

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

УДК 621.396

Набіль Удах Мнехір Сарох

**РОЗРОБКА МЕТОДУ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИЗНАЧЕННЯ
ПАРАМЕТРІВ МЕТЕОРІВ НА ОСНОВІ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ
ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЇХ АМПЛІТУДНО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Спеціальність 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Антіпов Іван Євгенійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедрою радіоелектронних пристроїв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Волощук Юрій Іванович, професор кафедри
мережі зв'язку Харківського національного
університету радіоелектроніки Міністерства освіти і
науки, молоді та спорту України

кандидат технічних наук,
Шелковенков Дмитро Олександрович, інженер з
радіолокації і радіонавігації ТОВ «НВК Європромсервіс»

Захист відбудеться 15 січня 2013 р. о 13,00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14, ауд. 13.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розісланий _____ грудня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Радіолокаційний метод метеорних спостережень є одним з найважливіших джерел інформації про приплив метеорної речовини в земну атмосферу і про її розподіл у Сонячній системі. Ця інформація може мати значення для:

- прогнозування метеорної небезпеки для космічних апаратів;
- розробки систем метеорного зв'язку;
- рішення астрономічних задач виявлення взаємозв'язку між метеорними потоками кометами і астероїдами;
- аналізу впливу метеорної речовини на зміну клімату Землі.

Актуальність метеорних спостережень і необхідність подальшого розвитку методів обробки їх результатів підтверджується тим, що в цей час у світі діє декілька метеорних радарів.

Основні методи радіолокаційних метеорних спостережень були розроблені Мак-Кінлі, Міллманом, Клеггом і ін. в 50-60 роки 20 століття. Значний внесок у розвиток теорії і практики метеорних досліджень внесли Б. Л. Кащеев, М. Ф. Лагутін, Ю. І. Волощук, В. В. Сидоров. Великий обсяг даних метеорних спостережень був отриманий в 60-70 роки 20-го століття на Метеорному автоматизованому комплексі (МАРС) Харківського інституту радіоелектроніки (у цей час ХНУРЕ). Лише малу частину їх опрацьовано вручну. Так, наприклад, приблизно 5300 орбіт метеорів зареєстровано протягом 1 – 2 діб кожного місяця на протязі року, тобто приблизно 50000 орбіт за один рік спостережень.

Ці дані до 1971 р. представлені фотознімками амплітудно-часових характеристик (АЧХ) метеорних слідів. Саме на аналізі АЧХ, які відображають весь процес виникнення, існування і руйнування метеорного сліду, засновані найбільш інформативні методи одержання даних про орбіти метеорів. Результати таких спостережень дають змогу створення каталогу метеорних орбіт, що зареєстровані на протязі 1950–1967 рр.

Висока вартість і технічна складність проведення повноцінних радіолокаційних метеорних спостережень у наш час змушують оптимізувати (спрощувати) апаратуру, що застосовується, переходити на пасивні алгоритми, а також одержувати нову інформацію про метеори з даних, які раніше вже були оброблені.

Отже, є **актуальною науковою темою дисертаційних досліджень**, які полягають у визначенні параметрів метеорних слідів шляхом ідентифікації архівних графічних образів їх АЧХ з використанням радіолокаційних методів, застосування яких не передбачалось при формуванні вказаного архіву.

Зв'язок роботи з науковими програмами і темами

Дисертаційні дослідження пов'язані з г/б НДР № 249-2 (ГР 0109U001635) «Вимірювання і аналіз ехо-сигналів метеорологічних локаційних систем для виявлення причин потепління клімату», а саме, з розділом «Аналіз і обробка ехо-сигналів радіолокаційних метеорних систем», у якому представлена методика обробки характеристик метеорного сліду; а також з г/б НДР № 266-2 (ДР 0112U000207) «Розвиток методів і алгоритмів дистанційного зондування атмосфери акустичними, електромагнітними та світловими хвилями», у якій здобувачем були розроблені модель метеорної АЧХ і методи порівняння результатів моделювання і експерименту. У зазначених роботах здобувач був виконавцем.

Мета дослідження полягає в тому, щоб розробити метод радіолокаційного визначення параметрів метеорів на основі ідентифікації їх амплітудно-часових характеристик (АЧХ), у тому числі, в умовах неповної радіолокаційної інформації.

Для досягнення поставленої мети в роботі були вирішені наступні **наукові задачі**.

1. Теоретичне обґрунтування методів визначення координат радіанта метеорної частки при наявності інформації про її АЧХ тільки в одному з виносних пунктів,

2. Розробка методики перетворення графічних образів АЧХ у форму, придатну до математичної обробки.

3. Розробка методу чисельного визначення параметрів математичної моделі метеорної АЧХ.

4. Експериментальна перевірка можливості використання розроблених методів для визначення координат радіантів і оцінки їх похибки.

Об'єкт дослідження: процес визначення амплітудно-часових і інших радіолокаційних характеристик метеорних слідів.

Предмет дослідження: методи визначення параметрів метеорних часток з використанням їх радіолокаційних характеристик.

Методи дослідження

При розробці методів визначення координат застосовувався *математичний аналіз* із використанням теорії метеорного поширення радіохвиль, при обробці зображень застосовувався *кореляційний аналіз*, для визначення параметрів математичної моделі метеорних АЧХ використовувався метод *імітаційного моделювання*, а при експериментальній перевірці і визначенні похибки – метод *чисельного аналізу*.

Наукова новизна

1. Вперше теоретично обґрунтовано можливість застосування методів визначення координат радіанта метеорної частки при наявності інформації про

її амплітудно-часову характеристику (АЧХ) тільки в одному з виносних пунктів, що відрізняється від існуючого методу, для якого необхідні АЧХ з двох виносних пунктів.

2. Розроблено новий спрощений метод перетворення графічних образів АЧХ метеорів у форму, придатну до математичної обробки, що на відміну від існуючих, дозволяє автоматизувати цей процес і скоротити його час.

3. Отримав подальший розвиток метод чисельного визначення параметрів математичної моделі метеорної АЧХ, відмінною особливістю якого є можливість алгоритмізації та автоматизації процесу.

4. Запропоновано спосіб перевірки можливості використання розроблених методів, який базується на використанні лише наявного архівного матеріалу і не потребує проведення додаткових експериментальної досліджень.

Практична значимість отриманих результатів

1. Показано високу наукову цінність і значимість наявного архіву даних метеорних спостережень.

2. Розроблено алгоритми розпізнавання і перетворення інформативних елементів зображень.

3. Запропоновано шляхи експериментальної перевірки запропонованих методів з використанням наявного архівного матеріалу.

4. Вироблено рекомендації із застосування запропонованих методів при побудові нових і вдосконалюванні існуючих радіотехнічних систем для метеорних спостережень.

Обґрунтованість і достовірність результатів

Результати роботи можна вважати обґрунтованими, оскільки вони засновані на добре перевірених принципах радіолокації і теорії поширення радіохвиль, а також і на коректному використанні математичного апарата. Достовірність методів визначення швидкості метеорної частки за неповною радіолокаційною інформацією підтверджується незначною відмінністю результатів, від отриманих з використанням повної інформації.

