

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ШАНДРЕНКО РУСЛАН ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.371.332.2

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ МЕТЕОРНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ
ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ В НИХ ШУМОПОДІБНИХ СИГНАЛІВ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2017

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Метеорне поширення метрових хвиль, що базується на їх відбитті від іонізованих слідів метеорів, відомо з 50-х років ХХ століття. Воно знайшло застосування в різних сферах: у метеорній радіолокації, в системах синхронізації часу, а також в метеорному радіозв'язку (МРЗ). МРЗ властиві: велика дальність передачі інформації (до 2000 км), відносно мала середня потужність передавача (близько 10 Вт), природна прихованість, просторова вибірковість, а також незалежність від супутникових або наземних ліній зв'язку. Він знаходить своє застосування в системах передачі метеорологічної інформації та інформації про стихійні лиха, управління віддаленими об'єктами.

Метеорний радіоканал (МРК) має ряд особливостей і характеристик, які необхідно враховувати в процесі розробки метеорних систем зв'язку (МСЗ) та алгоритмів їх роботи. Вивченням цих характеристик займалися видатні зарубіжні (Д. Мак-Кінлі, Дж. Клегг, В. Ешлеман) і вітчизняні дослідники (В. В. Сидоров, А. Н. Казанцев та ін.). Значний вклад у вивчення характеристик МРЗ внесли вчені Харківського національного університету радіоелектроніки: Б.Л. Кащев, Ю. І. Волошук, Ю. О. Коваль.

Необхідність вдосконалення і розвитку систем МРЗ підтверджується тим, що інші засоби зв'язку, які мають подібні характеристики за дальністю і прихованістю, досить дорогі за вартістю. Крім того, МРК сам по собі, без застосування спеціальних алгоритмів шифрування, вже має високу прихованість та просторову вибірковість.

Істотним недоліком МРЗ є мала середня швидкість передачі інформації (до декількох сотень біт/с). Це обумовлено, в тому числі, уривчастістю каналу і вузькою смугою частот (зазвичай десятки кілогерц). Значною мірою підвищити швидкість передачі можна, використовуючи всю можливу смугу частот МРК, яка досягає 10 МГц і більше. Але нерівномірність АЧХ, її зміна в часі і ряд інших чинників (багатопроменевість, перешкоди зворотньо-похилого зондування (ЗПЗ) і проблема ЕМС з іншими РЕЗ) не дозволяють це здійснити в процесі використання простих сигналів. З іншого боку, відомі широкосмугові сигнали використовуються, як правило, в каналах з рівномірною АЧХ, і їх поведінка і застосовність в МРК невідома і не визначена.

Таким чином, є **актуальною** тема дисертаційної роботи, спрямованої на вирішення важливої науково-прикладної задачі підвищення швидкості передачі інформації метеорних систем радіозв'язку за рахунок розробки адекватної математичної моделі МРК, методів аналізу проходження шумоподібних сигналів (ШПС) через МРК, а також аргументованого вибору виду сигналу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційні дослідження пов'язані з виконанням д/б НДР № ДР 0114U002697 «Створення технологій побудови багатофункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу навколишнього середовища»; д/б НДР (№ ДР 0112U000207) «Розвиток методів і алгоритмів

дистанційного зондування атмосфери акустичними, електромагнітними та світловими хвилями». У зазначених роботах здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення середньої швидкості передачі інформації метеорних систем зв'язку шляхом обґрунтованого застосування в них шумоподібних сигналів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **наукові задачі**:

- проаналізувати найбільш критичні характеристики МРК, що впливають на якість передачі ШПС і їх вибір;
- розробити математичну модель МРК, що враховує його вищевказані характеристики і яка може бути використана для різних видів ШПС, а також із врахуванням методів модуляції та обробки шумоподібних сигналів;
- розробити критерії оцінки придатності сигналів для передачі їх по МРК;
- виконати моделювання проходження різних видів ШПС через МРК і чисельно оцінити ефективність передачі того чи іншого сигналу. На підставі цього зробити вибір виду ШПС для передачі його по МРК.

Об'єкт дослідження – процес передачі інформації метеорним радіоканалом із використанням шумоподібного сигналу.

Предмет дослідження – спотворення шумоподібних сигналів у метеорному радіоканалі, а також методи формування та обробки цих сигналів у метеорній системі передачі інформації.

