

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

Бєлєзьоров Дмитро Петрович

УДК 621.396

**ТЕСТОВІ СИГНАЛИ
ДЛЯ НАЛАГОДЖЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ
ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РАДІОЛОКАТОРІВ НЕКОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЯННЯ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Пуляєв Валерій Олександрович,
Інститут іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (м. Харків), заступник директора з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Коваль Юрій Олександрович,
Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, професор кафедри «Основи радіотехніки»

доктор технічних наук, професор
Величко Анатолій Федорович,
Інститут радіофізики і електроніки ім. О. Я. Усикова Національної академії наук України (м. Харків), завідувач відділу «Обробка радіосигналів»

Захист відбудеться «___» _____ 2012 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14

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

Автореферат розіслано «___» _____ 2012 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Радіолокатори некогерентного розсіяння (НР) у теперішній час дозволяють реалізувати найбільш ефективну можливість вивчення структури іоносфери та динаміки іоносферних процесів. За допомогою цих радіолокаторів на основі кореляційного (спектрального) аналізу сигналів НР можна одержувати інформацію про температури іонів і електронів, концентрацію електронів, швидкість дрейфу плазми та газовий склад на висотах до 1500 – 2000 км, тобто у всьому діапазоні висот, де має місце істотний вплив іоносфери на поширення радіохвиль.

Незважаючи на те, що у складі радіолокаторів НР використовуються антени досить великих розмірів та потужні передавачі, їх характерною особливістю є робота при дуже низьких співвідношеннях сигнал/шум, оскільки ефективний переріз розсіяння електронів іоносферної плазми надзвичайно малий. Крім того, приймання та обробка сигналів ускладнюються наявністю радіолокаційних відбиттів, зокрема від «космічного сміття».

У цих умовах мають місце як випадкові, так і методичні похибки вимірювань. Для одержання достовірних результатів в оцінці параметрів іоносфери необхідно опиратися на найбільш точні моделі розсіяного сигналу, перевіряти якість роботи наявного програмно-алгоритмічного забезпечення (ПАЗ) в умовах, максимально наближених до реальних умов роботи радіолокатора НР, а також забезпечувати стабільність характеристик апаратури в ході сеансу вимірювання.

Ефективним шляхом забезпечення високої якості вимірювань є використання спеціальних тестових сигналів для налагодження і контролю ПАЗ, а також для перевірки функціонування аналогової і цифрової апаратури радіолокаторів НР. Зокрема, у радіолокаторі Інституту іоносфери для цієї мети призначено аналоговий генератор «забарвленого» шуму.

Однак такий метод формування тестового сигналу не дозволяє розв'язувати задачі налагодження та контролю ПАЗ і апаратури в повній мірі. Зокрема, метод не дозволяє оперативно управляти спектром контрольного сигналу відповідно характеру висотних змін параметрів іоносфери, що імітуються. Крім того, для виявлення регулярних методичних відхилень доцільно використовувати детерміновані тестові сигнали, бо при використанні стохастичного сигналу вносяться додаткові похибки, які мають випадковий характер.

Таким чином, для підвищення ефективності налагодження та контролю процесу одержання іоносферної інформації доцільно в радіолокаторах НР мати систему формування як стохастичних, так і детермінованих тестових сигналів. При цьому повинні бути передбачені можливості оперативного управління характеристиками цих сигналів, а також варіантами їх підключення на різні входи приймальної та обчислювальної апаратури радіолокатора за допомогою комп'ютерних та інших технічних систем.

Такі сигнали необхідні, в першу чергу, для виявлення методичних похибок, що виникають, коли радіолокатор НР із-за довгого зондувального імпульсу має низьку розрізнявальну здатність. У цьому випадку нелінійний характер зміни інтенсивності розсіяння іоносфери з висотою спотворює в межах даного розрізнявального об'єму вид автокореляційної функції (АКФ) сигналу, що призводить у подальшому до появи похибок розрахунків всіх параметрів іоносфери.

У зв'язку з цим першою актуальною задачею є розробка способів виявлення та врахування вказаної методичної похибки в умовах даного конкретного вимірювання. Виявлена похибка може бути використана як для контролю якості вимірювань, так і для корекції процедур та результатів вимірювання температур.

Для розв'язання зазначеної задачі необхідно використовувати спеціальні детерміновані тестові сигнали. Ці сигнали можна подавати на входи приймача під час сеансу вимірювань або використовувати їх у процесі автономного налагодження ПАЗ.

Друга задача, а саме – контроль характеристик приймального тракту радіолокатора НР протягом сеансу вимірювання, може бути також розв'язана шляхом використання детермінованих тестових сигналів. Такий поточний контроль є особливо необхідним для достовірної реєстрації рідкісних аномальних ситуацій в іоносфері, коли її поведінка не описується існуючою теорією розсіяння радіохвиль у плазмі, а також для виявлення збоїв у роботі приймальної або обчислювальної апаратури.

Третьою актуальною задачею є аналіз якості ПАЗ радіолокаторів НР в умовах роботи з реальними сигналами НР. Для розв'язання цієї задачі необхідні комп'ютерні моделі стохастичних сигналів, що імітують процеси на виході приймача радіолокатора НР з урахуванням статистичних характеристик реальних сигналів НР, а також шумів приймача та виникаючих завад.

Таким чином, є актуальною тема дисертаційної роботи, що присвячена комп'ютерному і апаратурному синтезу моделей сигналів, призначених для налагодження та контролю ПАЗ, а також придатних для поточного контролю апаратури радіолокаторів НР.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати представлених досліджень пов'язані з виконанням планових науково-дослідних робіт (НДР) Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, які виконувалися в Інституті іоносфери:

– «Експериментальні та теоретичні дослідження сезонно-добових варіацій космічної погоди для створення прогностичних методик», номер держреєстрації 0106U007088;

– «Комплексні дослідження варіації середньоширотної іоносфери при різних рівнях геомагнітної активності», номер держреєстрації 0108U001259;

– «Радіофізичні дослідження атмосферно-іоносферних хвильових збурювань над Україною, які супроводжують варіації атмосферної і космічної погоди», номер держреєстрації 0105U002364;

– «Радіофізичні дослідження атмосферно-іоносферних хвильових збурень над Україною, що супроводжують варіації атмосферної та космічної погоди», номер держреєстрації 0105U002365;

– «Прогнозування варіацій параметрів фізичних процесів в іоносфері центрально-європейського регіону за даними некогерентного розсіяння», номер держреєстрації 0109U001000.

У вказаних НДР здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є теоретичне обґрунтування та створення моделей сигналів, призначених для тестування й удосконалення ПАЗ і придатних для поточного контролю апаратури радіолокаторів НР, а також створення комп'ютерних програм та розробка технічних рекомендацій для впровадження цих сигналів.

Для досягнення поставленої мети в дисертації розв'язано такі науково-технічні задачі:

1. Розробка способів комп'ютерного та апаратурного синтезу детермінованих тестових сигналів із заданими кореляційними властивостями.

2. Розробка способів комп'ютерного та апаратурного синтезу стохастичних тестових сигналів із заданими кореляційними властивостями.

3. Розробка способів урахування характеру висотного розподілу інтенсивності розсіяння при формуванні тестових сигналів НР.

4. Розробка комплексу прикладних програм для забезпечення системи синтезу тестових сигналів і методів налагодження ПАЗ радіолокаторів НР.