Особистий внесок автора

Автор дисертації особисто одержав основні наукові результати, викладені в роботі, розробив алгоритм розпізнавання метеорних АЧХ і методику порівняння. Йому також належить ідея визначення параметрів метеорного радіанта по двох АЧХ. У роботах, виконаних у співавторстві, авторові належать такі ідеї й пропозиції: у роботах [1] і [5] – проведено огляд даних, які свідчать про наявність впливу метеорної речовини на кліматичні зміни, підібрано статистичні дані, що підтверджують цей вплив. У статті [2] запропоновано автоматизований алгоритм аналізу метеорних АЧХ і математичну модель АЧХ. У статті [3] запропоновано способи визначення координат метеорного радіанта на основі лише двох АЧХ і представлено

математичне обґрунтування цих способів. У роботі [4] запропоновано шляхи вдосконалення методів визначення координат метеорного сліду, запропоновано методику експериментальної перевірки і проведено експериментальне дослідження. У тезах [6] і [7] розроблено алгоритм роботи автоматизованого стенда для розпізнавання графічних образів метеорних АЧХ і інших інформативних елементів зображення.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися і обговорювалися на V Науково-практичній конференції «Современные проблемы и достижения в области радиотехники, телекоммуникаций и информационных технологий», (Запоріжжя, Запорізький національний технічний університет, 22–24 вересня 2010); на XII Міжнародній науково-практичній конференції «Современные информационные и электронные технологии», (Одеса, Одеський національний політехнічний університет 23–27 травня 2011); на IV Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладная радиоэлектроника. Перспективы и развитие» (Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки, 18-21 жовтня 2011.)

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 4 статті в спеціалізованих виданнях, що входять у затверджений фаховий перелік й 3 тези доповідей на наукових конференціях

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 73 найменувань і 1 додатка. Загальний обсяг 117 стор., 54 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз методів метеорних радіолокаційних спостережень» зроблено огляд відомих методів одержання й обробки метеорної радіолокаційної інформації.

Після короткої історичної довідки, розгляду загальних питань фізики метеора, особливостей відбиття радіохвиль від метеорних слідів і радіотехнічних систем, що застосовуються для метеорних досліджень, основну увагу в першому розділі приділено існуючим методам вилучення інформації з АЧХ метеорних слідів.

Так, за наявності інформації про похилу дальність R_0 , імпульсно-дифракційний метод дозволяє визначити модуль швидкості руху метеорної частки, використовуючи видиму зміну амплітуди відбитого сигналу (рис. 1), що викликано послідовним включенням у відбиття різних зон Френеля.

Знаючи довжину зони Френеля (рис. 2)

$$L_F = \sqrt{\frac{R_0 \lambda}{2}}, \quad (1)$$

і час t_0 , протягом якого вона формується, можна знайти модуль швидкості частки

$$V_A = \frac{L_F}{t_0}. \quad (2)$$

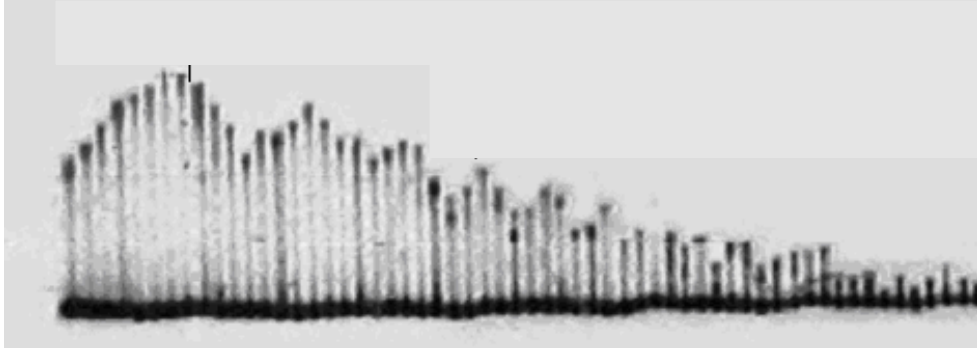


Рисунок 1 – Вигляд АЧХ метеора

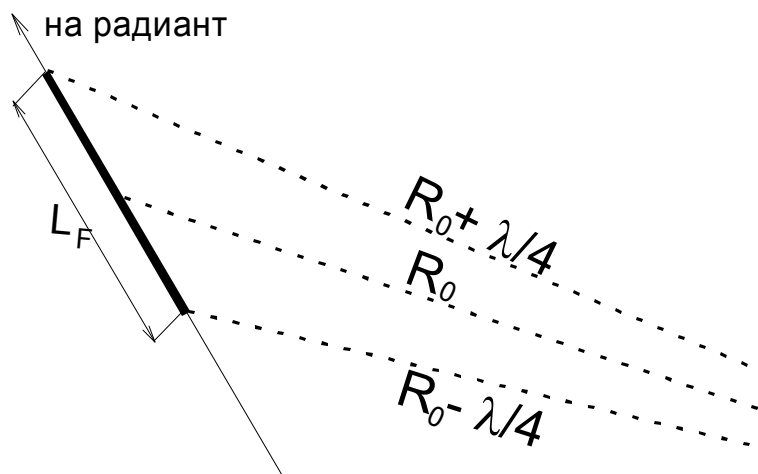


Рисунок 2 – Формування зон Френзеля на метеорному сліді

При наявності інформації про три складових швидкості, яка може бути отримана при затримці АЧХ у двох приймальних виносних пунктах можуть бути знайдені складові (проекції) вектора швидкості. Це основний метод, що використовувався при аналізі даних метеорних спостережень на комплексі МАРС.

Разом з цим до метеорів можуть застосовуватися класичні радіолокаційні методи визначення місця розташування сліду в просторі (кутомірний, різницево-далекомірний, фазовий), а визначення швидкості вітрового зсуву сліду здійснюється за доплерівською зміною частоти відбитого сигналу.

Також у розділі відзначається, що розподіл метеорної речовини в Сонячній системі не піддається короткостроковим змінам, а довгострокові,

викликані прецесійним рухом вузлів орбіт і впливом планет гігантів можуть бути враховані у відповідних моделях. У цілому ж, знайдені за результатами спостережень параметри орбіт метеорних тіл залишаються актуальними, незважаючи на те, що ці спостереження були зроблені десятки років тому.

Обробка даних, що проводилася в 70-ті роки, здійснювалася вручну. При цьому значна частина матеріалів не була оброблена, головним чином через жорсткі критерії, які застосовувалися до якості фотонегативів і повноті інформації, що міститься на них.

На підставі огляду і аналізу методів метеорних радіолокаційних спостережень, представлених у першому розділі, можна зробити такі висновки.

1. Радіолокаційний метод спостережень дозволяє одержувати найбільш повну інформацію про метеори. Так, АЧХ метеорних слідів дозволяють визначити абсолютне значення швидкості частки, а при вимірюванні в трьох рознесених пунктах – всі складові швидкості і координати радіанта метеорної частки.

2. Наявні архівні дані про метеорні спостереження містять інформацію, що не застаріває із часом. Проведена в минулому обробка дозволила отримати лише частину інформації, що є в архіві.

3. Для одержання наявної в архіві інформації потрібні нові методи і сучасні цифрові технології.