Методи дослідження. В ході дослідження впливу МРК на передачу ШПС було виконано математичне моделювання метеорного радіоканалу. Під час вибору сигналів для методу активного захисту від ЗПЗ, а також для моделювання прийому ШПС застосовувався кореляційний аналіз. Для вибору апроксимуючого фільтра МРК використовувався метод найменших квадратів. Для визначення ймовірності бітової помилки проходження сигналів через МРК застосовувалося імітаційне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше запропоновано спосіб передачі інформації по МРК із використанням ШПС, який, на відміну від існуючих, дозволяє передавати інформацію в умовах перешкод та ефективно використовувати його частотний та динамічний діапазони, зі збереженням властивих цьому каналу прихованості та електромагнітної сумісності.

2. Розроблено нову математичну модель МРК, що відрізняється від існуючих тим, що у ній враховуються нерівномірності характеристик каналу у широкій смузі частот, а також враховується вплив багатопроменевості та перешкод ЗПЗ, що дозволяє використовувати її для аналізу проходження широкосмугових сигналів по МРК.

3. Розроблено новий метод активного захисту від перешкод класу ЗПЗ, який відрізняється від існуючих використанням декількох ШПС з низьким рівнем взаємної кореляції.

4. На основі моделювання вперше вироблені вимоги для використання шумоподібних сигналів у МРК. На основі цих вимог розроблений спеціальний вид ШПС для МРК.

Практичне значення отриманих результатів:

1. За результатами дослідження отримана математична модель, що враховує характеристики МРК у широкій смузі частот. Ця модель може бути використана для моделювання проходження різних сигналів через МРК.

2. Розроблений метод активного захисту від перешкод класу ЗПЗ дозволить збільшити якість передачі інформації метеорним радіоканалом. Цей метод також може бути адаптований під інші канали зв'язку.

3. Сформульовані вимоги, які висуваються до ШПС для використання його у МРК, можуть бути враховані під час розробки реальної системи метеорного радіозв'язку.

4. Показано, що в процесі використання рекомендованого виду ШПС швидкість передачі інформації у МСЗ збільшилась з 20 кбіт/с (що характерно для існуючих систем) до 140 кбіт/с, тобто у 7 разів, за тієї самої випромінюваної потужності.

5. Результати дисертаційного дослідження були використані в процесі виконання д/б НДР № ДР 0114U002697 «Створення технологій побудови багатофункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу навколишнього середовища»; і д/б НДР (№ ДР 0112U000207) «Розвиток методів і алгоритмів дистанційного зондування атмосфери акустичними, електромагнітними та світловими хвилями».

6. Матеріали дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації для студентів 5-го курсу спеціальності «Системи технічного захисту інформації (ТЗІ) та автоматизація її обробки» у дисципліні «Обробка сигналів у системах ТЗІ».

Використання результатів дисертаційних досліджень підтверджується 3 актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом наукових досліджень автора. Основні наукові результати, які наведені у дисертаційній роботі, отримані здобувачем самостійно і досить повно викладені в 15 наукових роботах, опублікованих здобувачем у співавторстві і самостійно. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, полягає в наступному. В роботі [1] і [2] розроблені технічні складові стенду для оцифрування результатів метеорних досліджень і алгоритм роботи стенду. У статті [3] дисертант брав участь у розробці методу відновлення інформації за неповними даними метеорних досліджень. У статтях [3, 4] здобувачем запропоновані шляхи вдосконалення методу визначення координат метеорного сліду. В роботі [5] здобувач розробив апаратну частину приймача шумоподібного сигналу. У статті [6] здобувач брав участь у розробці моделі метеорної системи радіолокації. У роботах [7] і [8] здобувачем запропоновано використання шумоподібних сигналів у системах метеорної радіолокації, проведено аналіз їх найбільш критичних характеристик. У статтях [9, 10, 11] здобувачем запропонований і розроблений метод активного захисту систем метеорної радіолокації від перешкод класу зворотно-похилого зондування, а також на основі моделювання запропоновано використання послідовностей Уолша в основі ансамблю сигналів. У ро-

боті [12] запропонований метод частотного еквайзера як методу боротьби з перешкодами, які пов'язані з нерівномірністю АЧХ МРК. У статті [13] здобувачем розроблено метод аналізу амплітудно-частотних характеристик метеорного радіоканалу, розроблена експериментальна установка і проведено експериментальне дослідження. У тезах доповіді [15] здобувачем розроблені удосконалення для експериментальної установки аналізу амплітудно-частотних характеристик метеорного радіоканалу.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи представлені та обговорювалися на таких науково-технічних конференціях: міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку» (МРФ-2011, МРФ 2014) (Харків 2011, 2014); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (РТ-2014 року) (Севастополь, 2014 року); 16, 17, 18, 19, 20 Міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016).