5. Розробка рекомендацій щодо використання синтезованих сигналів для поточного контролю аналогових систем радіолокаторів НР і їх цифрових пристроїв обробки.

Об'єкт дослідження – процес перетворення інформації при дослідженні іоносфери методом НР.

Предмет дослідження – способи формування тестових сигналів із заданими кореляційними властивостями для контролю та удосконалення ПАЗ радіолокаторів НР.

Методи досліджень – комп'ютерне моделювання процесу зондування іоносфери; математичне моделювання випадкових процесів; моделювання сигналу розсіяння і процедур його кореляційної обробки; статистичний аналіз отриманих результатів.

Наукова новизна отриманих результатів наступна:

1. Вперше отримано математичні моделі АКФ розсіяного сигналу на виході корелометра радіолокатора НР Інституту іоносфери, які на відміну від існуючих моделей ураховують вплив характеру висотного розподілу інтенсивності розсіяного сигналу на вигляд АКФ для різних алгоритмів кореляційної обробки. Використання цих моделей дозволило розробити способи форму-

вання детермінованих тестових сигналів з АКФ, що відповідають АКФ НР сигналів на виході корелометра.

2. Вперше науково обґрунтовано математичну модель тестового сигналу у вигляді набору гармонійних складових, амплітуди яких відповідають спектру сигналу НР. У запропонованій моделі, на відміну від існуючих, використовуються детерміновані сигнали для імітації АКФ стохастичного сигналу НР на виході корелометра. Використання цієї моделі дозволило розробити спосіб формування тестових сигналів в якому без суттєвих похибок використовується перетворення Вінера-Хінчіна в дискретному представленні.

3. Вперше науково обґрунтовано математичну модель тестового сигналу у вигляді пачки фазоманіпульованих імпульсів. В отриманій моделі, на відміну від існуючих, використовуються детерміновані сигнали для імітації АКФ стохастичного сигналу НР на виході корелометра. Використання вказаної моделі дозволило розробити спосіб формування тестових сигналів в якому не потрібен синтезатор частот.

4. Вперше синтезовано математичну модель сигналу НР, яка базується на системі стохастичних диференціальних рівнянь. Дана модель відрізняється від існуючих моделей сигналу НР тим, що є марківською та матричною. Використання вказаної моделі дозволило розробити спосіб формування стохастичних тестових сигналів, якій імітує сигнал НР з врахуванням зміни висотного розподілу іоносферних параметрів.

Практична значимість отриманих результатів наступна:

1. Впровадження розроблених способів формування тестових сигналів, включаючи комплекс програм і технічні рекомендації, дозволяє здійснювати найбільш повне тестування ПАЗ радіолокаторів НР, а також проводити контроль функціонування приймально-обчислювальної системи радіолокаторів протягом сеансу вимірювань.

2. Проведена оцінка похибок вимірювання дозволила виявити неточності розрахунків параметрів іоносфери, що виникають через нелінійний характер висотного розподілу інтенсивності сигналу розсіяння в межах даного розрізняювального об'єму.

3. Запропоновані варіанти корекції ПАЗ дозволяють зменшити методичні похибки вимірювання температур електронів та іонів.

4. Розроблена марківська модель сигналу НР дозволяє апробувати ПАЗ в умовах, максимально наближених до реальної роботи радіолокаторів НР.

В цілому, використання запропонованих у роботі способів і алгоритмів, комп'ютерних програм та технічних рекомендацій дозволяє покращити якість визначення іоносферних параметрів методом НР радіохвиль в радіолокаторах НР з імпульсним зондуванням.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно отримано основні результати дисертаційної роботи. Три роботи опубліковано одноосібно [3, 4, 7]. У роботах, виконаних спільно з іншими, автору належать такі результати:

- розробка способів визначення характеру й рівня похибок вимірювань, які можуть виникати при зондуванні іоносфери з двоєними імпульсами, інтервал між якими циклічно змінюється [1];
- розробка алгоритмів моделювання сигналу НР згідно заданого вектору іоносферних параметрів [2, 8];
- розробка алгоритмів, які дозволяють із необхідною точністю при відтворенні АКФ знаходити закони кодування за фазою елементів імітованого сигналу для випадків, коли АКФ флуктуацій та характер висотного розподілу електронів задані в табличному або аналітичному виді [5, 10];
- аналіз можливостей дискретно-частотного представлення сигналу НР [6];
- аналіз особливостей розв’язання прямої і зворотної задач розсіяння при розрахунках іоносферних параметрів [9];
- розробка безпосередньо матричної моделі сигналу НР [11].

Апробація результатів дисертації. Результати, представлені в дисертаційній роботі, доповідалися й обговорювалися на міжнародних, національних і місцевих конференціях. Усього опубліковано 17 тез доповідей на конференціях, основні з яких наступні [12 – 18].

Міжнародні конференції. X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII Міжнародні науково-практичні конференції: Інформаційні технології: наука технологія, освіта, здоров’я (Харків, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 рр.); XXII Всеросійська наукова конференція поширення радіохвиль (Ростов-на-Дону, 2008 р.); 5-я, 6-я Міжнародні молодіжні науково-технічні конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікації» (Севастополь, 2009, 2010 рр.);

Національні конференції. 8-а Українська конференція з космічних досліджень (Євпаторія, 2008 р.); Конференція молодих учених «Дистанційне радіозондування іоносфери» (Харків, 2010 р.); Конференція молодих учених «Дистанційне радіозондування іоносфери» (Харків, 2011 р.).

Місцеві конференції. 3-я, 7-я Харківська конференція молодих учених «Радіофізика та НВЧ електроніка» (Харків, 2003, 2007 рр.).

Публікації. Основні результати дисертації викладено в 10 статтях у фахових спеціалізованих виданнях, 7 тезах на конференціях різного рівня, а також одержано 1 патент України на корисну модель.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 213 стор. (з них основний текст 150 стор., 33 рис., 28 таблиць). Список використовуваних джерел містить 103 найменувань на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі сформульовано задачі дослідження, обґрунтовано актуальність і визначено мету роботи, відзначено наукову новизну, практичну спрямованість, описано структуру роботи й коротко викладено зміст її розділів.

У першому розділі, присвяченому аналізу інформаційних можливостей радіолокаторів НР, розглянуто особливості застосування методу некогерентного розсіяння. Проведено порівняльний огляд радіоелектронних і обчислювальних засобів, що використовуються у діючих радіолокаторах НР, який показав, що в якості основного виду обробки сигналу розсіяння в цей час використовуються кореляційний та спектральний аналізи. Докладно розглянуто структуру й технічні можливості радіолокатора Інституту іоносфери. Проаналізовано роботу програмного корелометра, призначеного для цифрової обробки сигналів у складі систем НР, що працюють у реальному масштабі часу. Розглянуто особливості й обмеження спеціалізованого ПАЗ, яке використовується при регулярних іоносферних вимірюваннях методом НР.

Проведено аналіз сучасного рівня розробки й формування сигналів для контролю процесу іоносферних вимірювань. Показано, що при аналогових способах контролю якості функціонування радіолокатора НР відсутня можливість оперативної зміни параметрів контрольного сигналу, що робить практично неможливим здійснення ефективного контролю в реальному часі. Для заданої структури зв'язків основних вузлів радіолокатора НР обрані точки контролю, куди пропонується вводити тестові сигнали для перевірки стану апаратури й процедур обробки іоносферних даних.