У другому розділі «Методи відновлення параметрів метеорної частки при неповній радіолокаційній інформації» розглянуто декілька запропонованих автором шляхів, які дозволяють визначити (щонайменше, оцінити) місце розташування точки відбиття сліду і швидкість метеорної частки в умовах, коли використання розглянутого вище імпульсно-далекомірного методу неможливе.

Відсутність повної радіолокаційної інформації (відсутність АЧХ в одному з виносних пунктів або неможливість здійснити за ними вимірювання) може мати місце з декількох причин: розташування метеорного сліду таке, що не створюється відбиття в цей пункт, стався апаратурний збій або дефект фотоплівки. У кожному випадку в розпорядженні дослідників є всього дві АЧХ, яких явно недостатньо для того, щоб реалізувати розглянуті вище процедури.

Перший із запропонованих способів відновлення параметрів метеора за відсутності однієї з АЧХ базується на тому, що слід має перебувати в площині, дотичній до сфери із центром у точці розміщення основного пункту, оскільки лише в цьому випадку виконується умова відбиття. Кут нахилу і розташування цієї площини до поверхні Землі може змінюватися в деяких, але невеликих межах, обмежених висотою метеорної області і шириною діаграми спрямованості (ДС) радіолокатора (площина **A** на рис. 3). Модуль швидкості, знайдений за АЧХ в основному пункті і одна зі

складових, що знайдена в другому виносному пункті, дозволяють визначити відсутню складову в даній площині (рис. 4).

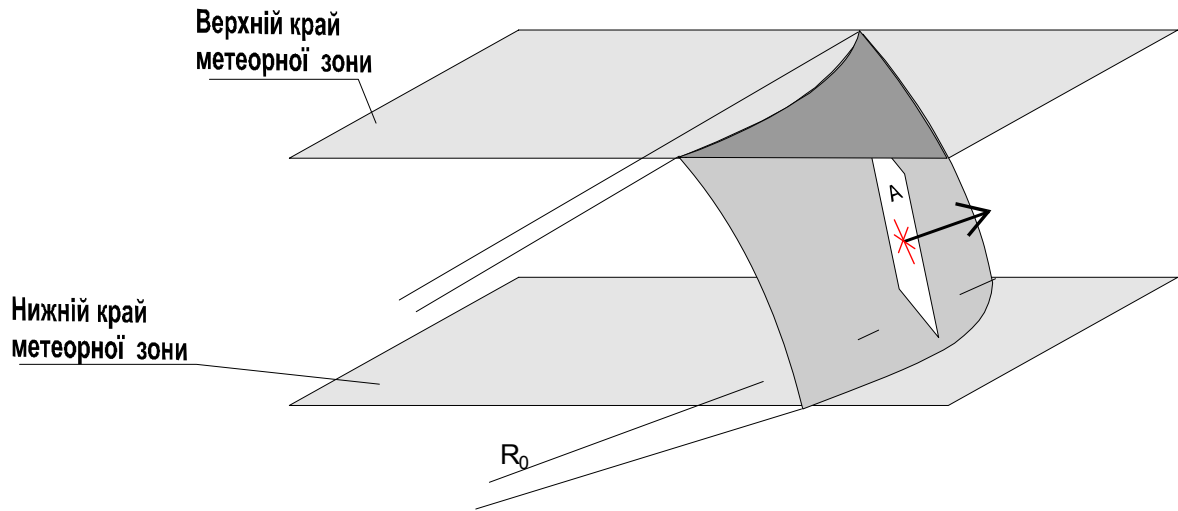


Рисунок 3 – Площина, в якій розташовано слід

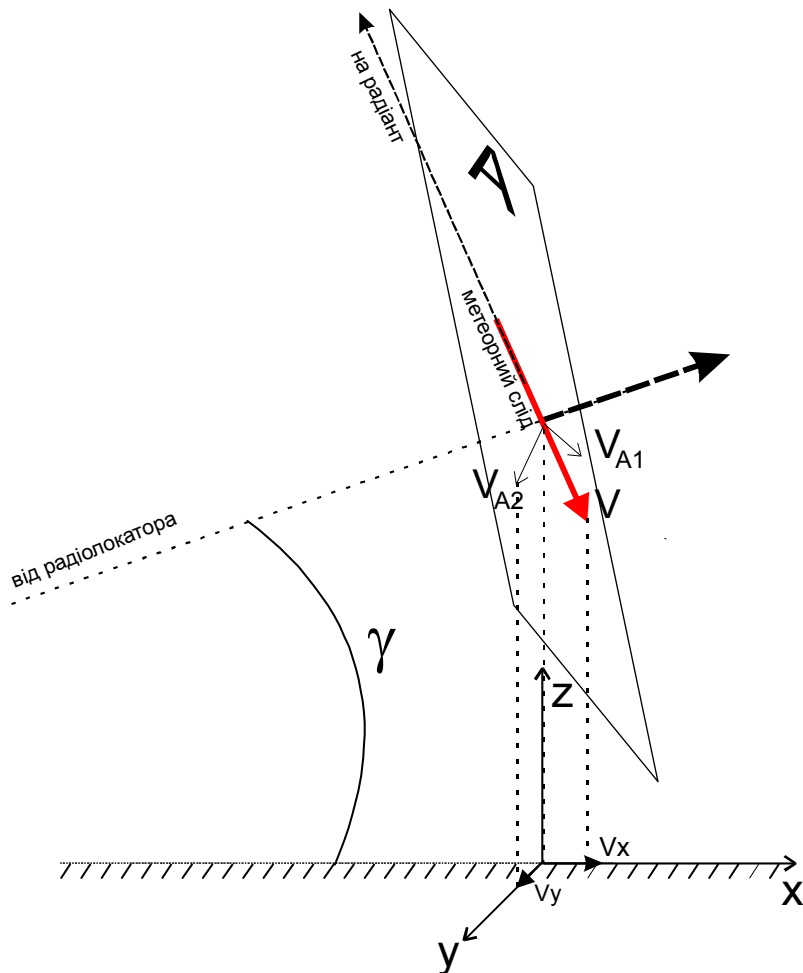


Рисунок 4 – Визначення складових швидкості

Дані про розташування і орієнтацію площини дозволяють перерахувати ці величини у напрямні косинуси радіанта.

Складова швидкості, якої не вистачає, може бути обчислена як:

$$V_{A1} = \frac{V_A}{\cos \gamma} . \quad (3)$$

Помилка методу зумовлена, насамперед, похибкою у визначенні кута нахилу площини **A** до земної поверхні, що може становити $\pm 3^\circ$ за кутом місця (визначається різницею висот метеорної області) і $\pm 5^\circ$ за азимутом (що є наслідком досить широкої ДС антени радіолокатора). Ця похибка змушує обмежити сферу застосування методу ситуаціями, коли відома складова швидкості дорівнює, або наближається до нуля. В інших випадках даний метод дозволяє лише уточнити координати сліду в просторі разом з методами, розглянутими нижче.

Другий метод заснований на вимірюванні затримки імпульсів, прийнятих основним (**O**) і виносним (**B**) пунктами (рис. 5). Величина цієї затримки дуже невелика, крім того, до неї входить невідома затримка в ретрансляторі пункту **B**.

