2};$$

K_{T_1} и K_{T_2} – коефіцієнт значущості з урахуванням впливу пониженої температури.

Отримана аналітична модель забезпечує можливість аналізу зв'язку відносної інтенсивності відмов з енергетичними та конструктивними показниками термоелектричного охолоджувача в робочому діапазоні температур функціонування.

2.3 Аналіз результатів моделювання надійнісних і енергетичних показників

Результати розрахунків основних параметрів наведені в табл. [19] для $l_2/s_2=l_1/s_1=10$; $T=300$ К; $\Delta T=60$ К; 70 К; 80 К; 90 К; $n_1=9$; $n_1/n_2=1,0$; 0,67; 0,5; 0,33; 0,2; 0,1 при усередненому значенні ефективності термоелектричних модулів $\bar{z}_M=2,5 \cdot 10^{-3}$ 1/К; $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч; $t=10^4$ ч.

Зі зменшенням відношення n_1/n_2 при заданому значенні перепаду температур $\Delta T=60$ К:

- величина проміжної температури T_1 зменшується (рис. 2.1, поз. 1);
- відносний робочий струм першого каскаду B_1 зростає (рис. 2.1, поз. 2);
- відносний робочий струм другого каскаду B_2 зростає (рис. 2.1, поз. 3);
- відносний перепад температур першого каскаду θ_1 зменшується (рис. 2.1, поз. 4);
- відносний перепад температури другого каскаду θ_2 зростає (рис. 2.1, поз. 5);
- величина робочого струму I зростає (рис. 2.1, поз. 6);

- холодильний коефіцієнт ТЕП має абсолютний максимум при $n_1/n_2=0,44$ (рис. 2.2, поз. 1);
 - холодильний коефіцієнт першого каскаду ε_1 зростає (рис. 2.2, поз. 2), а другого каскаду ε_2 зменшується (рис. 2.2, поз. 3);
 - точка перетину графіків залежності холодильних коефіцієнтів каскадів ε_1 і ε_2 відповідає $n_1/n_2=0,44$ (рис. 2.2);
 - холодопродуктивність Q_{01} (рис. 2.2, поз. 4) та її відносна величина C_1 (рис. 2.2, поз. 5) збільшуються;
 - сумарна величина інтенсивності відмов λ_Σ зростає (рис. 2.3, поз. 3);
 - інтенсивність відмов першого λ_1 і другого λ_2 каскадів також зростає (рис. 2.3, поз. 1 и 2);
 - сумарна ймовірність безвідмовної роботи P_Σ зменшується (рис. 2.4, поз. 3);
 - ймовірність безвідмовної роботи першого (P_1) і другого (P_2) каскадів зменшується (рис. 2.4, поз. 1 и 2).
- Зі зменшенням відношення n_1/n_2 при заданому значенні перепада температур $\Delta T=70$ К:
- величина проміжної температури T_1 зменшується (рис. 2.5, поз. 1);
 - відносний робочий струм першого каскаду B_1 і другого каскаду B_2 зростає (рис. 2.5, поз. 2 и 3);
 - відносний перепад температур першого каскаду θ_1 зменшується (рис. 2.5, поз. 4);
 - відносний перепад температур другого каскаду θ_2 зростає (рис. 2.5, поз. 5);
 - величина робочого струму I зростає (рис. 2.5, поз. 6);
 - холодильний коефіцієнт E має максимум при $n_1/n_2=0,37$ (рис. 2.6, поз. 1);
 - холодильний коефіцієнт першого каскаду ε_1 зростає (рис. 2.6, поз. 2), а другого каскаду ε_2 зменшується (рис. 2.6, поз. 3);

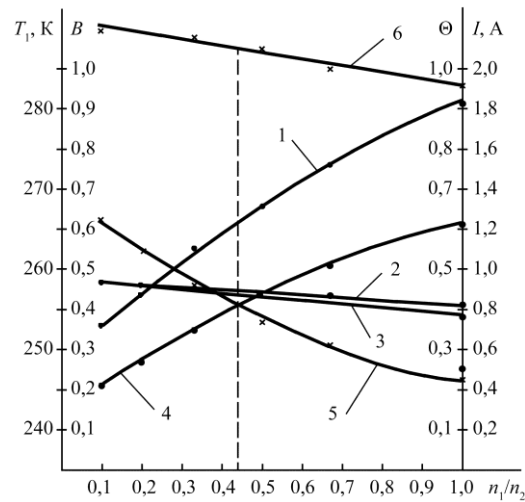


Рисунок 2.1 – Залежність проміжної температури T_1 , відносних робочих струмів B_1 і B_2 , відносних перепадів температур θ_1 і θ_2 в каскадах та величини робочого струму I двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=60$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $T_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $B_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $B_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $\theta_1=f(n_1/n_2)$; 5 – $\theta_2=f(n_1/n_2)$; 6 – $I=f(n_1/n_2)$

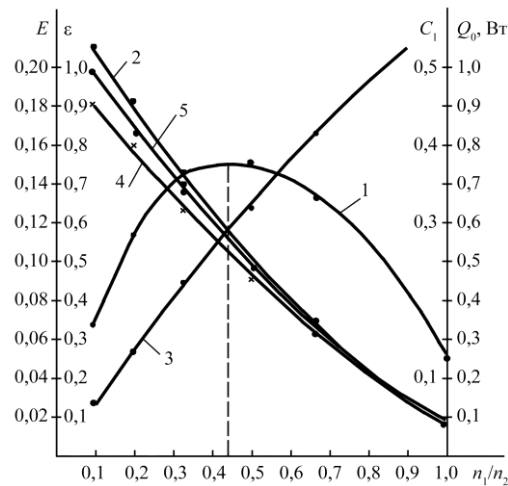


Рисунок 2.2 – Залежність загального холодильного коефіцієнту E і по каскадам ε_1 та ε_2 , холодопродуктивності Q_{01} та C_1 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=60$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $E=f(n_1/n_2)$; 2 – $\varepsilon_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $\varepsilon_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $Q_{01}=f(n_1/n_2)$; 5 – $C_1=f(n_1/n_2)$

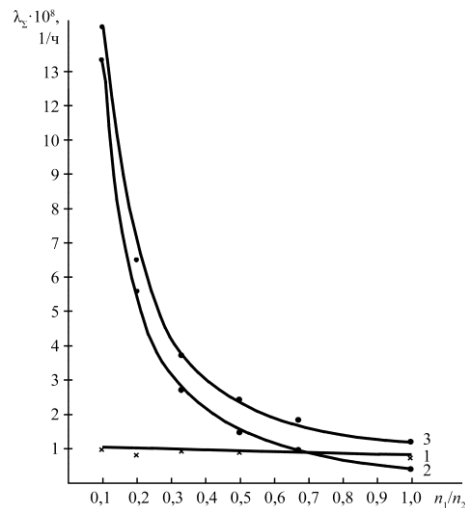


Рисунок 2.3 – Залежність сумарної інтенсивності відмов λ_{Σ} і кожного каскаду λ_1 та λ_2 двокаскадних термоелектричних пристроїв в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=60$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$, $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч: 1 – $\lambda_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $\lambda_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $\lambda_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$

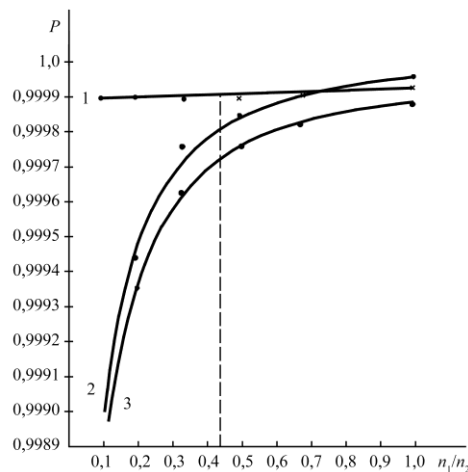


Рисунок 2.4 – Залежність сумарної ймовірності безвідмовної роботи P_{Σ} і по кожному каскаду P_1 та P_2 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів різних конструкцій в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=60$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$; $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч; $t=10^4$ ч: 1 – $P_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $P_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $P_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$

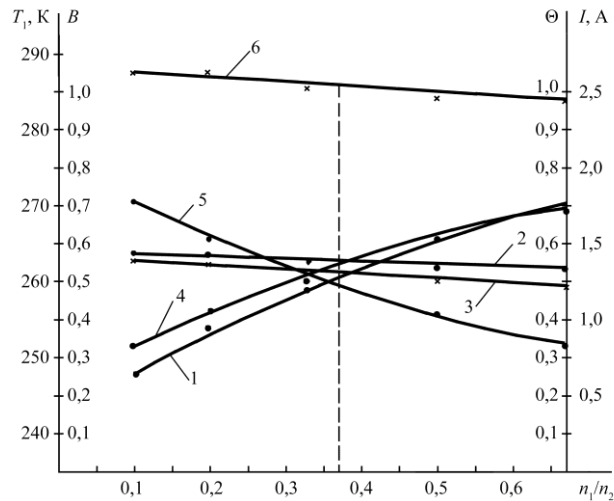


Рисунок 2.5 – Залежність проміжної температури T_1 , відносних робочих струмів B_1 та B_2 , відносних перепадів температур θ_1 та θ_2 в каскадах і величини робочого струму I двокаскадних робочих охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=70$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $T_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $B_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $B_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $\theta_1=f(n_1/n_2)$; 5 – $\theta_2=f(n_1/n_2)$; 6 – $I=f(n_1/n_2)$

- холодопродуктивність Q_{01} (рис. 2.6, поз. 4) та її відносна величина C_1 (рис. 2.6, поз. 5) зростають;
- сумарна величина інтенсивностей відмов λ_{Σ} зростає (рис. 2.7, поз. 3);
- інтенсивність відмов першого λ_1 та другого λ_2 каскадів також зростають (рис. 2.7, поз. 1 и 2);
- сумарна потужність енергоспоживання W_{Σ} зростає, (рис. 2.7, поз. 4);
- сумарна ймовірність безвідмовної роботи P_{Σ} зменшується (рис. 2.8, поз. 3);
- ймовірність безвідмовної роботи першого P_1 та другого каскаду P_2 зменшується (рис. 2.8, поз. 1 и 2).

За зменшенням відношення n_1/n_2 при заданому значенні перепаду температур $\Delta T=80$ К:

– величина проміжної температури T_1 зменшується (рис. 2.9, поз. 1);

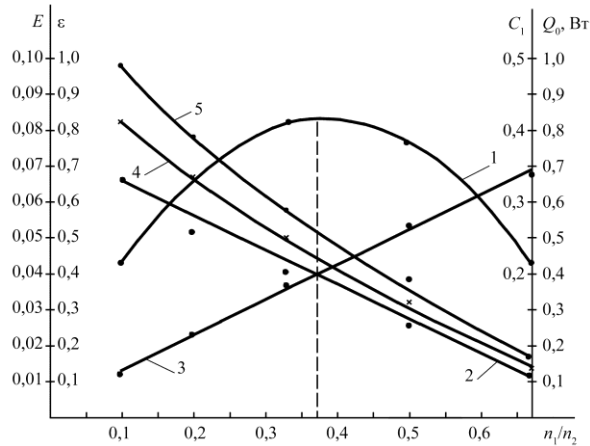


Рисунок 2.6 – Залежність загального холодильного коефіцієнту E та по каскадам ε_1 та ε_2 , холодопродуктивності Q_{01} та C_1 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=70$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $E=f(n_1/n_2)$; 2 – $\varepsilon_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $\varepsilon_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $Q_{01}=f(n_1/n_2)$; 5 – $C_1=f(n_1/n_2)$

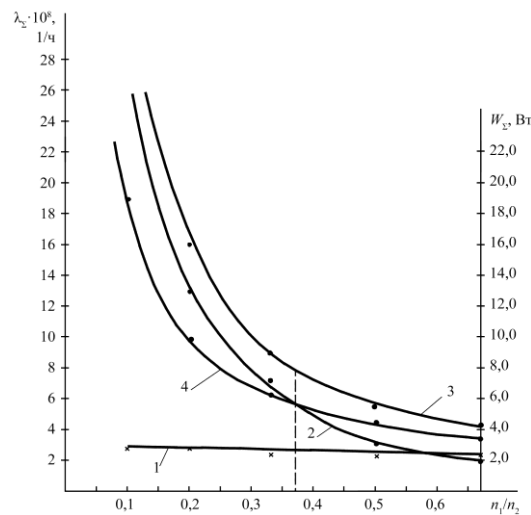


Рисунок 2.7 – Залежність сумарної інтенсивності відмов λ_{Σ} і кожного каскаду λ_1 та λ_2 двокаскадного термоелектричного охолоджувача в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=70$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$; $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч: 1 – $\lambda_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $\lambda_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $\lambda_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$

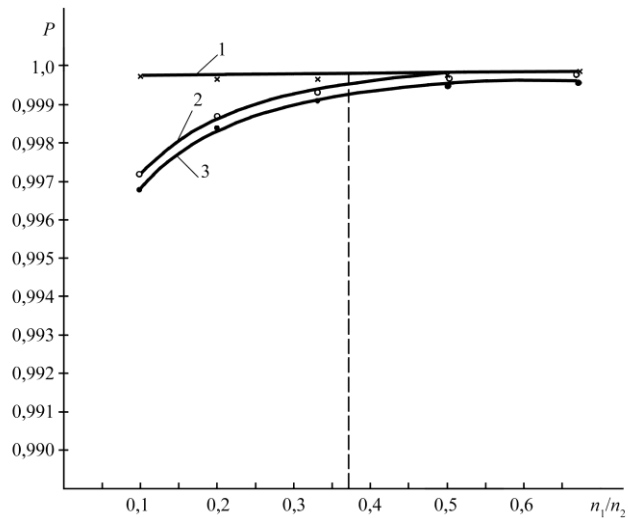


Рисунок 2.8 – Залежність сумарної ймовірності безвідмовної роботи P_Σ та по кожному каскаду окремо P_1 та P_2 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів різних конструкцій в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=70$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$; $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч; $t=10^4$ ч: 1 – $P_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $P_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $P_\Sigma=f(n_1/n_2)$

- відносний робочий струм першого каскаду B_1 та другого каскаду B_2 зростає (рис. 2.9, поз. 2 и 3);
- відносний перепад температур першого каскаду θ_1 зменшується (рис. 2.5, поз. 4), а другого каскаду θ_2 зростає (рис. 2.9, поз. 5);
- величина робочого струму I зростає (рис. 2.9, поз. 6);
- холодильний коефіцієнт E має максимум при $n_1/n_2=0,23$ (рис. 2.10, поз. 1), при цьому холодильні коефіцієнти першого каскаду ε_1 та другого каскаду ε_2 рівні між собою: $\varepsilon_1=\varepsilon_2=0,22$ (рис. 2.10, поз. 2 и 3);
- холодопродуктивність Q_{01} (рис. 2.10, поз. 4) та її відносна величина C_1 (рис. 2.10, поз. 5) зростають;
- сумарна величина інтенсивності відмов λ_Σ зростає (рис. 2.11, поз. 3), при цьому інтенсивність відмов першого λ_1 та другого λ_2 каскадів також зростає (рис. 2.11, поз. 1 и 2), але не однаково;

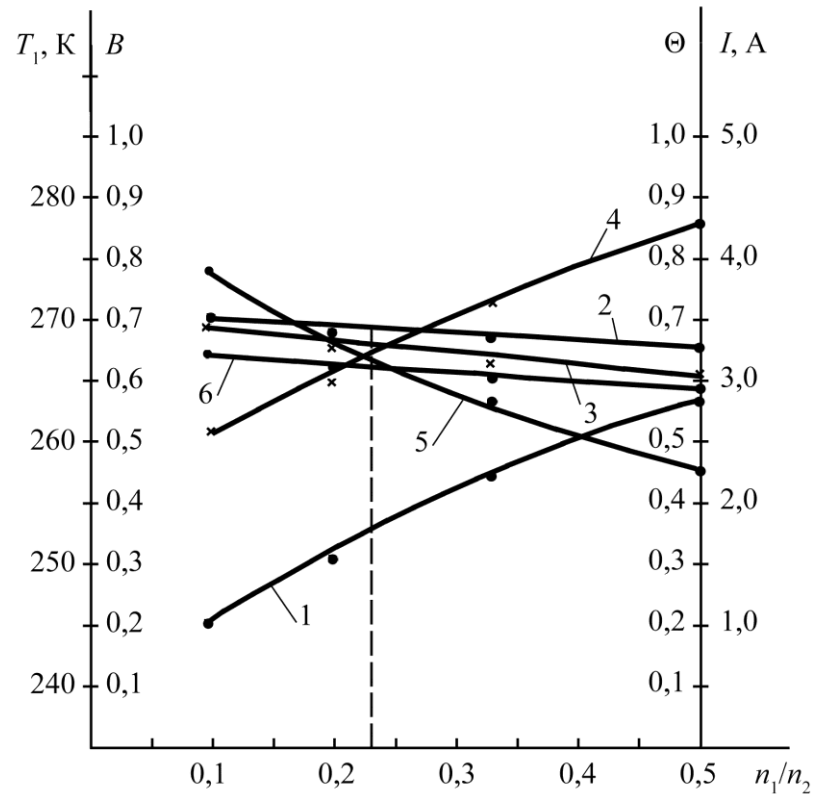


Рисунок 2.9 – Залежність проміжної температури T_1 , відносних робочих струмів B_1 та B_2 , відносних перепадів температур θ_1 та θ_2 в каскадах і величини робочого струму I двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=80$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $T_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $B_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $B_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $\theta_1=f(n_1/n_2)$; 5 – $\theta_2=f(n_1/n_2)$; 6 – $I=f(n_1/n_2)$

- сумарна потужність енергоспоживання W_{Σ} зростає (рис. 2.11, поз. 4);
- сумарна ймовірність безвідмовної роботи P_{Σ} зменшується (рис. 2.12, поз. 3), при цьому ймовірність безвідмовної роботи першого (P_1) та другого (P_2) каскадів також зменшується (рис. 2.12, поз. 1 и 2).

Зі зменшенням відношення n_1/n_2 при заданому значенні перепаду температур $\Delta T=90$ К:

- величина проміжної температури T_1 зменшується (рис. 2.13, поз. 1);
- відносний робочий струм першого каскаду B_1 та другого каскаду B_2

збільшується (рис. 2.13, поз. 2 и 3);

– відносний перепад температур першого каскаду θ_1 зменшується (рис. 2.13, поз. 4), а другого каскаду θ_2 зростає (рис. 2.13, поз. 5);

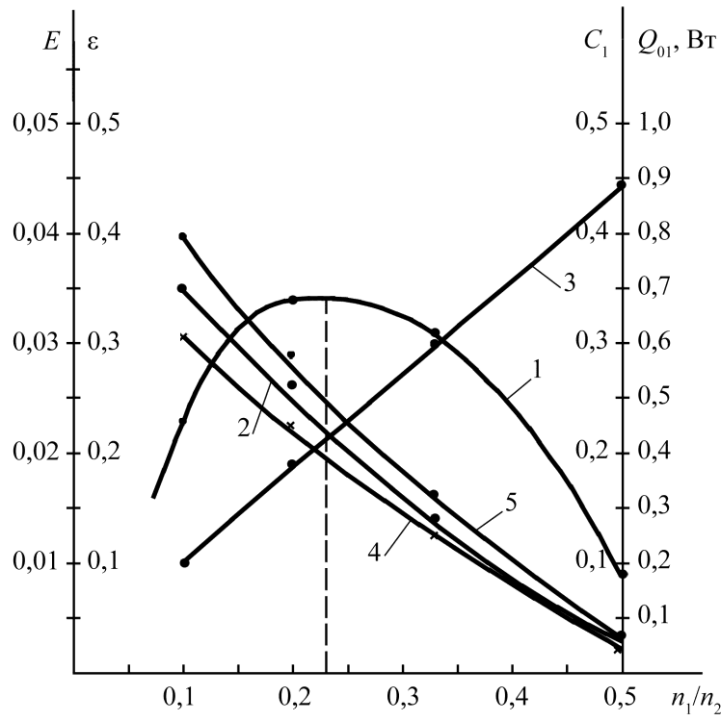


Рисунок 2.10 – Залежність загального холодильного коефіцієнту E та по каскадам ε_1 та ε_2 , холодопродуктивності Q_{01} та C_1 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=80$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $E=f(n_1/n_2)$; 2 – $\varepsilon_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $\varepsilon_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $Q_{01}=f(n_1/n_2)$; 5 – $C_1=f(n_1/n_2)$

– величина робочого струму I зростає (рис. 2.13, поз. 6);

– холодильний коефіцієнт E має максимум при $n_1/n_2=0,127$ (рис. 2.14, поз. 1), при цьому холодильні коефіцієнти першого каскаду ε_1 та другого каскаду ε_2 рівні між собою: $\varepsilon_1=\varepsilon_2=0,10$ (рис. 2.14, поз. 2 и 3);

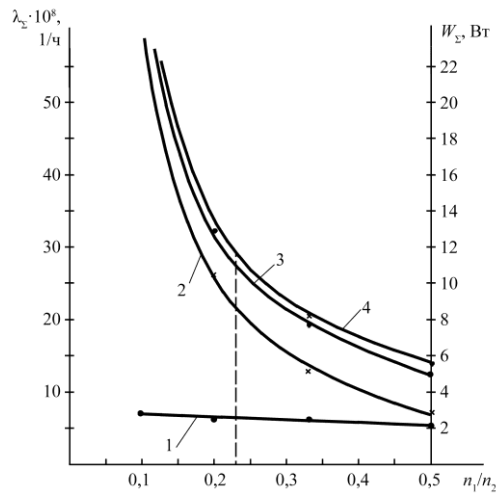


Рисунок 2.11 – Залежність загальної сумарної інтенсивності відмов λ_{Σ} і кожного каскаду λ_1 та λ_2 окремо двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=80$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$; $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч: 1 – $\lambda_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $\lambda_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $\lambda_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$; 4 – $W_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$

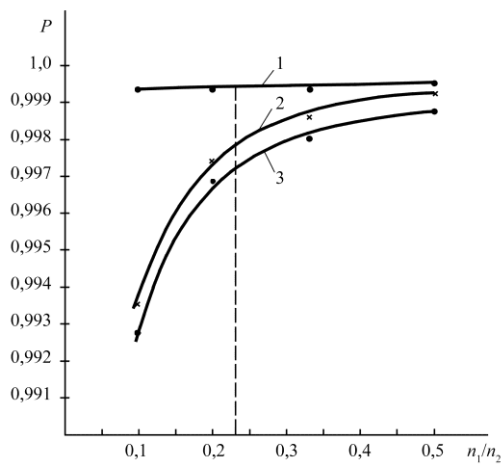


Рисунок 2.12 – Залежність сумарної ймовірності безвідмовної роботи P_{Σ} і по кожному каскаду окремо P_1 та P_2 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів різних конструкцій в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=80$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$, $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч; $t=10^4$ ч: 1 – $P_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $P_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $P_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$

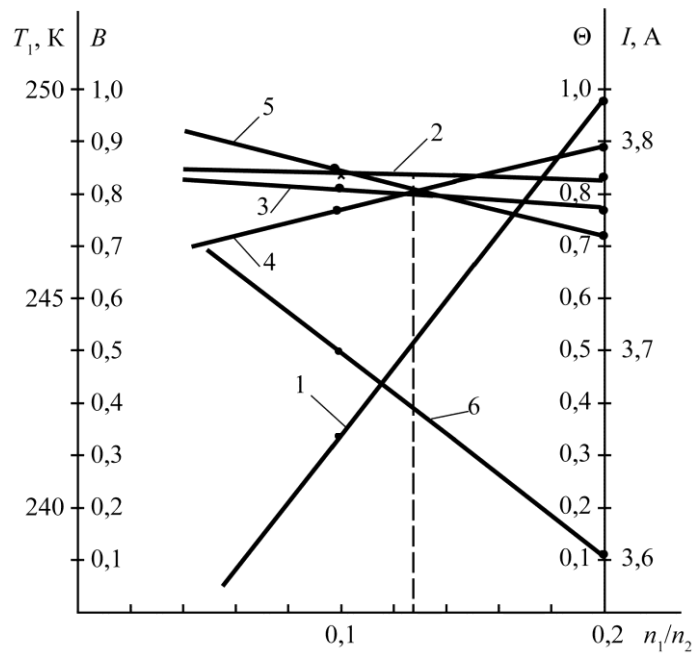


Рисунок 2.13 – Залежність проміжної температури T_1 , відносних робочих струмів B_1 та B_2 , відносних перепадів температур θ_1 та θ_2 в каскадах і величини робочого струму I двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=90$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $T_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $B_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $B_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $\theta_1=f(n_1/n_2)$; 5 – $\theta_2=f(n_1/n_2)$; 6 – $I=f(n_1/n_2)$

- холодопродуктивність Q_{01} (рис. 2.14, поз. 4) та її відносна величина C_1 (рис. 2.14, поз. 5) зростає;
- сумарна інтенсивність відмов λ_{Σ} зростає (рис. 2.15, поз. 3), при цьому ймовірність відмов першого λ_1 та другого λ_2 каскадів зростає (рис. 2.15, поз. 1 и 2);
- сумарна ймовірність безвідмовної роботи P_{Σ} зростає (рис. 2.15, поз. 7), при цьому ймовірність безвідмовної роботи першого (P_1) та другого (P_2) каскадів зменшується (рис. 2.15, поз. 5 и 6).