Відзначено, що суттєвим недоліком застосовуваного в даний час контролю є те, що в системах контролю подібного типу не передбачено врахування впливу факторів, пов'язаних з імпульсним зондуванням середовища. Як результат – виключена можливість імітації, наприклад, всієї тієї сукупності можливих висотних розподілів інтенсивності розсіяного сигналу, які визначаються добовими, сезонними змінами, а також фазою сонячної активності та іншими причинами.

З метою оцінки методичних похибок вимірювань, пов'язаних з відсутністю врахування висотної зміни інтенсивності розсіяння в імпульсному об'ємі, розглянуто алгоритми кореляційної обробки сигналів НР.

Зокрема, розглянуті два альтернативні алгоритми формування оцінки АКФ, які можуть застосовуватися на радіолокаторах НР. Для кожної висотної ділянки довжиною Δh , розташованої на дальності (висоті) h , їх можна представити у вигляді процедури перемножування відліків $u(t)$ з послідовним накопиченням результатів відповідно операції

$$R(j\Delta\tau) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{n-j} u_{i,k} u_{i,k+j}; \quad j = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (1)$$

або операції

$$R(j\Delta\tau) = \sum_{i=1}^m u_{i,1} u_{i,j+1}; j = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (2)$$

де $R(j\Delta\tau)$ – АКФ сигналу НР для дискретної затримки $j\Delta\tau$; $\Delta\tau$ – відстань між відліками; n – кількість відліків у вибірці; m – кількість вибірок у сеансі вимірювань; i, k, j – індекси відліків всередині цифрового ряду.

Після такого усереднення для кожної висоти формуються нормовані значення АКФ $r_{\text{вим}}(\tau, t_0)$. У блоці визначення локальних параметрів іоносферної плазми по ним розраховується й формується висотна залежність електронної концентрації $N_e(h)$, кінетичних температур $T_i(h)$ і $T_e(h)$, газового складу $\gamma(h)$ та швидкості дрейфу плазми $V_z(h)$.

Характеристики іоносфери змінюються з висотою, тому велике значення має розрізнявальна здатність радіолокатора, яка залежить не тільки від тривалості зондувального імпульсу, але і від алгоритмів обробки.

Показано, що проблема розрізнявальної здатності особливо гостро стоїть в радіолокаторах НР з більшою довжиною хвилі, таких як харківський радіолокатор, оскільки в них необхідно випромінювати імпульси більшої тривалості.

У випадку стаціонарного процесу алгоритм (1) забезпечує менше значення статистичної похибки оцінки АКФ. Однак його істотним недоліком є те, що висотна розрізнявальна здатність при тривалості вибірки, рівній тривалості імпульсу зондування, визначається подвійною тривалістю цього імпульсу.

Така недостатня висотна розрізнявальна здатність виявляється особливо небажаною в умовах, коли зміна інтенсивності розсіяння відбувається не за лінійним законом. При цьому характер висотного розподілу потужності сигналу розсіяння в межах імпульсного об'єму істотно впливає на вигляд виміряної АКФ, а значить і на величину методичних похибок вимірювань.

Зараз на радіолокаторі Інституту іоносфери використовується алгоритм роботи корелометра виду (2), висотна розрізнявальна здатність якого при обчисленні АКФ в два рази краще, ніж при алгоритмі (1).

У роботі проведено порівняльний аналіз впливу інтенсивності розсіяння сигналу НР на спотворення АКФ при різній кореляційній обробці.

Зокрема відомо, що при кореляційній обробці (1) для різних випадків виду функції $p(t)$, яка описує інтенсивність розсіяння сигналу НР уздовж висотної осі, систематичні відмінності виміряних нормованих АКФ $r_{\text{вим}}(\tau, t_0)$ від нормованих АКФ флуктуації електронної концентрації $r(\tau, t_0)$ проявляються наступним чином

$$\text{при } p_1(t) = a_1 t + a_0 \text{ маємо } r_{\text{вим}}(\tau) = \frac{\Delta^2}{T^2} r(\tau); \quad (3)$$

$$\text{при } p_2(t) = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \text{ маємо } r_{\text{вим}}(\tau, t_0) = \frac{\Delta^2}{T^2} r(\tau, t_0) \frac{a_2 \left(t_0^2 + \frac{\Delta^2}{6} \right) + \frac{a_1}{2} t_0 + a_0}{a_2 \left(t_0^2 + \frac{T^2}{6} \right) + \frac{a_1}{2} t_0 + a_0}; \quad (4)$$

$$\text{при } p_e(t) = e^{-\alpha_E t} \text{ маємо } r_{\text{вим}}(\tau) = r(\tau) \frac{\text{sh}^2 \left(\frac{\alpha_E \Delta}{2} \right)}{\text{sh}^2 \left(\frac{\alpha_E T}{2} \right)}. \quad (5)$$

Тут t – радіолокаційна затримка; a_0, a_1, a_2, α_E – постійні величини; $t_0 = 2h_0/c$ – затримка за часом до висоти h_0 ; c – швидкість світла; T – тривалість зондувального імпульсу; $r_{\text{вим}}(\tau), r_{\text{вим}}(\tau, t_0)$ – виміряні нормовані АКФ сигналу НР; $r(\tau), r(\tau, t_0)$ – нормовані АКФ флуктуації електронної концентрації; $\Delta = T - \tau$; $\tau \leq T$; $p(t)$ – функція розподілу інтенсивності розсіяння, яка визначається як потужність сигналу розсіяння при $T \rightarrow 0$.

Було проведено аналіз впливу висотного розподілу інтенсивності на спотворення АКФ при кореляційній обробці (2). Показано, що спотворення АКФ для різних $p(t)$ при цьому приймає вид:

$$\text{при } p_1(t) = a_1 t + a_0 \text{ маємо } r_{\text{вим}}(\tau, t_0) = r(\tau, t_0) \frac{\Delta}{T} \frac{a_1 \left(t_0 - \frac{\Delta}{2} \right) + a_0}{a_1 \left(t_0 - \frac{T}{2} \right) + a_0}; \quad (6)$$

$$\text{при } p_2(t) = a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \text{ маємо } r_{\text{вим}}(\tau, t_0) = r(\tau, t_0) \frac{\Delta}{T} \frac{a_2 \left(\frac{\Delta^2}{3} - \Delta t_0 + t_0^2 \right) + a_1 \left(t_0 - \frac{\Delta}{2} \right) + a_0}{a_2 \left(\frac{T^2}{3} - T t_0 + t_0^2 \right) + a_1 \left(t_0 - \frac{T}{2} \right) + a_0}; \quad (7)$$

$$\text{при } p_e(t) = e^{-\alpha_E t} \text{ маємо } r_{\text{вим}}(\tau) = r(\tau) \frac{e^{\alpha_E \Delta} - 1}{e^{\alpha_E T} - 1}. \quad (8)$$

Формули (3) – (5) і (6) – (8) можуть бути використані і використовуються в даній роботі для урахування характеру висотного розподілу інтенсивності розсіяння при формуванні тестових сигналів.

У **другому розділі** з метою моделювання процесу інформаційних перетворень при обробці сигналу НР досліджено організацію процедур обробки сигналу НР та особливості використання ПАЗ.