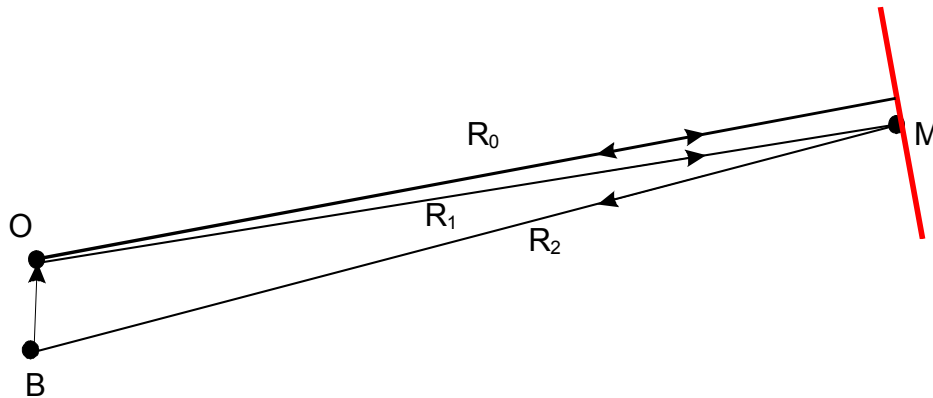


Рисунок 5 – Визначення взаємної затримки

Під час створення системи МАРС цей шлях визначення дальності не передбачався в алгоритмі проведення вимірів, але поглиблений аналіз фотоматеріалів показав, що є взаємна затримка імпульсів на фотознімках і її можна виміряти. Вимірювана різниця часу поширення шляхами **ОМО** і **ОМВО** дозволяє скласти систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{x - x_O}{R_0} + \frac{y - y_O}{R_0} + \frac{z - z_O}{R_0} = 1, \\ \frac{x - x_B}{R_2} + \frac{y - y_B}{R_2} + \frac{z - z_B}{R_2} = 1, \end{cases} \quad (4)$$

розв'язком якої буде множина точок, у яких має розташовуватися метеорний слід.

Остаточне рішення може бути уточнене з використанням попереднього або наступного способів визначення параметрів сліду. Що ж стосується

затримки в ретрансляторі, то вона може бути оцінена за повними даними попередніх (або наступних) реєстрацій метеорних слідів.

Третій запропонований у роботі спосіб заснований на тому факті, що прийом відбитого від метеорного сліду сигналу в точці **O** є радіолокацією з нульовою базою, і в цьому випадку довжина зони Френеля визначається рівнянням (1); а при прийманні сигналу в точці **B** має місце, фактично, радіозв'язок через метеорний слід. Тоді довжина зони Френеля може бути знайдена як

$$L_{FB} = \sqrt{\frac{R_1 R_2 \lambda}{(R_1 + R_2)}}, \quad (5)$$

(позначення згідно з рис. 5).

Детальний аналіз знімків АЧХ показав, що довжини зон Френеля, які зафіксовані в основному і у виносних пунктах, дійсно відрізняються, причому, як і слід було очікувати, АЧХ у виносному пункті довше на величину k відносно її довжини в основному пункті. Похибка методу визначається частотою слідування зондуючих імпульсів радіолокатора, яка становила 500 Гц. На час вимірювання припадає до 50 імпульсів, що дозволяє зафіксувати різницю довжин зон Френеля, якщо вона становить, як мінімум, один імпульс (тобто, 2%). Для такого розрахунку відстані R_1 і R_2 можна вважати однаковими і обчислювати як

$$R_2 = R_0(1 + k)^2. \quad (6)$$

Далі складається і розв'язується система рівнянь (4), що дозволяє знайти множину точок можливого розташування сліду.

Четвертий спосіб уточнення місця розташування метеорного сліду у просторі заснований на наявності залежності сталої часу його розсіювання τ від висоти.

Визначення сталої часу розсіювання сліду за осцилограмою (рис. 6) дозволяє оцінити його висоту і таким чином частково усунути невизначеність у його місці розташування, яка може зберігатися при використанні розглянутих вище способів.

На підставі запропонованих способів розроблені алгоритми, що дозволяють відновлювати координати метеорних радіантів за неповною радіолокаційною інформацією.

Отже, у другому розділі роботи запропоновано чотири способи визначення параметрів метеорного сліду для ситуацій, коли наявні дані радіолокаційних спостережень не дозволяють здійснити обробку з використанням імпульсно-далекомірною методу.

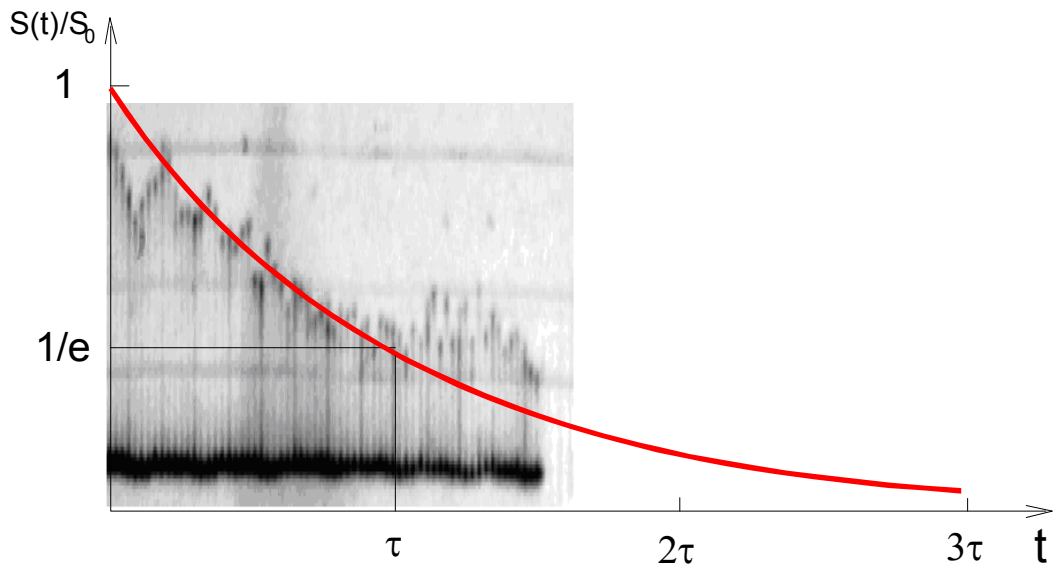


Рисунок 6 – Стала часу розсіяння сліду

У **третьому розділі** дисертаційної роботи «Розпізнавання і моделювання АЧХ метеорних слідів» розглянуто два питання.

По-перше, запропоновано методи перетворення фотографічних зображень АЧХ і інших інформативних елементів зображень у форму, придатну для подальшої обробки. Слід зазначити, що якість фотоматеріалу не завжди задовільна, на знімках є численні дефекти, плями, подряпини і т.д. Значна кількість цих знімків змушує застосовувати для них автоматизовану обробку.

Зокрема, запропоновано спосіб виділення необхідних елементів зображення, заснований на повторюваності деяких елементів фотознімків (рис. 7). Для цього створено шаблон, який є середнім значенням яскравості типового фотозображення. Використання такого шаблону дозволяє автоматизувати процес сканування і розпізнавання елементів зображення.

Для перетворення графічних образів АЧХ у цифровий масив використовувалися розходження в щільності фотонегатива.

