

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ХАРЧЕНКО ОЛЕНА ВІКТОРІВНА

УДК 621.371.35

**МОДЕЛЬ МЕТЕОРНОГО РАДІОКАНАЛУ,
ЗАСНОВАНА НА РІШЕННІ ДИФРАКЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ РОЗСІЯННЯ СИ-
ГНАЛУ НА ІОНІЗОВАНОМУ СЛІДІ**

01.04.03 – радіофізика

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Інституті радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Величко Анатолій Федорович,
Інститут радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України,
завідувач відділом обробки радіосигналів.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
Ківва Фелікс Васильович,
Інститут радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усикова НАН України,
завідувач відділом розповсюдження радіохвиль у природному середовищі,

доктор фізико-математичних наук, професор
Панченко Олександр Юрійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки.
професор кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів.

Захист відбудеться "___" _____ 2012 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (61166, м. Харків, пр. Леніна, 14).

Автореферат розісланий "___" _____ 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03



В. М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЇ

Актуальність теми. Метеорний радіоканал (МРК) являє собою переривчастий канал з випадковими параметрами, такими як час і місце появи метеора, чисельність метеорних радіовідбиттів, тривалість існування та електронна щільність метеорного сліду (МС). Незважаючи на уривчастість і відносно невелику середню пропускну здатність (до декількох кілобіт за секунду), метеорний зв'язок має цілий ряд переваг, що вигідно відрізняють його від інших традиційних видів зв'язку, і може бути використаний: в інтересах Міністерства Оборони України і дипломатичних представництв; в системах екологічного моніторингу; для автоматичного контролю стану протяжних, територіально рознесених технічних систем, таких як нафто- і газопроводи, високовольтні лінії електропередач, магістральні кабелі та ін.; для організації службового зв'язку між рухомими об'єктами, а також зв'язку у важкодоступних та віддалених районах; в системах автоматичного дистанційного збору даних в інтересах гідрометеорологічних служб; в системах попередження подій і стихійних лих; для диспетчеризації транспортних засобів та збору інформації про місцезнаходження об'єктів (айсбергів, буїв та ін.); для забезпечення високо-точної синхронізації рознесених у просторі еталонів часу і частоти.

Основними характеристиками МРК, що визначають його пропускну здатність, є потужність сигналу в точці прийому і час існування МС, придатних для передачі інформації. Оцінка цих параметрів є складною з наступних причин:

1. Час виникнення, тривалість існування і основні фізичні характеристики МС є випадковими і змінюються в часі. Вони визначаються параметрами метеорного тіла: масою, швидкістю і щільністю речовини, а також станом середовища в метеорній області.

2. Розсіяний сигнал містить когерентну та некогерентну компоненти, внесок яких в повну потужність, що спостерігається в точці прийому, залежить від параметрів МС і змінюється в часі.

3. В різні моменти часу механізм розсіяння суттєво змінюється. Для іонізованого МС характерні кілька етапів розвитку:

– початковий етап, протягом якого формується слід в межах декількох зон Френеля;

– етап, протягом якого МС повністю сформований, а електронна щільність сліду перевищує критичне значення, при якому діелектрична проникність всередині сліду менше або дорівнює нулю;

– етап розширення МС внаслідок дифузії, в результаті якої електронна щільність зменшується і стає менше критичного значення, а розсіяння сигналу визначається диференціальним перерізом розсіяння електронів плазми з урахуванням їх колективної взаємодії.

Розв'язати таку дифракційну задачу в строгій постановці практично неможливо, що змушує використовувати евристичні методи рішення.

Отримати достовірні емпіричні розрахункові формули для проектування систем метеорного зв'язку безпосередньо з результатів спостережень проблематично внаслідок неконтрольованості вихідних даних – маси і швидкості метеора, а також точки його входження в метеорну зону і орієнтації сліду відносно радіолінії. Це ви-

значає актуальність розробки радіофізичної моделі, заснованої на евристичному розв'язанні дифракційної задачі, яка враховує всі етапи розвитку МС і знаходиться у відповідності з результатами спостережень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати дисертаційних досліджень пов'язані з виконанням планових НДР Національної Академії Наук України, які виконувалися в Інституті радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова: «Методи та шляхи радіофізичного зондування технологічних об'єктів і виробничих приміщень» (шифр «Діагностика-1», номер державної реєстрації 01.07U001084), «Дослідження характеристик сигналів розсіяних складними відбивачами природного і штучного походження при радіолокаційному і ретрансляційному зондуванні» (шифр «Діагностика-2», номер державної реєстрації 01.09U009005). У вказаних НДР здобувач була виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка моделі метеорного радіоканалу, заснованої на евристичному рішенні дифракційної задачі при розсіянні сигналу на іонізованому метеорному сліді, що дозволяє оцінювати зміну у часі рівня потужності розсіяного сигналу в точці прийому і обґрунтовано вибирати основні параметри сигналів і приймально-передавального обладнання (ППО).

Для досягнення поставленої мети, в роботі розв'язувались такі завдання:

1. Розробити метод оцінки розташування в зоні радіовидимості областей з високою ймовірністю утворення іонізованих МС, що мають точку дзеркального відбиття та інтенсивність розсіяння достатню для прийому сигналів, при різній протяжності радіоліній і заданих характеристиках ППО.

2. Розробити узагальнену модель МРК, що враховує наявність когерентної і некогерентної компонент розсіяного сигналу.

3. Вирішити дифракційну задачу при розсіянні сигналу на іонізованому МС, характеристики якого визначаються фізичними параметрами метеорного тіла і орієнтацією сліду в просторі, що забезпечила б можливість обчислення потужності розсіяного сигналу в точці прийому та оцінку впливу обраного типу сигналу на ймовірно-часові характеристики радіоканалу.

4. Розробити метод виявлення МС і синхронізації сигналів, що передаються по МРК, який забезпечував би можливість ефективної роботи в умовах впливу гаусівських і негаусівських завад зі змінною інтенсивністю, а також інтерференційних замирань.

Об'єкт дослідження – розсіяння сигналів на метеорному сліді з різним ступенем іонізації, що змінюється в часі. Виявлення та синхронізація сигналів при використанні метеорного радіоканалу.

Предмет дослідження – модель метеорного радіоканалу, заснована на евристичному розв'язанні дифракційної задачі при розсіянні сигналу на іонізованому метеорному сліді.

Методи дослідження:

1. Аналітичні розрахунки, що базуються на фізичній теорії дифракції, теорії поширення хвиль у випадково-неоднорідному середовищі, теорії дифракції та розсіяння радіохвиль на тілах складної форми і теорії фізики холодної плазми для побудови моделі розсіяння сигналу на МС з електронною щільністю, що визначається параметрами метеороїда.

2. Аналітичні розрахунки, що базуються на теорії ймовірностей та математичної статистики, аналітичній геометрії в просторі і фізиці метеорів для побудови математичної моделі, що дозволяє оцінити ймовірність появи в зоні радіовидимості МС з дзеркальною точкою відбиття.

3. Імітаційне моделювання на ПЕОМ для розрахунку функції розсіювання МС, дослідження характеристик розсіяного сигналу і вибору його параметрів.

4. Імплементация розроблених алгоритмів в ПЛІС і фізичне моделювання для розробки структурно-функціональної схеми передавача і приймача складних сигналів з програмованим цифровим узгодженим фільтром і системою синхронізації, в якій не використовується пороговий пристрій виявлення і синхронізації сигналів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Отримала подальший розвиток узагальнена модель МРК, що, на відміну від існуючих, враховує наявність когерентної і некогерентної компонент розсіяного сигналу.