Показано, що сигнал НР являє собою суперпозицію сигналів, які розсіяні окремими статистично незалежними плазмовими утвореннями (через їх екранування), що мають розміри, пропорційні довжині зондувальної радіохвилі. При цьому сигнал НР має нормальний закон розподілу, його математи-

чне очікування дорівнює нулю, а дисперсія визначається рівнем флуктуацій електронної концентрації.

У загальному випадку оцінка параметрів іоносфери проводиться шляхом порівняльного аналізу АКФ (або спектрів), отриманих у процесі такого радіолокаційного зондування, з відповідними радіофізичними моделями розсіювання.

У розділі розв'язана пряма задача визначення функцій спектрального розподілу сигналу НР. При цьому розглянута як однокомпонентна так і багатоконпонентна іоносферна плазма.

Отримала подальший розвиток матрична модель сигналу розсіювання, що враховує особливості іоносферних вимірювань за допомогою імпульсного радіолокатора НР. При цьому прийнято, що миттєві значення напруг \mathbf{Z}_j на виході радіоприймального пристрою можна представити в такий спосіб:

$$\mathbf{Z}_j = \begin{bmatrix} \alpha_{11}u_{j,j} & \alpha_{12}u_{j-1,j-1} & \alpha_{13}u_{j-2,j-2} & \dots & \alpha_{1n}u_{j-n+1,j-n+1} \\ \alpha_{21}u_{j-1,j} & \alpha_{22}u_{j-2,j-1} & \alpha_{23}u_{j-3,j-2} & \dots & \alpha_{2n}u_{j-n,j-n+1} \\ \alpha_{31}u_{j-2,j} & \alpha_{32}u_{j-3,j-1} & \alpha_{33}u_{j-4,j-2} & \dots & \alpha_{3n}u_{j-n-1,j-n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1}u_{j-m+1,j} & \alpha_{m2}u_{j-m,j-1} & \alpha_{m3}u_{j-m-1,j-2} & \dots & \alpha_{mn}u_{j+2-n-m,j-n+1} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де $u_{i,j}$ – відліки сигналу розсіювання, а складові $\alpha_{ik} = a_i g_k$ відображають їх взаємозв'язок з елементами випромінюваного сигналу та імпульсної характеристики фільтра.

У **третьому розділі** розроблено способи формування сигналів, призначених для контролю та удосконалення ПАЗ радіолокаторів НР, а також для поточного контролю групи аналогових і цифрових технічних засобів. Запропоновано два способи формування детермінованих тестових сигналів та один спосіб формування стохастичного тестового сигналу.

В основу запропонованих способів формування детермінованих тестових сигналів покладено перетворення Вінера-Хінчіна. При цьому для врахування впливу форми профілю інтенсивності розсіювання $p(t)$ на АКФ і спектр сигналу запропоновано операцію, яка полягає в тому, що з теоретичного спектра з відомими іоносферними параметрами методом прямого перетворення розраховується теоретична АКФ. Потім вона перемножується на коефіцієнти, що визначають вплив інтенсивності розсіювання, після чого шляхом зворотного перетворення розраховується спектр, необхідний для подальшого використання.

Перший варіант формування детермінованого тестового сигналу із заданою формою АКФ ґрунтується на дискретно-частотному представленні співвідношення Вінера-Хінчіна. Аналітичні вирази для спектру флуктуацій з довільним набором параметрів плазми дає існуюча теорія розсіювання електромагнітних хвиль на флуктуаціях електронної концентрації. Однак його інтегральну форму можна звести до представлення спектру дискретними частотними складовими, для яких кроки за частотою й амплітудою вибираються за

умови припустимої відмінності результату від того, що дає інтегральна форма представлення. Зберігаючи при дискретизації за частотою достатню для практики вимірювань точність, інтегральну залежність між АКФ $R(\tau)$ і енергетичним спектром $\sigma^2(\omega)$ можна замінити сумою

$$R(\tau) \propto \sum_{i=0}^m \sigma^2(\omega_i) \cos(\omega_i \tau) = \sum_{i=0}^m R_i(\tau), \quad i = 0, 1, 2, \dots, m, \quad (10)$$

де $\omega_i = i\Omega$; $\Omega = 2\pi\delta f$; δf – значення кроку по частоті 10 – 100 Гц у смузі частот Δf ; $i = 0, 1, 2, \dots, m$; $m = \Delta f/\delta f$.

Принцип роботи імітатора при дискретно-частотному представленні сигналу є наступним. Для розв'язання задачі моделювання використовується дискретний набір частот, отриманий з програмно керованого синтезатора частот. Синтезатор послідовно, з кроком $\delta f = \Omega/2\pi$, симетрично відносно робочої частоти зондування $f_0 = \omega_0/2\pi$ формує гармоніки $f_i = f_0 \pm i\delta f$. Тривалість кожної послілки – T , амплітуда гармоніки дорівнює $A_i = \sqrt{2}\sigma(\omega_i) = \sqrt{2}\sigma_i$.

Функціонування імітатора можливе на відеочастоті, а значить – сигнал можна подавати безпосередньо на вхід аналого-цифрового перетворювача цифрового корелометра. При цьому імітатор виробляє один із сигналів

$$u_c(t, \omega_i) = \begin{cases} \sigma(\omega_i) \cos(\theta_i), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & 0 > t > T, \end{cases} \quad (11)$$

$$u_s(t, \omega_i) = \begin{cases} \sigma(\omega_i) \sin(\theta_i), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & 0 > t > T, \end{cases} \quad (12)$$

де $\theta_i = \omega_i t + \varphi_i$, $\omega_i = 2\pi(f_0 + i\delta f)$.

Результат розрахунку АКФ сигналів (11) – (12) в корелометрі можна представити у вигляді:

$$R_{ci}(k, \theta_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \sigma^2(\omega_i) \left\{ (n-k) \cos(k\Delta) - \sum_{j=1}^{n-k} \cos[2\theta_i + (2j+k)\Delta] \right\}, & 0 \leq k \leq n-1, \\ 0, & k \geq n, \end{cases} \quad (13)$$

$$R_{si}(k, \theta_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \sigma^2(\omega_i) \left\{ (n-k) \cos(k\Delta) + \sum_{j=1}^{n-k} \cos[2\theta_i + (2j+k)\Delta] \right\}, & 0 \leq k \leq n-1, \\ 0, & k \geq n. \end{cases} \quad (14)$$

де $\Delta = \Omega\tau$, а похибка, пов'язана з випадковими початковими фазами φ_i , представлена під знаком суми.

На основі виразів (13) і (14) було проведено комп'ютерне моделювання. Воно показало, що при тривалості зондувального імпульсу, достатньо великому в порівнянні з інтервалом кореляції сигналу НР, результат слабо залежить від початкових фаз φ_i , тому другий доданок в цих виразах у вигляді суми прагне до нульових значень.

У роботі наведено величини оцінок похибок представлення АКФ при використанні описаної моделі в залежності від вибору кроку за частотою для спектрів різної форми.

Проведено дослідження похибок розрахунків коефіцієнта кореляції, виникаючих при заміні безперервного спектра дискретними значеннями. Показано, що при ширині спектру розсіяння 10 КГц (варіант використання радіохвилі частотою 150 МГц) і при дискретності елементів спектра не більш ніж 50 Гц (2 % від ширини спектру) можна одержати достатню точність оцінки якості аналогових і цифрових систем обробки радіолокатора НР.

При технічній реалізації запропонований тестовий сигнал представляє собою послідовність радіоімпульсів рівної тривалості, амплітуда і частота заповнення яких відповідають заданому спектральному розподілу.