Публікації. За темою дисертації загалом опубліковано 15 наукових робіт, у тому числі 6 статей у провідних наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України, 9 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який складається з 74 найменувань та додатків. Обсяг дисертаційної роботи 133 сторінки., 58 рисунків, 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми й наукових задач; сформульовано мету дисертаційної роботи; відображено об'єкт, предмет, наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів роботи; відображено особистий внесок здобувача; наведено дані про реалізацію, апробацію та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** «Метеорний радіоканал як канал передачі інформації» виконано огляд характеристик МРК з точки зору передачі інформації. У ньому викладається принцип передачі інформації по МРК, характеристики каналу і перешкоди, що виникають, також здійснено огляд існуючих систем метеорної передачі інформації і перспективи їх розвитку.

МРК має ряд унікальних характеристик, таких як: велика дальність поширення радіохвиль; низька потужність передавача; прихованість передачі інформації; просторова вибірковість. Діапазон частот МРК лежить в межах від 30 до 100 МГц. Передача інформації по МРК ускладнюється унікальними амплітудними, часовими і частотними характеристиками. Залежність амплітуди відбитого сигналу від частоти описується наближеною формулою:

$$A(f) \sim \frac{1}{f^{2.4}} \quad (1)$$

Під час передачі інформації по МРК виникають перешкоди: обумовлені зворотно-похилим зондуванням іоносфери; багатопроменевість; перешкоди, обумовлені неповною ЕМС з іншими РЕЗ та інші природні перешкоди.

В ході огляду існуючих систем метеорного радіозв'язку зроблено висновок, що вони працюють з вузькосмуговими сигналами. Ширина смуги частот багатьох з них становить кілька десятків кілогерц. За такої ширини середня швидкість передачі інформації становить кілька десятків кбіт/с. Збільшення швидкості передачі інформації МСЗ у кілька разів, дозволить їм конкурувати з сучасними засобами зв'язку.

На підставі огляду, виконаного в першому розділі, можна зробити такі висновки:

1. МРК є унікальним природним механізмом поширення радіохвиль з безліччю корисних властивостей. Удосконалення МСЗ є важливим завданням.

2. Мала середня швидкість передачі МСЗ є їх «слабкою» стороною. Зроблений огляд дозволяє стверджувати, що можливості МСЗ в рамках вузької смуги частот близькі до своєї межі. Подальше істотне збільшення їх швидкості передачі можливе тільки за рахунок значного розширення спектра сигналу.

3. З одного боку, МРК дозволяє застосовувати широкосмугові сигнали - існують модельні та експериментальні дані, які свідчать про те, що ширина його смуги частот становить не менше 10 МГц, а то й 30 МГц. Але, з іншого боку, в межах зазначеної смуги частот має місце суттєва нерівномірність (нерівномірність АЧХ), яка, до того ж, не є постійною (складний характер амплітудно-часової характеристики (АЧсХ). Крім того, питання перешкод і ЕМС, які порівняно легко вирішуються у вузькосмугових МСЗ, стають серйозною проблемою під час розширення смуги частот.

4. Просте розширення спектра за рахунок укорочення тривалості інформаційних посилань може привести до істотних спотворень і втрати інформації.

5. Розширення спектра частот МСЗ слід здійснювати шляхом застосування складних сигналів (сигналів з базою, набагато більше одиниці).

У другому розділі «Теоретичне обґрунтування використання складних сигналів у МРК та виникаючі при цьому задачі» розглянуті властивості ШПС, які допомагають вирішувати завдання, що виникають під час використання широкої смуги МРК. Розглянуто різні види ШПС, виділені ті, які явно не підходять для розв'язуваної задачі. Матеріали розділу опубліковані в [6, 8, 10-12, 14, 15].

На початку розділу виконано оцінку того, як різні властивості ШПС дозволять вирішувати завдання розширення смуги частот МСЗ.