Цей спосіб виявився найбільш простим і швидким, що досить суттєво, з огляду на великий обсяг даних. Після виділення необхідних ділянок зображення і збільшення їх до зручного для обробки розміру, з ними виконувалися наступні дії.

Матриця, що відповідає зображенню АЧХ у форматі bmp в градаціях сірого (діапазон значень 0...255, рис. 8, а) підсумовували за рядками i для кожного стовпця j

$$R_j = \sum_{i=0}^I (255 - V_{i,j}) \quad (8)$$

де V_{ij} – значення яскравості елемента.

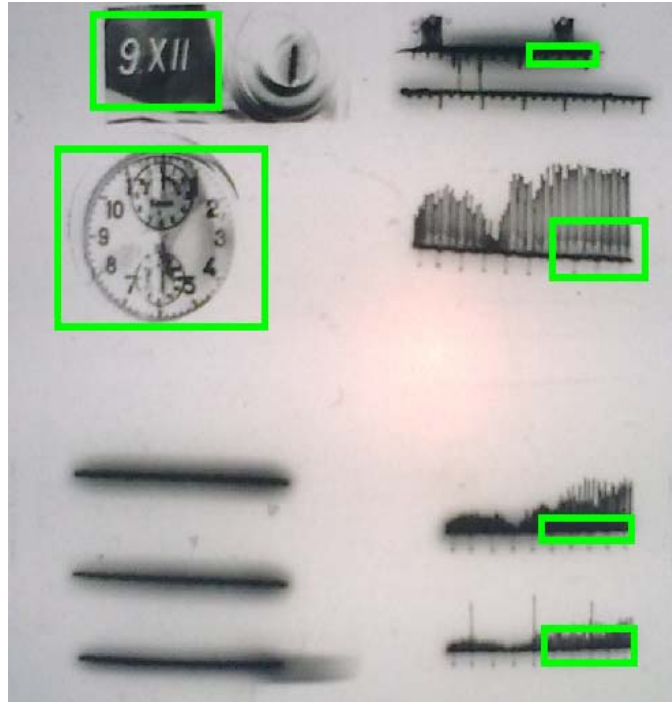


Рисунок 7 – Дані фотореєстрації одного метеора

У результаті було отримано одномірний масив, графічний зміст якого відображено на рис. 8, б. Даний спосіб надзвичайно простий, але у нього мають місце нерівномірності засвіти негативу, що перетворюється в «додаткові» максимуми АЧХ, яких насправді не було. Для їх усунення обчислюється розподіл щільності негатива за межами зображення АЧХ

$$R1_j = \sum_{I=10}^I (255 - V_{i,j}), \quad (9)$$

а потім обчислюється поелементна різниця цих масивів

$$R0_j = R_j - R1_j. \quad (10)$$

У результаті зазначені завади усуваються (рис. 8, в).

Аналогічні дії, що передбачають перетворення системи координат і виділення максимумів щільності виконуються для зображення годинників, що фіксували момент зйомки. Для зазначених процедур розроблені алгоритми і складені програми.

У другій частині третього розділу розглянута математична модель метеорної АЧХ. Відомий вираз, що описує коливальний загасаючий процес, було перетворено до виду:

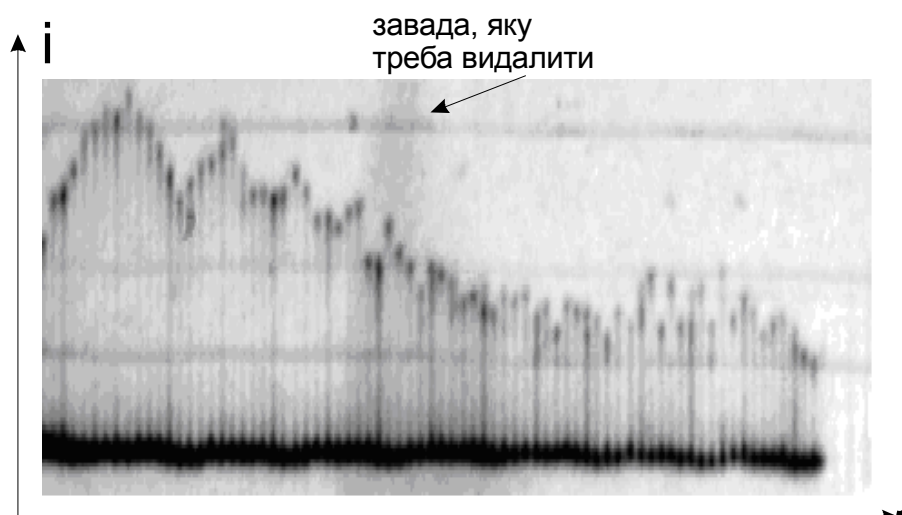
$$I_m(x) = A_n \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^{x_0} \cos\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) e^{-\Delta(x_0-x)} dx \right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \int_0^{x_0} \sin\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) e^{-\Delta(x_0-x)} dx \right)^2}, \quad (11)$$

де A_i – нормоване за максимумом значення амплітуди коливання;

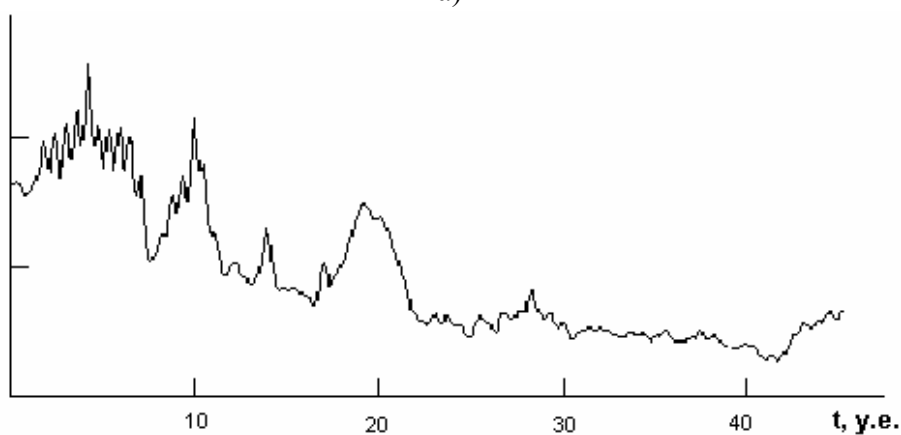
$$\Delta = \frac{8\pi D^2 \sqrt{R}}{V \sqrt{\lambda^3}} - \text{декремент загасання (у моделі), фізично відповідає}$$

величині, яка зворотна до сталої часу розсіювання сліду;

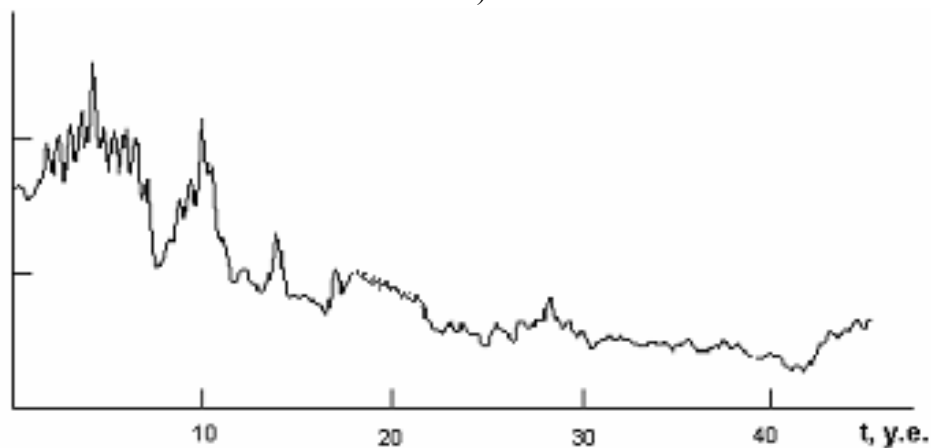
$x_0 = 2F_0 / \sqrt{R\lambda}$ – період коливання (у моделі), що фізично відповідає швидкості метеорної частки в її взаємозв'язку з зонами Френеля.