Перевагою способу є те, що можливі різні варіанти формування несиметричного спектру, коли $\sigma_i(\omega_0 + i\Omega) \neq \sigma_i(\omega_0 - i\Omega)$, що важливо для імітації дрейфу іоносферної плазми.

До недоліку способу відноситься необхідність використання досить складного пристрою, принцип роботи якого базується на керуванні роботою синтезатора частот.

Другий спосіб формування тестового сигналу полягає у використанні радіоімпульсу однієї частоти і одночасно як його фазової (0, π), так і амплітудної (0, 1) маніпуляції. В цьому варіанті радіоімпульс тривалістю T на робочій (або проміжній) частоті розбивається на короткі елементи. Тривалість елемента визначається тим кроком по затримці, який використовується в діючій системі кореляційної обробки. Зміна амплітуд (0, 1) і фаз (0, π) цих елементів визначається законом формування АКФ заданого виду. При цьому структура ПАЗ радіолокатора НР однозначно визначається алгоритмами кореляційної обробки, які реалізуються в різних варіантах в залежності від того, як працює корелометр – за варіантом (1) або (2). У роботі запропоновані до використання комп'ютерні моделі формування сигналів для цих двох варіантів кореляційної обробки.

Принцип формування сигналу з фазовою маніпуляцією (ФМ) при кореляційній обробці виду (2) ґрунтується на тому, що тестовий сигнал на виході синхронного детектора представляється матрицею:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Кожний рядок матриці (15) відповідає кодованим за фазою (0, π) елементам імпульсу; елементи матриці можуть приймати значення 1 або -1 ($a_{ik} = \pm 1$). Кількість елементів n у рядку задається тривалістю випромінюваного радіоімпульсу і тим кроком затримки τ , який використовується в діючо-

му процесорі кореляційної обробки сигналів НР. Кількість рядків m задається статистичною точністю відтворення форми заданої АКФ.

Значення елементів матриці (15) знаходяться із системи рівнянь:

$$\begin{cases} a_{1,1} + a_{2,1} + \dots + a_{i,1} + \dots + a_{m,1} = R_0, \\ \dots \\ a_{1,j} + a_{2,j} + \dots + a_{i,j} + \dots + a_{m,j} = R_{j-1}, \\ \dots \\ a_{1,n} + a_{2,n} + \dots + a_{i,n} + \dots + a_{m,n} = R_{n-1}. \end{cases} \quad (16)$$

Запропоновано алгоритм, який дозволяє розв'язати систему (16) за заданими значеннями форми АКФ R_j і кількості рядків m .

Перевагою другого способу перед першим, є те, що він не вимагає використання досить складного пристрою, принцип роботи якого заснований на управлінні роботою синтезатора частот.

Третій спосіб формування сигналів дозволяє імітувати стохастичні сигнали НР, які необхідні, зокрема, для оцінки статистичної похибки вимірювань. Сигнали формуються на основі використання властивостей марківських процесів. При цьому для урахування зміни параметрів іоносфери з висотою запропоновано використовувати матричне представлення сигналу НР на виході приймача у вигляді

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C} \times \mathbf{W}, \quad (17)$$

де $\mathbf{C} = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – вектор-рядок, що описує комплексну обвідну випромінюваного радіоімпульсу в дискретному часі. Елементи матриці $\mathbf{W} = \{W_k(t_n)\}$ описують миттєві значення комплексного коефіцієнта відбиття (КВ) для k -го шару іоносфери, розташованого на заданій висоті.

Модель дозволяє врахувати не тільки зміну всіх параметрів іоносфери вздовж висоти, але і наявність пасивних завод відбитків від аеродинамічних та космічних штучних об'єктів, якщо матрицю КВ представити у вигляді

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}_S + \mathbf{W}_N, \quad (18)$$

де \mathbf{W}_S – матриця КВ іоносфери, а матриця \mathbf{W}_N описує КВ завади.

При розробці моделі тестових сигналів для радіолокатора НР головним і специфічним завданням є моделювання матриці сигналу іоносфери \mathbf{W}_S . При цьому вибірка КВ для заданої висоти повинна представляти собою стаціонарний нормальний випадковий процес із заданим спектром. Для реалізації такого випадкового процесу обрано марківську модель процесу зі спектром, що описується дробово-раціональним виразом. Процес із таким спектром може бути отриманий з білого нормального шуму шляхом його обробки у відповідності з розв'язанням стохастичного диференціального рівняння виду

$$\frac{d^n \lambda(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} \lambda(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{d \lambda(t)}{dt} + a_n \lambda(t) = b_0 \frac{d^m n(t)}{dt^m} + \dots + b_m n(t), \quad (19)$$

де $n(t)$ – нормальний білий шум.

Так як ті вирази, що описують спектр сигналу НР, не мають виду дробово-раціональної функції, то було поставлено і розв'язано задачу апроксимації спектру сигналу НР саме такою функцією $S(\omega)$, що має вигляд

$$S(\omega) = \frac{\left(1 - \frac{\omega^2}{2}\right)^2}{(1 + \nu - 2\nu\omega^2)^2 + (\nu\sqrt{\pi}\omega - \nu\sqrt{\pi}\omega^3)^2}, \quad (20)$$

де ν – коефіцієнт, який обирається відповідно до ширини спектру.

Для реалізації випадкового процесу в цифровому виді було здійснено перехід від диференціального рівняння типу (19) до його різницевого аналогу.

У роботі приведено результати оцінки якості моделювання стохастичного сигналу НР (рис.1), які підтвердили достатню ефективність цього варіанту моделі.

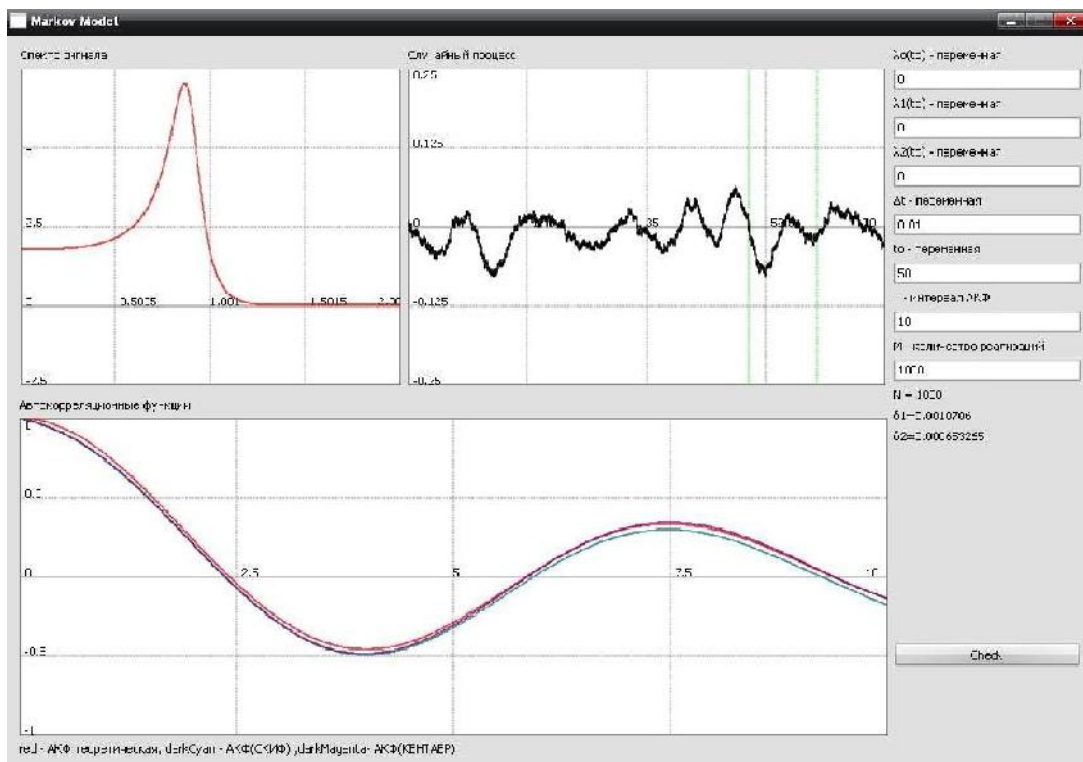


Рисунок 1 – Інтерфейс програми, яка, використовуючи властивості марківських процесів, по заданій формі спектру синтезує сигнал НР з потрібною формою АКФ