2. Вперше запропоновано модель МРК, що заснована на евристичному розв'язанні дифракційної задачі при розсіянні сигналу на іонізованому МС, яка, на відміну від відомих моделей, дозволяє оцінити зміну форми сигналу довільного виду при розсіянні.

3. На основі запропонованої моделі розсіювання на МС із заданим значенням об'ємної електронної щільності отримано новий аналітичний вираз, що дозволяє розрахувати потужність когерентної компоненти розсіяного сигналу і описати особливості дифракційних коливань її рівня, що спостерігаються.

4. Вперше запропоновано метод оцінки ймовірності появи в зоні радіовидимості МС з дзеркальною точкою відбиття, заснований на використанні апріорної статистики розподілу радіантів метеорів та оцінки ефективної довжини МС, який дозволяє уточнити розташування областей з високою ймовірністю утворення іонізованих МС, що мають точку дзеркального відбиття та інтенсивність розсіювання достатню для прийому сигналів, при різній протяжності радіоліній і заданих характеристиках ППО.

5. Для забезпечення підвищення точності ймовірнісних розрахунків запропоновано новий метод, що дозволяє забезпечити щільну укладку рівновеликих елементів на поверхні сфери і коректно задавати координати центрів елементів, до яких прив'язується точка входу метеороїда в метеорну зону.

6. Запропоновано та досліджено новий метод виявлення МС і синхронізації складних сигналів, переданих по МРК, який відрізняється від відомих тим, що не використовується пороговий пристрій виявлення і синхронізації сигналів і забезпечується можливість ефективної роботи в умовах впливу негаусівських завад і інтерференційних завмирань.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Запропонований метод розрахунку рівня сигналу в точці прийому, заснований на використанні імпульсної перехідної характеристики МРК, і отриманий аналітичний вираз для оцінки потужності когерентної компоненти розсіяного сигналу, а також відповідний пакет прикладних програм, дозволяють:

– обчислити потужність прийнятого сигналу в залежності від обраних робочої частоти і параметрів ППО;

- визначити зміну потужності прийнятого сигналу в часі при розсіянні на МС з різним ступенем іонізації для радіоліній заданої протяжності;

- оцінити вплив виду і параметрів сигналу на основні характеристики МРК.

2. Розроблений метод оцінки ймовірності появи в заданій області МС з точкою дзеркального відбиття враховує ефективну довжину МС, в межах якої лінійна електронна щільність забезпечує можливість організації зв'язку при заданих параметрах радіолінії, і дозволяє:

- оцінити ймовірність появи МС з точкою дзеркального відбиття і лінійною електронною щільністю достатньою для передачі сигналів при заданих параметрах радіолінії;

- для радіоліній різної протяжності визначити розташування областей найбільш вірогідної появи слідів з точкою дзеркального відбиття і уточнити розташування областей з високою інтенсивністю розсіяння сигналів, що забезпечує обґрунтований вибір параметрів антен і напрямків їх орієнтації.

3. На основі аналізу особливостей розсіяння сигналів на МС обґрунтовано доцільність використання складних сигналів для передачі інформації по МРК.

4. Розроблена структурно-функціональна схема передавача і приймача складних сигналів з програмованим цифровим узгодженим фільтром, а також безпороговий пристрій виявлення і синхронізації сигналів, які можуть бути використані при побудові системи метеорологічного радіозв'язку і для створення експериментальної установки, що дозволяє оцінювати параметри сигналів відбитих від МС.

Особистий внесок здобувача. Автору дисертації належить розробка моделі метеорологічного каналу зв'язку, методу та аналітичних виразів для розрахунку потужності сигналу, розсіяного на МС з різним ступенем іонізації, розробка та налагодження алгоритмів і програм розв'язання задач. При безпосередній участі автора сформульовані завдання дисертації, визначено методи рішення, отримано основні теоретичні та експериментальні результати, а також виконано їх інтерпретацію. З робіт проведених у співавторстві виносяться результати, в отриманні яких автор брав безпосередню участь. У роботі [3] автору належить розробка детальної структурної схеми програмованого цифрового узгодженого фільтру. У роботі [4] автор приймала участь у розробці двохкритеріального методу синхронізації складних сигналів, а у роботі [11] алгоритму реалізації цього методу на ПЛІС. Для покращення методу тактової синхронізації у роботі [17] автором запропоновано метод накопичення сигналу, заснований на використанні цифрового рециркулятора. У роботі [16] автор проводила статистичні дослідження псевдовипадкових послідовностей. Особистим результатом автора є послідовне проведення комплексного дослідження, що включає аналіз існуючих моделей МРК, спостережуваних результатів розсіяння сигналів на МС, а також обґрунтування теоретичних та чисельних результатів, отриманих в ході розв'язання поставлених задач.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи, викладені в дисертації, доповідалися та обговорювалися на 6 міжнародних конференціях і 4 міжнародних симпозіумах [1-10].

Публікації. За темою дисертації всього опубліковано 18 наукових робіт [1-18], з них 5 статей [11-15] в наукових фахових виданнях в галузі фізико-математи-

чних наук, затверджених ВАК України, 3 статті [16-18] в наукових спеціалізованих виданнях у галузі технічних наук, затверджених ВАК України, а також 10 доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій [1-10].

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (113 найменувань). Загальний обсяг роботи – 167 с. (з них основний текст – 139 с., 51 рисунок, 3 таблиці).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** проведено огляд публікацій за темою дисертаційних досліджень та проаналізовано існуючі моделі МРК. Показано, що дані моделі мають ряд обмежень, основними з яких є:

1. Окремо розглядаються «ненасичені» і «насичені» МС, тоді як вони можуть одночасно містити і ненасичену і насичену частини, внесок яких у сумарну потужність розсіяного сигналу протягом часу існування сліду змінюється.

2. У моделях ненасиченого сліду передбачається, що розсіяння відбувається на вільних електронах і не враховуються колективні властивості холодної плазми.

3. Насичений слід апроксимують металевим циліндром і модель МРК, побудована на цій основі, не враховує вклад ненасиченої частини сліду.

4. Моделі не дозволяють оцінювати форму розсіяного сигналу. Для сліду із дзеркальною точкою відбиття враховується тільки когерентна складова розсіяного сигналу.

5. У моделях не враховується вплив турбулентності МС і турбулентності середовища в метеорній зоні.

В результаті даних обмежень не знаходять задовільного пояснення залежність потужності розсіяного сигналу від частоти носійного колювання, що спостерігається в результаті експериментальних досліджень, можливість одночасного спостереження МС в пункті, де виконується умова дзеркального відбиття і на значній відстані від цього пункту, а також особливості спостережуваних змін амплітудно-часових характеристик МРК і наявність дифракційних колювань потужності.

Обґрунтовано необхідність розробки нової моделі МРК, що краще згоджується з результатами спостережень.

У **другому розділі** запропоновано метод оцінки ймовірності появи в зоні радіовидимості МС з дзеркальною точкою відбиття, який дозволяє визначити найбільш ймовірні області утворення МС, які забезпечують можливість передачі сигналів при заданих характеристиках ППО і різній протяжності радіоліній [5,8,10,12,13].

Розрахунок ймовірності появи МС з точкою дзеркального відбиття, придатних для передачі інформації, проводиться в наступній послідовності:

1. Визначаємо зону радіовидимості радіолінії заданої довжини.

2. Для забезпечення підвищення точності ймовірнісних розрахунків використовуємо щільну укладку рівновеликих елементів на поверхні сфери і визначаємо центри цих елементів, яким ставимо у відповідність точки входу метеороїда в метеорну зону.

3. Для кожної точки входу метеороїда в метеорну зону визначаємо мінімальну електронну щільність МС необхідну для передачі інформації.