а)



б)



в)

Рисунок 8 – Етапи обробки зображення АЧХ

На рис. 9 представлено сімейство кривих, отриманих для різних величин Δ .

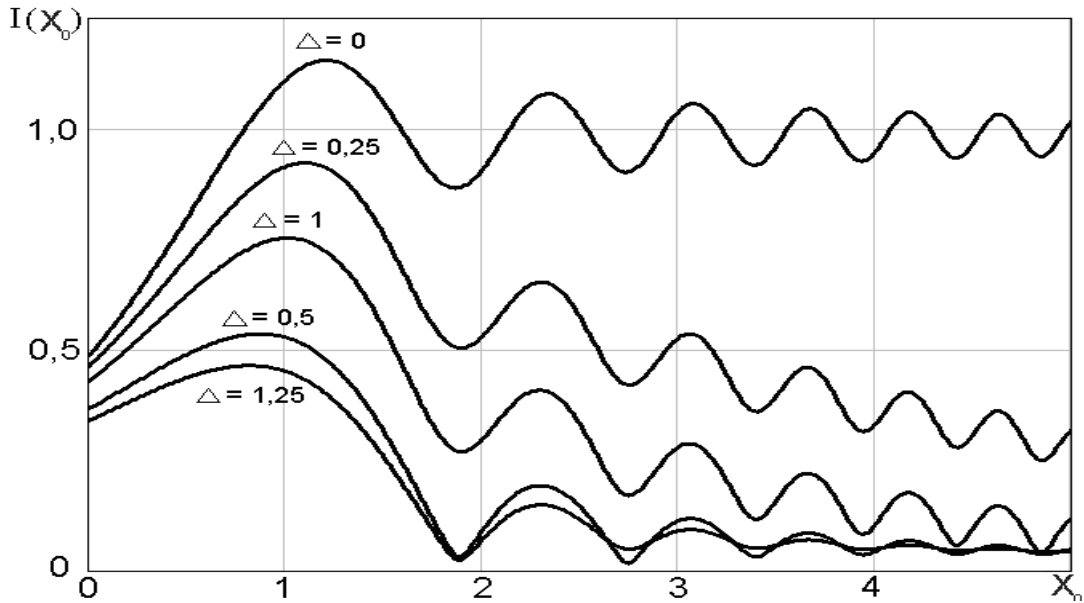


Рисунок 9 – Сімейство модельних кривих АВХ для різних Δ

У процесі зіставлення реальної (отриманої у результаті відцифрування зображення) і змодельованої АЧХ необхідний підбір всіх трьох параметрів моделі. Для реалізації такого підбору було розроблено алгоритм і складено програму.

На першому етапі моделювання здійснювалося попереднє припасування амплітуди A_i за першим максимумом (рис. 10, а).

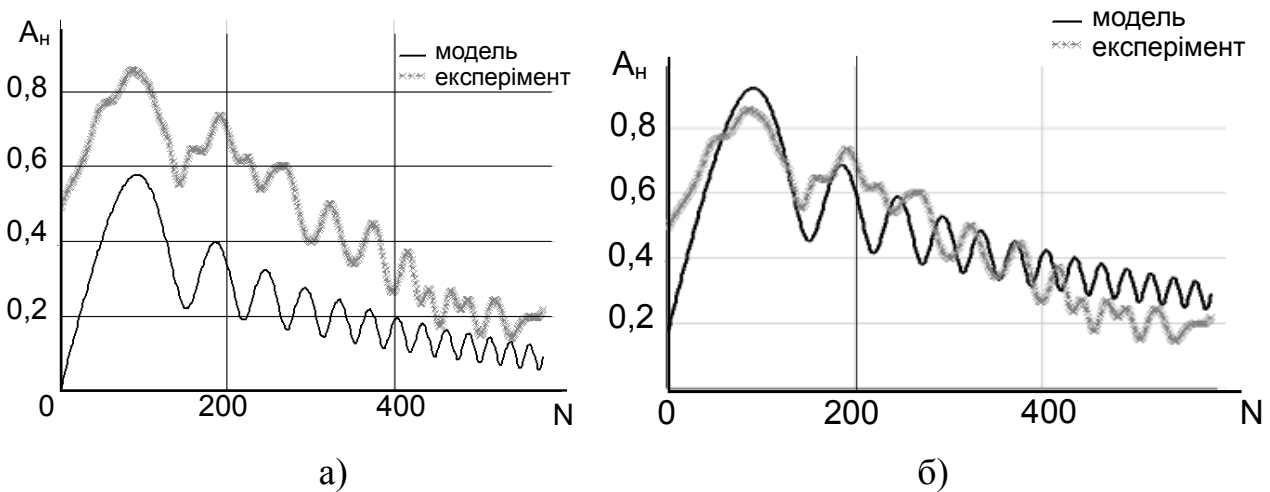


Рисунок 10 – Підбір параметрів моделі

На другому етапі здійснювався пошук параметрів x_0 і Δ до найкращого збігу реальної і змодельованої кривої (рис.10, б). Пошук здійснювався шляхом послідовного перебору всіх значень x_0 і Δ із кроком в 1%. Порівняння здійснювалося за критерієм мінімуму квадратів різниці

$$E = \sum_{i=1}^n (I_i - S_i)^2, \quad (12)$$

де I_i – масив значень змодельованої АЧХ, S_i – масив значень оцифрованої реальної АЧХ.

Результатом моделювання є аналітичний вираз виду (11), що щонайкраще визначає поведження реальної АЧХ. Для АЧХ виносних пунктів вводяться додаткові параметри t_1 і t_2 , що відповідають їх затримкам відносно АЧХ основного пункту. Знайдені параметри моделі вже містять у собі інформацію про довжину зон Френеля і сталу часу розсіювання сліду, що дозволяє розв'язувати задачу визначення параметрів метеорних слідів, у тому числі, з використанням методів, розглянутих у другому розділі.

Слід зазначити, що не для всіх АЧХ метеорних слідів вдається підібрати параметри моделі, які адекватно описують її форму. Це пояснюється тим, що поведження сигналу, відбитого від перенасиченого сліду, може істотно відрізнитися від виразу (11). Також не передбачені даною моделлю випадки вітрового скривлення сліду, виникнення декількох відбиваючих точок і т.д. Таких АЧХ в архіві близько 10...15%. Їх обробка може бути темою подальшого дослідження.