У **четвертому розділі** розглянуто програмно-технічну реалізацію запропонованих комп'ютерних моделей тестових сигналів і описано результати проведеної експериментальної перевірки можливостей цих моделей.

На рис. 2 наведено структурні зв'язки розробленого комплексу програм синтезу імітаційних моделей сигналу НР з ПАЗ радіолокатора НР.

У комплекс програм, як базова, входить програмна модель, призначена для синтезу розроблених сигналів. Для розв'язання поставлених задач розрахунку параметрів сформовано бібліотеку моделей теоретичних спектрів, що

відповідають різним значенням температур іонів і електронів. На основі цієї бібліотеки і виразів (6), (7), (8) розраховано бібліотеки АКФ з урахуванням можливих варіантів висотного розподілу інтенсивності сигналу розсіяння. В процесі використання більш точних модельних значень виявляються й усуваються похибки обчислень параметрів іоносфери.

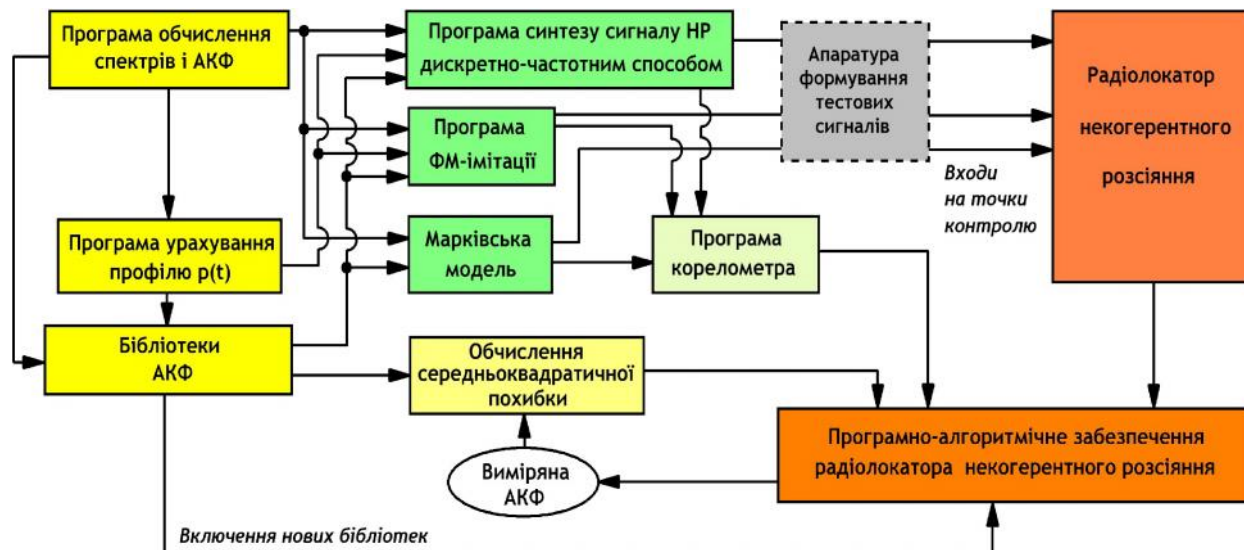


Рисунок 2 – Структура контрольної інформаційно-обчислювальної комп'ютерної системи радіолокатора НР

Розглянуто можливості використання сформованих сигналів як для перевірки програмного забезпечення, залученого для обробки експериментальних даних, так і для перевірки стану апаратури радіолокатора НР.

Розроблені моделі тестових сигналів реалізовано у вигляді комплексу програм на мові високого рівня C++ QT версії 4.5. Ці програми можуть працювати в різних операційних системах, наприклад, Windows X.X, Unix та інших подібних системах.

У розділі проведено дослідження похибок визначення температур електронів і іонів, які виникають у випадку використання бібліотечної моделі для однокомпонентної плазми (O^+), якщо стан іоносфери в дійсності відповідає двокомпонентному складу плазми.

Проведено оцінку методичних похибок визначення температур, що виникають при відсутності врахування висотної зміни потужності сигналу НР вздовж імпульсного об'єму. Зокрема показано, що процес вимірювання за допомогою радіолокатора НР обсерваторії Хайстек менш підданий зазначеним методичним похибкам, ніж процес вимірювання за допомогою радіолокатора НР Інституту іоносфери.

Нарешті, було проведено експериментальне дослідження похибок вимірювання температур, які виникають із-за відсутності врахування нелінійного характеру висотного розподілу інтенсивності сигналу НР в алгоритмах обробки. При цьому було проведено обробку даних радіолокатора НР Інституту Іоносфери з використанням алгоритмів існуючої обробки, яка не враховує вказані ефекти, а також з використанням розробленого нового алгоритму.

Приклад результатів обробки даних, отриманих 02.03.2007 р., представлено у табл. 1 та на рис. 3. Штриховою лінією на графіках наведені значення, отримані за допомогою алгоритмів існуючої обробки, суцільною – результати згідно з рекомендаціями даної роботи.

Таблиця 1 – Порівняння результатів іоносферних вимірювань (колонки 2, 3) з результатами корекції (колонки 4, 5)

1	2	3	4	5
H , км	T_e , К	T_i , К	T_e , К	T_i , К
410	2200	1110	2300	1280
342	2110	930	2210	980
286	2040	820	2100	900
242	1940	750	1990	810
209	1800	710	1930	650
187	1600	710	1690	640

2 березня 2007 року (12:00 - 12:15 LT)