Внаслідок розриву метеорного сліду на кілька фрагментів, сигнал відбивається від кожного з них. Шляхи поширення сигналів, відбитих від різних точок, відрізняються, і як наслідок на вхід приймача надходить дві копії одного й того самого сигналу, зміщених за часом (Рис. 1). Час взаємної затримки між сигналами становить кілька десятків наносекунд. При використанні вузькосмугових сигналів дане явище не дасть жодного негативного ефекту, оскільки часове зміщення буде не помітне на тлі повної тривалості імпульсу. В ході передачі широкосмугового простого сигналу тривалість імпульсу зменшиться, і величина затримки буде порівняна з тривалістю імпульсу.

При впливі вітру метеорний слід розривається на декілька рознесених у просторі фрагментів. Різниця в часі приходу сигналу відбитого від різних частин сліду буде мати вплив на сигнал із меншою тривалістю імпульсу, тобто при використанні простих широкосмугових сигналів. Вплив багатопроменевості може привести до серйозних помилок у прийнятті інформації. Тому з метою збільшення швидкості передачі МСЗ потрібно використовувати ШПС.

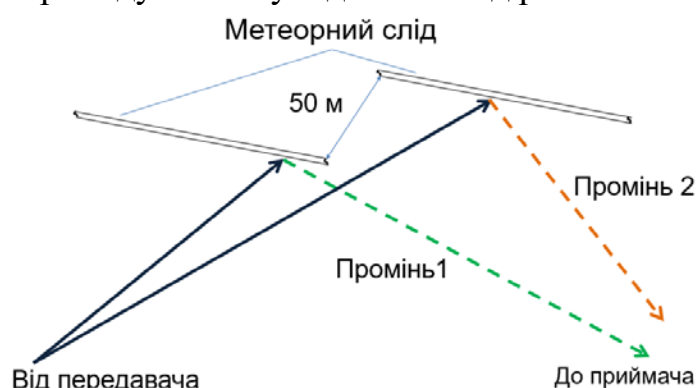


Рис 1

Однією з характеристик ШПС є можливість кодового розділення абонентів у межах однієї смуги частот. Незважаючи на те, що в метеорних системах зв'язку кодове розділення безлічі абонентів не потрібно, цей механізм може бути використано з інших причин. По-перше, метеорному поширенню радіохвиль властива перешкода ЗПЗ. Якщо виникає така перешкода, то в пункт прийому можуть надходити сигнали від віддалених абонентів, не пов'язаних на цей момент метеорним каналом (шляхом відображення від іоносфери). Саме їх кодове розділення і необхідно передбачити. По-друге, за наявності ЗПЗ, перешкодою може виявитися сигнал «свого» кореспондента, що надходить не через МРК. По-третє, кодовий поділ у МРК необхідний для поділу прямого і зворотного каналів.

Повноцінний прийом ШПС шляхом його відбиття від іоносфери буде неможливий через велику дисперсність іоносферного каналу та нерегулярність явища, але воно створюватиме перешкоди для прийому метеорного сигналу. Розглянемо, як з цим явищем пропонується боротися на метеорних радіолокаційних системах на прикладі роботи автора [9, 8, 10, 14, 5].

Для протидії перешкодам класу ЗПЗ пропонується використовувати декілька (до 10) різних широкосмугових сигналів для того, щоб протягом усього часу очікування відображення від метеорного сліду можливі перешкоди ЗПЗ (на різних відстанях) мали б різні коди і не перешкождали б декодування метеорного сигналу. Схема роботи цього механізму подана на рис.2.

На рисунку показані кілька часових діапазонів, причому на момент часу Δt_1 передавач відправляє частину повідомлення, закодовану за допомогою послідовності M1. У момент часу Δt_2 у приймальному пристрої очікується прихід сигналу закодованого за допомогою модулюючої послідовності M1, а водночас передавач генерує частину повідомлення, сформованого за допомогою послідовності M2. Таким чином, сигнали, модульовані послідовністю M1, приймаються тільки в інтервал часу очікуваного приходу сигналу, що дозволяє відсіювати перешкоду.

Пари сигналів обираються за критерієм мінімуму їх взаємної кореляційної характеристики (ВКХ), що більш детально розглянуто у [9]. Важливо зауважити, що використання цього алгоритму у системі зв'язку починається після того, як система зв'язку пройшла процес синхронізації. У частотному діапа-

зоні 30-50 МГц ширококутній системі метеороного зв'язку доведеться «співіснувати», здебільшого з малопотужними вузькосмуговими УКВ радіостанціями.