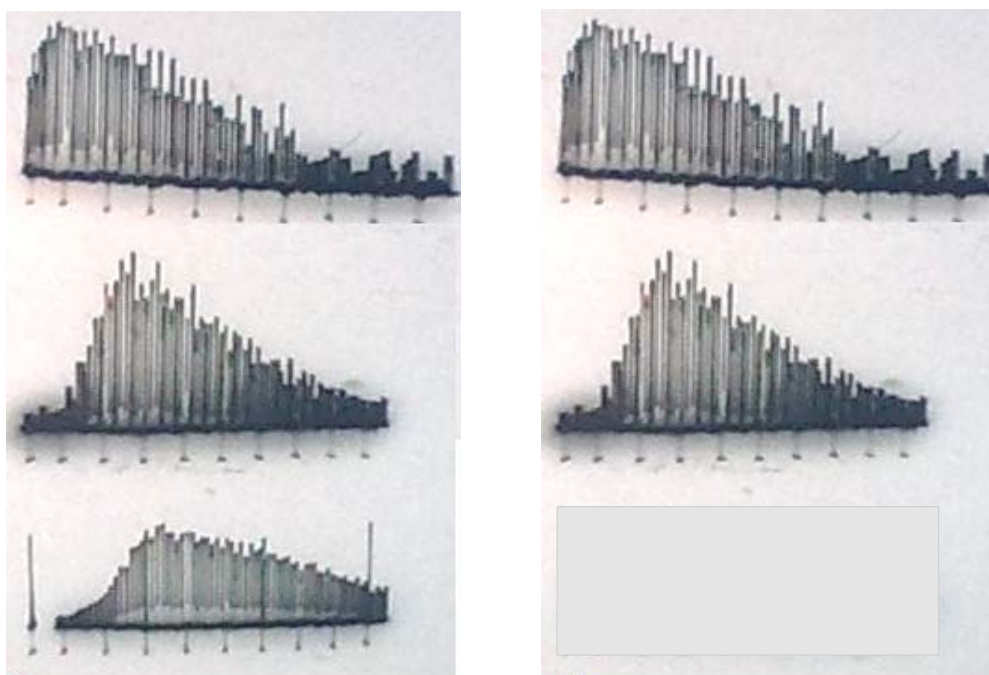
У першій частині **четвертого розділу** дисертаційної роботи «Експериментальна перевірка запропонованих методів і практичні рекомендації з їх використання» запропонований спосіб перевірки й представлені його результати.

Оскільки навіть частково повторити метеорні вимірювання, що проводилися в 60-70 роки на комплексі МАРС, зараз неможливо, для перевірки був запропонований наступний спосіб. Були взяті кілька фотореєстрацій метеорних слідів, що містять всі три АЧХ (з основного і двох виносних пунктів), приклад однієї з таких фотореєстрацій представлений на рис. 11, а.

За ними було зроблено повний розрахунок координат радіанта метеорної частки. Далі АЧХ одного з виносних пунктів була «схована», (рис. 11, б) тобто, імітувалась ситуація її відсутності. За двома АЧХ, що залишились і похилою дальністю, інформація про яку отримується в основному пункті, було виконано розрахунок з використанням запропонованих у роботі методів.

Результати двох розрахунків представлені у табл. 1. (методика 1 – класичний імпульсно-дифракційний метод, методика 2 – визначення висоти сліду за спадом АЧХ і площині сліду виходячи з похилої дальності). Необхідно відзначити, що розрахунок в обох випадках виконувався тільки до визначення вектора швидкості метеорної частки. Знання вектора швидкості, географічних координат пункту спостереження і часу реєстрації метеора однозначно визначає його радіант.

У колонці δ_{\max} наведено значення похибки для найгіршого випадку (найбільша похибка визначення тієї або іншої складової швидкості).



а)

б)

Рисунок 11 – Дані спостережень, що містять: а) всі три АЧХ, б) лише дві АЧХ

Таблиця 1

№	R, км	V_{abs} , км/ с	Δt_1 мс	Δt_2 мс	Δt_3 мс	Методика 1			Методика 2			δ_{max} , %
						V_x	V_y	V_z	V_x	V_y	V_z	
1	200	40,7	10	16	40	12,3	17,2	34,7	12,3	18,8	33,9	9
2	240	39	12,2	26	35	18,7	14,4	31,4	18,7	14,8	31,2	2
3	220	27,9	16	28	40	10,1	8,1	24,7	10,1	9,1	23,7	12
4	225	22,9	20	40	72	9,7	9,7	18	9,7	9,4	18,4	3
5	275	31	18	4	32	3,6	8,0	29,8	3,6	8,4	29,0	5
6	280	16,7	34	24	34	3,1	2,5	16,5	3,1	5,3	15,4	7

Як видно з таблиці, найгірша похибка визначення складової швидкості становить 12%. В інших випадках вона помітно менше.

Це дозволяє стверджувати, що методи, запропоновані в роботі, дозволяють знаходити вектор швидкості (а значить і параметри радіанта) з похибкою, що не перевищує 10%.

У другій частині четвертого розділу сформульовані пропозиції, щодо вдосконалення радіотехнічних метеорних систем у випадку їх побудови або модернізації.

1. Наявність додаткового кутоміру в основному пункті значно спрощує задачу визначення координат, а значить і інших параметрів метеорного сліду.

У деякій мірі замінити кутомірну інформацію могло б точне значення відношення рівнів сигналів в основному і виносному пунктах.

2. Точна інформація про час затримки у виносному пункті дозволить застосовувати різницево-далекомірний метод визначення координат сліду (принаймні, як додатковий).

3. Зменшення періоду повторення імпульсів дасть можливість більш точно вимірювати різницю довжин зон Френеля в різних пунктах, що, знову ж, дозволить застосовувати різницево-далекомірний метод визначення координат сліду.

4. Реєстрація АЧХ на всьому інтервалі часу існування сліду, а не лише на етапі хвилеподібної її зміни, дозволить точніше визначати сталу часу розсіювання сліду і пов'язані з нею параметри.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову задачу, яка полягала у визначенні параметрів метеорних слідів шляхом ідентифікації архівних графічних образів їх АЧХ з використанням радіолокаційних методів, застосування яких не передбачалось при формуванні вказаного архіву.

Основним науковим результатом є теоретичне обґрунтування чотирьох різних способів отримання додаткової інформації з фотографічних зображень метеорних амплітудно-часових характеристик, які не були передбачені в алгоритмі проведення вимірів на комплексі МАРС. З одного боку, запропоновані способи пов'язані з врахуванням особливостей метеорного поширення радіохвиль, що дозволяє вважати інформацію, що міститься в АЧХ у деякій мірі надлишковою, а часткову її втрату – некритичною. З іншого боку, ці способи ґрунтуються на поглибленому аналізі зображень АЧХ із використанням сучасних технічних можливостей.

При вирішенні основної задачі дисертаційної роботи отримано наступні наукові й практичні результати.

1. Розроблено алгоритми для уточнення висоти відбиваючої області, координат і швидкості метеорних часток без проведення дорогих і трудомістких радіолокаційних спостережень.

2. Розроблено і практично реалізовано алгоритми перетворення графічних образів метеорних АЧХ у цифрові масиви.