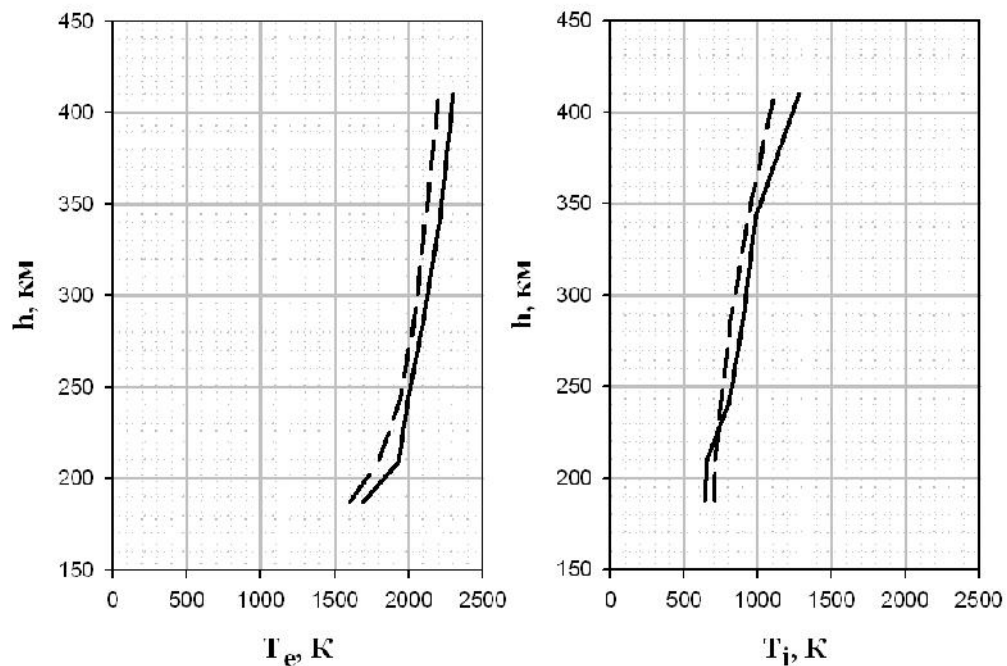


Рисунок 3 – Порівняння результатів іоносферних вимірювань 20.03.2007 р. до і після корекції

Аналіз результатів обробки підтверджує, що:

– врахування форми висотного розподілу інтенсивності сигналу НР дійсно є необхідним, як в алгоритмах формування тестових сигналів, так і в алгоритмах обробки сигналів НР;

– використання тестових сигналів дозволяє виявляти похибку, що пов'язана з неповним врахуванням форми висотного розподілу інтенсивності сигналу НР. Це забезпечує контроль якості вимірювань, а також відкриває нові можливості корекції результатів вимірювань.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу вдосконалення системи та методів налагодження і контролю ПАЗ радіолокаторів НР. Для розв'язання цієї задачі розроблені нові тестові сигнали, способи їх формування та використання. Особливостями запропонованих системи та методів є урахування змін параметрів іоносфери з висотою, а також можливість оперативного управління характеристиками тестових сигналів, та варіантами їх підключення до апаратури. Це дозволяє перевіряти якість роботи наявного ПАЗ в умовах, максимально наближених до реальних умов роботи радіолокатора НР, а також забезпечувати контроль характеристик апаратури в ході сеансу вимірювання.

У роботі було отримано наступні основні результати:

1. За допомогою комп'ютерного експерименту показано, що при зондуванні іоносфери в метровому діапазоні радіохвиль імпульсом, що має тривалість порядку 1 мс, відносна похибка вимірювань параметрів може досягати значень більше ніж 10 %, тому що в ПАЗ є труднощі урахування зміни інтенсивності розсіяння з висотою в межах імпульсного об'єму.

2. Вперше розроблено способи синтезу детермінованих тестових сигналів по заданому вектору іоносферних параметрів з урахуванням особливостей імпульсного зондування, а саме:

а) у вигляді серії радіоімпульсів тривалістю від 1 мс і більше з кроком за частотою не більше 2 % від ширини спектру сигналу НР; спосіб дає можливість проводити тестування ПАЗ радіолокаторів НР з імітацією практично всіх видів спектру, включаючи випадки, коли спектр сигналу НР стає асиметричним;

б) у вигляді серії фазоманіпульсованих сигналів, тривалість елементів яких дорівнює кроку затримки при кореляційній обробці сигналу.

3. Вперше розроблено марківську матричну модель сигналу НР, яка дозволяє імітувати стохастичний сигнал із заданою кореляційною функцією, з урахуванням залежності параметрів іоносфери від висоти.

4. Запропоновано варіанти компонування технічних пристроїв, що реалізують процедури формування тестових сигналів із заданими кореляційними властивостями.

5. Розроблено програмне забезпечення системи синтезу тестових сигналів, яке дозволяє досліджувати й усувати методичні похибки вимірювань, що виникають при використанні зондувальних імпульсів великої тривалості.

6. За допомогою розробленого комплексу програм проведено перевірку ПАЗ радіолокатора НР Інституту іоносфери, результати якої підтвердили ефективність запропонованих підходів до формування й використання тестових сигналів.

7. Результати дисертаційної роботи використані при модернізації ПАЗ радіолокатора НР Інституту іоносфери, в НДР № 0106U007088, НДР № 0108U001259, НДР № 0105U002364, НДР № 0105U002365, НДР

№ 0109U001000, а також в навчально-методичному процесі Національного технічного університету «ХПІ», на кафедрі «Радіоелектроніка», про що є акти впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Рогожкин Е. В. Анализ возможности контроля результатов ионосферных измерений при НР / Е. В. Рогожкин, Д. П. Белозёров // Вестник НТУ «ХПИ». Сборн. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – Т. 5, № 9. – с. 61 – 64.

2. Рогожкин Е. В. Информационные возможности цифровой обработки радиосигналов с известной несущей частотой / Е. В. Рогожкин, Д. П. Белозёров, А. Н. Еремин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборн. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – Т. 4, № 7. – С. 81 – 88.

3. Белозёров Д. П. Особенности интерпретации результатов ионосферных измерений при НР / Д. П. Белозёров // Вестник НТУ «ХПИ». Сборн. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – № 23. – С. 11 – 14.

4. Белозёров Д. П. Модель измерительных преобразований при некогерентном рассеянии / Д. П. Белозёров // Вестник НТУ «ХПИ». Сборн. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – № 20. – С. 51 – 54.

5. Белозёров Д. П. Имитация случайных сигналов с использованием фазовой манипуляции / Д. П. Белозёров, Е. В. Рогожкин // Вестник НТУ «ХПИ». Сборн. научн. тр. Тематический выпуск: Автоматика и приборостроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – № 31. – С. 3 – 10.

6. Рогожкин Е. В. Моделирование сигнала НР с заданными корреляционными свойствами / Е. В. Рогожкин, В. А. Пуляев, Д. П. Белозёров // Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». – Харьков: ХНУРЕ, 2007. – № 149. – С. 38 – 42.

7. Белозёров Д. П. Анализ процесса обработки информации при некогерентном рассеянии радиоволн / Д. П. Белозёров // Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». – Харьков: ХНУРЕ, 2008. – № 154. – С. 57 – 60.

8. Белозеров Д. П. Использование имитаторов для отладки алгоритмического обеспечения радиолокаторов НР / Д. П. Белозеров, В. А. Пуляев, Е. В. Рогожкин // Научно-технический журнал «Радиоэлектроника и информатика». – Харьков: ХНУРЭ, 2009. – № 1. – С. 32 – 36.

9. Пуляев В. А. Особенности решения прямой задачи рассеяния при расчете параметры ионосферной плазмы / В. А. Пуляев, Е. И. Сокол, Д. П. Белозёров и др. // Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. «Радиотехника». – Харьков: ХНУРЕ, 2010. – № 160. – С. 280 – 285.

10. Белозёров Д. П. Формирование ФМ-сигналов для тестирования радиолокаторов НР / Д. П. Белозёров, Е. В. Рогожкин // Вестник НТУ «ХПИ».

Сборн. научн. тр. Тематический выпуск: Радиофизика и ионосфера. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2010. – № 48. – С. 64 – 71.