4. Для зенітних кутів і азимутів, що визначають орієнтацію МС, розраховуємо ефективну довжину сліду та перевіряємо наявність точки дзеркального відбиття в її межах.

5. Для кожної точки входу метеороїда в метеорну зону розраховуємо ймовірність наявності точки дзеркального відбиття на МС з урахуванням апріорного розподілу зенітних кутів і азимутів метеорів.

Відповідно до отриманих значень ймовірностей всіх елементів поверхні, визначаємо області найбільш вірогідної появи МС, придатних для передачі інформації.

При виборі точки входження метеороїда в метеорну зону слід сферичну поверхню, яка визначається зоною радіовидимості, умовно розділити на елементи поверхні з однаковою площею, що покривають дану поверхню. Для забезпечення підвищення точності ймовірнісних розрахунків необхідно щоб відстані між центрами сусідніх елементів були однаковими. При цьому в сукупності вони являють собою щільну укладку на сфері.

Координати центру кожного ji -го елемента поверхні в полярній системі координат визначаються кутами φ і ψ , а також відстанню ρ [6,12]

$$\varphi_{ji} = \arctg \frac{2 \left(i - \frac{j}{2} \right)}{j\sqrt{3}} + k \cdot \frac{\pi}{3}, \quad k = 0, 1, \dots, 5, \quad (1)$$

$$\psi_{ji} = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{\rho} \sqrt{\left(j \frac{3}{2} r \right)^2 + \left(r\sqrt{3} \left(i - \frac{j}{2} \right) \right)^2} \right), \quad (2)$$

$$\rho = R_3 + H + h, \quad (3)$$

де r – радіус кола, описаного навколо елемента поверхні; R_3 – радіус Землі; H – відстань від поверхні Землі до метеорної зони; h – ширина метеорної зони.

Відомо, що лінійна електронна щільність МС залежить від висоти. Необхідне відношення сигнал/шум на вході приймальної системи може бути отримане для значень лінійної електронної щільності $\alpha(h)$ МС, що перевищують мінімальне значення α_{min} , достатнє для забезпечення необхідного відношення сигнал/шум при заданих параметрах ППО. Точки пересічення прямої α_{min} і функції $\alpha(h)$ визначають висоту початку h_n і кінця h_k ефективної метеорної зони $h_{ef} = (h_n - h_k)$, де забезпечується достатній для зв'язку рівень лінійної електронної щільності [8, 13].

Ефективна довжина МС визначається виразом

$$l_{ef} = (\rho_{ef} - 2h_{ef}) \cos \chi - \sqrt{(\rho_{ef} - 2h_{ef})^2 \cos^2 \chi + 5h_{ef}^2 - 2\rho_{ef}h_{ef}}, \quad (4)$$

де $\rho_{ef} = R_3 + H + h_{ef}$.

На рис. 1 показано розташування МС з зенітним кутом χ і азимуту радіанта α в межах ефективної метеорної зони h_{ef} .

Для кожної ji -ої точки входу метеора в метеорну область, з урахуванням орієнтації МС в просторі і ефективної ширини області утворення МС h_{ef} , були обчислені

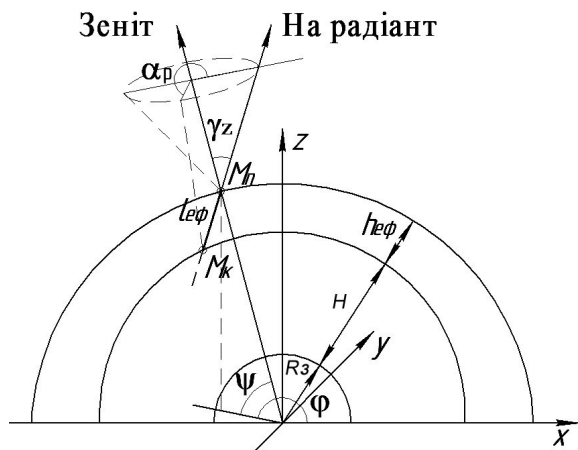


Рис. 1. Метеорний слід в межах ефективної метеорної зони

координати точок початку $M_{n_{ji}}(x_{n_{ji}}, y_{n_{ji}}, z_{n_{ji}})$ і кінця $M_{\kappa_{ji}}(x_{\kappa_{ji}}, y_{\kappa_{ji}}, z_{\kappa_{ji}})$ частини МС, що визначає його ефективну довжину [12]

$$\begin{aligned} x_{n_{ji}} &= \rho_{ef} \cos(\psi_{ji}) \cdot \cos(\varphi_{ji}), \\ y_{n_{ji}} &= \rho_{ef} \cos(\psi_{ji}) \cdot \sin(\varphi_{ji}), \\ z_{n_{ji}} &= \rho_{ef} \sin(\psi_{ji}). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} x_{\kappa_{ji}} &= m \cos^2 \varphi_{ji} \sin \psi_{ji} + m \sin^2 \varphi_{ji} + n \sin \varphi_{ji} \cos \varphi_{ji} - n \sin \varphi_{ji} \cos \varphi_{ji} \sin \psi_{ji} + p \cos \varphi_{ji} \cos \psi_{ji}, \\ y_{\kappa_{ji}} &= m \cos \varphi_{ji} \sin \varphi_{ji} - m \cos \varphi_{ji} \sin \varphi_{ji} \sin \psi_{ji} + n \sin^2 \varphi_{ji} \sin \psi_{ji} + n \cos^2 \varphi_{ji} + p \sin \varphi_{ji} \cos \psi_{ji}, \\ z_{\kappa_{ji}} &= -m \cos \varphi_{ji} \cos \psi_{ji} - n \sin \varphi_{ji} \cos \psi_{ji} + p \sin \psi_{ji}, \end{aligned} \quad (6)$$

де m, n, p – направляючі вектори МС.

Ознакою наявності точки дзеркального відбиття є рівність нулю виразу

$$\cos \chi = \frac{\frac{mx_0}{b_e^2 + L/2} + \frac{ny_0}{b_e^2} + \frac{pz_0}{b_e^2}}{\sqrt{(m^2 + n^2 + p^2) \cdot \left[\left(\frac{x_0}{b_e^2 + (L/2)^2} \right)^2 + \left(\frac{y_0}{b_e^2} \right)^2 + \left(\frac{z_0}{b_e^2} \right)^2 \right]}}, \quad (7)$$

де b_e – мала піввісь еліпсоїду обертання з фокусами у точках прийому та передачі; L – відстань між приймачем та передавачем; (x_0, y_0, z_0) – координати точки на сліді.

Зміна знака при підстановці у вираз (7) замість (x_0, y_0, z_0) координат $M_{n_{ji}}(x_{n_{ji}}, y_{n_{ji}}, z_{n_{ji}})$ і $M_{\kappa_{ji}}(x_{\kappa_{ji}}, y_{\kappa_{ji}}, z_{\kappa_{ji}})$ свідчить про наявність точки дзеркального відбиття.

Ймовірність того, що метеор з zenітним кутом χ і азимутом α , який потрапив у оточення заданої точки $M_{n_{ji}}$, утворює слід, що має точку дзеркального відбиття, визначається виразом [5,7,13]

$$P(x_{n_{ji}}, y_{n_{ji}}, z_{n_{ji}}) = \int_{\chi_{\min}}^{\chi_{\max}} w(\chi) \int_{\alpha_{p_{\min}}(\chi)}^{\alpha_{p_{\max}}(\chi)} w(\alpha_p / \chi) d\alpha_p d\chi, \quad (8)$$

де $w(\chi)$ – щільність ймовірності zenітних кутів спорадичних метеорів; $[\chi_{\min}, \chi_{\max}]$ – інтервал zenітних кутів, за яких для заданої точки входу метеора в область утворення МС є точка дзеркального відбиття; $w(\alpha_p / \chi)$ – умовна ймовірність того, що МС з zenітним кутом χ має азимут α_p ; $[\alpha_{p_{\min}}(\chi), \alpha_{p_{\max}}(\chi)]$ – інтервал zenітних кутів, за яких для даного χ є точка дзеркального відбиття.