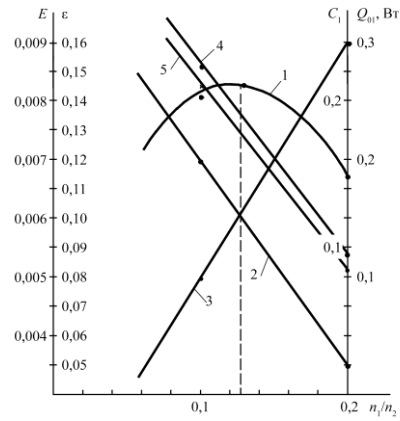


Рисунок 2.14 – Залежність загального холодильного коефіцієнту E і по каскадах ε_1 та ε_2 , холодопродуктивності Q_{01} та C_1 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=90$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$: 1 – $E=f(n_1/n_2)$; 2 – $\varepsilon_1=f(n_1/n_2)$; 3 – $\varepsilon_2=f(n_1/n_2)$; 4 – $Q_{01}=f(n_1/n_2)$; 5 – $C_1=f(n_1/n_2)$

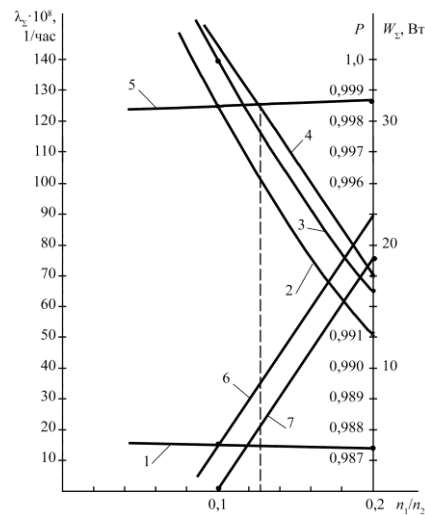


Рисунок 2.15 – Залежність сумарної інтенсивності відмов λ_{Σ} та ймовірності безвідмовної роботи P_{Σ} і кожного каскаду окремо λ_1 та λ_2 і P_1 та P_2 двокаскадних термоелектричних охолоджувачів в режимі E_{\max} від відношення n_1/n_2 при $T=300$ К; $\Delta T=80$ К; $n_1=9$; $(l/s)_i=10$, $\lambda_0=3 \cdot 10^{-8}$ 1/ч; $t=10^4$ ч: 1 – $\lambda_1=f(n_1/n_2)$; 2 – $\lambda_2=f(n_1/n_2)$; 3 – $\lambda_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$; 4 – $W_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$; 5 – $P_1=f(n_1/n_2)$; 6 – $P_2=f(n_1/n_2)$; 7 – $P_{\Sigma}=f(n_1/n_2)$

Наведений якісний опис енергетичних показників охолоджувача залежно від відношення кількості термоелементів у каскадах дає змогу оцінити шляхи проектування двокаскадних термоелектричних пристроїв підвищеної надійності.

2.4 Обговорення результатів аналізу зв'язку відношення числа елементів з енергетичними та надійнісними показниками

Аналіз розрахункових даних показав, що існує оптимальне відношення n_1/n_2 , яке відповідає максимуму холодильного коефіцієнта E за заданого перепаду температури ΔT .

У точці максимуму холодильного коефіцієнта E спостерігається рівність значень відносного перепаду температури θ_1 і θ_2 і холодильних коефіцієнтів ε_1 і ε_2 у каскадах. Результати розрахунків наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку основних параметрів і показників надійності двокаскадних ТЕУ різних конструкцій у режимі E_{max} за різних значень перепаду температури

$\Delta T, \text{K}$	n_1/n_2	B_1	B_2	I, A	T_1, K	θ_1	θ_2	ε_1	ε_2	E	$Q_{01}, \text{Вт}$	C_1	$W_{\Sigma}, \text{Вт}$	$U_{\Sigma}, \text{В}$	$\frac{\Delta T}{n_1 \lambda_0}$	$\frac{\lambda_{\Sigma}}{10^{-8}}, \frac{1}{\text{ч}}$	P
60	0,44	0,45	0,43	2,1	267,2	0,43	0,43	0,58	0,58	0,151	0,50	0,27	3,4	1,6	0,11	2,9	0,99971
70	0,37	0,55	0,53	2,5	260,0	0,55	0,50	0,40	0,40	0,083	0,45	0,25	5,6	2,2	0,29	7,8	0,99922
80	0,23	0,69	0,66	3,1	253,0	0,63	0,63	0,22	0,22	0,034	0,38	0,24	11,6	3,7	1,0	27,0	0,9972
90	0,127	0,83	0,80	3,775	244,0	0,80	0,80	0,10	0,10	0,0083	0,24	0,18	31,0	8,2	4,26	115,0	0,9880

Зі зростом перепаду температур ΔT для різних конструкцій ТЕП ($n_1/n_2=1,0; 0,67; 0,5; 0,33; 0,2; 0,1$):

– відносні робочі струми у першому (B_1) та у другому (B_2) каскадах зростають;

- величина робочого струму I також збільшується;
- проміжна температура T_1 зменшується;
- відносні перепади температур в першому (θ_1) та другому (θ_2) каскадах збільшуються;
- холодильний коефіцієнт E зменшується, при цьому холодильний коефіцієнт першого каскаду ε_1 та другого ε_2 зменшуються;
- холодопродуктивність Q_{01} та її відносна величина C_1 зменшується;
- сумарна потужність енергоспоживання W_Σ зростає;
- сумарне падіння напруги U_Σ зростає;
- сумарна величина інтенсивності відмов λ_Σ зростає;
- сумарна ймовірність безвідмовної роботи P_Σ зменшується.

3 ПРИКЛАДНИЙ І СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЯДІВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА МЕТЕОРОЛОГІЧНІЙ СТАНЦІЇ ОДЕСА ЗА ПЕРІОД СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Екологічна напруженість у світі вимагає всебічного та повсякденного аналізу стану навколишнього середовища. Тільки на підставі точних кількісних даних можна ухвалювати рішення щодо вживання необхідних заходів, які попереджають погіршення стану навколишнього середовища.

Діагноз і лікування хвороби будь-якого живого організму повинні опиратися на певну систему спостережень, контролю параметрів, що відбивають стан організму, розвиток хвороби й ефективність заходів щодо її лікування.

Біосфера – така ж, як і організм, жива система, але глобального рівня. І її стан також необхідно характеризувати певним набором параметрів, методикою „лікування” і прогнозування результату екологічних „захворювань”. Для здійснення цих заходів організовується система моніторингу стану навколишнього середовища.

Моніторинг (від англ. monitoring, від лат. monitor – що стежить, спостереження) – це система спостережень, оцінки та прогнозу стану навколишнього середовища. Термін „моніторинг” почали використовувати незадовго перед проведенням Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища (5-16 червня 1972 р.) [20].

На першій міжурядовій нараді з моніторингу (Кенія, 1974 р.), скликаній Радою Програми ООН із проблем навколишнього середовища (ЮНЕП), були визначені основні цілі глобальної системи моніторингу навколишнього середовища. Першочерговим напрямком у системі глобального моніторингу були названі спостереження над забрудненням навколишнього середовища на імпакті (рівень сильного глобального забруднення), регіональному і фоновому рівнях. Була запропонована структура моніторингу відбита на

(рис. 3.1) [21].

З рисунка видно, що моніторинг не включає управління (регулювання) якістю навколишнього середовища. Однак очевидно, що для організації управління якістю навколишнього середовища зовсім необхідною умовою є організація системи моніторингу.

Моніторинг охоплює спостереження за джерелами й факторами антропогенних впливів – хімічними, фізичними (випромінювання, механічні впливи), біологічними, за ефектами, виробленими цими впливами на навколишнє середовище, і, насамперед, за зворотною реакцією біологічних систем на ці впливи.



Рисунок 3.1 – Структура моніторингу

Спостереження можуть здійснюватися за фізичними, хімічними і біологічними показниками; особливо перспективними видаються інтегральні (комплексні) показники стану природних систем. Моніторинг може проводитися за окремими компонентами екосистем або за екосистемами різного рівня. При проведенні моніторингу використовуються фізико-хімічні, біологічні, географічні та інші методи, широко впроваджуються космічні методи моніторингу.

Моніторинг поділяють на такі рівні: біоекологічний, геоекологічний і біосферний.

Перший рівень – біоекологічний (біологічний, санітарно-гігієнічний, санітарно-токсикологічний) моніторинг включає спостереження:

- за станом навколишнього середовища;
- за ступенем забруднення природних об'єктів шкідливими речовинами;
- за впливом цих забруднювальних речовин на людину й біоту в цілому (сукупність флори, фауни й мікроорганізмів);
- за наявністю в навколишньому середовищі алергенів, патогенних організмів, пилу;
- за вмістом в атмосфері оксидів азоту й сірки, важких металів;
- за якістю водних об'єктів, ступенем їхнього забруднення і т.д.

Об'єктами біоекологічного моніторингу є: приземні шари атмосфери, поверхневі та ґрунтові води, ґрунти, промислові й побутові стоки і викиди, радіоактивні випромінювання і відходи.

Біоекологічний моніторинг здійснюють різні служби: гідрометеорологічна (метеостанції, гідропости, обсерваторії), санітарно-гігієнічна й епідеміологічна (санепідемстанції) і ін. Біоекологічний моніторинг дає експрес-інформацію про стан навколишнього середовища й дуже важливий для всіх районів, міст, населених пунктів.

Другий рівень – системний геоecологічний (природно-господарський) моніторинг. Суть його полягає в спостереженні за змінами в екологічних системах (біогеоценозах), природних комплексах, у спостереженні за їхньою продуктивністю, динамікою запасів корисних копалин, водних, земельних і рослинних ресурсів.

Об'єктами геоecологічного моніторингу служать: зникаючі види рослин, тварин, мікроорганізмів, природні еко- і геосистеми, агросистеми, лісові насадження, рекреаційні системи. Спостереження ведуться на географічних стаціонарах і спеціальних полігонах (тестових ділянках). Тестові ділянки призначені для контрольних вимірів і спостережень, на них розробляються тести (індикатори), біологічної продуктивності, природної здатності до самоочищення і т.д. Результати, отримані на тестових ділянках,

розглядаються як типові, характерні для даної екосистеми. Більшу роботу в цьому напрямку виконують гідрометеорологічна служба, сільськогосподарські дослідні станції, гідромеліоративні станції та ін.

Третій рівень – глобальний біосферний моніторинг. Метою цього моніторингу є контроль за станом навколишнього середовища в глобальному масштабі, спостереження за глобально-фоновими змінами в природі, прогноз можливих змін біосфери та всієї географічної оболонки в результаті господарської діяльності людини.

Об'єктами глобального біосферного моніторингу є: радіаційний баланс, прозорість атмосфери і її антропогенна зміна, світовий водний баланс і забруднення Світового океану, великомасштабні зміни в біогеохімічних циклах елементів і речовин (CO_2 , O_2 , N, P, S, H_2O та ін.), енергетичний обмін географічної оболонки з космосом, світова міграція птахів, тварин, рослин і комах, зміна клімату на планеті та ін.

З метою проведення фонових спостережень в усьому світі створюється мережа біосферних заповідників, на території яких забороняється виробнича діяльність, яка становить небезпеку для всього живого. У цей час в 62 країнах світу створено більше ніж 230 біосферних заповідників.

Створення глобальних моніторингових систем є якісно новим етапом у розвитку моніторингу й вимагає більших фінансових витрат. Успіхи інформатики та обчислювальної техніки в останні десятиліття відкрили двері в екологію методам моделювання. Модель повинна якомога точніше описувати реальний об'єкт, а живі об'єкти характеризуються безліччю параметрів, які до того ж безупинно змінюються. Повну інформацію про живий об'єкт одержати практично неможливо, тому принципово неможливо створити ідеальну модель. Проблема ще більше ускладнюється, якщо за допомогою моделі спробувати описати функціонування окремих екосистем або біосфери в цілому. Однак моделювання в проведенні глобального моніторингу має більшу перспективу.

Поняття „дані” має досить широку інтерпретацію й використається в

багатьох галузях науки й техніки.

В інформатиці та інформаційних технологіях.

Дані – подання, які піддаються багаторазовій інтерпретації, інформації у формалізованому вигляді, придатному для передачі, зв'язку, або обробки (ISO/IEC 2382-1:1993).

Дані – форми подання інформації, з якими мають справу інформаційні системи і їхні користувачі (ISO/IEC 10746-2:1996).

Дані – зареєстрована інформація, подання фактів, понять або інструкцій у формі, прийнятній для спілкування, інтерпретації або обробки людиною, або за допомогою автоматичних засобів (ISO/IEC/IEEE 24765-2010).

У метрології.

Дані – сукупність значень, порівнянних з основними або похідними мірами й/або показниками (ISO/IEC 15939:2007, ISO/IEC 25000:2005).

Хоча інформація повинна мати деяку форму подання (тобто перетворитися на дані), щоб нею можна було обмінюватися, інформація є в першу чергу інтерпретація (зміст) такого подання (ISO/IEC/IEEE 24765:2010). Тому в точному значенні інформація відрізняється від даних, хоча в неформальному контексті ці два терміни дуже часто використовують як синоніми.

Даними називають інформацію, коли наголошують на тому, що вона надходить як вхідні параметри деякого алгоритму обробки. Дані – від слова „дано”, так само як у записі умови завдання ми записуємо „дано” і „знайти”.

Цей термін часто вживається, коли мова йде про комп'ютерні системи. Ті самі дані, записані в комп'ютерній пам'яті, можуть бути відображені залежно від обраної програми обробки або як графічна інформація, або як символна, або як звукова, або як числова.

Дані також – це будь-які зареєстровані сигнали. Слово „інформація” частіше використовується в більше вузькому сенсі, чим просто все, що відбивається в матеріальному об'єкті в результаті впливу на нього іншого

матеріального об'єкта. Передбачається, що одержання інформації дає їй отримувачу можливість приймати рішення, діяти, здійснювати вибір або поповнити (і/або реструктурувати) свою систему знань. Якщо отримані дані не приводять ні до чого з перерахованого, то із суб'єктивної точки зору вважається, що для одержувача вони інформації не несуть, хоча й займають певний обсяг його пам'яті.

Моніторинг розглядає зміну стану навколишнього середовища й життєзабезпечення через наявність у ній великої кількості динамічних параметрів із украй різноманітними характеристиками які містять у собі екзогенні чинники на зразок температури, вологості повітря, швидкості й напрямки повітряних потоків. Кінцевою метою роботи з моніторингу є створення набору методик, які дозволять вирішувати практичні завдання з автоматичного виділення аномалій у динамічній зміні станів системи навколишнього середовища, візуалізації стану для оператора.

Алгоритм аналізу даних моніторингу полягає, крім усього іншого, у побудові адекватних статистичних і спектрально-часових моделей:

- моделі, що описують набір зібраних раніше даних, т.зв. „безліч первинних даних”;
- моделі, що дозволяють обчислювати можливі майбутні стани системи (моніторинг динаміки);
- моделі просторово-часового аналізу із застосуванням моделі „безліч первинних даних” для класифікації станів, визначених за допомогою спектрального аналізу.

3.1 Вихідні дані для аналізу

У метеорологічних дослідженнях найчастіше дані являють собою базу даних про параметри атмосфери. Фрагмент даних, що зберігається в архіві метеостанції наведений на рис. 3.2 [22].

33837.01.02.2005.06.11.2015.1.0.0.ruutf8.00000000.xls [Режим совместимости] - Excel

ОАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД FOXIT PDF ABBYY FineReader 12

Вставить Вставить Ж К Ч Ц Шрифт Буфер обмена Выравнивание Объединить и поместить в центре Число

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили Удалить Формат Сортировка Найти и фильтр выделите Редактирование

7	Местное время в Одессе										DD			Ff			ff10			ff3			N		
8	T	Ro	P	Pa	U				Ff	ff10	ff3														
06.11.2015 14:00	5,4	765,4	769,4	-0,2	89	Ветер, дующий с севера			1		100%							Дымка.							
06.11.2015 11:00	5,3	765,6	769,6	0,3	94	Ветер, дующий с севера			2		100%							Дымка.							
06.11.2015 08:00	4,1	765,3	769,3	0,5	97	Ветер, дующий с северо-востока			4		100%							Туман и							
06.11.2015 05:00	2,8	764,8	768,8	0,6	100	Ветер, дующий с севера			3		Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений.						Туман и								
06.11.2015 02:00	3,5	764,2	768,1	0,9	100	Ветер, дующий с севера			4		Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений.						Туман и								
05.11.2015 23:00	7,1	763,3	767,2	1,2	87	Ветер, дующий с севера			4		70 - 80%						Дымка.								
05.11.2015 20:00	7,6	762,1	766,0	0,6	97	Ветер, дующий с запада			1		60%						Дымка.								
05.11.2015 17:00	8,6	761,5	765,4	0,0	99	Ветер, дующий с западо-юго-запада			1		40%						Дымка.								
05.11.2015 14:00	9,8	761,5	765,3	-0,6	100	Ветер, дующий с юга			1		Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений.						Туман и								
05.11.2015 11:00	7,9	762,1	766,0	0,3	99	Ветер, дующий с востоко-северо-востока			1		Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений.						Туман и								
05.11.2015 08:00	5,5	761,8	765,7	0,3	100	Штиль, безветрие			0		Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений.						Туман и								
05.11.2015 05:00	5,4	761,5	765,4	-0,3	100	Штиль, безветрие			0		Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений.						Туман и								
05.11.2015 02:00	8,2	761,8	765,7	-0,3	100	Ветер, дующий с западо-юго-запада			1		Облаков нет.						Туман и								
04.11.2015 23:00	10,0	762,1	765,9	-0,3	99	Ветер, дующий с юго-запада			1		40%						Дымка.								
04.11.2015 20:00	9,9	762,4	766,3	-0,3	96	Ветер, дующий с юго-юго-запада			1		20-30%						Дымка.								
04.11.2015 17:00	9,4	762,7	766,6	-0,5	89	Ветер, дующий с юго-запада			2		20-30%						Дымка.								
04.11.2015 14:00	10,2	763,2	767,1	-1,4	78	Ветер, дующий с юго-юго-востока			2		Облаков нет.						Туман и								
04.11.2015 11:00	7,1	764,6	768,5	-0,5	80	Ветер, дующий с северо-северо-востока			2		Облаков нет.						Туман и								
04.11.2015 08:00	4,6	765,1	769,0	0,4	93	Ветер, дующий с севера			1		Облаков нет.						Дымка.								
04.11.2015 05:00	3,7	764,7	768,7	-0,1	95	Ветер, дующий с северо-запада			2		Облаков нет.						Дымка.								
04.11.2015 02:00	5,2	764,8	768,7	0,0	92	Ветер, дующий с северо-запада			1		Облаков нет.						Дымка.								
03.11.2015 23:00	6,7	764,8	768,7	0,3	83	Ветер, дующий с северо-северо-запада			1		Облаков нет.						Дымка.								
03.11.2015 20:00	8,9	764,5	768,4	0,5	73	Ветер, дующий с западо-северо-запада			1		Облаков нет.						Туман и								
03.11.2015 17:00	11,1	764,0	767,8	-0,2	67	Штиль, безветрие			0		Облаков нет.						Туман и								
03.11.2015 14:00	11,8	764,2	768,0	-1,0	54	Ветер, дующий с северо-северо-запада			1		Облаков нет.						Туман и								

Архив Погоды гр5

готово 14:20 27.09.2023

а

33837.01.02.2005.06.11.2015.1.0.0.ruutf8.00000000.xls [Режим совместимости] - Excel

ОАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД FOXIT PDF ABBYY FineReader 12

Вставить Вставить Ж К Ч Ц Шрифт Буфер обмена Выравнивание Объединить и поместить в центре Число

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили Удалить Формат Сортировка Найти и фильтр выделите Редактирование

7	VV	Td	RRR	IR	E	Tg	E'	sss
8	2,4	3,7						
9	1,8	4,4						
10	1,3	3,6						
11	0,4	2,8						
12	0,8	3,5						
13	6,0	5,1						
14	1,2	7,1						
15	3,2	8,4						
16	0,3	9,8						
17	0,1	7,8						
18	0,1	5,5						
19	0,1	5,4						
20	0,6	8,2						
21	1,6	9,8						
22	2,8	9,3						
23	3,4	7,7						
24	10,0	6,4						
25	10,0	3,8						
26	4,1	3,6						
27	4,8	3,0						
28	3,0	4,0						
29	7,0	3,9						
30	10,0	4,3						
31	10,0	5,1						
32	11,0	2,7						

Архив Погоды гр5

готово 14:22 27.09.2023

б

33837.01.02.2005.06.11.2015.1.0.0.ruutft8.00000000.xls [Режим совместимости] - Excel

	U	V	W	X	Y
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8	Ch	VV	Td	RRR	IR
9		2.4	3.7		
10		1.8	4.4		
11		1.3	3.6		
12		0.4	2.8		
13	Перистые нитевидные, иногда когтевидные, не распространяющиеся по небу.	0.8	3.5		
14	Перистые нитевидные, иногда когтевидные, не распространяющиеся по небу.	6.0	5.1		
15	Перистых, перисто-кучевых или перисто-слоистых нет.	1.2	7.1		
16		3.2	8.4		
17		0.3	9.8		
18		0.1	7.8		
19		0.1	5.5		
20		0.1	5.4		
21	Перистые нитевидные, иногда когтевидные, не распространяющиеся по небу.	0.6	8.2		
22	Перистые нитевидные, иногда когтевидные, не распространяющиеся по небу.	1.6	9.8		
23	Перистые нитевидные, иногда когтевидные, не распространяющиеся по небу.	2.8	9.3		
24		3.4	7.7		
25		10.0	6.4		
26		10.0	3.8		
27		4.1	3.6		
28		4.8	3.0		
29		3.0	4.0		
30		7.0	3.9		
31		10.0	4.3		
32		10.0	5.1		
		11.0	2.7		

Архив Погоды гр5

В

33837.01.02.2005.06.11.2015.1.0.0.ruutft8.00000000.xls [Режим совместимости] - Excel

	R	S	T
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	Nh	H	Cm
8	100%	200-300	
9	100%	100-200	
10	100%	100-200	
11			
12			
13	Облаков нет.	2500 или более, или облаков нет.	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.
14	Облаков нет.	2500 или более, или облаков нет.	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.
15	40%.	2500 или более, или облаков нет.	Высококучевых просвечивающие, расположенные на одном уровне.
16			
17			
18			
19			
20			
21	Облаков нет.	2500 или более, или облаков нет.	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.
22	Облаков нет.	2500 или более, или облаков нет.	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.
23	Облаков нет.	2500 или более, или облаков нет.	Высококучевых, высокослоистых или слоисто-дождевых облаков нет.
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			

Архив Погоды гр5

Г

33837.01.02.2005.06.11.2015.1.0.0.ruutf8.00000000.xls [Режим совместимости] - Excel

ОАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД FOXT PDF ABBYY FineReader 12

Вставить Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили Удалить Формат

Вставить Удалить Сортировка Найти и фильтр Выделить Редактирование

	O	P	Q
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	Tn	Tx	Ci
8			Слоисто туманообразные или слоисто разорванные, либо те и другие, но не относящиеся к облакам плохой погоды.
9			Слоисто туманообразные или слоисто разорванные, либо те и другие, но не относящиеся к облакам плохой погоды.
10		2,8	Слоисто туманообразные или слоисто разорванные, либо те и другие, но не относящиеся к облакам плохой погоды.
11			
12			
13			Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.
14		10,5	Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.
15			Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.
16			
17			
18		3,7	
19			
20			
21			Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.
22		10,6	Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.
23			Слоисто-кучевых, слоистых, кучевых или кучево-дождевых облаков нет.
24			
25			
26		2,8	
27			
28			
29			
30		15,1	
31			
32			

Архив Погоды гр5

ГОТОВО 14:21 27.09.2023

Д

33837.01.02.2005.06.11.2015.1.0.0.ruutf8.00000000.xls [Режим совместимости] - Excel

ОАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД FOXT PDF ABBYY FineReader 12

Вставить Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили Удалить Формат

Вставить Удалить Сортировка Найти и фильтр Выделить Редактирование

	N	O	P
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7	W2	Tn	Tx
8	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		
9	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		
10	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		2,8
11	Туман или ледяной туман или сильная мгла.		
12	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		
13	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		
14	Облака покрывали более половины неба в течение одной части соответствующего периода и половину или менее в течение другой части периода.		1
15	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		
16	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		
17	Туман или ледяной туман или сильная мгла.		
18	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.		3,7
19	Туман или ледяной туман или сильная мгла.		
20	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		
21	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		
22	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		1
23	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		
24			
25			
26	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		2,8
27	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		
28	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		
29	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.		
30			
31			1
32			

Архив Погоды гр5

ГОТОВО 14:21 27.09.2023

е

Time	Condition
8	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.
9	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.
10	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
11	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
12	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
13	Облака покрывали более половины неба в течение всего соответствующего периода.
14	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
15	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
16	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
17	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
18	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
19	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
20	Туман или ледяной туман или сильная мгла.
21	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
22	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
23	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
24	
25	
26	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
27	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
28	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
29	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
30	
31	
32	

Ж

Time	Condition
8	Дымка.
9	Дымка.
10	Туман или ледяной туман.
11	Туман или ледяной туман, неба не видно, начался или усилился в течение последнего часа.
12	Туман или ледяной туман, неба не видно, начался или усилился в течение последнего часа.
13	Дымка.
14	Дымка.
15	Дымка.
16	Туман или ледяной туман, неба не видно, начался или усилился в течение последнего часа.
17	Туман или ледяной туман, неба видно, без заметного изменения интенсивности в течение последнего часа.
18	Туман или ледяной туман, неба видно, без заметного изменения интенсивности в течение последнего часа.
19	Туман или ледяной туман, неба не видно, начался или усилился в течение последнего часа.
20	Туман или ледяной туман, неба видно, начался или усилился в течение последнего часа.
21	Дымка.
22	Дымка.
23	Дымка.
24	
25	
26	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
27	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
28	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
29	Облака покрывали половину неба или менее в течение всего соответствующего периода.
30	
31	
32	

И

Рисунок 3.2 – Збережені дані про метеорологічні умови по метеорологічній станції Одеса (фрагмент)

При потребі обробки даних з метою їх узагальнення дані модифікуються і можуть мати вигляд як на рис. 3.3.