11. Патент України на корисну модель № 58663, МПК (2011.01) G01S 13/00. Спосіб імітації некогерентно розсіяного іоносферою сигналу / Д. П. Белозьоров, Є. В. Рогожкин, Т. О. Скворцов, А. В. Фисун; власник Інститут іоносфери НАН та МОН України – № и 201009678; заявл. 02.08.2010; опубл. 26.04.2011; Бюл. №8.

12. Белозёров Д. П. Разработка компьютерной модели измерительных преобразований радара НР / Д. П. Белозёров // Информационные технологии: наука технология образование, здоровье: Аннотации докладов межд. научн.-практ. конф., 19 – 20 мая 2005 г. – Харьков, 2005. – С. 670.

13. Белозёров Д. П. Компьютерная модель сигнала НР с заданными корреляционными свойствами / Д. П. Белозёров // Информационные технологии: наука технология образование, здоровье. XV межд. науч.-практ. конф., 17 – 18 мая 2007 г. – Харьков, 2007. – С. 59.

14. Белозёров Д. П. Обработка информации на радаре некогерентного рассеяния и варианты её контроля / Д. П. Белозёров, В. А. Пуляев, Е. В. Рогожкин // Сьома українська конференція з космічних досліджень, 3 – 8 вересня 2007 р.: Збірник тез. – Крим, Євпаторія НЦУВКЗ, 2007. – С. 187.

15. Белозёров Д. П. Формирования псевдослучайных сигналов с заданной автокорреляционной функцией / Д. П. Белозёров // 8-й українська конференція з космічних досліджень. Збірник тез., 1 – 7 вересня 2008 р. Крим, Євпаторія НЦУВКЗ, 2008. – С. 40.

16. Белозёров Д. П. Моделирование гибридного имитатора сигнала НР с заданными корреляционными свойствами / Д. П. Белозёров // XXII Всеросс. научн. конф. по распространению радиоволн, 22 – 26 сентября 2008 г. – Ростов-на-Дону, п. Лоо, 2008. – С. 75.

17. Белозёров Д. П. Оценка погрешности имитатора сигнала некогерентного рассеяния / Д. П. Белозёров // 5-я Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ – 2009», 20 – 25 апреля 2009 г. – Севастополь: Севастопольский национальный технический университет (СевНТУ), 2009. – С. 183.

18. Белозеров Д. П. Матричная модель некогерентно рассеянного сигнала / Д. П. Белозеров, Т. А. Скворцов // Конф. молодых учёных «Дистанционное радиозондирование ионосферы», 12 – 15 апреля 2011 г.: Сборник тезисов. – Харьков, 2011. – С. 32.

АНОТАЦІЇ

Белозьоров Д. П. Тестові сигнали для налагодження та контролю програмно-алгоритмічного забезпечення радіолокаторів некогерентного розсіяння. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05. 12. 17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський

національний університет радіоелектроніки, Харків, 2012.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу вдосконалення системи та методів налагодження і контролю програмно-алгоритмічного забезпечення (ПАЗ) радіолокаторів некогерентного розсіяння (НР). Для розв'язання цієї задачі розроблені нові тестові сигнали, способи їх формування та використання.

Розроблено комплекс програм, призначених для моделювання сигналу НР із врахуванням методичних перетворень при імпульсному зондуванні.

У роботі отримано результати контролю методичних похибок, пов'язаних з нерівномірністю розподілу вздовж висоти інтенсивності сигналу розсіяння. При цьому в процесі автономного налагодження програмно-алгоритмічного забезпечення радіолокатора НР використовувалися експериментальні дані, отримані методом НР.

Ключові слова: радіолокатор некогерентного розсіяння, комп'ютерне моделювання сигналів, імітаційні сигнали, автокореляційна функція, стохастичний нормальний марківський процес.

Белозёров Д. П. Тестовые сигналы для отладки и контроля программно-алгоритмического обеспечения радиолокаторов некогерентного рассеяния. – 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 диссертационной работе решена актуальная научно-прикладная задача совершенствования системы и методов отладки и контроля программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) радиолокаторов некогерентного рассеяния (НР). Для решения этой задачи разработаны новые тестовые сигналы, способы их формирования и использования. Особенности предложенных системы и методов являются учет изменений параметров ионосферы с высотой, а также возможность оперативного управления характеристиками тестовых сигналов и вариантами их подключения к аппаратуре. Это позволяет проверять качество работы имеющегося ПАО в условиях, максимально приближенных к реальным условиям работы радиолокатора НР, а также обеспечивать контроль характеристик аппаратуры в ходе сеанса измерений.

В работе представлен обзор действующих радиолокаторов, рассмотрена структура и проанализированы технические возможности радиолокатора НР Института ионосферы (г. Харьков). Рассмотрены применяемые способы и устройства контроля работы радиолокаторов подобного класса, проанализирован современный уровень разработки и формирования сигналов для контроля процесса ионосферных измерений.

Разработаны варианты программного и аппаратурного синтеза тестовых сигналов НР, обладающих автокорреляционной функцией (АКФ), которая соответствует задаваемому вектору локальных параметров ионосферной плазмы, в том числе и с учетом высотного распределения интенсивности рас-

сеяния в пределах импульсного объёма. Сигналы предназначены для тестирования радиолокаторов НР и обоснованной коррекции его ПАО.

Для оценки статистической погрешности измерений разработана компьютерная модель стохастического нормального марковского процесса, имитирующего сигнал НР. Разработана матричная модель процесса, наблюдаемого на входе приемника радиолокатора НР, которая позволяет имитировать стохастический сигнал НР с учетом зависимости параметров ионосферы от высоты.

Разработаны структура контрольной информационно-вычислительной компьютерной системы, а также комплекс программ, предназначенные для моделирования сигнала НР с учётом методических преобразований, которые накладываются на результат измерений АКФ при произвольно выбранном высотном распределении интенсивности рассеяния в пределах рассеивающего объёма. С их помощью проведено тестирование ПАО действующего радиолокатора НР, которое подтвердило эффективность разработанных подходов к формированию тестовых сигналов.

В работе получены результаты контроля методических погрешностей, связанных с неравномерностью распределения вдоль высоты интенсивности сигнала рассеяния. При этом в процессе автономной отладки программно-алгоритмического обеспечения радиолокатора НР использовались экспериментальные данные, полученные методом НР.

Ключевые слова: радиолокатор некогерентного рассеяния, компьютерное моделирование сигналов, имитационные сигналы, автокорреляционная функция, стохастический нормальный марковский процесс.

Belozarov D. P. Test signals for the adjustment and control of program-algorithmic support of incoherent scatter radars. – The manuscript.

Thesis for the Candidate of Technical Sciences degree by specialty 05. 12. 17 – radio engineering and television systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2012.

Current scientific and technological task of improving the system and methods of debugging and monitoring program-algorithmic support for incoherent scatter radar in the thesis is solved. New test signals, methods of forming and using test signals for this task are developed.

The complex of programs which meant for modeling of incoherent scatter signal taking into account methodical transformations at impulse sounding is developed.

Results of the methodical control errors connected with irregularity of distribution along altitude of incoherent scatter signal power in the work are received. The experimental data obtained by means of incoherent scattering in debugging program-algorithmic support for incoherent scatter radar are used.

Keywords: incoherent scatter radar, computer modeling of signals, imitating signals, autocorrelation function, stochastic normal Markov process.