Розрахунок ймовірності за формулою (8) дозволяє оцінити ймовірнісний внесок кожного рівновеликого елемента щільної укладки в межах зони радіовидимості і визначити області найбільш вірогідної появи МС, придатних для передачі інформації при радіолініях різної протяжності.

На рис. 2 наведено розподіл ймовірностей та проекція на земну поверхню областей найбільш вірогідної появи придатного для передачі інформації МС, розрахунки проводилися для радіолінії довжиною 1000 км і наступних параметрів

ППО: $P_{nep}=1$ кВт, $G_{nep}=G_{np}=10$ дБ, для метеороного тіла з масою $m=1$ г і швидкістю $v=40$ км/с.

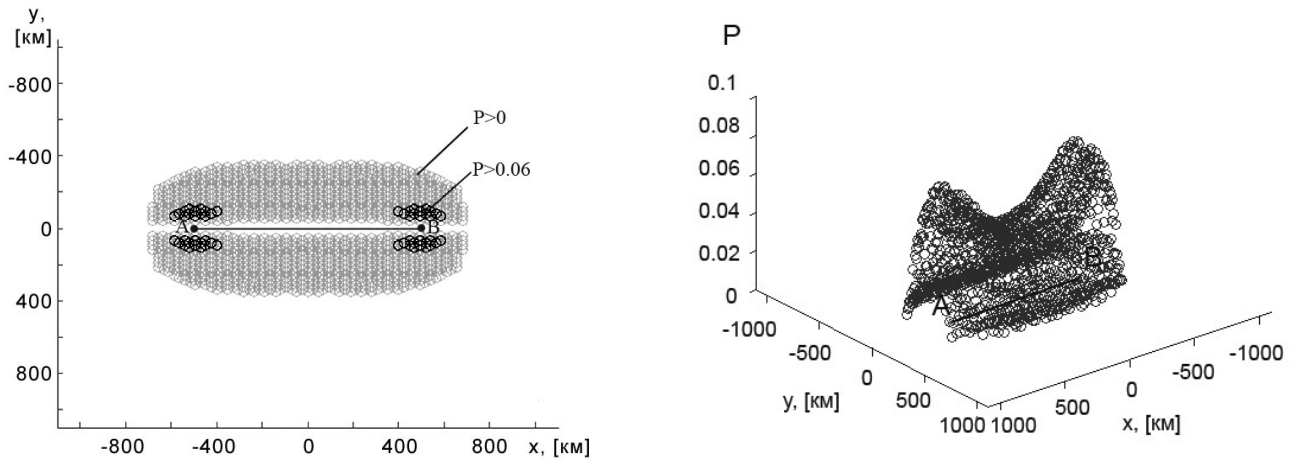


Рис.2. Области найбільш вірогідної появи придатних для передачі інформації метеороних слідів

Отримані результати збігаються з оцінками областей найбільш вірогідної появи МС, придатних для забезпечення зв'язку, які були отримані в результаті тривалих спостережень, що наведені в рекомендаціях МСЕ-Р № Р.843-1.

У **третьому розділі** запропонована узагальнена модель МРК, що враховує наявність когерентної і некогерентної компонент розсіяного сигналу. Враховано, що розсіяний сигнал в точці прийому містить когерентну компоненту, яка формується в основному в області першої зони Френеля і декількох прилеглих до неї областях, і некогерентну компоненту, що утворюється при розсіянні сигналу на неоднорідностях діелектричної проникності турбулентного походження всього сліду. При цьому сумарна потужність розсіяного сигналу представлена узагальненою моделлю [9, 14]

$$P_{\Sigma}^{\Sigma}(t) = a(t)P_{ког}(\lambda, S(\tau, t), N) + b(t)P_{неког}(\lambda, \Phi(q), S_t(\tau), N), \quad (9)$$

де $a(t)$ і $b(t)$ – ваговий внесок когерентної $P_{ког}$ і некогерентної $P_{неког}$ компонент у виразі (9), причому $a(t)+b(t)=1$; λ – довжина хвилі, що відповідає частоті носійного коливання; $S_t(\tau)$ – функція розсіяння за запізнюванням (за дальністю), обчислена для МС із дзеркальною точкою відбиття; $\Phi(q)$ – узагальнений енергетичний спектр неоднорідностей; q – модуль вектора розсіяння; N – множина, що описує фізичні параметри метеороного тіла, МС та енергетичні параметри радіолінії.

Запропоновано модель когерентного розсіяння хвилі на МС, що враховує всі фази формування та розвитку МС та описується виразом [15]

$$P_{ког}^{\Sigma}(t) = P_{ког}^{(1)}(t) + \rho(t)P_{ког}^{(2)}(t), \quad (10)$$

де $P_{ког}^{(1)}$ – когерентна складова сигналу, розсіяного на насиченій частині сліду; $P_{ког}^{(2)}$ – когерентна складова сигналу, розсіяного на ненасиченій частині сліду; $\rho(t)$ – вагова функція, що визначає ступінь впливу ненасиченої частини МС на величину розсіяної потужності.

Початковим моментом будемо вважати момент входження метеороїда на ділянку траєкторії, що відповідає першій зоні Френеля, а першою фазою – інтервал часу на якому головна частина перетинає першу і наступні зони Френеля. У цій фазі виникають коливання потужності розсіяного сигналу (френелівські коливання). На

цьому інтервалі радіус сліду можна вважати рівним початковому радіусу МС r_0 , який істотно менше довжини хвилі, а значення об'ємної електронної щільності сліду визначає характер розсіяння.

Якщо робоча частота менше ленгмюрівської частоти, яка визначається значенням критичної об'ємної електронної щільності $N_{e\text{кр}}$, в якості моделі будемо розглядати розсіяння на металевому циліндрі. При розширенні сліду в результаті дифузії об'ємна електронна щільність зменшується і модель розсіяння на металевому циліндрі допустима при радіусі сліду меншому критичного значення $r_{\text{кр}}$

$$r_{\text{кр}}(t) = \sqrt{-\left(r_0^2 + 4Dt\right) \ln \left(\frac{\pi N_{e\text{кр}}(\lambda) \left(r_0^2 + 4Dt\right)}{\alpha} \right)}, \quad (11)$$

де r_0 – початковий радіус метеороного сліду; D – коефіцієнт дифузії; $N_{e\text{кр}}$ – критична об'ємна електронна щільність; α – лінійна електронна щільність МС.

Таким чином, потужність сигналу, розсіяного МС на початковому інтервалі при $r_{\text{кр}}(t) = r_0$, може бути розрахована за формулою

$$P_{\text{кр}1}(t) = \frac{P_{\text{неп}} G_{\text{неп}} G_{\text{нр}} \lambda^2}{64\pi^2 R_1 R_2 (R_1 + R_2)} \frac{r_{\text{кр}}(t)}{\left[1 - \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos^2 \beta\right]} \cdot \left[\frac{C^2(x) + S^2(x)}{2} \right], \quad (12)$$

де $P_{\text{неп}}$ – потужність передавача; $G_{\text{неп}}$, $G_{\text{нр}}$ – коефіцієнти посилення антен передавача і приймача; λ – довжина хвилі; R_1 і R_2 – відстані між передавальною антеною і відбивачем та приймальною антеною і відбивачем; θ – кут падіння хвилі на слід; β – кут між метеорним слідом і площиною, проведеною через пункти прийому, передачі і точкою відбиття; $C(x)$ і $S(x)$ – інтеграли Френеля, а параметр x , що визначає фазу розсіяного коливання, дорівнює

$$x = vt \left(1 - \sin^2(\theta/2) \cos^2 \beta\right), \quad (13)$$

де v – швидкість метеороїда.