StOdesa.txt – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```

338370 99999 20080202 40.3 24 39.5 24 9999.9 0 9999.9 0 3.2 24 12.0 24 19.4 999.9 42.8 33.8 999.9 100000
338370 99999 20080203 39.6 24 35.9 24 9999.9 0 9999.9 0 4.1 24 6.6 24 13.6 999.9 46.2 33.8 999.9 110000
338370 99999 20080204 35.3 24 34.8 24 9999.9 0 9999.9 0 0.9 24 6.5 24 11.7 999.9 37.4 32.5 999.9 110000
338370 99999 20080205 37.7 24 37.6 24 9999.9 0 9999.9 0 0.2 24 4.9 24 9.7 999.9 42.8 33.3 999.9 110000
338370 99999 20080206 36.0 24 34.5 24 9999.9 0 9999.9 0 2.9 24 4.5 24 7.8 999.9 41.0 32.0 999.9 100000
338370 99999 20080207 32.2 24 31.2 24 9999.9 0 9999.9 0 2.1 24 5.2 24 11.7 999.9 33.8 30.2 999.9 110000
338370 99999 20080208 33.9 24 28.2 24 9999.9 0 9999.9 0 7.2 24 10.9 24 15.5 999.9 37.4 31.8 999.9 001000
338370 99999 20080209 30.2 24 25.8 24 9999.9 0 9999.9 0 4.1 24 11.2 24 15.5 999.9 32.0 28.0 999.9 001000
338370 99999 20080210 28.4 13 24.2 13 9999.9 0 9999.9 0 2.7 13 11.2 13 17.5 999.9 30.2 26.6 999.9 001000
338370 99999 20080211 28.3 20 21.2 20 9999.9 0 9999.9 0 5.0 20 10.1 20 15.5 999.9 33.8 23.0 999.9 001000
338370 99999 20080212 27.5 24 23.3 24 9999.9 0 9999.9 0 4.0 24 9.7 24 17.5 999.9 32.0 24.8 999.9 001000
338370 99999 20080213 27.8 24 21.5 24 9999.9 0 9999.9 0 5.3 24 4.4 24 11.7 999.9 32.0 23.0 999.9 001000
338370 99999 20080214 32.4 24 28.7 24 9999.9 0 9999.9 0 3.7 24 9.7 24 19.4 29.1 39.6 25.5 999.9 001000
338370 99999 20080215 26.9 24 20.5 24 9999.9 0 9999.9 0 7.1 24 9.5 24 17.5 29.1 36.7 19.4 999.9 001000
338370 99999 20080216 22.6 24 16.1 24 9999.9 0 9999.9 0 6.6 24 9.6 24 15.5 23.3 29.7 15.8 0.4 001000
338370 99999 20080217 20.7 24 7.1 24 9999.9 0 9999.9 0 6.2 24 10.4 24 19.4 999.9 27.5 12.2 999.9 000000
338370 99999 20080218 25.0 24 11.5 24 9999.9 0 9999.9 0 7.0 24 4.9 24 9.7 999.9 34.9 10.4 999.9 001000
338370 99999 20080219 33.9 24 30.3 24 9999.9 0 9999.9 0 2.0 24 12.1 24 21.4 27.2 41.5 26.6 999.9 011000
338370 99999 20080220 34.3 24 25.5 24 9999.9 0 9999.9 0 6.3 24 8.4 24 13.6 23.3 44.1 26.6 999.9 000000
338370 99999 20080221 35.9 24 31.8 24 9999.9 0 9999.9 0 2.8 24 3.6 24 9.7 999.9 44.6 26.6 999.9 100000
338370 99999 20080222 35.6 24 32.2 24 9999.9 0 9999.9 0 1.9 24 2.5 24 29.1 999.9 53.6 24.8 999.9 100000
338370 99999 20080223 42.5 24 34.1 24 9999.9 0 9999.9 0 5.6 24 7.9 24 25.3 999.9 51.8 35.6 999.9 010000
338370 99999 20080224 41.0 24 29.3 24 9999.9 0 9999.9 0 6.8 24 8.6 24 15.5 999.9 51.8 32.0 999.9 000000
338370 99999 20080225 43.8 24 32.8 24 9999.9 0 9999.9 0 6.1 24 8.3 24 13.6 999.9 57.2 32.0 999.9 000000
338370 99999 20080226 42.2 24 32.7 24 9999.9 0 9999.9 0 5.3 24 5.6 24 15.5 23.3 53.6 33.8 999.9 000000
338370 99999 20080227 42.4 24 39.1 24 9999.9 0 9999.9 0 3.6 24 10.0 24 17.5 999.9 50.0 35.6 999.9 100000
338370 99999 20080228 46.2 24 33.9 24 9999.9 0 9999.9 0 4.7 24 6.7 24 13.6 999.9 60.1 33.8 999.9 000000
338370 99999 20080229 41.9 24 28.9 24 9999.9 0 9999.9 0 6.8 24 5.7 24 13.6 19.4 53.6 32.0 999.9 000000
338370 99999 20080301 47.0 24 39.7 24 9999.9 0 9999.9 0 4.2 24 12.9 24 17.5 27.2 55.4 38.5 999.9 110000
338370 99999 20080302 46.3 24 33.4 24 9999.9 0 9999.9 0 6.3 24 11.7 24 21.4 33.0 54.9 39.2 999.9 010000
338370 99999 20080303 45.1 24 30.2 24 9999.9 0 9999.9 0 6.9 24 12.6 24 23.3 35.0 56.3 37.4 999.9 000000
338370 99999 20080304 46.1 24 37.3 24 9999.9 0 9999.9 0 5.7 24 8.3 24 19.4 27.2 59.0 33.8 999.9 110000
338370 99999 20080305 39.1 24 32.6 24 9999.9 0 9999.9 0 6.7 24 10.7 24 13.6 999.9 45.3 35.6 999.9 010000
338370 99999 20080306 38.6 24 32.0 24 9999.9 0 9999.9 0 4.9 24 5.1 24 11.7 999.9 48.2 30.2 999.9 000000
338370 99999 20080307 40.6 24 36.0 24 9999.9 0 9999.9 0 4.0 24 6.6 24 13.6 999.9 50.0 30.2 999.9 100000
338370 99999 20080308 41.1 24 39.3 24 9999.9 0 9999.9 0 1.9 24 8.2 24 15.5 999.9 44.6 35.6 999.9 110000
338370 99999 20080309 41.5 24 39.2 24 9999.9 0 9999.9 0 1.6 24 4.0 24 13.6 25.3 57.2 33.8 999.9 110000
338370 99999 20080310 40.1 24 40.0 24 9999.9 0 9999.9 0 1.0 24 3.2 24 7.8 999.9 44.6 37.4 999.9 110000
338370 99999 20080311 42.8 24 41.7 24 9999.9 0 9999.9 0 2.1 24 10.0 24 17.5 999.9 51.8 37.4 999.9 110000
338370 99999 20080312 45.4 24 43.7 24 9999.9 0 9999.9 0 4.3 24 13.4 24 21.4 999.9 50.0 41.4 999.9 010000

```

а

StOdesa.txt – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```

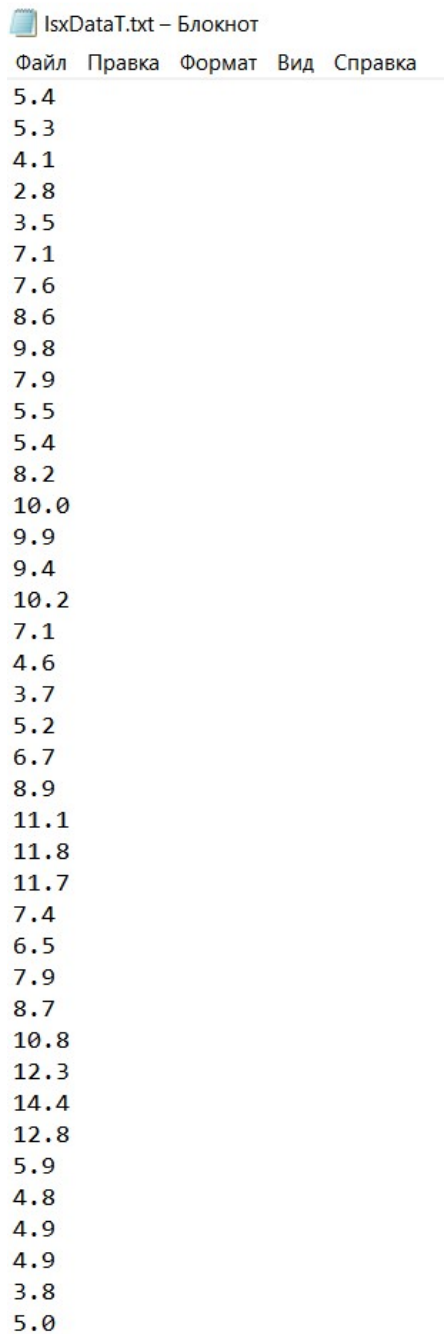
338370 99999 19370101 33.0 4 9999.9 0 1034.7 4 9999.9 0 999.9 0 2.2 4 5.1 999.9 34.0 30.0 999.9 000000
338370 99999 19370103 35.7 4 9999.9 0 1021.7 4 9999.9 0 999.9 0 6.0 4 13.0 999.9 37.0 34.0 999.9 000000
338370 99999 19370104 36.0 4 9999.9 0 1020.8 4 9999.9 0 999.9 0 10.0 4 13.0 999.9 37.0 34.0 999.9 000000
338370 99999 19370105 35.2 4 9999.9 0 1025.0 4 9999.9 0 999.9 0 6.0 4 13.0 999.9 39.0 32.0 999.9 000000
338370 99999 19370106 40.8 4 9999.9 0 1024.6 4 9999.9 0 999.9 0 11.0 4 13.0 999.9 48.0 37.0 999.9 000000
338370 99999 19370107 42.0 4 9999.9 0 1016.2 4 9999.9 0 999.9 0 17.0 4 23.9 999.9 45.0 41.0 999.9 000000
338370 99999 19370108 37.3 4 9999.9 0 1011.7 4 9999.9 0 999.9 0 4.0 4 8.9 999.9 39.0 34.0 999.9 010000
338370 99999 19370109 34.7 4 9999.9 0 1017.3 4 9999.9 0 999.9 0 19.2 4 36.9 999.9 37.0 32.0 999.9 000000
338370 99999 19370110 30.5 4 9999.9 0 1011.0 4 9999.9 0 999.9 0 38.7 4 43.9 999.9 32.0 28.0 999.9 001000
338370 99999 19370111 33.0 4 9999.9 0 1014.7 4 9999.9 0 999.9 0 21.0 4 23.9 999.9 36.0 30.0 999.9 000000
338370 99999 19370112 30.2 4 9999.9 0 9999.9 0 999.9 0 25.4 4 29.9 999.9 36.0 33.8 999.9 001100
338370 99999 19370114 17.7 4 9999.9 0 1031.7 4 9999.9 0 999.9 0 26.9 4 29.9 999.9 23.0 12.0 999.9 000000
338370 99999 19370115 15.2 4 9999.9 0 1032.0 4 9999.9 0 1.2 4 18.3 4 23.9 999.9 18.0 9.0 999.9 000000
338370 99999 19370116 16.2 4 9999.9 0 1031.9 4 9999.9 0 999.9 0 17.0 4 23.9 999.9 19.0 10.0 999.9 000000
338370 99999 19370117 16.2 4 9999.9 0 1029.4 4 9999.9 0 1.1 4 11.5 4 18.1 999.9 19.0 14.0 999.9 001000
338370 99999 19370118 18.5 4 9999.9 0 1027.8 4 9999.9 0 999.9 0 20.0 4 29.9 999.9 25.0 10.0 999.9 001000
338370 99999 19370119 28.8 4 9999.9 0 1017.7 4 9999.9 0 999.9 0 21.2 4 36.9 999.9 30.0 27.0 999.9 001000
338370 99999 19370120 28.5 4 9999.9 0 1010.5 4 9999.9 0 999.9 0 10.5 4 23.9 999.9 32.0 25.0 999.9 010000
338370 99999 19370121 14.5 4 9999.9 0 1020.4 4 9999.9 0 999.9 0 21.2 4 23.9 999.9 21.0 5.0 999.9 001000
338370 99999 19370122 3.0 4 9999.9 0 1036.7 4 9999.9 0 999.9 0 9.8 4 13.0 999.9 5.0 1.0 999.9 000000
338370 99999 19370123 8.5 4 9999.9 0 1039.1 4 9999.9 0 999.9 0 10.0 4 13.0 999.9 12.0 3.0 999.9 000000
338370 99999 19370124 6.5 4 9999.9 0 1035.3 4 9999.9 0 999.9 0 22.4 4 23.9 999.9 12.0 0.0 999.9 001000
338370 99999 19370125 4.2 4 9999.9 0 1033.1 4 9999.9 0 999.9 0 22.4 4 23.9 999.9 7.0 0.0 999.9 000000
338370 99999 19370126 11.7 4 9999.9 0 1029.7 4 9999.9 0 1.6 4 16.8 4 18.1 999.9 18.0 5.0 999.9 001000
338370 99999 19370127 18.5 4 9999.9 0 9999.9 0 999.9 0 999.9 0 18.3 4 23.9 999.9 21.0 16.0 999.9 001000
338370 99999 19370128 23.5 4 9999.9 0 1006.6 4 9999.9 0 999.9 0 26.9 4 29.9 999.9 25.0 21.0 999.9 001000
338370 99999 19370129 23.5 4 9999.9 0 998.4 4 9999.9 0 999.9 0 22.7 4 29.9 999.9 25.0 21.0 999.9 011100
338370 99999 19370130 16.2 4 9999.9 0 1005.8 4 9999.9 0 999.9 0 21.2 4 29.9 999.9 32.0 5.0 999.9 101000

```

б

Рисунок 3.3 – Подання модифікованих даних з метеостанції

Для безпосередньої обробки одного із параметрів стану атмосфери дані перетворюються в числовий ряд як відображено на рис. 3.4.



IsxDataT.txt – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

5.4
5.3
4.1
2.8
3.5
7.1
7.6
8.6
9.8
7.9
5.5
5.4
8.2
10.0
9.9
9.4
10.2
7.1
4.6
3.7
5.2
6.7
8.9
11.1
11.8
11.7
7.4
6.5
7.9
8.7
10.8
12.3
14.4
12.8
5.9
4.8
4.9
4.9
3.8
5.0

Рисунок 3.4 – Числовий ряд даних про температуру атмосфери (фрагмент)

Останній наведений на рис. 3.4 ряд даних, який наочно у повному обсязі поданий на рис. 3.5, і буде підлягати подальшому розгляданню.

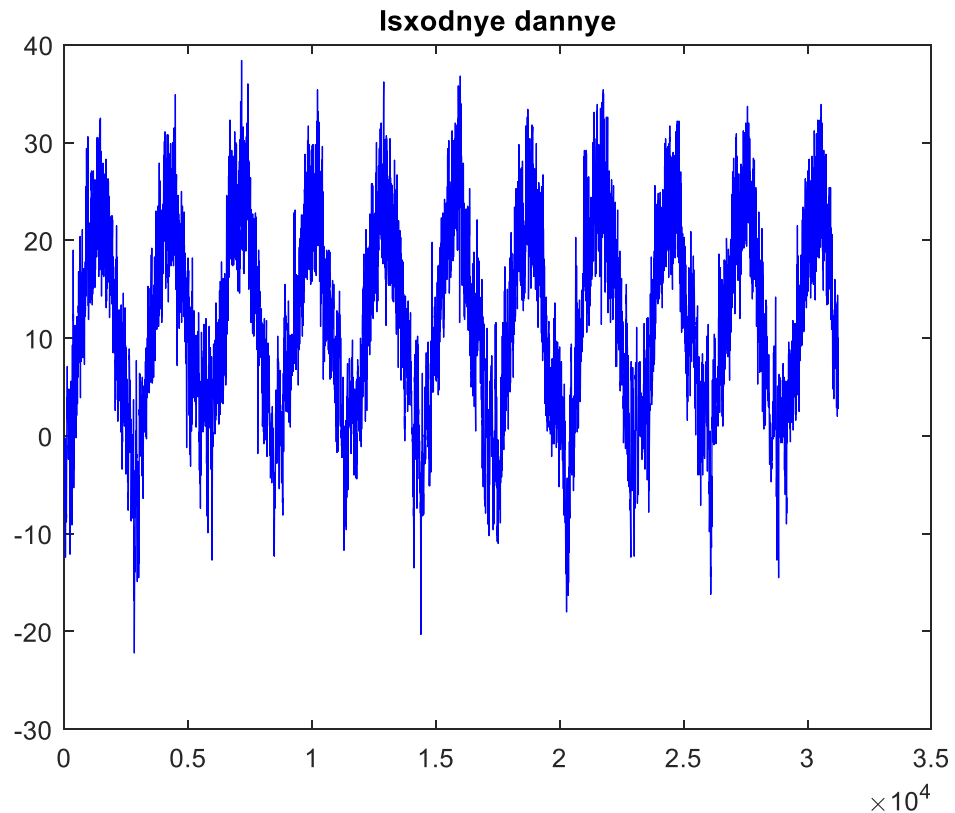


Рисунок 3.5 – Графік зміни температури атмосфери побудований на ґрунті числового ряду (рис. 3.4) за період з 2005 по 2015 роки

3.2 Прикладний аналіз даних

Часовий ряд – це послідовність реєстрованого сигналу, розташована в хронологічній послідовності, обмірювана в певні моменти часу. Такий ряд, ще його називають рядом динаміки, будується в тому випадку, коли неможливо описати динамічний процес рівнянням [4]. Окремі спостереження x_i , $i=1, 2, \dots, N$ (де N – число спостережень) називаються рівнями ряду, індекс i указує на момент часу, у який виконувалось спостереження. Отже на відміну від просторових даних, значення x_i розглядаються як реалізація деякого випадкового процесу (випадковим процесом у загальному випадку називається функція, значення якої при кожному значенні i є випадковими величинами). Рівні часового ряду, як правило, не є статистично незалежними і однаково розподіленими випадковими величинами, тобто для них не

виконані основні припущення класичної моделі регресійного аналізу. На рис. 3.6 наведено приклад часового ряду, який відбиває річний хід температури поверхні океану.

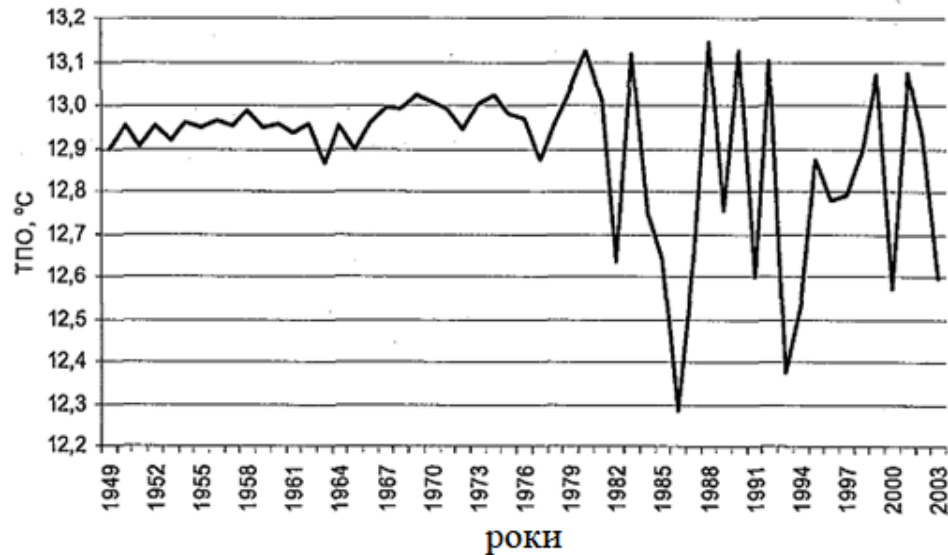


Рисунок 3.6 – Часовий ряд, що відбиває річний хід температури поверхні океану

Прогнозування поведінки, наприклад, метеорологічних величин, має сенс тільки в рамках імовірнісних категорій. Інакше кажучи, для очікуваних подій можуть бути зазначені лише ймовірності їхнього настання, а щодо значень тих або інших величин доводиться обмежуватися законами їхнього розподілу або інших імовірнісних характеристик. На практиці при аналізі часових рядів їм приписують властивість ергодичності засновану на припущенні про те, що єдина реалізація випадкової функції достатньої тривалості є достатнім дослідним матеріалом для одержання її статистичних характеристик.

При обробці часових рядів до вихідних даних пред'являється ряд вимог: однорідність даних, порівнянність і повнота даних, припущення про тип їхнього розподілу і т.д. Деякі методи аналізу і прогнозування висувають тверді вимоги до довжини ряду, тому іноді замість річних даних бажано брати поквартальні, помісячні або щоденні. Але, безумовно, питання про

вибір інтервалу часу між рівнями ряду повинен вирішуватися, виходячи із цілей кожного конкретного дослідження. Так, наприклад, для успішного вивчення сезонних коливань на базі місячних і кварталних даних бажано мати інформацію не менше ніж за 3 роки. При використанні методів регресійного аналізу варто брати часові ряди, довжина яких в 5...6 разів перевищує кількість незалежних змінних.

Для аналізу динаміки явища або процесу необхідно, щоб інформація була повна, тобто часові ряди не повинні мати пропущених значень, які можуть розумітися як недоліком при зборі інформації, так і змінами, що відбулися, у системі звітності.

Рівні часових рядів можуть містити аномальні значення („викиди”), поява яких часто буває викликаною помилками реєстрації інформації. Виявлення таких значень, заміна їх істинними або розрахунковими є необхідними етапами первинної обробки даних. Однак якщо аномальні значення відбивають реальний розвиток процесу, то при побудові моделей вони замінюються розрахунковими, що й ураховується при обчисленні можливих величин відхилень фактичних даних від отриманих.

Метеорологічне забезпечення господарської діяльності базується на аналізі та прогнозі погоди. Для аналізу метеорологічного стану використовуються результати вимірів, виконуваних за допомогою різних вимірювальних систем наземного базування. У поточний час ефективність метеорологічного забезпечення багато в чому залежить від ступеня оснащення сучасним метеорологічним устаткуванням і засобами автоматизації. Сучасні автоматичні метеорологічні станції (АМС) можуть вимірювати метеорологічні величини з високою часовою частотою без участі спостерігача. Це відкриває можливості для всебічного аналізу часової структури метеорологічних часових рядів.

Одержувана від автоматичних метеорологічних станцій загального і спеціального призначення метеорологічна інформація звичайно являє собою сукупність синхронізованих часових рядів метеорологічних величин. Тому

паралельно з розвитком систем виміру вдосконалювався і математичний апарат, використовуваний для аналізу часових рядів, одержуваних від АМС. Аналіз часових рядів – це сукупність математико-статистичних методів аналізу, призначених для виявлення структури часових рядів і для їхнього прогнозування.

Залежно від властивостей різних вибірок статистичного ряду часові ряди прийнято розділяти на наступні:

- стаціонарні часові ряди;
- нестаціонарні часові ряди.

Вибір стратегії та методів обробки і аналізу часових рядів, безумовно, залежить від кінцевої мети дослідника. Процедура обробки сигналу в основному містить у собі перевірку наявності тренда в часовому ряді, виявлення аномальних спостережень, згладжування часових рядів. Головним завданням при цьому є одержання повних, однорідних, коректних даних. Однак, як правило, першим етапом є оцінка тренда часового ряду.