3. Запропоновано спосіб визначення параметрів моделі АЧХ, що дозволяє замінити цифровий масив даних, відповідних АЧХ, на аналітичний вираз.

4. Експериментально підтверджено, що похибка визначення складової швидкості метеорної частки за двома АЧХ, як правило, не перевищує 10% від значень, отриманих з використанням повної радіолокаційної інформації.

5. Сформульовано рекомендації з удосконалення метеорних радіотехнічних систем з урахуванням запропонованих методів.

6. Вжиті заходи щодо збереження архівних даних мільйонів радіолокаційних метеорних реєстрацій, поданих на фотоплівках. Це дасть змогу науковій спільноті отримати унікальну інформацію про розподіл метеорної речовини в Сонячній системі.

ПЕРЕЛІК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Набиль Оде Имнехир Обработка результатов метеорных радиолокационных исследований для изучения причин изменения климата / Антипов И.Е., Шкарлет А.И., Набиль Оде Имнехир // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2011. – Вып. 164. – С. 41–45.

2. Набиль Оде Имнехир Автоматизированный алгоритм распознавания и анализа метеорных АВХ / Антипов И.Е., Бондарь Е.Ю., Сорох Н.О., Соляник О.А. // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2011. – Вып. 165. – С. 56 – 62.

3. Набиль Оде Имнехир Восстановление координат метеорного радианта по неполной радиолокационной информации / Антипов И.Е., Набиль Оде Имнехир, Шандренко Р.В. // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн.сб. – 2012 – Вып. 169. – С. 11–15.

4. Набиль Оде Имнехир Совершенствование метода определения координат метеорного радианта / Антипов И.Е., Набиль Оде Имнехир, Шандренко Р.В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – № 5 – С. 29 – 33.

5. Набиль Оде Имнехир Возможности метеорных радиолокационных исследований в излучении причин изменения климата / Антипов И.Е., Шкарлет А.И. Набиль Оде Имнехир // Современные проблемы и достижения в области радиотехники, телекоммуникаций и информационных технологий, Запорожье: ЗНТУ. – 2010. – С. 28– 30.

6. Сорох Н.О. Создание автоматизированного стенда для оцифровки данных с фотопленки / Баранчиков Д.А., Шандренко Р.В, Сорох Н.О. // Сборник научных трудов IV Международного радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Перспективы и развитие» – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2011. – С. 352–354.

7. Набиль Оде Сорох Распознавание графических образов АВХ метеоров / Антипов И.Е., Шкарлет А.И. Набиль Оде Сорох // Труды XII международной научно-практической конференции Современные информационные и электронные технологии. СИЭТ–2011. – Одесса. – С. 195.

АНОТАЦІЯ

Набіль Удах Мнехір Сарох. Розробка методу радіолокаційного визначення параметрів метеорів на основі вирішення задачі ідентифікації їх амплітудно-часових характеристик. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.12.17 – радіотехнічні й телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2012.

У дисертації представлено рішення актуальної наукової задачі, яка полягає у визначенні параметрів метеорних слідів шляхом ідентифікації архівних графічних образів їх АЧХ з використанням радіолокаційних методів, застосування яких не передбачалось при формуванні вказаного архіву.

Основний результат роботи полягає в обґрунтуванні методів визначення координат радіанта метеорної частки за наявності інформації про її АЧХ лише в одному з виносних пунктів. Також запропоновано метод перетворення графічних образів метеорних АЧХ в форму, придатну для математичної обробки, набув подальшого розвитку метод чисельного визначення математичної моделі метеорної АЧХ, запропоновано спосіб перевірки розроблених методів.

Практична цінність роботи полягає в реалізації алгоритмів розпізнавання, експериментальному підтвердженні можливості визначення складових швидкості з похибкою до 10%, а також у збереженні архівних даних радіолокаційних метеорних реєстрацій.

Ключові слова: метеорний слід, амплітудно-часова характеристика, метеорний радіант, метеорна радіолокація, виносний пункт, моделювання.

АННОТАЦИЯ

Набіль Удах Мнехир Сарох. Разработка метода радиолокационного определения параметров метеоров на основе решения задачи идентификации их амплитудно-временных характеристик. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2012.

В диссертации представлено решение актуальной научной задачи, состоящей в определении параметров метеорных следов путем идентификации архивных графических образов их амплитудно-временных характеристик с использованием радиолокационных методов, применение которых не предусматривалось при формировании указанного архива. При этом получена

возможность восстановления координат метеорного радианта в неполной радиолокационной информации.

Основной результат работы состоит в том, что теоретически обоснована возможность определения координат радианта метеорной частицы при наличии информации об ее АВХ только в одном из двух выносных пунктов.

Также в работе предложен упрощенный метод преобразования графических образов метеорных АВХ в форму, пригодную для математической обработки, что позволяет автоматизировать этот процесс и сократить его время. Получил дальнейшее развитие метод численного определения параметров математической модели метеорной АВХ, отличительной особенностью которого является возможность автоматизации процесса обработки. Предложен способ проверки разработанных методов с использованием имеющегося архивного материала (без проведения дорогостоящих экспериментальных исследований).

Практическая ценность работы заключается в том, что разработаны и практически реализованы алгоритмы распознавания и преобразования в цифровую форму графических образов метеорных АВХ. Экспериментально подтверждено, что погрешность определения составляющих скорости метеорной частицы при использовании предложенных методов не превышает 10% от значений, полученных с использованием полной радиолокационной информации. Сформулированы рекомендации по совершенствованию метеорных радиотехнических систем с использованием предложенных методов. Приняты меры по сохранению архивных данных миллионов радиолокационных метеорных регистраций, что даст возможность научной общественности получить уникальную информацию о распределении метеорного вещества в Солнечной системе.

Ключевые слова: метеорный след, амплитудно-временная характеристика, метеорный радиант, метеорная радиолокация, выносной пункт, моделирование.

ABSTRACT

Nabeel Oudah Mnehir Saroh Development of the method for radiolocation detection of the parameters of meteors based on solution of the problem of identification of their amplitude-time characteristics. – The manuscript.

Thesis for the Candidate of Technical sciences degree by specialty 05.12.17 – Radio Engineering and Television Systems. – Kharkov National University of Radio electronics, Kharkov, 2012.

The thesis presents the solution of the urgent scientific problem which consist in the detection parameters of the meteor trails by identification graphical images of their amplitude-time characteristics by radiolocation methods, the use of which not provided during the formation of the archive.

The main result of the work is the justification of the methods of position determination meteor particle radiant if the information on the amplitude-time characteristic of only one optional remote point. Also the methods of mathematical modeling and processing are proposed. Moreover, numerical method of the detection mathematical model from meteor amplitude-time characteristic got the further development. The method of testing of the developed methods is proposed.

The practical importance of the thesis is due to the fact that the error in calculating of the meteor parameters on the proposed methods does not exceed 10% of the values obtained with the full radar data.

Keywords: Meteor trail, amplitude-time characteristic, meteor radiant, meteor radiolocation, remote point, modeling.

Підп. до друку 11.12.12.
Умов. друк. арк. 1,2.
Ціна договірна

Формат 60x84 1/16.
Облік. вид. арк. 1,1
Зам №2-1085

Спосіб друку – ризографія.
Тираж 100 прим.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Леніна, 14