Для МС, радіус яких лежить в межах $(0.01-0.5)\lambda$, а довжина перевершує 0.5λ для обчислення ефективною поверхні розсіяння було використано строге рішення для нескінченного металевого циліндра, засноване на рівняннях Максвелла.

Таким чином, на другій фазі формування МС, в наближенні фізичної оптики, потужність розсіяного сигналу $P_{\text{кр}2}(t)$ визначається виразом, в якому враховується обумовлене дифузією розширення критичного радіусу сліду

$$P_{\text{кр}2}(t) = \frac{P_{\text{неп}} G_{\text{неп}} G_{\text{нр}} \lambda^3}{32\pi^4 R_1 R_2 (R_1 + R_2)} \frac{1}{1 - \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos^2 \beta} \left| \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-1)^n \frac{\frac{d}{dkr_{\text{кр}}} [J_n(kr_{\text{кр}}(t))]}{\frac{d}{dkr_{\text{кр}}} [H_n^{(1)}(kr_{\text{кр}}(t))]} \right|^2, \quad (14)$$

де $J_n(kr_{\text{кр}})$ – функція Бесселя, а $H_n^{(1)}$ – функція Ханкеля.

Для аналітичного опису розсіяного сигналу на етапі формування МС і його розширення до моменту, коли критичний радіус стає рівним нулю, скористаємося функцією Хевісайда $H(x)$, а точку сполучення t_0 знайдемо як мінімальний нетри-

віальний корінь рівняння, отриманого з умови рівності виразів (12) і (13). При цьому когерентна складова насиченої частини сліду має вигляд

$$P_{\text{коз}}^{(1)}(t) = P_{\text{кр1}}(t = t_0) \left[1 - H(x - x_0) \right] \left[\frac{C^2(x) + S^2(x)}{2} \right] + \\ + P_{\text{кр1}}(t = t_0) H(x - x_0) \left[\frac{C^2(x) + S^2(x)}{2} - 1 \right] + P_{\text{кр2}}(t) H(x - x_0) \quad (15)$$

Слід врахувати, що МС крім насиченої частини, яка характеризується критичним радіусом $r_{\text{кр}}(t)$, містить ненасичену частину. Тоді модель сліду може бути представлена металевим циліндром в плазмовій оболонці, електронна концентрація якої нижче критичного значення. При цьому строге рішення дифракційної задачі показує, що розсіяна потужність істотно вище, ніж при розсіянні від металевого циліндра з заданим критичним радіусом. В результаті дифузії через деякий час насичений слід стає ненасиченим, а його електронна концентрація забезпечує високу потужність розсіяння протягом досить тривалого часу.

Розрахунок бістатичного (двохпозиційного) розсіяння на ненасиченому МС виконувався в припущенні, що робоча частота сигналу ω перевищує ленгмюрівську частоту ω_0 . При цьому потужність сигналу в точці прийому, обумовлена когерентною компонентою ненасиченого МС з урахуванням колективних взаємодій у плазмі, визначається виразом

$$P_{\text{коз}}^{(2)}(t) = \frac{P_{\text{неп}} G_{\text{неп}} G_{\text{нр}} \lambda^2 r_e^2 (1 + \cos^2(\theta / 2)) \left(\frac{1 + q^2 R_D^2}{2 + q^2 R_D^2} \right) \left[\int_0^{\tau_{\text{max}}} S_i(\tau) U(t - \tau) d\tau \right]^2}{64\pi^3 R_1^2 R_2^2} \quad (16)$$

де R_D – дебаєвський радіус екранування; q – модуль вектора розсіяння; r_e – класичний радіус електрона; e – заряд електрона; $S_i(\tau)$ – функція розсіяння МС (усереднена по множині імпульсна перехідна характеристика каналу).

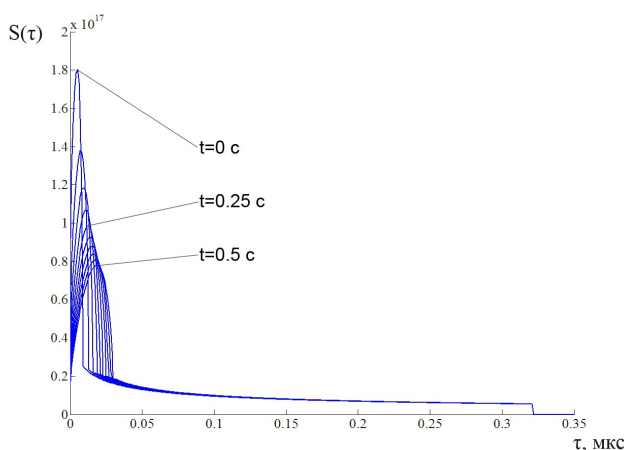


Рис. 3. Функції розсіяння метеорного сліду, що розширюється со-
сом.

Для розрахунку функції розсіяння МС запропоновано метод, заснований на розрахунку затримок сигналу, відбитого поверхнями рівного запізнювання (еліпсоїдами обертання з фокусами, розташованими у пунктах прийому та передачі), що перетинають МС [14]. На рис. 3 наведено отримані згідно розробленому методу функції розсіяння МС, що змінюється з ча-

Для оцінки впливу робочої частоти на зміну в часі прийнятої потужності сигналу, розсіяного метеорним тілом з масою 0.1 г і швидкістю 40 км/с, виконані чисельні розрахунки для робочих частот $f_1=30$ МГц, $f_2=45$ МГц, $f_3=60$ МГц, а також

для лінійно частотно-модульованого (ЛЧМ) сигналу з центральною частотою $f_c=45$ МГц і зміною частоти від 30 до 60 МГц.

Результати розрахунку, отримані з використанням виразу (16) і обчисленої за розробленою методикою функції розсіяння, представлені на рис. 4.

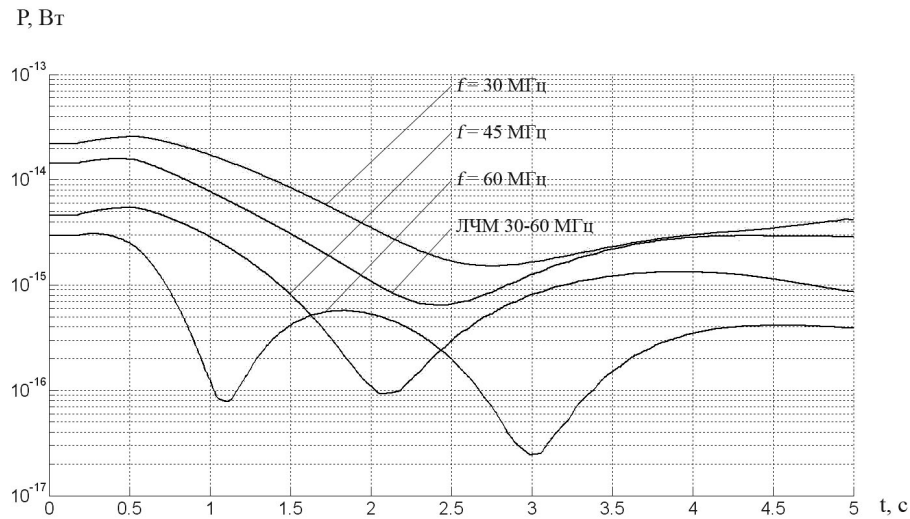


Рис. 4. Зміна в часі потужності прийнятих квазігармонічних і ЛЧМ сигналів

Для характерного моменту часу $t=2.1$ с була розрахована форма розсіяного ЛЧМ сигналу і його згортки в узгодженому фільтрі. Результати розрахунків для частоти носійного колювання $f_c=45$ МГц і ширини спектра сигналу $\Delta F_c=30$ МГц представлені на рис. 5. На цьому ж рисунку для порівняння показана амплітуда квазігармонічного колювання (лінія на фоні ЛЧМ сигналу). На рис. 6 показана згортка розсіяного ЛЧМ сигналу.