Часовий ряд (ряд динаміки) може розділятися на три компоненти:

$$Y(t) = f(t) + g(t) + \xi(t), \quad (3.1)$$

де $f(t)$ – плавно змінювана компонента, обумовлена довгостроковою тенденцією (трендом) зміни ряду ознак, може бути детермінованою компонентою, що представляє собою деяку аналітичну функцію, яка виражає тенденцію в ряді; $g(t)$ – періодична, сезонна або квазіперіодична компонента, яка відбиває повторюваність процесів на певних проміжках часу; $\xi(t)$ – випадкова компонента, що містить вплив інших факторів, механізм якого (впливу) схований від спостерігача, типу „білий шум”.

Трендова компонента часових рядів звичайно не відома точно, а, як і ряд у цілому, є випадковою величиною, але її зміна з деяких апріорних суджень часто може бути якісно описана аналітично.

Однак часто неможливо вказати підходящу параметричну криву для

апроксимації ряду на всій його довжині. Для виділення тренда в цьому випадку використовують різні непараметричні методи аналізу часових рядів, такі як, згладжування ковзними середніми або ковзними медіанами, частотну фільтрацію і т.п. На відміну від параметричних методів виділення тренда, ці методи придатні лише для осереднення значень ряду по точках деякої околиці й не можуть використовуватись для прогнозування (екстраполяції) динамічних рядів, оскільки не дають у явному вигляді розрахункового рівняння детермінованої компоненти $f(t)$. Однак одержання досить гладкої траєкторії дає можливість візуально оцінити наявність тенденції в умовах сильної зашумленості, а також виділити ряд залишків $y(t)=x(t)-f(t)$, як випадкову компоненту часової послідовності, якщо кінцевою метою дослідження є побудова моделей авторегресії для прогнозування.

Виконаємо оцінювання тренду ряду за допомогою вейвлетного аналізу. При цьому будемо застосовувати різні вейвлети і з різною довжиною (рис. 3.7–3.10).

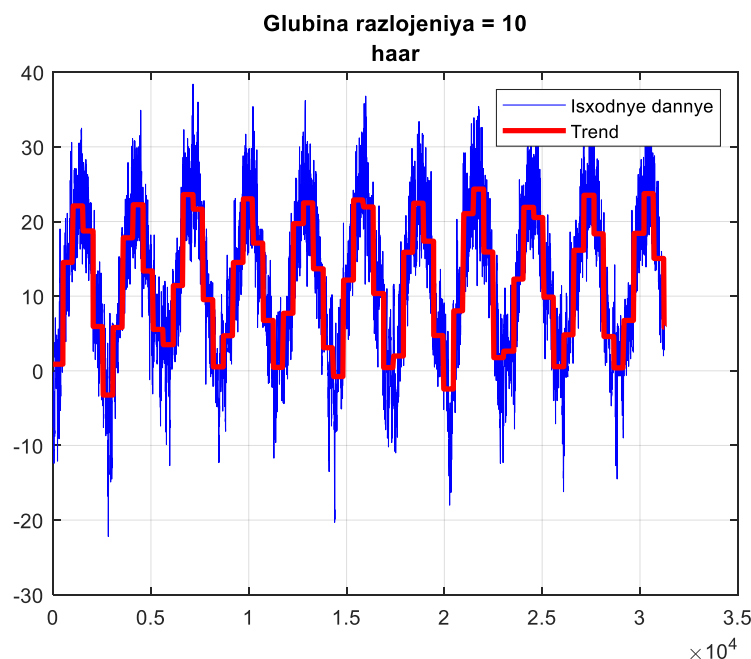


Рисунок 3.7 – Тренд часового ряду при використанні вейвлета Хаара з глибиною розкладання дорівнюваною 10

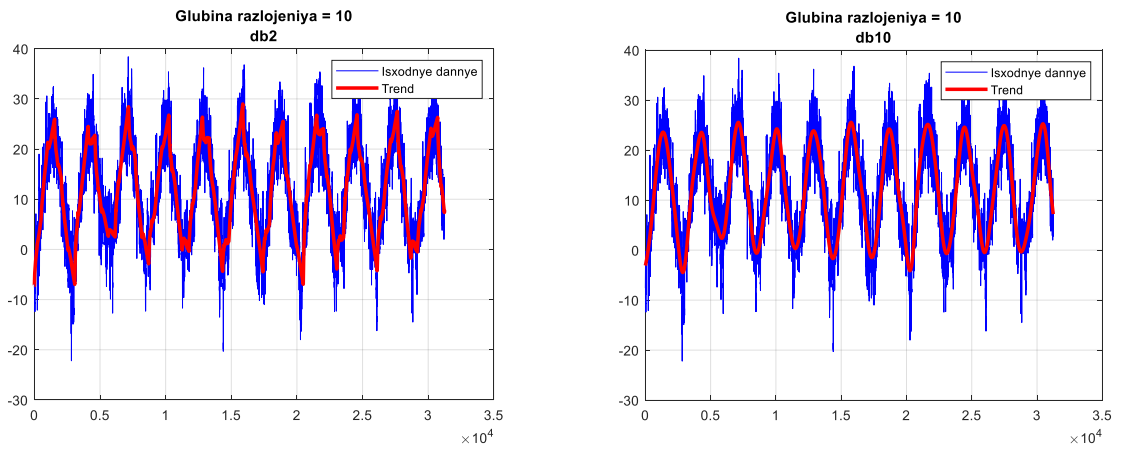


Рисунок 3.8 – Тренд часового ряду при використанні вейвлета Добеші з довжиною дорівнюваною 2 (ліворуч) і 10 (праворуч) та з глибиною розкладання дорівнюваною 10

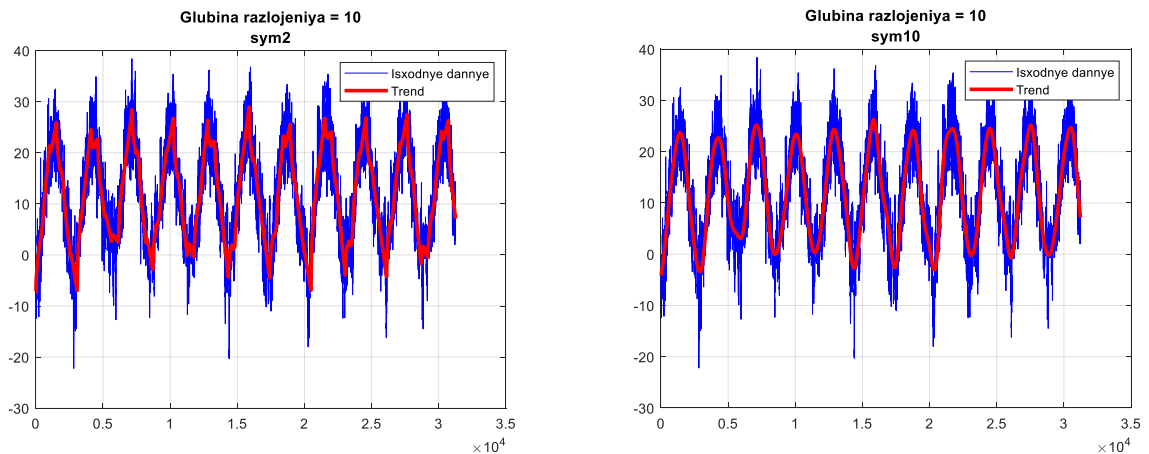


Рисунок 3.9 – Тренд часового ряду при використанні симетричного вейвлета з довжиною дорівнюваною 2 (ліворуч) і 10 (праворуч) та з глибиною розкладання дорівнюваною 10

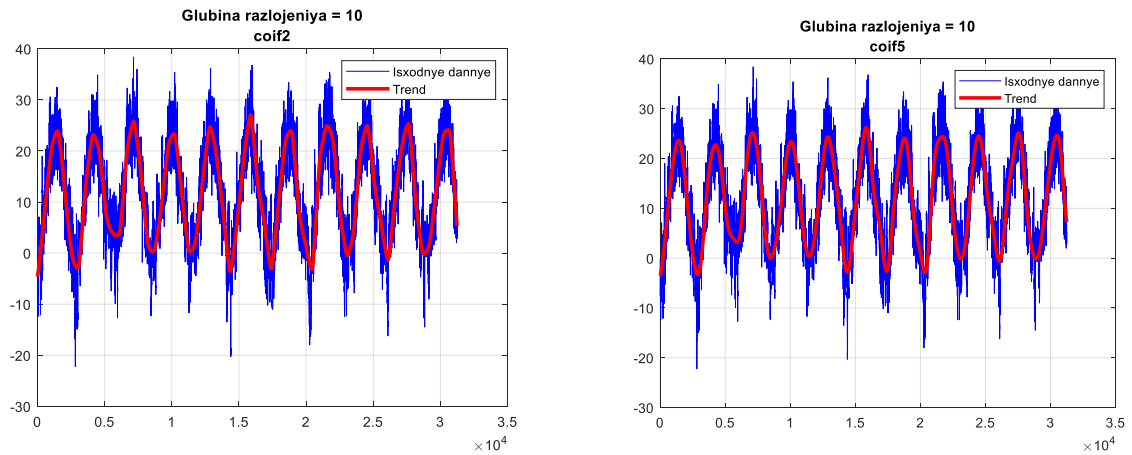


Рисунок 3.10 – Тренд часового ряду при використанні вейвлета койфлет з довжиною дорівнюваною 2 (ліворуч) і 10 (праворуч) та з глибиною розкладання дорівнюваною 10

Аналіз одержаних трендів (рис. 3.7–3.10) виявив наступне:

- застосування вейвлета типу Хаара небажано з-за його форми, він є незграбним, тому тренд має незграбний вигляд, вейвлет має бути гладкий,
- мала довжина гладких вейвлетів, використовуваних для розкладання, також надає трендові незграбність, що надасть труднощів при проведенні апроксимації тренду,
- за візуальною оцінкою найкращим є тренд, одержаний при використанні вейвлета Добеші довжиною 10.

Потребує оцінювання якості одержуваного тренду в залежності від глибини розкладання ряду температур за визначеним вейвлетом.

Тому для вейвлета Добеші з довжиною 10 проведемо аналіз якості побудови тренду від глибини розкладання (рис. 3.11–3.13).

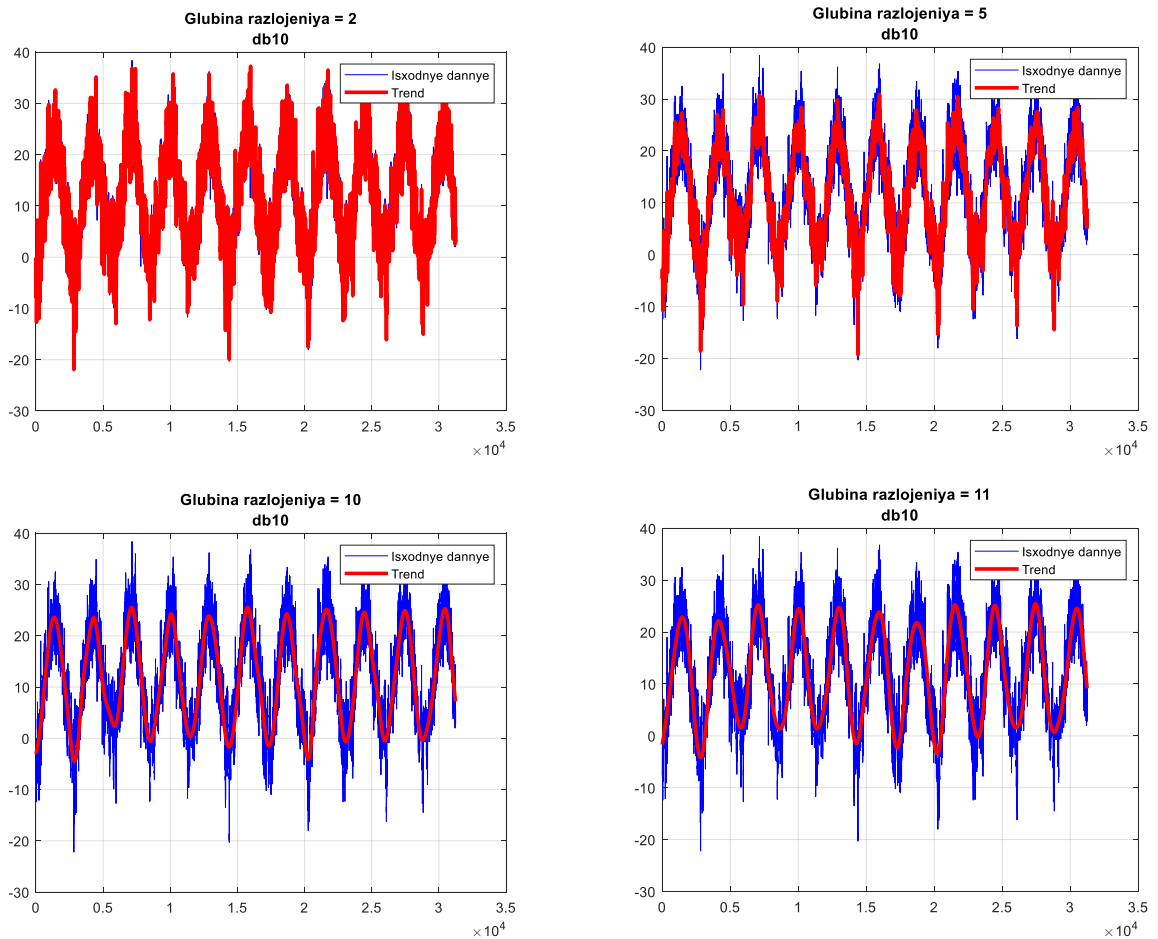


Рисунок 3.11 – Тренд часового ряда при використанні вейвлета Добеші з довжиною дорівнюваною 10 та з глибиною розкладання дорівнюваною 2, 5,

10, 11

Аналіз одержаних трендів (рис. 3.11) виявив наступне:

- мала глибина розкладання приводить до того, що тренд практично повторює вихідні дані, що добре видно на лівому верхньому рисунку 3.11,
- збільшення глибини розкладання ряду до певного рівня дає змогу одержати нормальний тренд ряду, який можна застосовувати для подальшої обробки, тобто вейвлетні коефіцієнти добре відбивають хід тренду ряду.

Подальше збільшення глибини розкладання дає наступний результат (рис. 3.12).

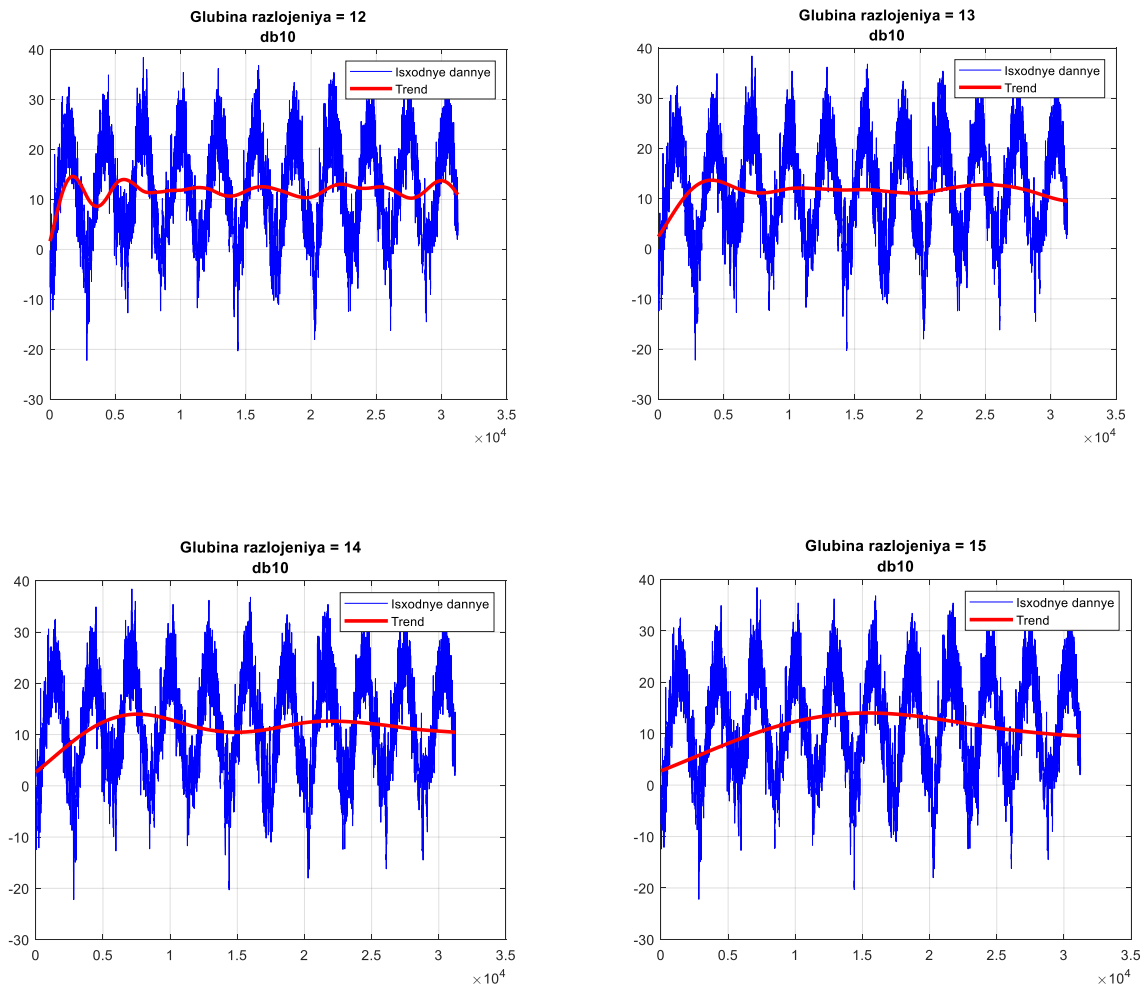


Рисунок 3.12 – Тренд часового ряду при використанні вейвлета Добеші з довжиною дорівнюваною 10 та з глибиною розкладання дорівнюваною 12, 13, 14, 15

Аналіз одержаних трендів (рис. 3.12) виявив наступне:

- збільшення глибини розкладання ряду приводить до зменшення значень коефіцієнтів, які є апроксимуючими, і на деякому рівні розкладання хід тренду все більше відбиває найбільш загальну зміну вихідного ряду (рис. 3.12 праворуч знизу).

Подальше збільшення глибини розкладання дає наступний результат (рис. 3.13).

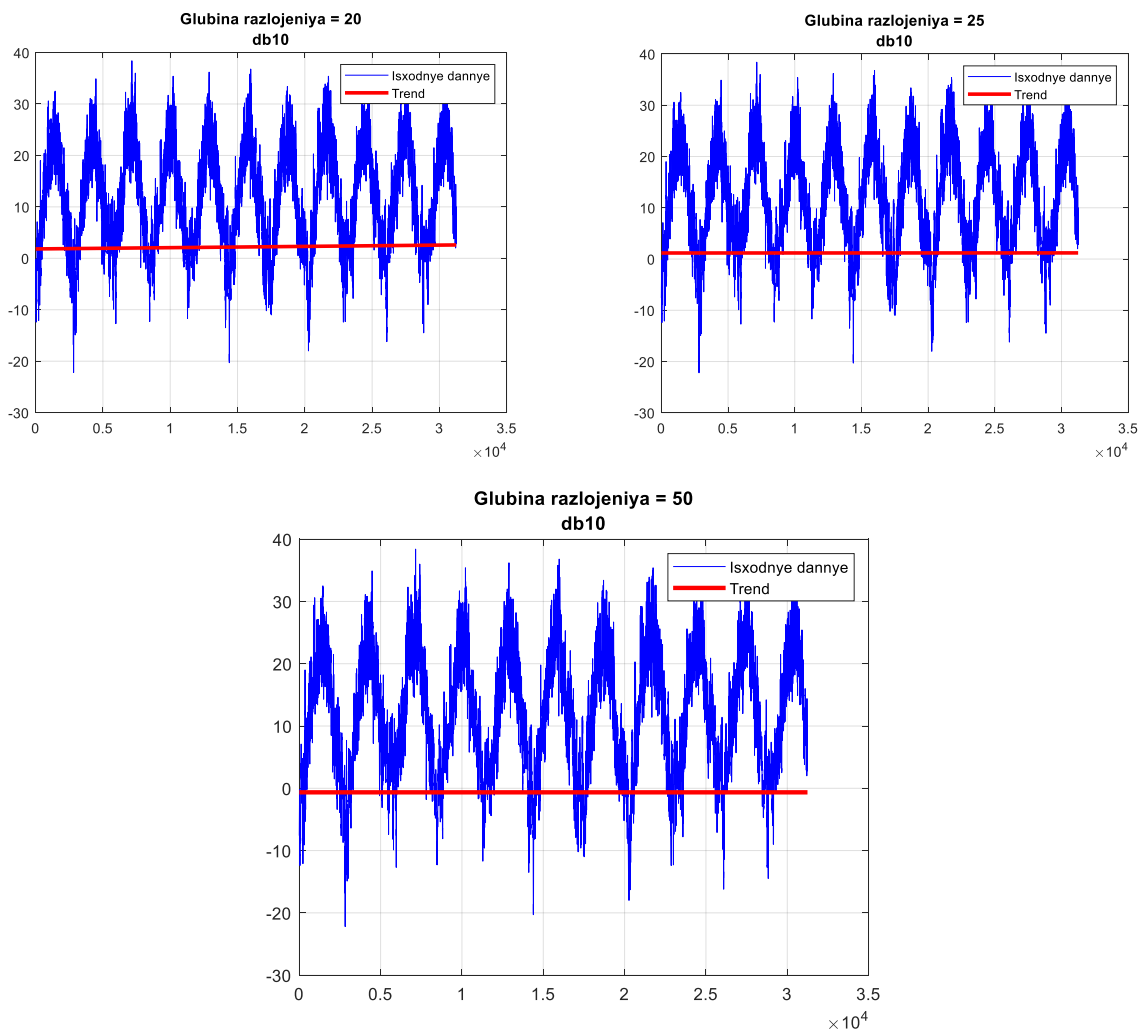


Рисунок 3.13 – Тренд часового ряду при використанні вейвлета Добеші з довжиною дорівнюваною 10 та з глибиною розкладання дорівнюваною 20, 25, 50

Аналіз одержаних трендів (рис. 3.13) виявив наступне:

- подальше збільшення глибини вейвлетного розкладання ряду приводить до того, що коефіцієнти розкладання, які є апроксимуючими, наближуються до нуля.

Коди програми системи комп'ютерної математики за якими виконувалось моделювання та дослідження наведені нижче:


```

T=(dlmread('IsxDataT.txt'))'; % чтение данных (с 06.11.2015 по
01.02.2005)
T1=flipdim(T,2); % разворот данных (с 01.02.2005 по 06.11.2015)
s=length(T1);
figure(1); plot(T1,'-b'); title({'Isxodnye dannye'});

wname='db10'; %haar, db, sym, coif
level=50;
[C,L]=wavedec(T1,level,wname);
Trendveivlet=wrcoef('a',C,L,wname,level-1);
figure(2); plot(1:s,T1,'b'); grid on; hold on;
hndl=plot(1:s,Trendveivlet,'r'); grid on;
set(hndl,'LineWidth',2.5);
set(hndl,'MarkerSize',2.5);
legend({'Isxodnye dannye','Trend'});
title({'Glubina razlojениya = 50',wname});

```

3.3 Спектральний аналіз даних

Спектральний аналіз – чутливий метод дослідження, він широко застосовується в аналітичній хімії, астрофізиці, металургії, машинобудуванні, геологічній розвідці, археології та інших галузях науки.

Спектральний аналіз – це:

фізична енциклопедія – фізичні методи якісного та кількісного визначення складу речовини, оснований на одержанні й дослідженні його спектрів;

велика політехнічна енциклопедія – фізичні методи якісного й кількісного визначення хімічного складу будь-яких речовин на основі одержання та дослідження їхнього оптичного спектра. Залежно від характеру використовуваних спектрів розрізняють такі їхні види: випромінювання (емісійний спектральний аналіз), поглинання (абсорбційний спектральний аналіз), комбінаційного розсіювання світла, люмінесценції, рентгенівський та ін. Спектральний аналіз відрізняється високою чутливістю, точністю і швидкістю одержання результатів. Його широко використовують у хімії, металургії, машинобудуванні, геологічній розвідці й ін. галузях науки і техніки. За допомогою спектрального аналізу можна визначити температуру, щільність і масу небесних тіл, швидкості руху космічних об'єктів, відстані до

зірок і вік останніх;

економіко-математичний словник – математико-статистичний метод аналізу часових рядів, при якому ряд розглядається як складна сукупність, суміш гармонійних коливань, що накладаються один на одного. При цьому основна увага приділяється частоті коливань; використовується, зокрема, апарат тригонометричних функцій, розкладання рядів, аналіз автокореляцій. Спектральний аналіз застосовується при вивченні коливань ділової активності, коректуванні сезонних коливань для більше наочного подання тренда;

геологічний словник – метод визначення хімічного складу речовин, оснований на використанні спектрів електромагнітного випромінювання, поглинання, відбиття або люмінесценції;

велика медична енциклопедія – один з методів аналізу, у якому використовуються спектри, що дають ті або інші тіла при їхньому накалюванні або при пропущенні крізь розчини променів, які дають суцільний спектр;

великий енциклопедичний словник – фізичний метод якісного й кількісного визначення складу речовини, проведеного за його оптичними спектрами. Розрізняють атомний і молекулярний спектральний аналіз, емісійний (за спектрами випромінювання) і абсорбційний (за спектрами поглинання). У якісному спектральному аналізі отриманий спектр інтерпретують за допомогою таблиць і атласів спектрів елементів та індивідуальних сполук; у кількісному спектральному аналізі визначають вміст досліджуваної речовини за відносною або абсолютною інтенсивністю ліній або смуг у спектрах. Застосовується в промисловості, сільському господарстві, геології та ін.;

велика радянська енциклопедія – фізичний метод якісного та кількісного визначення атомного і молекулярного складу речовини, заснований на дослідженні його спектрів. Фізична основа спектрального аналізу – спектроскопія атомів і молекул. Його класифікують за цілями

аналізу й типами спектрів. Атомний спектральний аналіз визначає елементний склад зразка за атомними (іонними) спектрами випромінювання і поглинання, молекулярний спектральний аналіз – молекулярний склад речовин за молекулярними спектрами поглинання, люмінесценції та комбінаційного розсіювання світла. Емісійний спектральний аналіз роблять за спектрами випромінювання атомів, іонів і молекул, збудженими різними джерелами електромагнітного випромінювання в діапазоні від γ -випромінювання до мікрохвильового. Абсорбційний спектральний аналіз здійснюють за спектрами поглинання електромагнітного випромінювання аналізованими об'єктами (атомами, молекулами, іонами речовини, які перебувають в різних агрегатних станах).