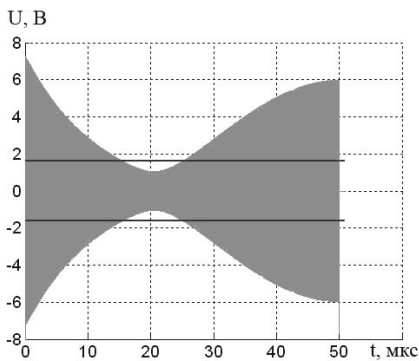


Рис. 5. Форма розсіяного ЛЧМ сигналу

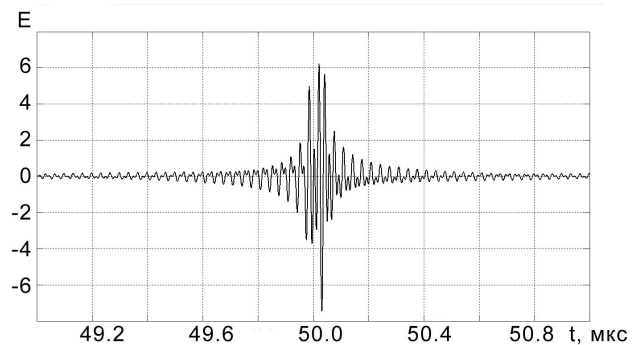


Рис. 6. Згортка в узгодженому фільтрі розсіяного ЛЧМ сигналу

Вагова функція у виразі (10), що визначає ступінь впливу насиченої і ненасиченої частин МС на величину розсіяної потужності [15] надана у вигляді

$$\rho(t) = \begin{cases} \mu_{емп} \exp\left\{-\gamma_{емп} \left[\frac{N_{екв}(t)}{N_{кр}(\lambda)}\right]\right\} & \text{при } N_{екв}(t) \geq N_{кр}(\lambda) \\ 1 - (1 - \mu_{емп}) \exp\left\{-\gamma_{емп} \left[\frac{N_{екв}(t)}{N_{кр}(\lambda)}\right]\right\} & \text{при } N_{екв}(t) < N_{кр}(\lambda) \end{cases}, \quad (18)$$

де $\gamma_{емп}$ і $\mu_{емп}$ – емпіричні коефіцієнти, які задаються на підставі статистичної обробки результатів спостереження розсіяння на МС; $N_{екв}(t)$ – електронна щільність у межах еквівалентного радіуса $r_{екв}$, такого, щоб добуток максимального значення об'ємної електронної щільності на об'єм циліндра одиничної довжини с радіусом $r_{екв}$ дорівнював заданій лінійній електронній щільності.

Для оцінки достовірності запропонованої евристичної моделі розрахунку когерентної компоненти розсіяного сигналу були виконані обчислення зміни потужності в часі за наступних вихідних даних: довжина радіолінії 800 км, потужність передавача 400 Вт, частота передачі 37 МГц, тип передавальних/приймальних антен – 4-х елементна антена «хвильовий канал». Для цієї радіолінії були доступні результати експериментальних спостережень.

При оцінці потужності розсіяння на насиченому сліді розрахунки виконувалися для метеороїда, що має масу $m=2$ грами та швидкість $v=40$ км/с, який створює лінійну електронну щільність $\alpha=4.1 \cdot 10^{15}$ ел/м. На рис. 7 суцільною лінією показані результати розрахунку при $\mu_{емп} = 0.5$ і $\gamma_{емп} = 1.5$. Пунктирною лінією показані результати, отримані в результаті експериментальних спостережень, що були отримані консультативною групою з аерокосмічних досліджень та розробок НАТО.

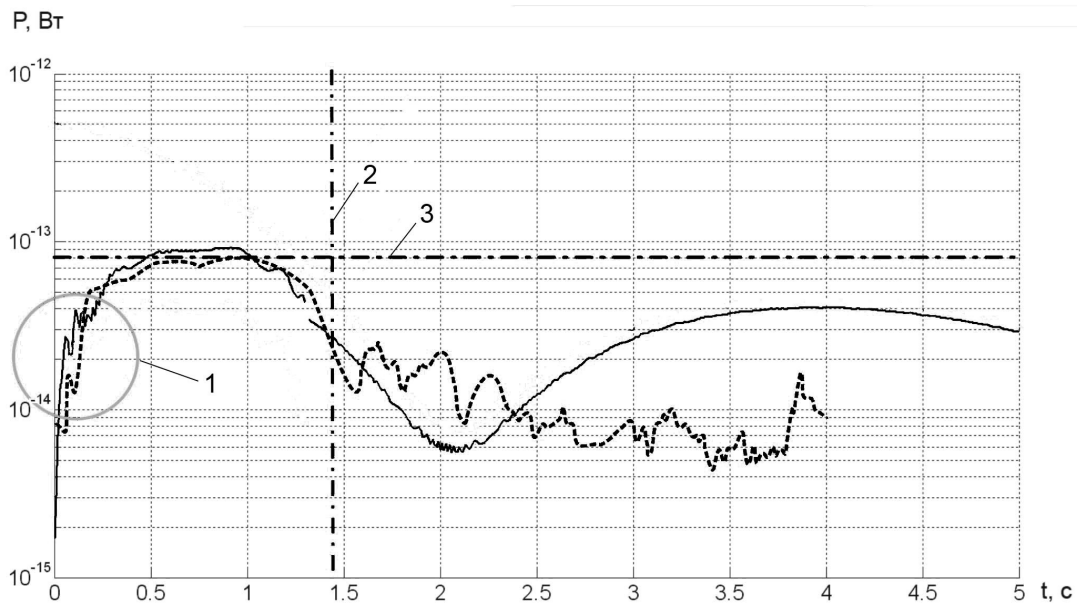


Рис. 7. Порівняння результатів розрахунку зміни потужності при розсіянні на насиченому метеорному сліді, спостережуване при експериментальних дослідженнях і виконане відповідно до запропонованої моделі

Результати чисельних розрахунків дають гарний збіг з результатами експериментальних спостережень розсіяних сигналів, що дозволяє говорити про адекватність запропонованої моделі та можливості її використання при проведенні відповідних розрахунків. На рис. 8 спостерігаються: 1 – дифракційні коливання, що виникають на етапі формування МС, 2 – збіг рівнів прийнятих сигналів, 3 – збіг часу, на якому спостерігається високий рівень розсіяної потужності. Кількісний аналіз результатів розрахунку потужності, розсіяної на насиченому МС, показує, що на інтервалі часу від 0 до 2 секунд збіг розрахункових даних з експериментальними даними, отриманими з застосуванням 2-х каналного вимірювального приймача з рознесеними антенами, досить добрий. При більшому часі спостереження результа-

ти розрахунку дещо перевищують спостережувану потужність розсіяного сигналу, а результати вимірювань показують наявність інтерференційних завмирань. Дані завмирання можуть бути обумовлені впливом турбулентності сліду і навколишнього середовища в метеорної області, а також руйнуванням метеорного тіла. Зниження потужності може бути пов'язано, також, з додатковим впливом турбулентної дифузії, яка при розрахунках не враховувалася.

Для розрахунку некогерентної компоненти розсіяння, що входить до узагальненої моделі (9), запропоновано вираз [14]

$$P_{неког}(t) = \frac{\lambda^2 P_{пер} G_{пер} G_{пр} \sigma_{\epsilon}}{(4\pi)^3 R_1^2 R_2^2} \Phi_{\epsilon}^n(q) \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} S_t(\tau) d\tau, \quad (19)$$

де $\Phi_{\epsilon}^n(q)$ – нормоване значення енергетичного спектра турбулентних неоднорідностей.

У четвертому розділі представлені розробка і аналіз структурно-функціональної схеми передавача і приймача складних сигналів з програмованим цифровим узгодженим фільтром, а також безпорогового пристрою виявлення і синхронізації. Необхідність розробки даних пристроїв визначається обґрунтованою у третьому розділі доцільністю використання складних широкосмугових шумоподібних сигналів (ШШС) для боротьби з мінливими в часі частотно-селективними завмираннями, що виникають в процесі розширення МС. Обмежений частотний діапазон каналу передбачає використання ШШС з базою, яка дозволяє створювати великі ансамблі сигналів з хорошими взаємнокореляційними властивостями [16] і, відповідно, збільшити пропускну здатність каналу.

Показано, що застосування згортки квадратурних компонент вхідної послідовності сигналів в частотній області з використанням швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) дозволяє скоротити обсяг обчислень при цифровій обробці сигналів і природним чином виконати додатковий захист від дії потужних вузькосмугових завад, що потрапляють в смугу пропускання приймального пристрою. Для цього слід обнулити значення спектральних коефіцієнтів, отриманих в результаті ШПФ, які перевищують заданий поріг.

Синхронізація ШШС при використанні МРК є досить складною внаслідок малого часу існування іонізованих слідів і значного діапазону зміни рівнів сигналів і впливаючих завад. Було запропоновано і досліджено метод безпорогової синхронізації складних сигналів, заснований на двохкритеріальному рішенні.

Двохкритеріальна система синхронізації включає в себе дві підсистеми, що паралельно працюють за двома різними критеріями « m -кратне повторення поспіль» і « k з n ». Рішення про наявність синхронізації приймається в момент спрацьовування тієї підсистеми, яка сформувала сигнал «Є синхронізація» першою.

Перший критерій виявлення області сильної кореляції – « m поспіль», полягає у визначенні номера тимчасової позиції, де максимальне значення згортки складного сигналу на одній і тій же часовій позиції спостерігається m раз поспіль на кількох тактових інтервалах. Аналітичний вираз, що визначає ймовірність того, що за k тактів буде достовірно виявлений інтервал з максимальним значенням згортки, має вигляд [4,11]

$$P_{\Sigma}(k) = \begin{cases} 0, & \text{при } k < m \\ P_p^m + (k - m)Q, & \text{при } m \leq k \leq 2m, \\ P_p^m + (k - m)Q - Q \sum_{j=1}^{k-2m} P_{\Sigma}(m - 1 + j), & \text{при } k > 2m \end{cases} \quad (20)$$

де $Q = P_p^m (1 - P_p)$ – ймовірність того, що в інтервалі спостереження, що передуює m -кратному поспіль, було прийнято неправильне рішення;

$$P_p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(Z-h_L)^2}{2}} [F(Z)]^{L-1} dZ, \text{ а } F(Z) = \int_{-\infty}^x e^{-\frac{y^2}{2}} dy.$$

При цьому ймовірність помилкового входження в синхронізм за відсутності сигналу дорівнює $P_{nc} = \left(\frac{1}{L_c}\right)^m$. Добре узгоджується із запропонованим методом синхронізації накопичення, засноване на використанні цифрового рециркулятора [17].

Другий критерій виявлення області сильної кореляції – « k з n », полягає у визначенні номера тимчасової позиції, де максимальне значення згортки складного сигналу спостерігається на одній і тій же часовій позиції не менш k раз на n тактових інтервалах. В такому разі ймовірність помилкового входження в синхронізм при відсутності сигналу дорівнює [11]

$$P_{nc} = 1 - \left(1 - \sum_{i=k}^n C_n^i P^i (1 - P)^{n-i}\right)^{L_c}. \quad (21)$$

Другий критерій може використовуватися також для скидання помилкової синхронізації при відповідному виборі n і k .

Розроблено схему пристрою, що реалізує запропонований двохкритеріальний метод виявлення і синхронізації ШШС, переданих по МРК.

Проведено експериментальні дослідження на комп'ютерній моделі впливу розрядності АЦП на зміну відношення сигнал/шум на виході кореляційного приймача при різному рівні завад [1,2,18]. Отримані результати свідчать про те, що при числі розрядів АЦП $n > 5$ відношення сигнал/шум і рівень інтермодуляційних завад практично не змінюються і забезпечується зниження енергетичних втрат на величину до 6 дБ у порівнянні з двостороннім ідеальним смуговим обмежувачем. Даний висновок справедливий і у випадку впливу кількох вузькосмугових завад.

ВИСНОВКИ

У результаті дисертаційної роботи було вирішено актуальну наукову задачу, яка полягає у розробці радіофізичної моделі МРК, заснованої на евристичному розв'язанні дифракційної задачі, що враховує всі етапи розвитку МС і знаходиться у відповідності з результатами спостережень. Отримані наступні основні результати:

1. Запропоновано метод оцінки ймовірності появи в зоні радіовидимості МС з дзеркальною точкою відбиття, заснований на використанні апріорної статистики розподілу радіантів метеорів та оцінці ефективної довжини МС. Даний метод до-

зволив уточнити розташування областей з високою ймовірністю утворення іонізованих МС, що мають точку дзеркального відбиття і інтенсивність розсіяння, достатню для прийому сигналів, при різній протяжності радіоліній і заданих характеристиках ППО. При розрахунках ймовірності враховані основні характеристики метеороїда і ППО метеорного радіоканалу, а підвищення точності ймовірнісних розрахунків забезпечене використанням розробленого методу побудови максимально щільної укладки на сфері областей, які задають координати точки входу метеороїда в метеорну зону.

2. Розроблено модель МРК, що заснована на евристичному розв'язанні дифракційної задачі при розсіянні сигналу на іонізованому МС. На її основі отримано новий аналітичний вираз, що дозволяє розрахувати потужність когерентної компоненти розсіяного сигналу і описати особливості дифракційних коливань її рівня, що спостерігаються. Імітаційне моделювання, проведене з використанням даної моделі, дозволило оцінити зміну інтенсивності розсіяного сигналу в часі і обґрунтувати доцільність застосування для метеорного радіозв'язку широкосмугових шумоподібних сигналів і кодового поділу каналів.