У підсумку коротко спектральний аналіз можна визначити, як сукупність методів якісного та кількісного визначення складу об'єкта, оснований на вивченні спектрів взаємодії матерії з випромінюванням, включаючи спектри електромагнітного випромінювання, акустичних хвиль, розподілу за масами і енергіями елементарних частинок та ін.

У теорії обробки даних спектральний аналіз означає аналіз розподілу енергії сигналу (наприклад, звукового) за частотами, хвильовими числами і т.п. При обробці даних у багатьох випадках доводиться вимірювати спектри. Наприклад, при рішенні завдань розпізнавання мови спектральний аналіз, як правило, передусє подальшій спеціальній обробці. При стиску даних у багатьох випадках спектральний аналіз є основною операцією. У гідроакустичних системах для виявлення об'єктів доводиться проводити складний спектральний аналіз. У радіолокаційних системах для одержання інформації про швидкості об'єктів також необхідно проводити спектральні виміри.

Варто мати на увазі, що поняття „спектральний аналіз” містить у собі велику кількість різних вимірів. У широкому сенсі його можна визначити, як вимір, що дає точні або наближені значення z -перетворень дискретного сигналу для заданих значень z . Складності в теорії спектрального аналізу

виникають у силу тієї обставини, що на практиці всі спектральні виміри проводяться на кінцевих часових інтервалах, довжина яких визначається інтуїтивно або на основі накопиченого досвіду. Наприклад, спектр мовного сигналу дуже сильно залежить від часу, змінюючись зі швидкістю зміни параметрів мовного тракту (до 10 разів за секунду). Незважаючи на цю обставину, у багатьох прикладних завданнях короточасний спектр мовного сигналу є однією з найбільш важливих характеристик.

В метеорології спектральний аналіз також уявляється дуже корисним. Він дозволяє визначити процеси з різною періодичністю і одержати дані про енергетику цих процесів.

Проведемо спектральний аналіз вихідного ряду дослідження, розглянутого раніше, який наведено на рис. 3.14.

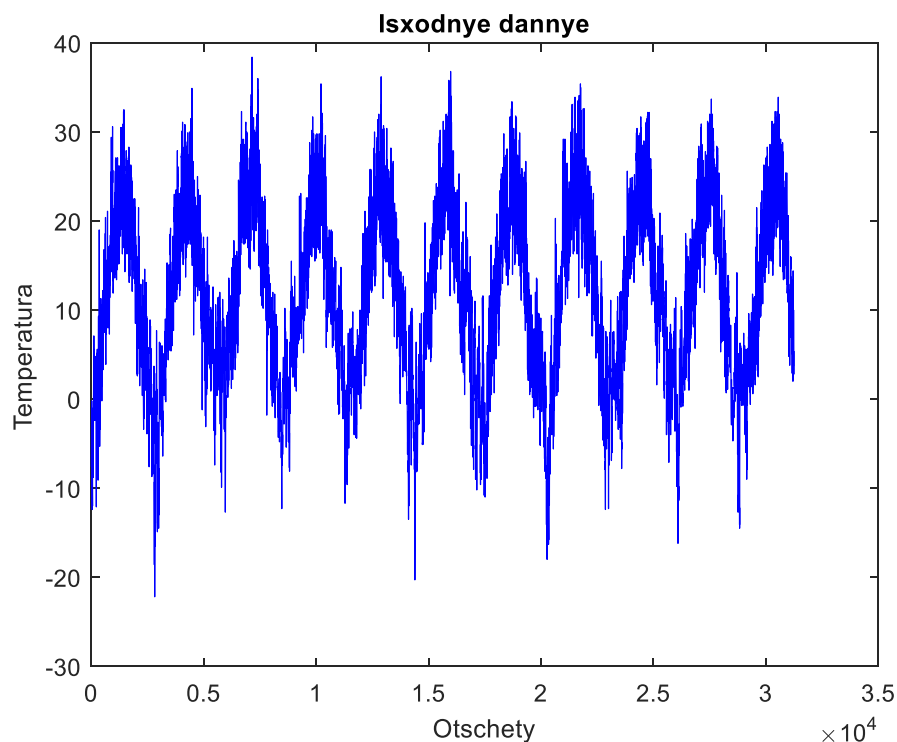


Рисунок 3.14 – Вихідний ряд температур

Для цього виконаємо дискретне перетворення Фур'є ряду і помножимо одержаний спектр на комплексно сполучений йому спектр, після чого, для

отримання можливості порівнювати енергію спектрів, пронормуємо результат за кількістю відліків.

Як результат одержуємо енергетичний спектр ряду. Графічно він поданий на рис. 3.15.

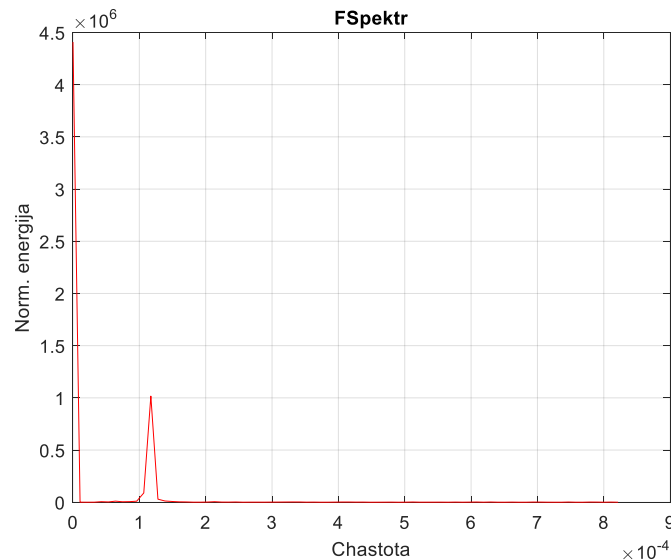


Рисунок 3.15 – Енергетичний спектр досліджуваного ряду температур

Аналіз енергетичного спектру ряду (рис. 3.15) виявляє наступні особливості:

- головною його спектральною компонентою є компонента з нульовою частотою, тобто стала складова. На рис. 3.14 добре видно температурну підставку, навколо якої здійснюються сезонні та добові коливання температури, що і відбилося в спектрі,
- друга за енергією компонента спектру має частоту приблизно $1,14 \cdot 10^{-3}$ год⁻¹. Її періодичність є зворотною величиною до частоти і дорівнює приблизно 8750 годин, що дорівнює 365 добам. Таким чином ця компонента є компонентою річних (сезонних) коливань температури. За енергією вона у 4,5 рази менше за сталу складову.
- з-за незначної енергетики добових коливань температури на цьому

спектрі неможливо оцінити їхню енергетику.

Для оцінювання наявності і енергії коливань з меншою енергією потрібно провести процедуру центрування ряду і виключення з нього трендової компоненти.

Ці дві операції можуть бути виконані за рахунок спом'янутої раніше операції елімінування тренду. Необхідно побудувати тренд сезонних коливань (рис. 3.16) і провести віднімання з вихідного ряду цього тренду (рис. 3.17).

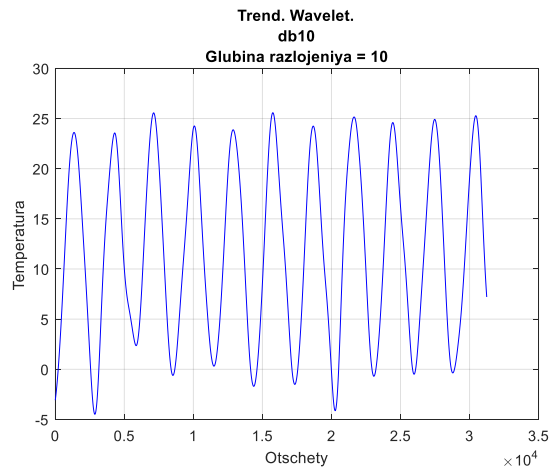


Рисунок 3.16 – Тренд досліджуваного ряду температур

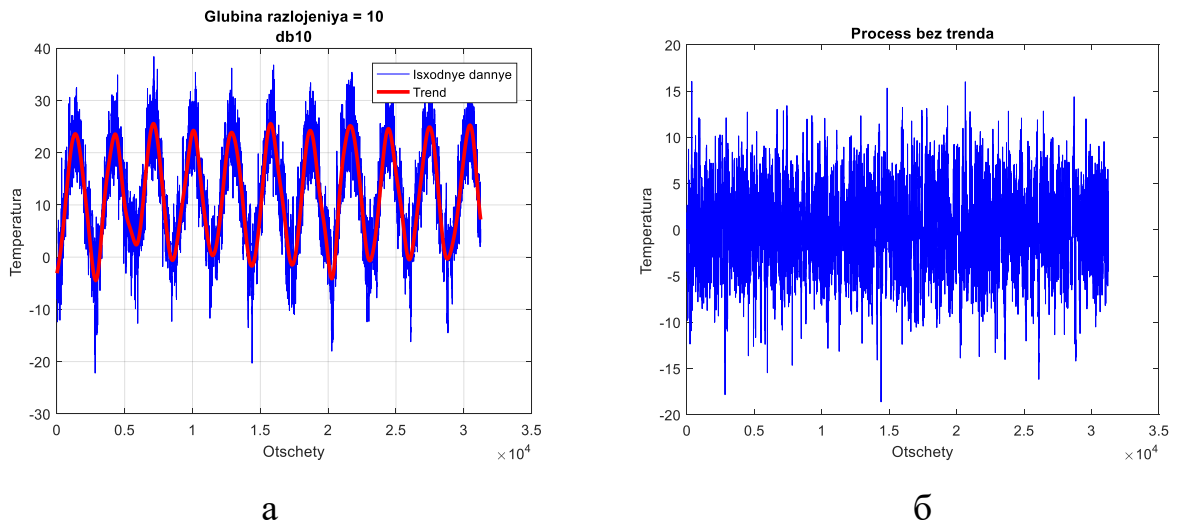


Рисунок 3.17 – Результат віднімання (б) тренду від досліджуваного ряду температур (а)

Аналіз проведеного центрування ряду і виключення з нього тренду (рис. 3.17) виявив наступне:

- побудова тренду сезонних змін ряду за допомогою вейвлетного розкладання є ефективною процедурою, тому що зникає стала складова ряду і ряд стає центрованим, що в подальшому дає можливість проводити спектральний аналіз слабких спектральних компонентів.

Оцінимо спектральний склад досліджуваного ряду для компонентів з малою енергетикою, які відображені на рис. 3.17 б.

Для цього за наведеною раніше процедурою проведемо побудову енергетичного спектру і відобразимо його графічно у повному обсязі відліків (рис. 3.18) та зі збільшенням початкової ділянки спектру (рис. 3.19).

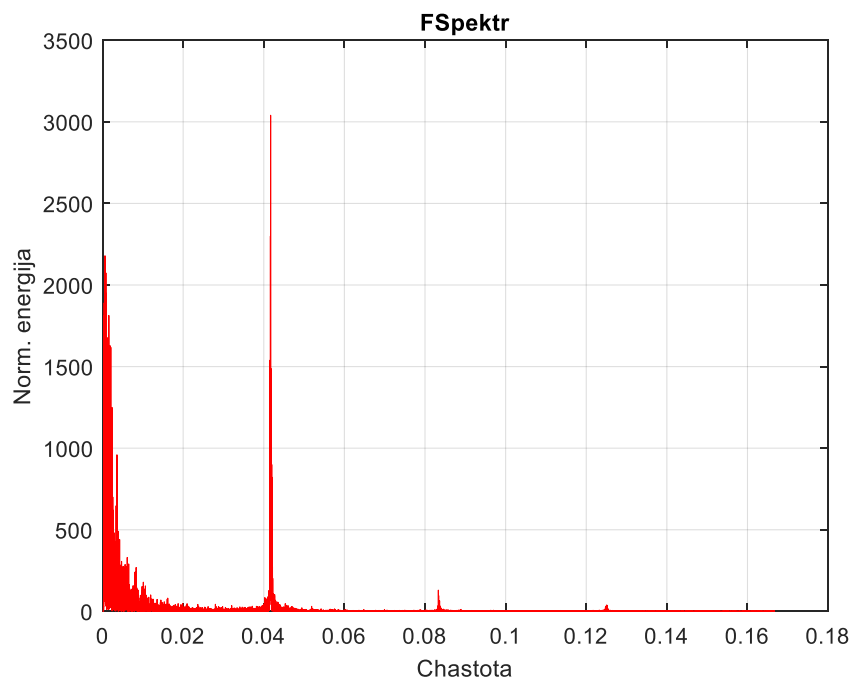
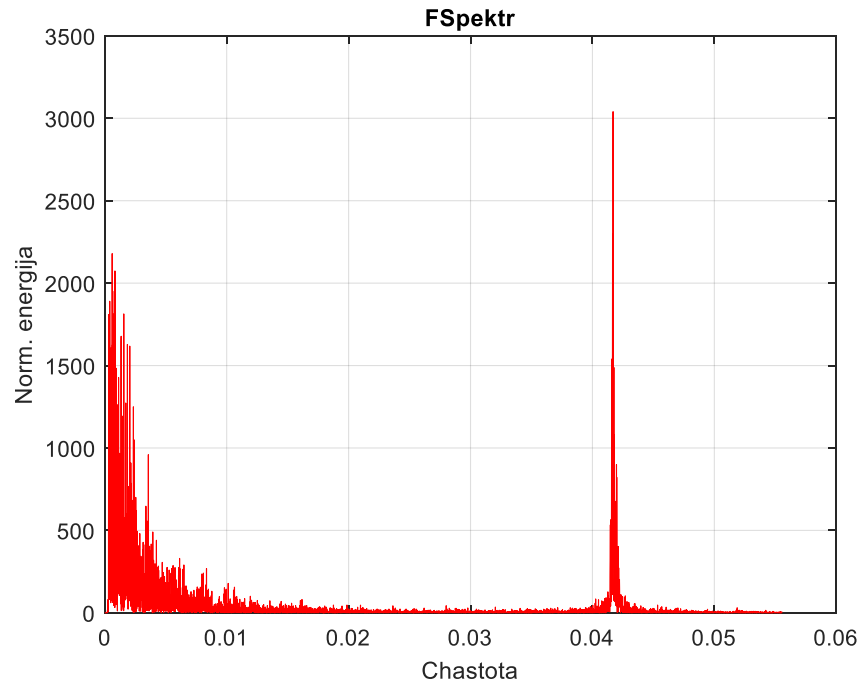
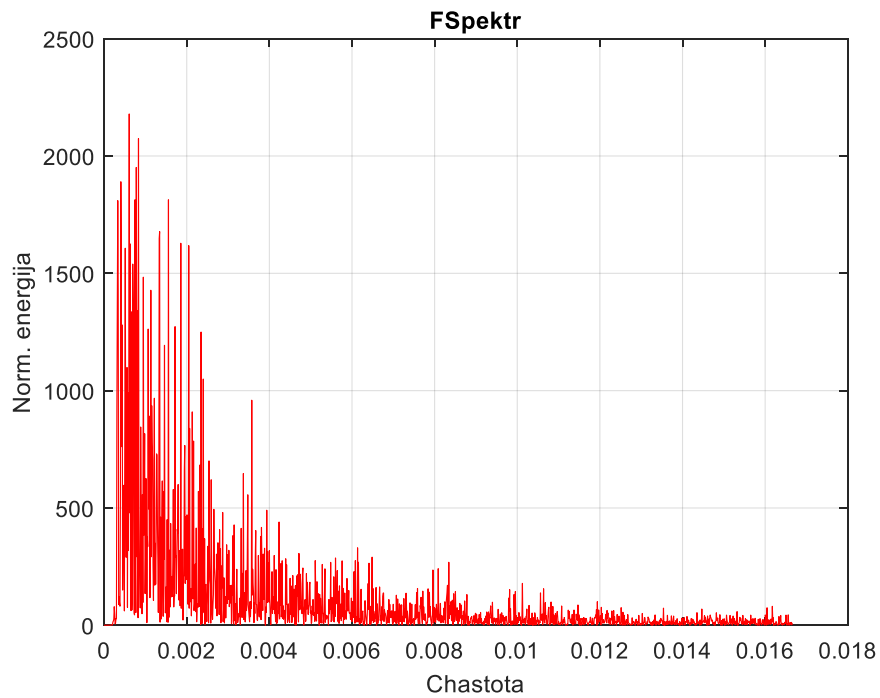


Рисунок 3.18 – Енергетичний спектр досліджуваного ряду температур в повному обсязі (всі відліки) з виключеним трендом



а



б

Рисунок 3.19 – Енергетичний спектр досліджуваного ряду температур з виключеним трендом зі збільшенням початкової ділянки спектру в 3 рази (а) і в 10 разів (б)

Аналіз енергетичного спектру ряду (рис. 3.18, 3.19) виявляє наступні

особливості:

- після елімінування ряду стає можливо постережувати спектральні компоненти, які за енергією на три порядки (тобто в тисячу разів) менше за вихідний ряд,
- на рис. 3.18 постережуються перша за енергією компонента спектру з частотою приблизно $0,041 \text{ год}^{-1}$. Її періодичність є зворотною величиною до частоти і дорівнює приблизно 24 годинам, що дорівнює 1 добі. Таким чином ця компонента є компонентою добових коливань температури. За енергією вона приблизно у 1500 разів менше за сталу складову та в 300 разів менше за складову сезонних коливань.
- значно меншу енергію мають складові з частотою $0,082 \text{ год}^{-1}$ та $0,123 \text{ год}^{-1}$. Це перша і друга гармоніки добових коливань температури. Вони присутні в спектрі з-за того, що обчислювався спектр Фур'є без застосування вікон, як при проведенні фільтрації ряду.
- спектральні компоненти які прилягають до низьких частот відбивають нерегулярні зміни в добових коливаннях температури. Тому енергія кожної з цих компонентів менше за енергію добових коливань.

Зменшимо гармоніки добових коливань, які спостерігаються на спектрі на рис. 3.18.

Для цього здійснимо фільтрацію ряду з виключеним трендом, який поданий на рис. 3.17 б, за допомогою високочастотного фільтра Баттерворта високого порядку для формування амплітудно-частотної характеристики з крутими схилами і з застосуванням вікна Хемінга. Після чого проведемо побудову енергетичного спектру і відобразимо його графічно. Результати цих операцій відображені на рис. 3.20.

Аналіз енергетичного спектру ряду (рис. 3.20) виявляє наступні особливості:

- перша гармоніка добових коливань суттєво зменшилася (в три-чотири рази), а третя гармоніка практично зникла.

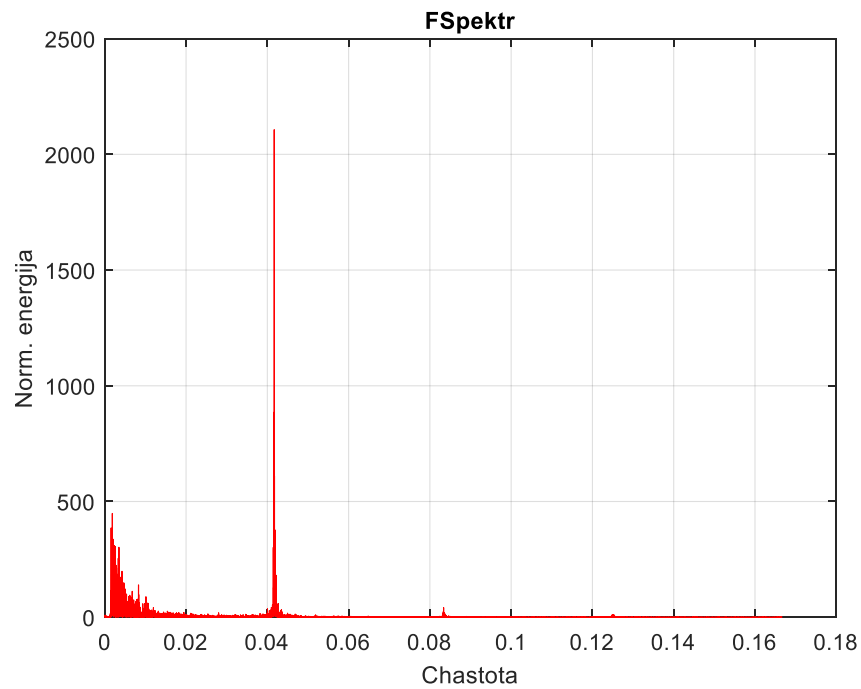


Рисунок 3.20 – Енергетичний спектр досліджуваного ряду температур з виключеним трендом після проведення процедури фільтрації

Коди програми системи комп'ютерної математики за якими виконувалось моделювання та дослідження наведені нижче:

```
T=(dlmread('IsxDataT.txt'))'; % чтение данных (с 06.11.2015 по
01.02.2005)
T1=flip(T,2); % разворот данных (с 01.02.2005 по 06.11.2015)
s=length(T1);
figure(1); plot(T1,'-b'); title({'Isходnye dannye'});
xlabel('Otschety'); ylabel('Temperatura');

diskrt=3; %наблюдения восьмисрочные, дискретность 3 часа
fs=1/(1*diskrt);
zoom=1; %1, 10, 200
okno=s;
razm=okno/(2*zoom);
f=fs*(0:(razm-1))/okno;

sp11=(fft(T1));
sp1=sp11.*conj(sp11)/s;
```

```

figure(2); plot(f,sp1(1:razm),'-r'); grid on;
title('FSpektr'); xlabel('Chastota'); ylabel('Norm. energija');

wname='db10'; %haar, db, sym, coif
level=10;
[C,L]=wavedec(T1,level,wname);
Trendweivlet=wrcoef('a',C,L,wname,level-1);
figure(3); plot(1:s,Trendweivlet,'b'); grid on;
title({'Trend. Wavelet.',wname,'Glubina razlojeniya = 10'});
xlabel('Otschety'); ylabel('Temperatura');
figure(4); plot(1:s,T1,'b'); grid on; hold on;
    hndl=plot(1:s,Trendweivlet,'r'); grid on;
    set(hndl,'LineWidth',2.5);
    set(hndl,'MarkerSize',2.5);
    legend({'Isxodnye dannye','Trend'});
    title({'Glubina razlojeniya = 10',wname});
    xlabel('Otschety'); ylabel('Temperatura');

T2=T1-Trendweivlet;
figure(5); plot(T2,'-b');
title({'Process bez trenda'});
xlabel('Otschety'); ylabel('Temperatura');

sp22=fft(T2);
sp2=sp22.*conj(sp22)/s;
figure(6); plot(f,sp2(1:razm),'-r'); grid on;
title('FSpektr'); xlabel('Chastota'); ylabel('Norm. energija');

w=hamming(s)'; % blackman hann
sv=w.*T2;
[B,A]=butter(9,.01,'high');
y=filter(B,A,sv);
figure(7);
subplot 211; plot(w,'-r'); grid on;
subplot 212; plot(f,y(1:razm),'-r'); grid on;

sp33=fft(y);
sp3=sp33.*conj(sp33)/s;
figure(8); plot(f,sp3(1:razm),'-r'); grid on;
title('FSpektr'); xlabel('Chastota'); ylabel('Norm. energija');

```

4 СПОСІБ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

4.1 Постановка завдання

У ряді країн створені і функціонують мережі радіолокаційного моніторингу атмосфери або метеорологічні радіолокаційні мережі [23-26]. Усі вони створювалися різними способами і на основі відомих вимог, що задавалися замовниками. В 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 радіолокаційний метод моніторингу атмосфери і, з цієї причини, якість моніторингу істотно нижче потенційно можливого.

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

Метою дослідження є розробка способу створення радіолокаційної мережі, який дозволить в найбільшій мірі реалізувати можливості радіолокаційного методу моніторингу атмосфери і підвищити якість моніторингу.

4.2 Аналіз існуючих способів створення радіолокаційних мереж

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 [23]. За такої умови відстань між радіолокаторами може досягати 440 км, що легко можна побачити з рис. 4.1 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. 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.