3. Запропоновано та досліджено метод виявлення МС і синхронізації складних сигналів, переданих по метеорному радіоканалу, що відрізняється від відомих тим, що не використовується пороговий пристрій виявлення і синхронізації сигналів і забезпечується можливість ефективної роботи в умовах впливу негаусівських завад і інтерференційних замирань. Для забезпечення роботи з великими ансамблями сигналів розроблено метод цифрової узгодженої фільтрації сигналів з великою базою, заснований на використанні програмованого цифрового узгодженого фільтра з режекцією вузькосмугових завад, реалізований на ПЛІС.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Харченко Е.В. Анализ влияния параметров квантователя на качество цифровой обработки сложных широкополосных сигналов / Харченко Е.В. // Міжнародна науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2007». – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2007. – с. 392-393
2. Харченко Е.В. Влияние параметров квантователя на качество цифровой обработки сигналов с расширенным спектром / Харченко Е.В. // Материали 4-ой международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2008». Севастополь: Издательство СевНТУ, 2008. – с. 265
3. H.V. Kharchenko. Signal Processing Verification System for the Programmable Digital Matched Filter / [H.V. Kharchenko, S.O. Makovetskiy, I.O. Tkalich et al.] // Proceedings of 6-th IEEE East-West Design and Test Symposium. - Kharkov-Lviv: KNURE, 2008. - p.243- 250
4. H.V. Kharchenko. Two-Criterial DSSS Synchronization Method Efficiency Research / H.V. Kharchenko, I.O.Tkalich, Y.I.Vdovychenko // Proceedings of 7-th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTs'09). - Kharkov-Moscow: KNURE, 2009.- p.165-174

5. H.V. Kharchenko, Estimated formation probability of meteoric trails with mirror reflection / H.V. Kharchenko // Proceedings of 8-th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS'10). - Kharkov-St/Peterburg: KNURE, 2010.- p.289-291
6. Харченко Е.В. Рассеяние по запаздыванию при отражении сложных сигналов от метеорных следов / Харченко Е.В. // IX Харківська конференція молодих науковців «Радіофізика, електроніка, фотоніка та біофізика». – Харків, 2009. – С. 31
7. H.V. Kharchenko. Mathematical Model to estimate the probability of formation of the meteor trails with a specular reflection / H.V. Kharchenko // Proceedings of the X-th international conference «Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. TCSET'2010». – Lviv-Slavske, 2010. – P. 344
8. Харченко Е.В. Метод оценки эффективной длины метеорного следа / Харченко Е.В. // 20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: СевНТУ, 2010. – с.1183-1184
9. Харченко Е.В. Радиофизическая модель метеорного следа с точкой зеркального отражения / Харченко Е.В. // 21-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: СевНТУ, 2011, с. 1093-1094
10. Kharchenko H.V. Calculation of the areas most likely to appear suitable for communication meteor trails [Электронный ресурс] / H. Kharchenko // Proc. of Signal Processing Symposium SPS-2011, Jachranka, Poland, 8-10 June 2011. – Jachranka, 2011. – CD.
11. H.V. Kharchenko. FPGA-based DSSS synchronization system synthesis. / H.V. Kharchenko, I.O. Tkalich, Y.I. Vdovychenko // Прикладная радиоэлектроника. – Харьков: ХНУРЭ, 2009. – Т.8, №2. - с.220-223
12. Харченко Е.В. Метод оценки интервала рассеяния по запаздыванию при отражении сигналов от метеорных следов / Харченко Е.В. // Радиотехника. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – выпуск 160, с. 56-61
13. Харченко Е.В. Метод расчета областей наиболее вероятного появления метеорных следов, имеющих точку зеркального отражения / Харченко Е.В. // Радиотехника. – Харьков: ХНУРЭ, 2011. – выпуск 166, с. 186-192
14. Харченко Е.В. Рассеяние радиосигнала на недоуплотненном метеорном следе / Харченко Е.В. // Радиотехника. – Харьков: ХНУРЭ, 2011. – выпуск 167, с.34-43
15. Харченко Е.В. Рассеяние радиосигнала на метеорном следе. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія “Радіофізика та електроніка”. №966, випуск 18, 2011. с. 90-96
16. I.O.Tkalich. FPGA-based digital recirculator / I.O.Tkalich, H.V. Kharchenko, Y.I.Vdovychenko // Научно-технический журнал «Радиоэлектронные и компьютерные системы». – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. – №6(40). – с. 223-226.
17. Кузнецов О.О. Формування великих ансамблів дискретних сигналів з поліпшеними кореляційними властивостями / Кузнецов О.О., Коваленко А.М., Носик О.М., Харченко О.В. // Системи озброєння і військова техніка. – 2007. - №1 (9). – С. 94-98.

18. Харченко Е.В. Анализ влияния параметров квантователя на качество цифровой обработки сигналов с расширенным спектром / Харченко Е.В. // Системы обработки информации. – 2008. - выпуск 2(69), с. 121-127

АНОТАЦІЯ

Харченко О.В. Модель метеорного радіоканалу, заснована на рішенні дифракційної задачі розсіяння на іонізованому сліді. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика. – Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, Харків, 2012.

У дисертації запропоновано метод оцінки ймовірності появи в зоні радіовидимості метеорних слідів з дзеркальною точкою відбиття, заснований на використанні априорної статистики розподілу радіантів метеорів та оцінці ефективної довжини метеорного сліду. Розроблено модель метеорного радіоканалу, що заснована на евристичному розв'язанні дифракційної задачі при розсіянні сигналу на іонізованому метеорному сліді. Запропоновано та досліджено метод виявлення метеорного сліду і синхронізації складних сигналів, переданих по метеорному радіоканалу.

Ключові слова: модель метеорного радіоканалу, метеорний слід, потужність розсіяного сигналу, дифракційні коливання, когерентна компонента, некогерентна компонента, ефективна довжина, складний сигнал.

АННОТАЦИЯ

Харченко Е.В. Модель метеорного радиоканала, основанная на решении дифракционной задачи рассеяния сигнала на ионизированном следе. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика. – Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, Харьков, 2012.

Диссертация направлена на решение актуальной задачи разработки модели метеорного радиоканала, основанной на решении дифракционной задачи при рассеянии сигнала на ионизированном метеорном следе, позволяющей оценивать изменяющуюся во времени мощность сигнала в точке приема и обоснованно выбирать основные параметры используемых сигналов и приемо-передающего оборудования.

Предложен метод оценки вероятности появления в зоне радиовидимости метеорных следов с зеркальной точкой отражения, основанный на использовании априорной статистики распределения радиантов метеоров и оценке эффективной длины метеорного следа.

Разработана модель метеорного радиоканала, основанная на эвристическом решении дифракционной задачи при рассеянии сигнала на ионизированном метеорном следе. На ее основе получено новое аналитическое выражение, позволяющее рассчитать мощность когерентной компоненты рассеянного сигнала и описать особенности наблюдаемых дифракционных колебаний ее уровня. Имитационное моделирование, проведенное с использованием данной модели, позволило оценить изменение интенсивности рассеянного сигнала во времени и обосновать целесообраз-

ность применения для метеорной радиосвязи широкополосных шумоподобных сигналов и кодового разделения каналов.

Предложен и исследован метод обнаружения метеорного следа и синхронизации сложных сигналов, передаваемых по метеорному радиоканалу, отличающийся от известных тем, что не используется пороговый обнаружитель и обеспечивается возможность эффективной работы в условиях воздействия негауссовских помех и интерференционных замираний.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов подтверждается соответствием оценок, полученных с помощью модели, результатам наблюдения рассеяния на метеорных следах, а также проверкой вычислительных алгоритмов на задачах имеющих точные решения.

Ключевые слова: модель метеорного радиоканала, метеорный след, мощность рассеянного сигнала, дифракционные колебания, когерентная компонента, некогерентная компонента, эффективная длина, сложный сигнал.

ABSTRACT

Kharchenko H.V. The model of meteor radio channel based on the solution of the diffraction problem of scattering on ionized trail. – Manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Physical and Mathematical sciences by specialty 01.04.03 – Radiophysics. – A.Y. Usikov Institute of radiophysics and electronics NAS of Ukraine, Kharkov, 2012.

The thesis proposed a method to estimate the probability of occurrence in the radio visibility zone of meteor trails with a specular reflection point, based on apriori statistical distribution of meteor radiants and evaluation of the meteor trail effective length. The model of meteor radio channel, based on a heuristic solution of the diffraction problem of the signal scattering on the ionized meteor trail proposed. The method of detection of the meteor trail, and synchronization of complex signals transmitted by meteor radio channel proposed.

Keywords: model of radio meteor, meteor trail, the power of the scattered signal, diffraction oscillations, the coherent component, the incoherent component, the effective length, complex signal.