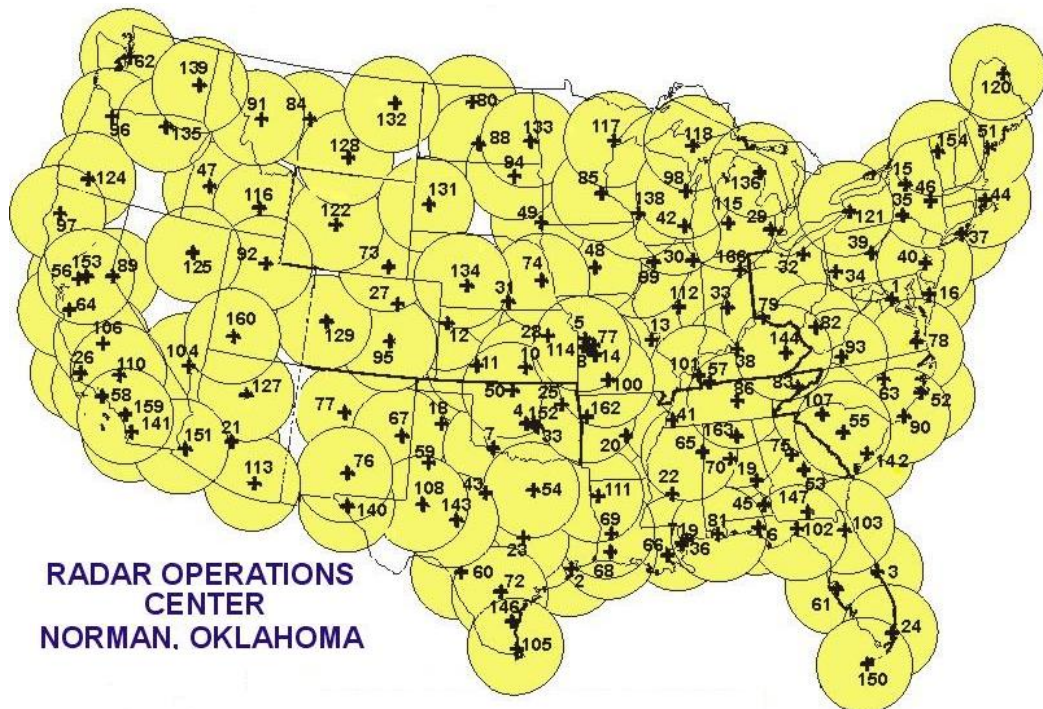


Рисунок 4.1 – Радіолокаційна мережа для моніторингу атмосфери NEXRAD

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 відстанню 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) (рис. 4.2) полягає в тому, що метеорологічні радіолокатори ДМРЛ-С розставлені на поверхні Землі так, що відстань між радіолокаторами дорівнює 300 км [24].

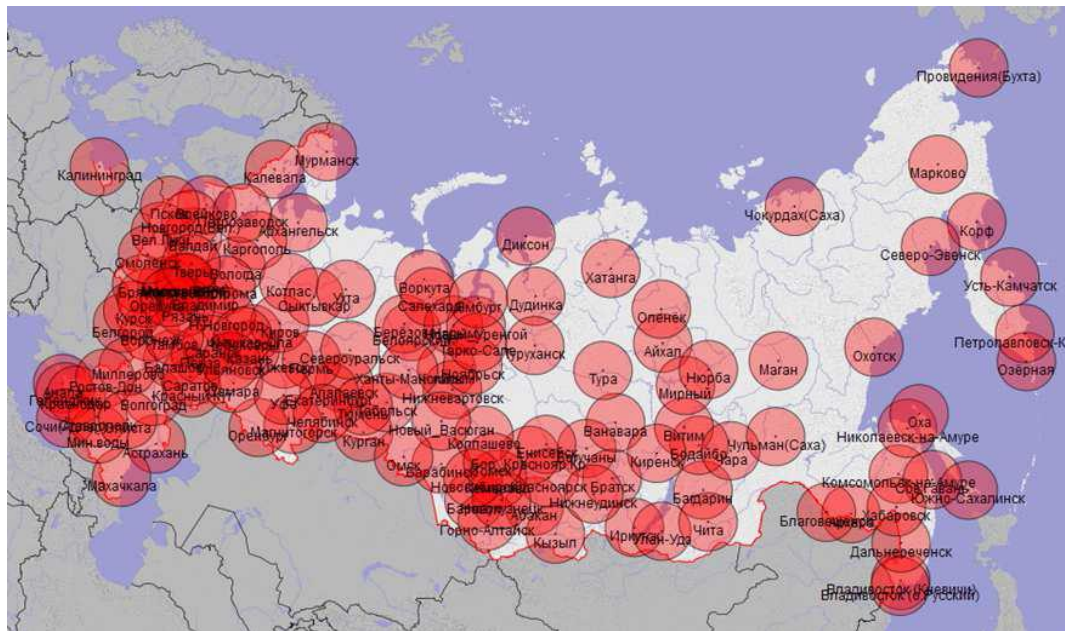


Рисунок 4.2 – Радіолокаційна мережа для моніторингу атмосфери МАРС

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. Наочно побудова мережі МАРС наведена на рис. 4.2, на якому відображено розташування метеорологічних радіолокаторів ДМРЛ-С на 140 позиціях за підсумками виконання двох федеральних цільових програм – "Геофізика" і

"OpВД".

Радіолокатор ДМРЛ-С випромінює модульований складним чином сигнал імпульсною потужністю більше 15 кВт і має дальність дії в режимі виміру відбиваності 250 км. Таким чином, за самим задумом творців мережі з економічних міркувань радіолокаційне поле є осередковим і не покриває простір спостереження навіть при перекритті зон спостереження окремих радіолокаторів.

Спосіб створення міжнародної мережі для моніторингу атмосфери (Західна Європа) (рис. 4.3) забезпечує нижню межу радіолокаційного поля 1,5 км [25].

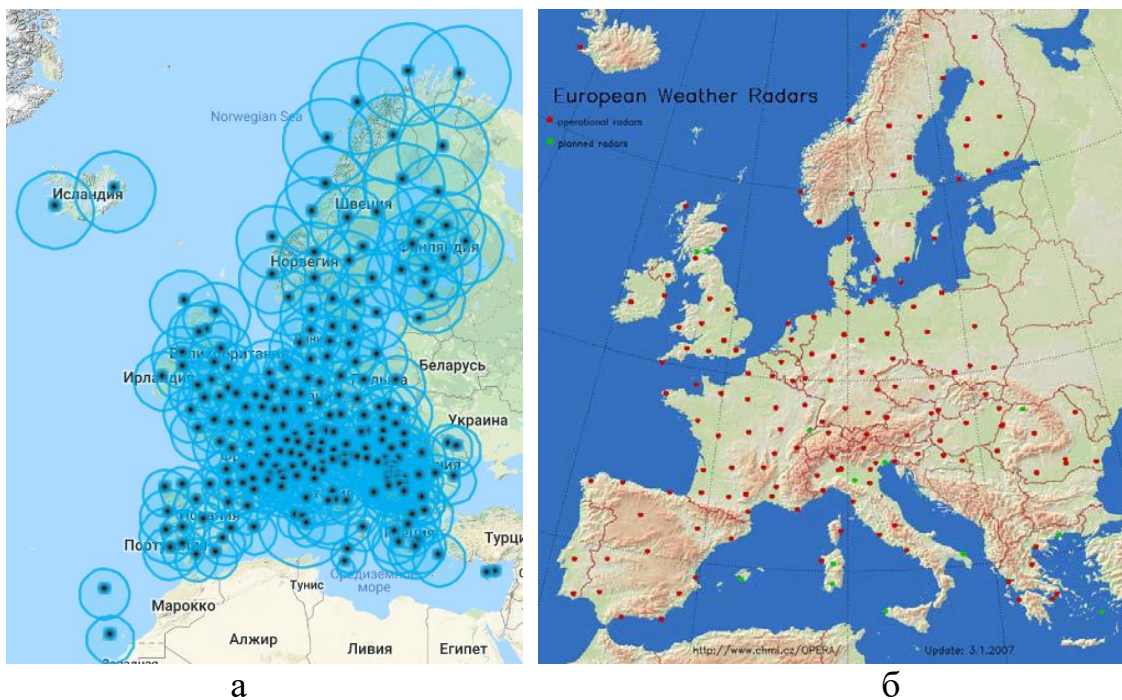


Рисунок 4.3 – Європейська радіолокаційна мережа для моніторингу атмосфери

Цю мережу створено з 229 різних радіолокаторів на основі об'єднання мереж окремих країн, що становлять Євросоюз (рис. 4.3, а), тому вона виявилася дуже різномірною, як по завданнях, так і за складом, оскільки в кожній з країн мережа будувалася на основі різного розуміння пріоритетів [27]. 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. 4.3, б відмічені радіолокатори, що увійшли до програми OPERA). Проте, в проєкті COST-75, присвяченому вдосконаленню європейської метеорологічної радіолокаційної мережі, відзначалося, що створювати мережу треба способом розставляння радіолокаторів на місцевості так, щоб вони утворювали на місцевості трикутну сітку з довжиною сторони рівної 300 км [25, 26]. 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. 4.4, а) полягає в тому, що метеорологічні радіолокатори з дальністю дії 200 км розставлено на поверхні Землі так, щоб здійснити вимір характеристик опадів [26]. На пріоритеті виміру опадів побудована і радіолокаційна мережа Великобританії (рис. 4.4, б) [26, 27].

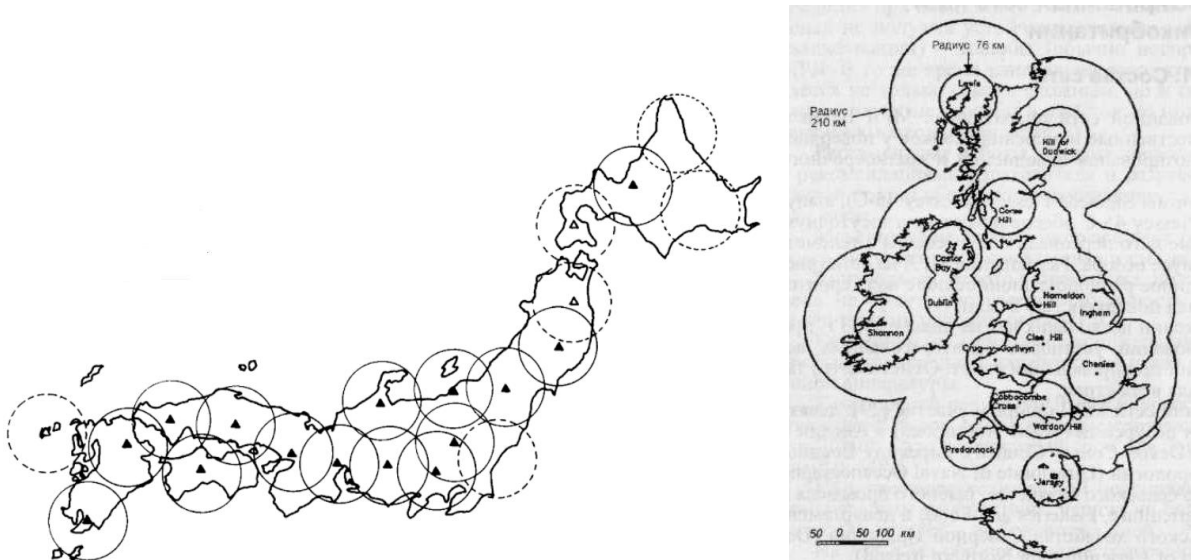


Рисунок 4.4 – Радіолокаційна мережа для моніторингу атмосфери Японії та Великобританії

З подальшого розгляду дві останні метеорологічні радіолокаційні мережі можна виключити, оскільки острівний статус Японії і Великобританії надає їм мережам певну специфіку, яку немає необхідності враховувати для внутрішньоконтинентальних регіонів.

4.3 Створення оптимальної радіолокаційної мережі для гідрометеорологічного моніторингу

Усі наведені вище, окрім двох останніх, способи побудови метеорологічних радіолокаційних мереж були піддані геометричному [28] і системному [29] 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. 4.5, а). Назвемо ці способи узагальнено першим способом побудови мережі.

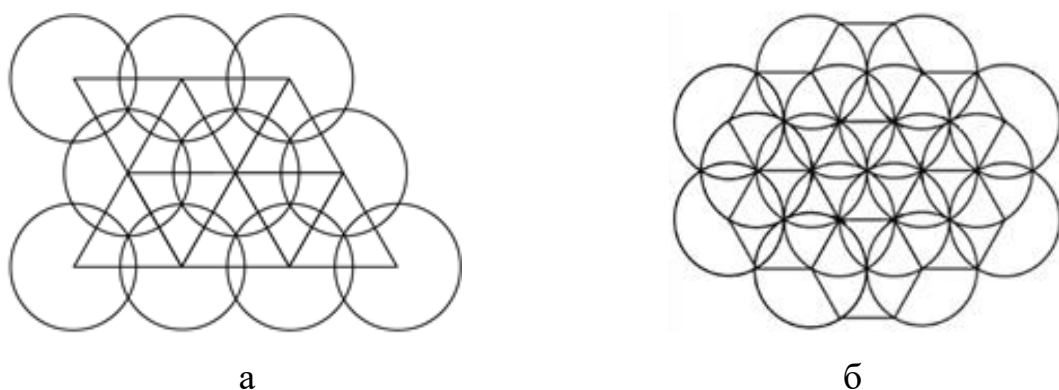


Рисунок 4.5 – Геометричні фігури у вигляді трикутної (а) і шестикутної (б) сітки

Результатом системного аналізу став висновок про те, що саме із-за

розташування радіолокаторів на основі першого способу не повністю реалізуються істотні можливості, які надає радіолокаційний метод 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. 4.5, б). Назвемо його другим способом побудови мережі.

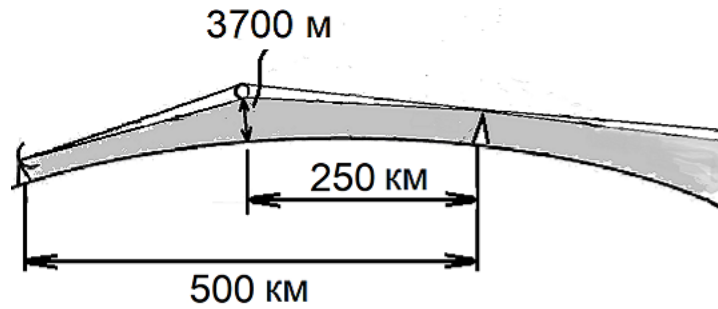
Для виявлення переваг другого способу проведемо порівняльний аналіз обох способів побудови метеорологічних радіолокаційних мереж.

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 зон), витягається інформація з більшої частини простору спостережень. З рис. 4.6, 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.

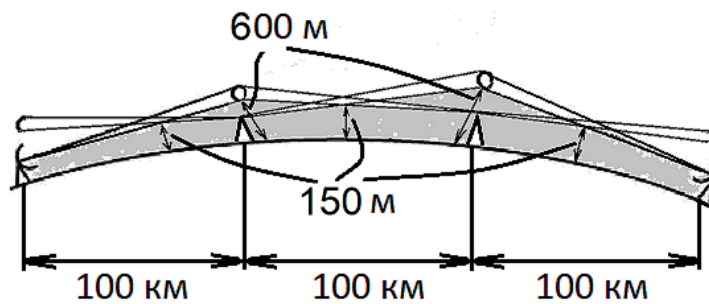
Чисельні значення на рис. 4.6 легко розраховуються на основі відомих з [30] міркувань. Вважаючи, що вказані на рис. 4.6 відстані реалізуються при куті місця антенної системи $\varepsilon = 0^\circ$ (тобто на рівні радіогоризонту), можемо скористатися відомих рівнянням радіогоризонту:

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

де D_{Γ} – горизонтальна відстань 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.



а



б

Рисунок 4.6 – Зменшення відстані між радіолокаторами

Підставивши в (4.1) вказані вище значення відстаней і поклавши $h_a = 0$, набудемо значення висоти нижньої межі суцільного радіолокаційного поля для радіолокаторів, розташованих безпосередньо на поверхні Землі:

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

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) [31], що породжує зони, що не переглядаються, в яких не виявляються об'єкти, процеси і явища. На рис. 4.7 нескладно побачити зменшення мертвої зони за рахунок меншої відстані 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. 4.7), оскільки лінія радіогоризонту радіолокатора 2 віддалятиметься від перешкоди.

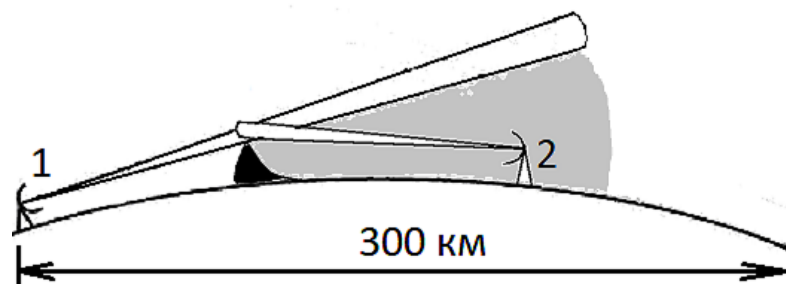


Рисунок 4.7 – Зменшення мертвої зони радіолокаторів

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 [31]. При застосуванні другого способу за рахунок меншого просторового розширення діаграми направленості антени радіолокатора при меншій його дальності дії досягається вища просторова роздільна здатність усередині радіолокаційної мережі (рис. 4.8). Ширина діаграми направленості антени на рис. 4.8 дорівнює 1 градусу.

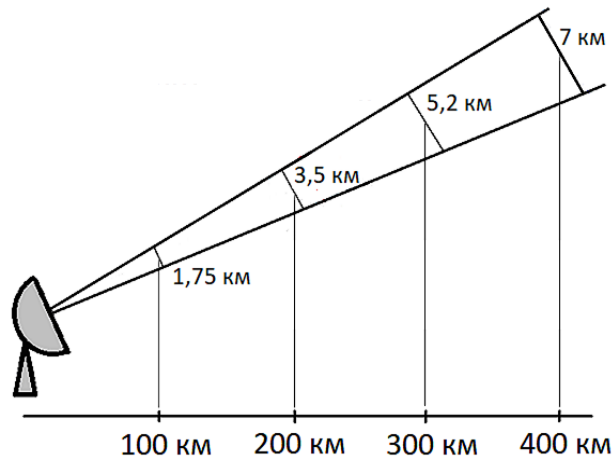


Рисунок 4.8 – Зменшення лінійних розмірів імпульсного об'єму радіолокатора

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, що 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 [32]. На рис. 4.9 проілюстровано скорочення радіолокаційного поля радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери при зменшенні кількості радіолокаторів, наприклад, з 16 до 8 для першого (верхній рядок рисунків) і другого (нижній рядок рисунків) способів побудови мережі. Зліва направо в кожній вертикальній парі рисунків виробляється зменшення числа радіолокаторів на 2 штуки в кожному із способів.

У 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.

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. 4.10). 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. [33].

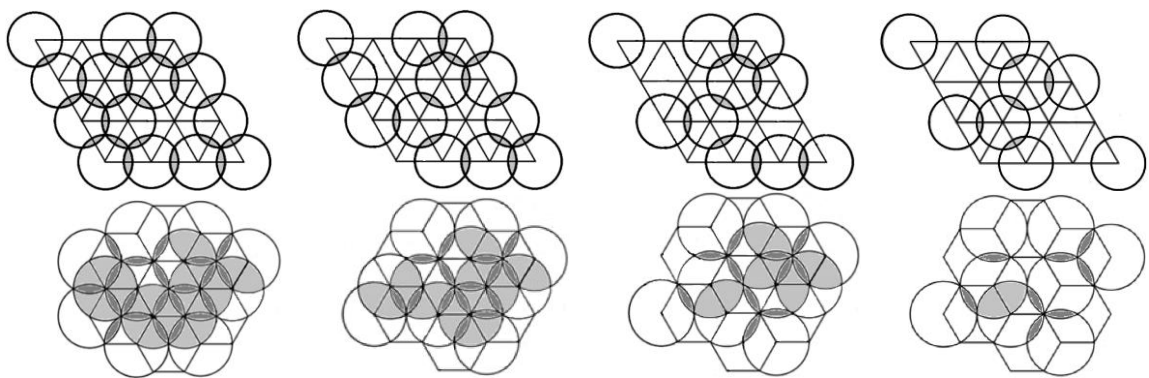


Рисунок 4.9 – Зменшення лінійних розмірів імпульсного об'єму радіолокатора

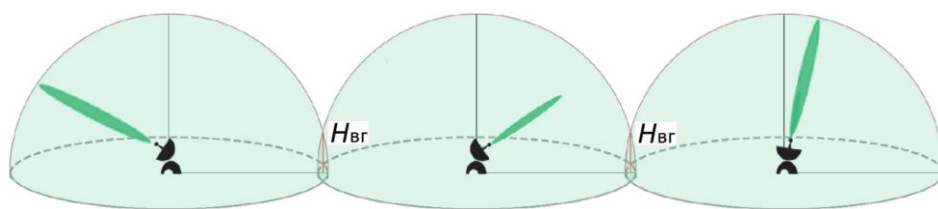


Рисунок 4.10 – Повне сканування зони спостереження радіолокатора

При побудові мережі за другим способом за рахунок відсутності необхідності здійснення кожним з радіолокаторів огляду простору під великими кутами місця (рис. 4.11) 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 $26,6^\circ$ унаслідок 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 $\varepsilon = 0^\circ$ [34]. Рис. 4.12 ілюструють структуру зони спостереження декількох радіолокаторів при обмеженому скануванні простору, при цьому утворюване радіолокаційне поле повністю покриває простір спостереження.

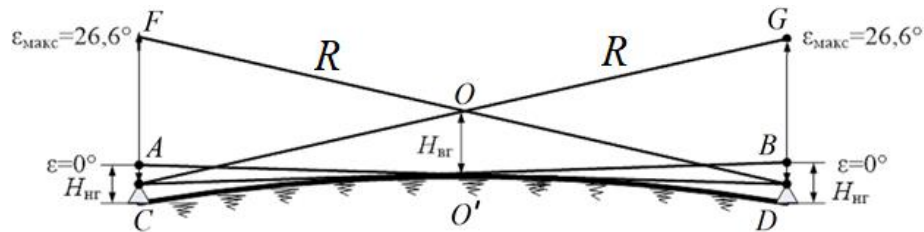


Рисунок 4.11 – Перекриття зон огляду радіолокаторів яке забезпечує покриття простору спостереження

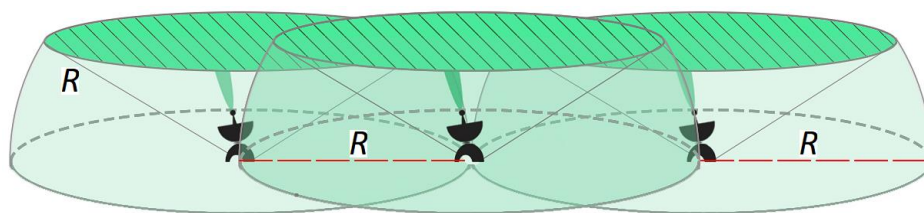


Рисунок 4.12 – Обмежене сканування зони спостереження радіолокатора

При побудові мережі за другим способом дальність дії радіолокаторів зменшена. Значить, в 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 не потребує доказу.

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 зменшені вимоги до системи передачі даних.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІЧНОГО ПЕРЕКРИТТЯ ЗОН СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ НА МІСЦЕВОСТІ З УРАХУВАННЯМ РЕЛЬЄФУ

Оптимізація розміщення радіолокаційних метеорологічних станцій з урахуванням рельєфу – це важлива прикладна задача, оскільки рельєф може впливати на поширення радіолокаційних сигналів та точність спостережень. Щоб оптимізувати розміщення станцій, враховуючи рельєф, слід виконати наступні етапи:

1. Збір та аналіз геоданих – виконання збору даних про рельєф області, включаючи цифрову модель рельєфу (DEM) та інші геодані; аналіз цих даних для визначення особливостей рельєфу: гори, схили, долини, річки та інші перешкоди.

2. Визначення метеорологічних потреб – які саме метеорологічні параметри важливі для реалізації проекту та області спостережень (вітер, опади, температура, вологість тощо).

3. Моделювання поширення сигналів – використовуючи математичні моделі для моделювання поширення радіолокаційних сигналів через рельєф – це допомагає визначити, як рельєф впливає на можливості зв'язку між станціями та точність спостережень.

4. Визначення оптимальних розташувань – використовуючи оптимізаційні методи для визначення оптимальних розташувань радіолокаційних станцій; метою може бути максимізація покриття області або забезпечення максимальної точності спостережень.

5. Врахування обмежень: бюджет, доступність ділянок землі та інші обмеження, які можуть впливати на розташування станцій.

6. Валідація та тестування: перевірка розташування станцій за допомогою симуляцій та тестових даних, для переконання в їхній

ефективності та точності.

7. Моніторинг та підтримка: після встановлення станцій слід постійно моніторити їхню роботу та підтримувати обладнання для забезпечення надійності та точності даних.

Для моделювання поширення радіолокаційних сигналів через рельєф місцевості використовуються різні математичні моделі та алгоритми. Вибір конкретної моделі залежить від конкретних характеристик радіолокаційної системи, рельєфу та об'єкта спостереження.

Надаймо характеристику поширеним моделям.

5.1 Модель Френеля (Fresnel Zone Model)

Ця модель розглядає поширення радіолокаційного сигналу через рельєф як інтерференцію в зоні Френеля, де сигнал відбивається від поверхні рельєфу. Вона враховує розташування передавача, приймача та характеристики території між ними, такі як висота сигналу та форма рельєфу (рис. 5.1).

Модель Френеля (Fresnel Zone Model) використовується для аналізу впливу інтерференції радіолокаційних сигналів в зоні Френеля, де сигнали відбиваються та дифрагуються від об'єктів рельєфу [35]. Зона Френеля поділяється на різні зони, а для кожної зони існують певні відносні розміри, які можна обчислити. Основні параметри для моделі Френеля включають довжину хвилі (λ), відстань між передавачем і приймачем (D_i), та радіус зони Френеля (R_i).

Формули для розрахунку радіусу зони Френеля R_i у i -му порядку додаються до попереднього радіусу. Радіус першої зони Френеля (R_1) обчислюється за:

$$R_i = \sqrt{\frac{\lambda \cdot D}{2}}$$

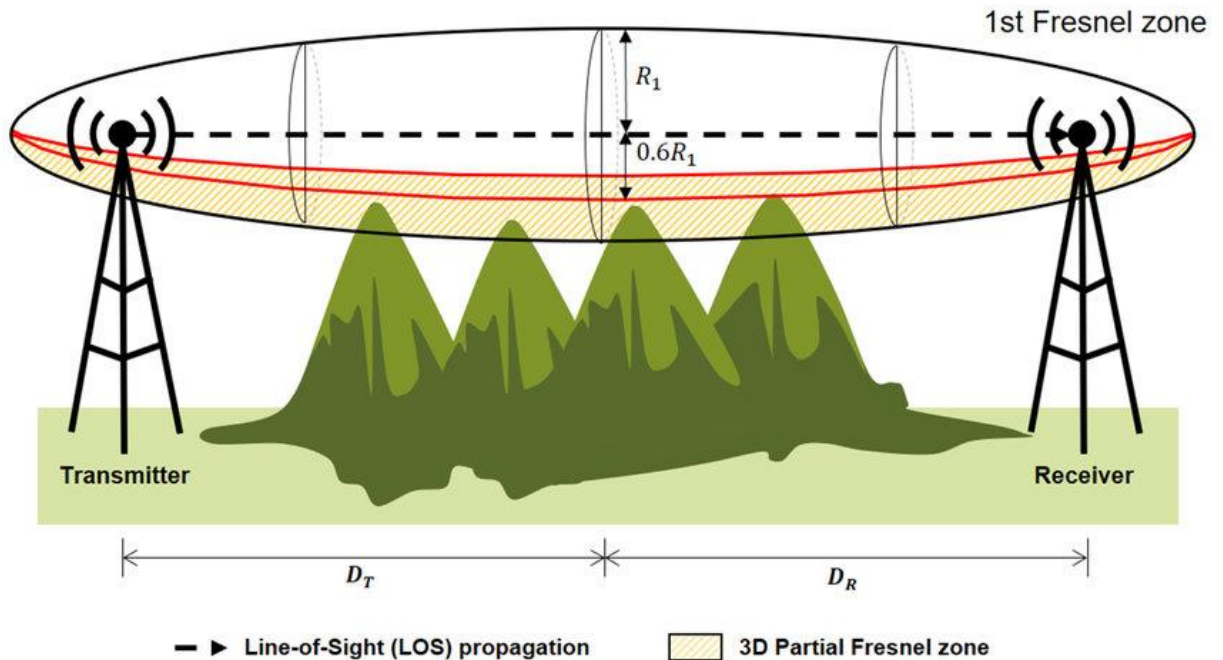


Рисунок 5.1 – Концептуальне подання зон Френеля

Наступні зони ($i > 1$), обчислюються за:

$$R_i = R_1 \cdot \sqrt{i}$$

Зони Френеля допомагають визначити області, де інтерференція може бути проблемою для радіосигналу і враховувати це при проектуванні та розміщенні метеорологічних станцій.

5.2 Модель Рейнольдса-Бесселя (Reynolds-Bessel Model)

Ця модель базується на теорії дифракції та використовує інтеграл Френеля для обчислення інтегральних величин, які враховують вплив

рельєфу на поширення сигналу. Модель Рейнольдса-Бесселя використовується для аналізу поширення радіосигналів через перешкоди та рельєф, враховуючи ефекти дифракції (рис. 5.2).

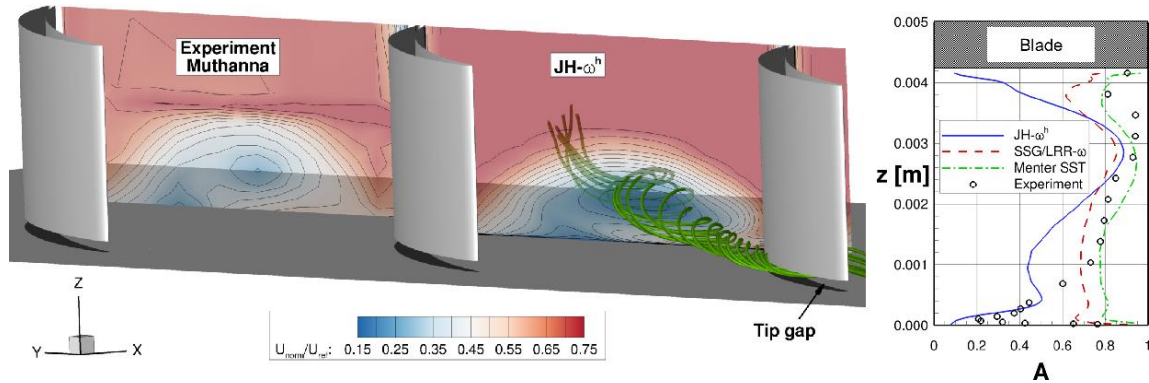


Рисунок 5.2 – Аналіз поширення радіосигналів через перешкоди та рельєф за допомогою моделі Рейнольдса-Бесселя

Ця модель базується на інтегралі Френеля і враховує фізичні властивості хвиль та їхній розподіл в залежності від рельєфу [36].

Основні параметри для обчислення моделі Рейнольдса-Бесселя включають:

1. Фазовий термін: визначає фазу сигналу під час його поширення від передавача до приймача через перешкоди та рельєф. Цей термін включає в себе інтеграл Френеля, що залежить від довжини хвилі (λ), відстані між передавачем і приймачем (d) та профілю рельєфу.

2. Амплітудний термін: враховує зменшення амплітуди сигналу внаслідок дифракції на перешкоді. Цей термін залежить від висоти та геометрії перешкоди.

3. В деяких випадках модель Рейнольдса-Бесселя може включати додаткові терміни, такі як термін розсіювання, який враховує розсіювання сигналу на нерівностях рельєфу.

Основним результатом моделі Рейнольдса-Бесселя є обчислення амплітуди та фази сигналу при прийманні (рис. 5.3). Це необхідно для

аналізу сигналів, які пройшли через перешкоди та рельєф, і для визначення ефективності комунікаційних систем у таких умовах.

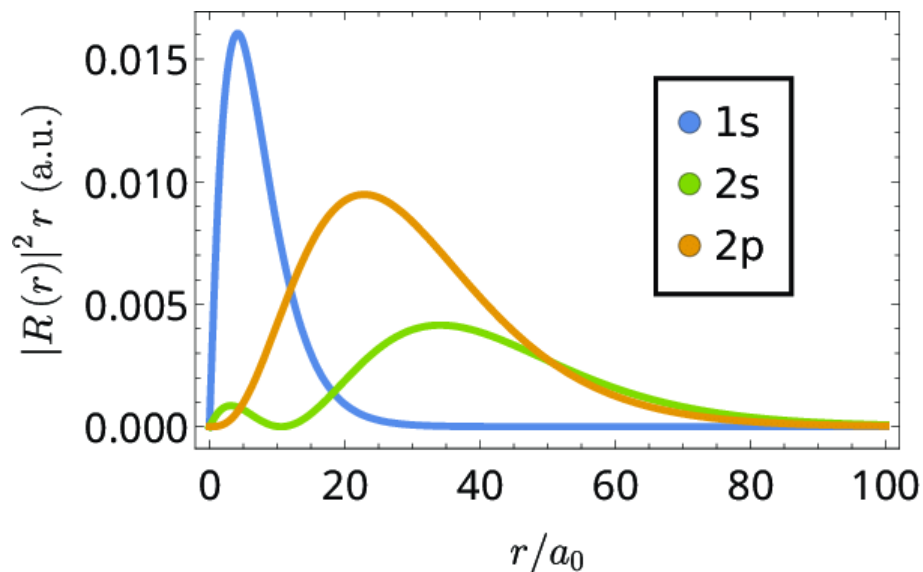


Рисунок 5.3 – Хвильові функції Рейнольдса-Бесселя, отриманих за допомогою скінченної базисної апроксимації заданого радіуса моніторингу

Формули для моделі Рейнольдса-Бесселя можуть бути складними та залежать від конкретних умов та параметрів радіолокаційних метеорологічних систем. Точний вигляд складових моделі Рейнольдса-Бесселя може різнитися в залежності від контексту та деталей задачі [37].

5.3 Модель з використанням цифрової моделі рельєфу (DEM)

Така модель використовує цифрову модель рельєфу для визначення висоти та форми рельєфу вздовж маршруту поширення сигналу. На основі DEM обчислюються висотні профілі та кутові відхилення сигналу.

Цифрова модель рельєфу (Digital Elevation Model) – це числова репрезентація поверхні землі або іншої планети у вигляді геореференційованого растрового (сіткового) зображення, де кожний піксель має відому висоту над дефінірованою відміткою (зазвичай над рівнем моря)

[38]. DEM може бути створена за допомогою лазерного сканування (LIDAR), фотограмметрії, супутникової або авіаційної зйомки, GPS-вимірювань, а також інших методів (рис. 5.4).

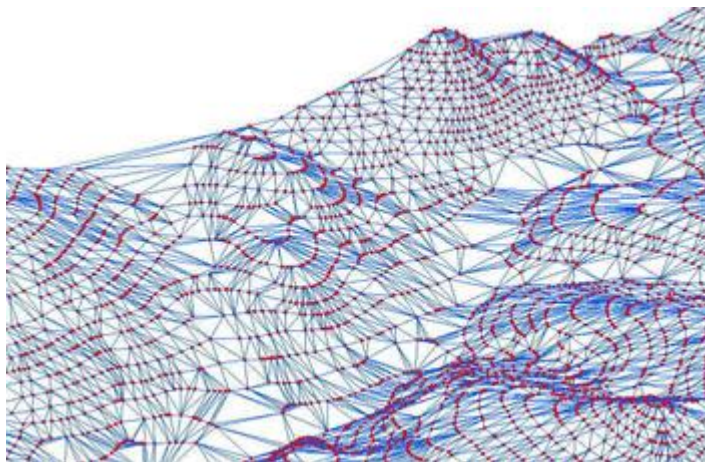


Рисунок 5.4 – Цифрова модель рельєфу, що створена за допомогою лазерного сканування

Формули, які складають DEM, можуть відрізнятися в залежності від методу збору даних та формату представлення. Проте основні формули та поняття, пов'язані з DEM, включають подані нижче.

1. *Сітка пікселів:* DEM може бути представлена у вигляді сітки, де кожен піксель (решітка) має відому висоту. Висота вимірюється в одиницях довжини, таких як метри або фути.

2. *Інтерполяція:* Для визначення висоти між точками використовується інтерполяція. Одна з поширених формул для інтерполяції DEM – це білінійна інтерполяція, яка використовує лінійну апроксимацію між сусідніми пікселями.

3. *Геореференція:* DEM пов'язується з географічними координатами, щоб можна було визначити місцезнаходження кожної точки на земній поверхні.

4. *Роздільна здатність:* DEM може мати різну роздільну здатність,

що визначає розмір кожного пікселя. Роздільна здатність важлива для точності моделі та обсягу обчислення.

5. *Методи аналізу та обробки:* DEM включає додаткові атрибути, такі як нахил поверхні, напрямок схилу, експозиція, кривизна поверхні та інші параметри, які визначаються для розміщення РЛС разом із висотними даними (рис. 5.5).

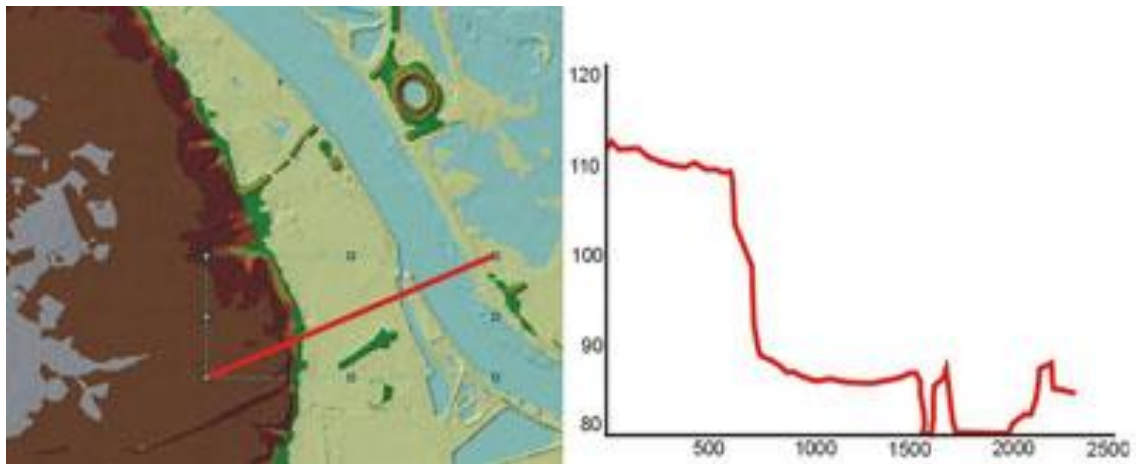


Рисунок 5.5 – Відтворення профілю кривизни поверхні для оптимального розміщення РЛС за допомогою цифрової моделі рельєфу

Оскільки DEM використовується для аналізу рельєфу та створення численних геопросторових даних, його важливим аспектом є точність та розширення, які впливають на якість моделі та її застосування в різних геопросторових додатках, таких як картографія, гідрологія, геологія, геоморфологія, геодезія та багато інших.

5.4 Моделі із використанням методів геометричної оптики

Такі моделі використовують принципи геометричної оптики для врахування відбиття та відхилення сигналу від поверхні рельєфу. Вони можуть бути використані для моделювання великих об'єктів та дистанцій

зондування [39].

Моделі, засновані на використанні методів геометричної оптики для аналізу поширення радіолокаційних сигналів через рельєф місцевості, використовують низку законів, які враховують властивості світла та його взаємодію з об'єктами рельєфу. Основні складові цих моделей подані нижче.

1. *Закон розсіяння Ламберта*: вказує, як інтенсивність світла залежить від кута падіння світла на поверхню. Він може використовуватися для опису того, як світло взаємодіє з поверхнею рельєфу:

$$I_{\alpha} = I_0 \cos \alpha,$$

де I – сила світла; α – кут між нормальними до поверхонь.

2. *Закони відбиття і рефракції*: дозволяють визначити напрям падаючого та відбитого (або відбитого та переломленого) світла на поверхні рельєфу. Вони використовуються для обчислення кутів відбиття та розсіяння:

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma},$$

де n – абсолютний показник заломлення середовища; α та γ – відповідно кути падіння та заломлення світла.

3. *Геометрична оптика та принципи трапецієподібної трикуткової форми*: допомагають визначити шлях світла через рельєф, враховуючи відстані та кути між точками на поверхні та спостерігачем (рис. 5.6) [40].

4. *Модель тіней та тіньові кути*: враховують вплив тіней, які можуть виникати в результаті рельєфу на шляху сигналу [41]. Тіні можуть блокувати світло та створювати тіньові області (рис. 5.7).

5. *Вирахування висоти точки на поверхні*: для визначення точного місця, де сигнал взаємодіє з поверхнею, може бути використане вирахування

висоти, враховуючи відстані та кути.

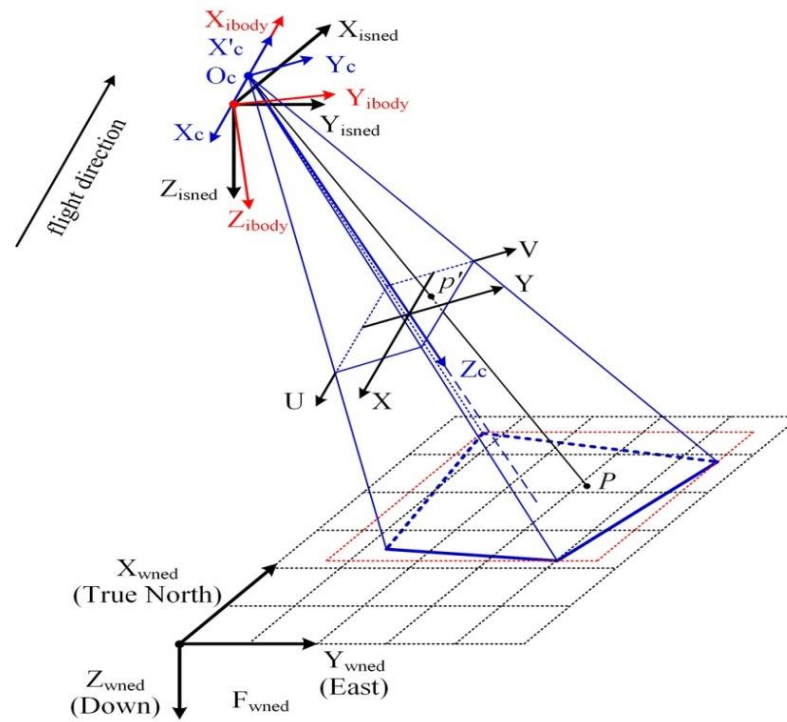


Рисунок 5.6 – Принципова схема корекції трапецієподібних спотворень для однієї камери

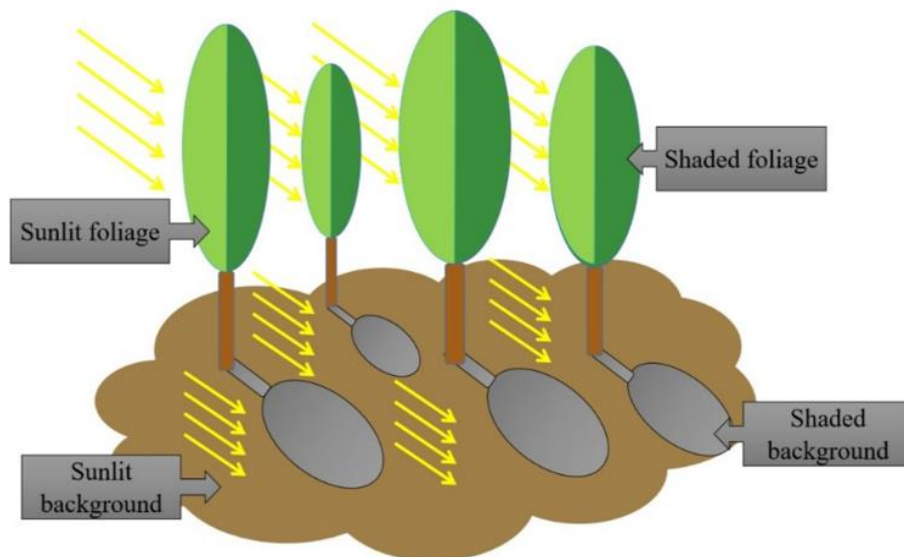


Рисунок 5.7 – Принципове подання застосування моделі тіней та тіньових кутів

6. *Обчислення відстаней та кутів*: моделі можуть включати формули для обчислення відстаней між точками на поверхні, кутів між лініями падіння та інші параметри, які впливають на поширення сигналу (рис. 5.8).

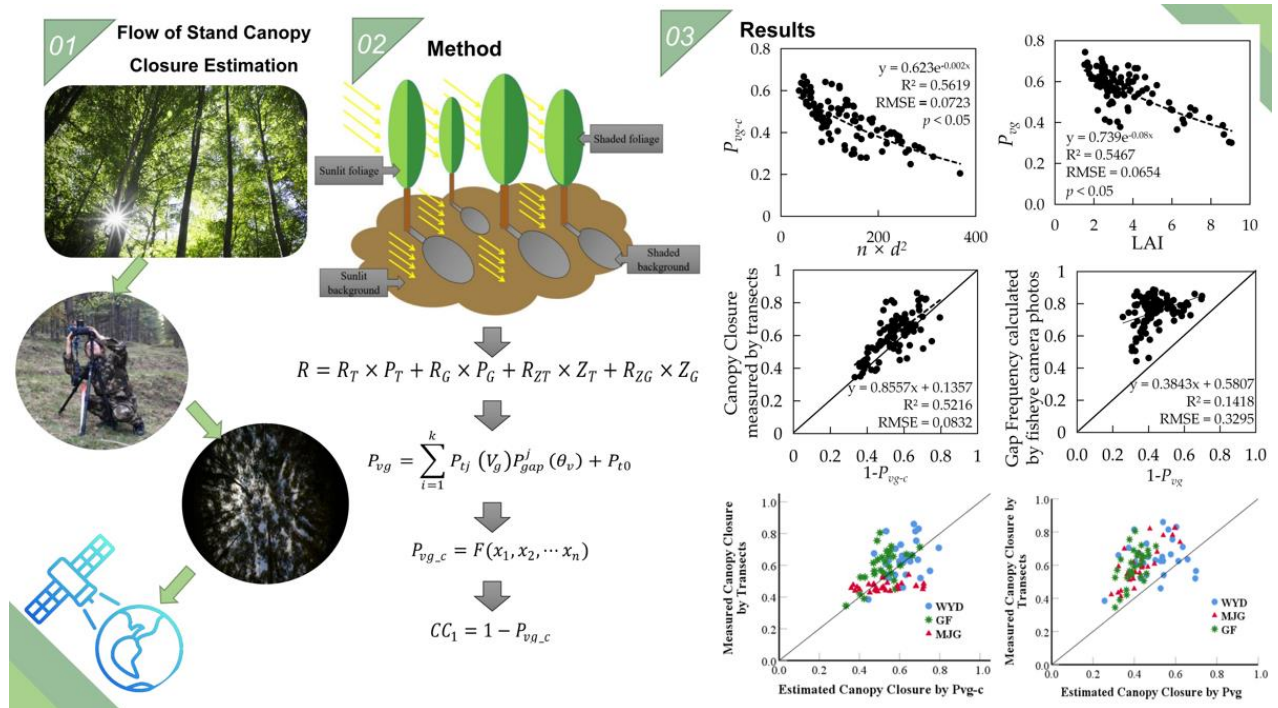


Рисунок 5.8 – Моделі обчислення відстаней та кутів на підставі аналізу тіней та тіньових кутів

Важливо зауважити, що моделі, засновані на геометричній оптиці, надають спрощений опис процесу поширення радіосигналів через рельєф, і вони можуть не враховувати всі ефекти, такі як дифракція та інтерференція, які також можуть відбуватися (рис. 5.9).

У більш складних моделях ці ефекти можуть бути включені для отримання більш точного аналізу поширення сигналів.

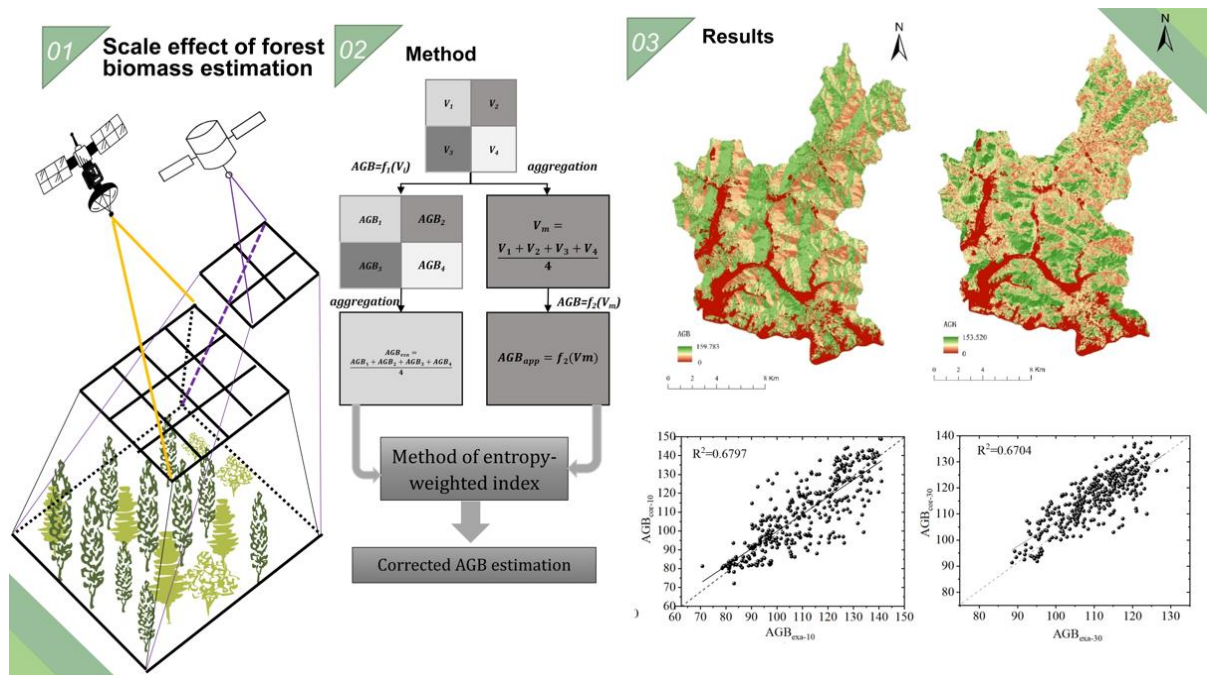


Рисунок 5.9 – Модель подання поширення радіосигналів через рельєф, заснована на методах геометричної оптики

5.5 Модель з використанням апроксимацій Мінковського (Minkowski Model)

Така модель використовує апроксимації Мінковського для оцінки поширення сигналу через рельєф. Вона може бути корисною для оцінки впливу різних типів рельєфу на поширення сигналу.

Модель з використанням апроксимацій Мінковського (Minkowski Model) використовується для оцінки поширення радіосигналів через рельєф місцевості, зокрема для аналізу дифракції сигналів на перешкодах. Ця модель базується на апроксимаціях, які враховують розсіювання сигналів на нерівностях рельєфу [42]. Основа при складанні цієї моделі включає наступні етапи.

1. *Методи апроксимацій Мінковського.* Використовуються для аналізу взаємодії електромагнітних хвиль з рельєфом. Вони допомагають оцінити дифракцію сигналів на перешкодах [43].

2. *Кривизна хвильового фронту.* У даній моделі використовується оцінка кривизни хвильового фронту, що виникає при дифракції сигналу на рельєфі (рис. 5.10).

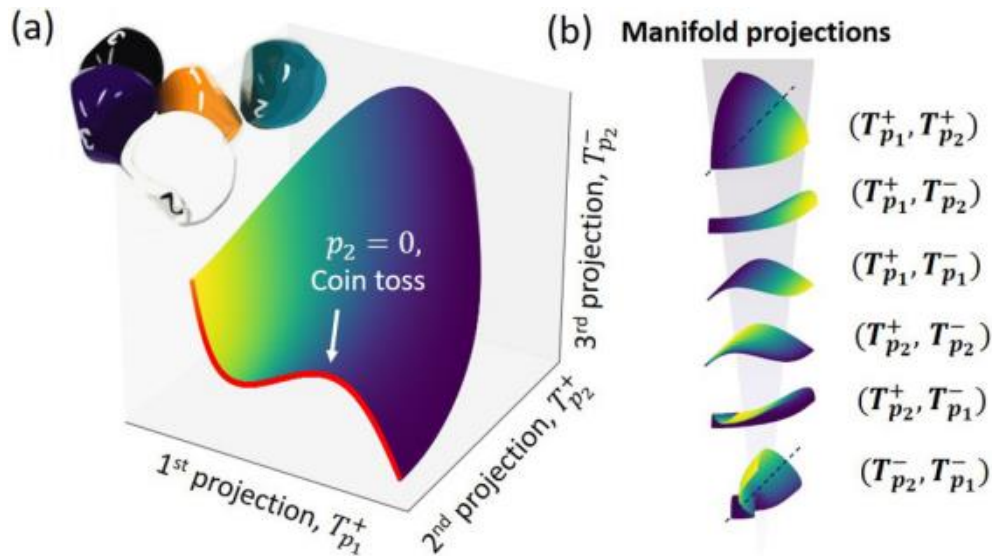


Рисунок 5.10 – Тривимірний аналіз кривизни хвильового фронту:

а) загальне подання; б) різноманіття проєкцій

3. *Відстань і кутові параметри.* Для аналізу взаємодії сигналу з рельєфом в моделі Мінковського можуть враховуватися відстань між передавачем і приймачем, а також кутові параметри, такі як кут падіння сигналу на рельєф та кут відбиття чи дифракції (рис. 5.11).

4. *Амплітуда і фаза сигналу.* Модель може включати розрахунки амплітуди та фази сигналу, що зазнають змін через дифракцію та розсіювання на рельєфі (рис. 5.12).

Формули та методи, які використовуються в моделі Мінковського, можуть бути складними та залежать від конкретних умов та параметрів дослідження. Така модель допомагає аналізувати ефекти дифракції сигналів на перешкодах: гори, будівлі або інші рельєфні особливості, що можуть впливати на якість та надійність радіокомунікацій.

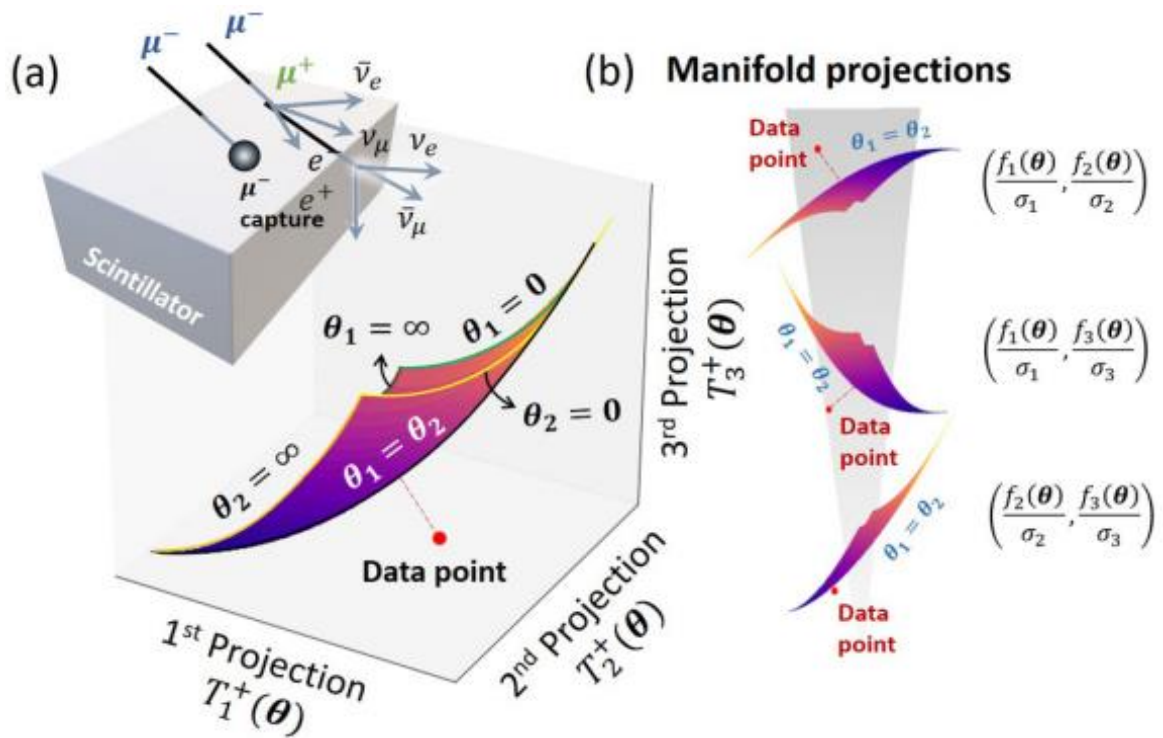


Рисунок 5.11 – Представлення кута падіння на рельєф та кута відбиття чи дифракції за допомогою апроксимацій Мінковського:
 а) загальне подання; б) різноманіття проєкцій та форм

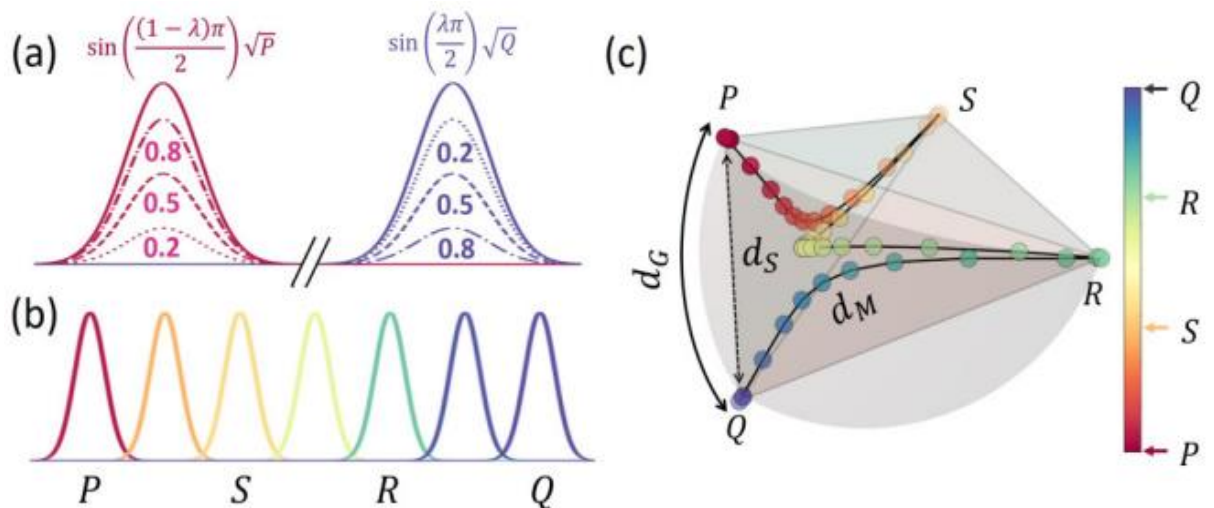


Рисунок 5.12 – Апроксимації Мінковського на основі:
 а) амплітуди сигналу; б) фази сигналу; с) остаточне подання розподілення у геодезичному представленні

5. *Обчислення ефектів дифракції.* Модель враховує основні ефекти дифракції, такі як перехід сигналу навколо краю перешкоди та обрізання хвильового фронту (рис. 5.13).

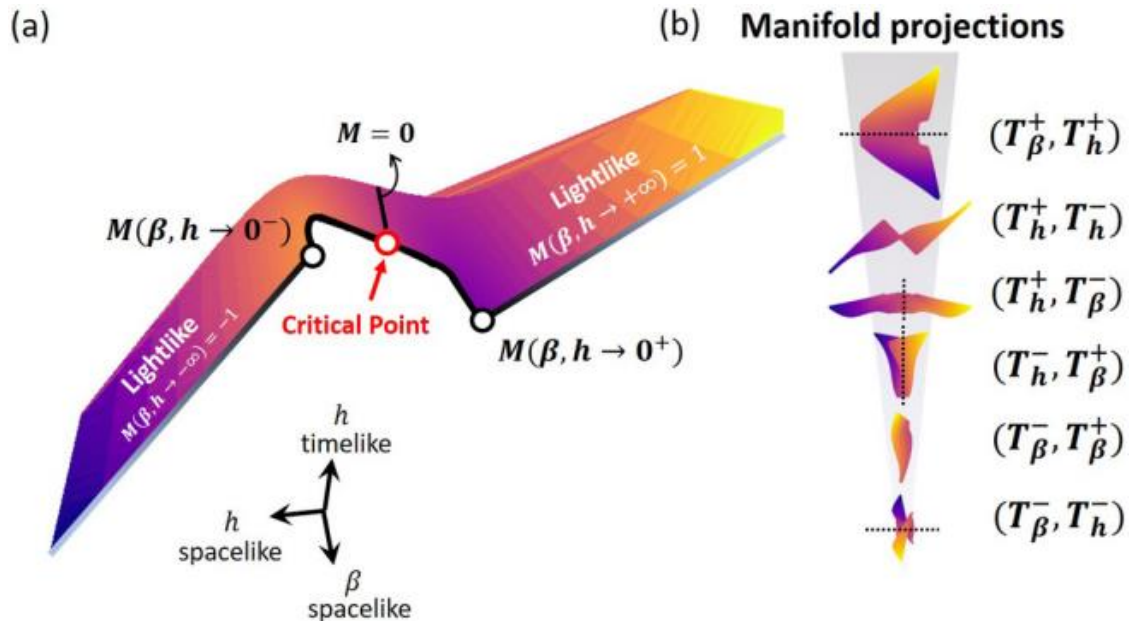


Рисунок 5.13 – Представлення переходу сигналу навколо краю перешкоди та обрізання хвильового фронту за допомогою апроксимацій Мінковського:

а) загальне подання; б) різноманіття проєкцій та форм дифракцій

ВИСНОВКИ

1 За описаною вище методикою був створений ЧЕ для ТрО, який використано для проведення вимірювань температури у теплообміннику.

Практична реалізація цієї технології дозволяє відокремити успіх технології отримання надчутливих плівок і приладів на їх основі.

У процесі реалізації описаного метода необхідно враховувати наступне.

Перше. Пружні властивості напиленої речовини відрізняються від пружних характеристик підкладки.

Друге. Густина напиленої речовини є меншою за густину цієї ж речовини у масивному зразку.

Третє. Зсув частоти резонансу обумовлено не лише масою нанесеного шару, але й напругою, що виникає на границі розділу підкладка-плівковий матеріал.

Четверте. КВТП-5 використаний для реалізації сучасної технології формування твердотільної матриці з наперед заданим нанокластерним растром колоїдної дисперсності.

П'яте. Запропонований комплексний підхід дозволяє використовувати цей метод не лише, як метод неруйнівного контролю поверхні твердого тіла з кластерною морфологією, але й як метод створення ЧЕ для ТрО.

2 У результаті проведених досліджень розроблено надійнісно-орієнтовану модель зв'язку інтенсивності відмов каскадного термоелектричного охолоджувача з розподілом кількості термоелементів у каскадах термоелектричного охолоджувача, перепадом температур, холодопродуктивністю та тепловим навантаженням. Проведено аналіз моделі для режиму найбільшої енергетичної ефективності, що засвідчив можливість оцінювання економічності функціонування каскадного охолоджувача, прогнозувати оптимальні значення холодильного коефіцієнта за заданого перепаду температур і відношення кількості елементів у каскадах у різних умовах експлуатації.

3 У рядах динаміки метеорологічних систем можна спостерігати сезонні коливання під впливом зовнішніх факторів, які діють циклічно із заздалегідь відомою періодичністю. Типовими прикладами сезонності є ефекти, пов'язані з астрономічними або календарними причинами. Існують й інші квазіперіодичні залежності значення випадкової функції від передісторії (часового лага або зсуву), які дозволяють обчислити ймовірність того, що деяке майбутнє значення буде лежати в певному інтервалі.

У центрі уваги досліджень часових рядів перебувають звичайно загальні закономірності, сховані в емпіричних даних, які відбивають внутрішню структуру явища. Тренд – це не випадкова повільно мінлива складова часового ряду, на яку можуть накладатися випадкові коливання або сезонні ефекти. Це не цілком суворе поняття використовує безліч моделей і методів аналізу динаміки, в основі яких лежить розкладання часового ряду на декілька компонент, одна із яких є в певному сенсі досить гладкою, відбиваючою глобальну спрямованість процесу, а інші компоненти характеризують вплив випадкових факторів. Більшість рядів динаміки метеорологічних показників мають тенденцію середнього рівня, тобто вони, власне кажучи, нестационарні. Однак такі ряди можна легко перетворити в центровані стаціонарні ряди шляхом урахування функції тренду.

Елімінування ряду дозволяє дослідити спектри коливань з малою енергією. Небажані ефекти, які виникають за рахунок застосування дискретного перетворення Фур'є, значною мірою послаблюються за допомогою фільтрації елімінованого ряду.

4 Спосіб створення радіолокаційних мереж для моніторингу атмосфери здійснюється наступним чином. На території довільної форми, на якій передбачається створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери, здійснюється розміщення радіолокаторів з дальністю дії до 100 кілометрів, сукупність яких утворює на місцевості геометричну фігуру у вигляді шестикутної сітки, при цьому відстань між сусідніми радіолокаторами дорівнює дальності дії радіолокаторів. При цьому

витагується інформація з більшої частини простору спостережень за рахунок зменшення непроглядуваних (мертвих) зон, оскільки при запропонованому способі розміщення радіолокаторів висота нижньої межі утвореного суцільного радіолокаційного поля не перевищує 300 метрів, а також зменшуються об'єми зон затінення через кути закриття, утвореними перешкодами, покращується просторова роздільна здатність, стійкість, темп видачі даних, економно використовується енергія зондувального випромінювання, зменшується небезпека для людей. Таким чином, пропонується спосіб створення радіолокаційної мережі для моніторингу атмосфери дозволяє підвищити якість моніторингу атмосфери.

5 Вибір конкретних методів моделювання графічного перекриття зон спостереження та оптимізації розміщення метеорологічних радіолокаційних станцій на місцевості (з урахуванням рельєфу) залежить від точних проектних вимог, рівня деталізації та ресурсів, які можливо виділити для моделювання.

Деякі з цих моделей можуть бути реалізовані за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для електромагнітного моделювання та аналізу рельєфу. Для проведення аналізу та оптимізації розміщення метеорологічних РЛС слід використовувати програмне забезпечення для геоінформатики, наприклад: ArcGIS, QGIS, GRASS GIS, а також математичні пакети для оптимізації розміщення. Також важливо постійно співпрацювати із метеорологами та спеціалістами з радіолокації для того, щоб урахувати всі потреби та обмеження проекту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ковальчук В.В., Громов В.А., Маслій О.Н. Фізичні основи напівпровідникової електроніки. – Одеса: «Видавець Букаєв Вадим Вікторович», 2018. 180 с.
2. Ковальчук В.В., Нанометрологія: управління властивостями твердого тіла шляхом внесення структурних змін // Вісник Інженерної Академії. 2015. – № 1. – С. 172-176.
3. Kovalchuk V.V. Nanotechnology: Heterosystems with nanocluster subsystem // International Workshop “Nanocluster and nanotechnology”, Opole Univ., Poland, Aug. 19-26, 2019 (oral report).
4. Находкін М.Г., Сізов Ф.Ф. Елементи функціональної електроніки. – К.: ВД «Професіонал», 2002. 201 с.
5. Ковальчук В.В., Квасніков В.П. Мамука К.В. Сморгж М.В. Керування характеристиками гетеропереходів шляхом зміни властивостей її складових (у вигляді квантово-розмірних систем) // 16 МНПК «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси» (ІРТК-2023) присвячена 90-річчю національного авіаційного університету 23-24 травня 2023 року Київ, Україна
6. Лаздіна С.І., Лаздін В.П., Голомовзий Є.М., Олексієнко К.М. Температурні та теплофізичні вимірювання. – Одеса: 'Стандарт', 2007. 223 с.
7. Kovalchuk V.V. Nanoelectronic's material for optic system / V.V. Kovalchuk // Photoelectronics. – 2012. – № 21. P.65-68.
8. Ковальчук В.В., Моисеев Л.М. Мезомеханіка регулярного деформаційного рельєфу // Наукове видання / Під ред. проф. Лашкарьова Г.В. К.: Професіонал, 2004. 275 с.
9. Ковальчук В.В. Нанокластерна модифікація твердотільних гетероструктур // Наукове видання. Одеса: ТЕС, 2023. 217 с.
10. Ковальчук В.В., Костенко В.Л., Жаровцев С.О. Сенсорні пристрої та

датчики // Наукове видання Одеса: видавець Букаєв Вадим Вікторович, 2019. 200 с.

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. Kovalchuk V.V. , Smorz M.V., Mamuka K.V. Sensitive element of an intellectual sensor (for measuring physical and chemical characteristics) // Journal of physics and electronics Vol. 30 (2), 2022. P.67-74
13. Kovalchuk V.V. Heterophotocell based on super-line photoventil effect // Journal of physics and electronics vol. 28(1), 2020. P.61-68 DOI 10.15421/332011
14. Kovalchuk V.V., Mamuka K.V. Носії інформації на основі керметів // Scientific Collection «InterConf», (111): with the Proceedings of the 1 st International Scientific and Practical Conference «Innovative Development in the Global Science» (June 6-8, 2022). Boston, USA: Independently Published, 2022. 518 p. ISBN 978-1-0747-2337-8 P.537-540
15. Ковальчук В.В., Буряк Д.В. Буряк Д.Д. Плівки нанокластерної дисперсності: Складові матеріалів нового покоління // Digital transformation and technologies for sustainable development all branches of modern education, science and practice [Electronic resource]: International Scientific and Practical Conference Proceeding, January 26, 2023 /Edited by I. Zuhowski, Z. Sharlovych, O. Mandych / International Academy of Applied Sciences in Lomza (Poland) - State Biotechnological University (Ukraine). – Lomza, Poland, 2023. Part 2. P.86-89
16. Зайков В.П. Прогнозирование показателей надежности термоэлектрических охлаждающих устройств [Текст] Книга 1. Однокаскадные устройства/В.П. Зайков, Л.А. Киншова, В.Ф. Моисеев – Одесса: Политехпериодика, 2009. 118 с.
17. Zaykov V., Mescheryakov V., Zhuravlov Yu. Models of reliability based design of cascade thermoelectric devices. The scientific heritage, № 7 (7):

2016. p. 86-92.
18. Zaykov V.P. Models of reliability based design of cascade thermoelectric devices / Zaykov V.P., Mescheryakov V.I., Zhuravlov Yu. I. // The scientific heritage - Budapest, Hungary, 2016, №7(7) Vol 3. P. 86-93.
 19. Zaykov V., Mescheryakov V., Zhuravlov Yu. Development of a model for predicting the reliability indication in the design of cascade thermoelectric coolers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2/8 (86), 2017. – P. 52-60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.99988>.
 20. Mann R.E. Global Environmental Monitoring System (GEMS). Action Plan for Phase 1. SCOPE, rep. 3, Toronto, 1973. 130 p.
 21. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. / Л.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
 22. <https://rp5.ru>
 23. Golden J.H. The prospects and promise of NEXRAD: 1990's and beyond // J.H. Golden // COST 73. — 1989. — P. 17–36.
 24. 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.
 25. 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.
 26. 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.
 27. 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.
 28. Перелыгин 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.
29. 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
30. Мищенко Ю.А. Зоны обнаружения. — М.: Воениздат, 1963. — 96 с.
31. 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.
32. Перельгин Б.В. Обеспечение устойчивости радиолокационного поля при построении системы гидрометеорологического мониторинга // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. — 2018. № 192. — С. 21–27.
33. 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.
34. 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.
35. Baek Jieun, Choi Yosoon. A New GIS-Based Algorithm to Support Initial Transmitter Layout Design in Open-Pit Mines. Energies. 11 (11), 3063. URL: <https://doi.org/10.3390/en111130632018>.

36. Morsbach C., Franke M., Mare F.D. Evaluation of a differential Reynolds stress model incorporating near-wall effects in a compressor cascade tip-leakage flow. URL: https://elib.dlr.de/90147/1/fullPaper_morsbach_20140314_submitted.pdf.
37. Reynolds-averaged flow tutorials. SedFOAM. URL: https://sedfoam.github.io/sedfoam/tutorials_RAS.html#Disc_solvBLTurb.
38. GEOFORUM.PL. Numeryczny model terenu. URL: <https://geoforum.pl/strona/46816,46858,46959/teledetekcja-krotki-wyklad-teledetekcja-numeryczny-model-terenu/>.
39. Yu Y, Pan Y, Yang X, Fan W. Spatial Scale Effect and Correction of Forest Aboveground Biomass Estimation Using Remote Sensing. Remote Sensing. 2022. 14 (12) : 2828. URL: <https://doi.org/10.3390/rs14122828>.
40. Wu Fanlu, Guan Hainan, Yan Dejie, Wang Zheng. (2019). Precise Geometric Correction and Robust Mosaicking for Airborne Lightweight Optical Butting Infrared Imaging System. IEEE Access: 7. 93569 – 93579. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2928380. URL: https://www.researchgate.net/publication/334434491_Precise_Geometric_Correction_and_Robust_Mosaicking_for_Airborne_Lightweight_Optical_Buttin_g_Infrared_Imaging_System.
41. Yang X., He P., Yu Y., Fan W. Stand Canopy Closure Estimation in Planted Forests Using a Geometric-Optical Model Based on Remote Sensing. Remote Sensing. 2022. 14 (9):1983. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14091983>. URL: https://www.researchgate.net/publication/360109017_Stand_Canopy_Closure_Estimation_in_Planted_Forests_Using_a_Geometric-Optical_Model_Based_on_Remote_Sensin
42. Pijush K. Ghosh. A mathematical model for shape description using Minkowski operators. Computer Vision, Graphics, and Image Processing. Vol. 44. Iss 3. 1988, P. 239-269. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0734189X88901235>.
43. Han Kheng Teoh, Katherine N. Quinn, Jaron Kent-Dobias, Colin B. Clement,

Qingyang Xu, James P. Sethna. Visualizing probabilistic models in Minkowski space with intensive symmetrized Kullback-Leibler embedding. *Physical Review Research*. 2020. 2, 033221. URL: <https://journals.aps.org/prresearch/pdf/10.1103/PhysRevResearch.2.033221>.