У діапазоні 48 ... 80 МГц можуть працювати телевізійні, а у діапазоні 64 ... 73 МГц – радіомовні станції. У розділі виконано обчислення передбачуваного впливу окремої РЕЗ на роботу МСЗ і навпаки – вплив МСЗ на роботу вузькосмугової РЕЗ. З обчислення виходить, що через низьку потужність зв'язкової РЕЗ, спектральна щільність сигналу дорівнює 38 мкВт/Гц. Така спектральна щільність не має великого впливу на ширококутний МСЗ. І водночас, сигнал ширококутний МСЗ не суттєво впливає на вузькосмугові системи зв'язку, через низьку спектральну щільність потужності, а також коефіцієнта заповнення МСЗ.

ШПС є надширококутним сигналом, його спектр розподілений за широкою ділянкою частотного діапазону. Ці фактори дозволяють говорити що ШПС має параметричну та енергетичну прихованість. Використання ШПС у МСЗ дозволить збільшити захищеність переданої по МРК інформації в кілька разів.

У розділі розглянуті різні види ШПС та проаналізовано їх характеристики для використання в МСЗ, результати аналізу зведені до табл. 1.

Таблиця 1 – Проблеми МРК та властивості ШПС, що їх вирішують

Проблема/Завада, що вирішується	Властивість ШПС	Вид ШПС					
		Л Ч М	Б Ч М	Ф М	Д Ч	Д С Ч	Ч М
Робота в умовах багатопроменевості	Вузька АКФ після обробки	+	+	-	-	-	-
Робота в умовах перешкод ЗПЗ	Можливість кодового розділу сигналів	-	-	+	+	+	-
ЕМС з РЕЗ у пункті передачі	Достатня ЕМС із вузькосмуговими сигналами	+	+	+	+	+	+
ЕМС з РЕЗ у пункті прийому	Достатня ЕМС із вузькосмуговими сигналами РЕЗ	+	+	+	+	+	+
Нерівномірний АЧХ	Відносно рівномірний спектр	?	?	?	?	?	?
Прихованість	Енергетична прихованість	+	+	+	+	+	+
	Параметрична прихованість	+	+	+	+	+	+

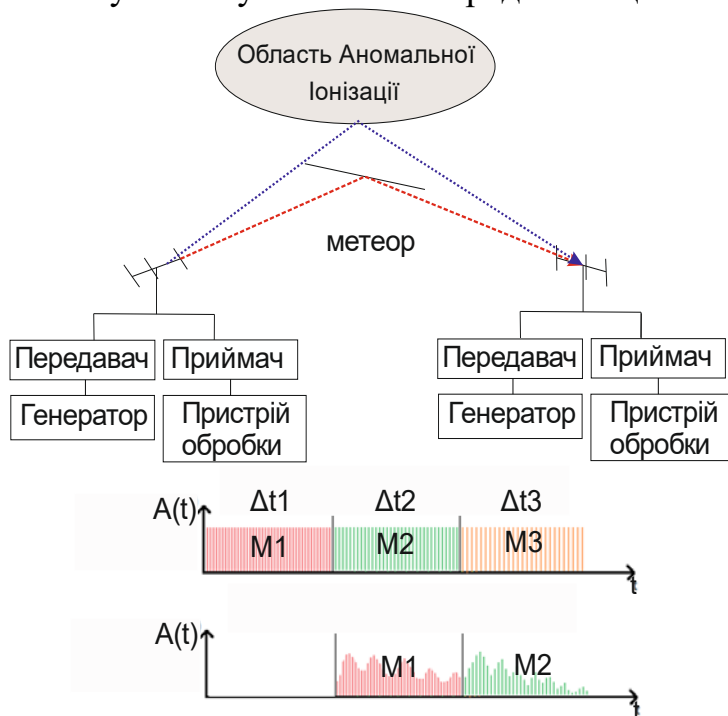


Рис. 2

Для використання ШПС у МСЗ сигнал має відповідати таким вимогам

1. Сигнал має дозволяти передавати інформацію без перешкод в умовах багатопроменевості.
2. Перешкоди ЗПЗ не повинні перешкоджати прийому ШПС по МРК.
3. Рівень перешкод, що створюється «метеорним» сигналом в пункті передачі, не повинен перевищувати допустимий. Тобто, має забезпечуватися ЕМС з вузькосмуговими та іншими РЕЗ у пункті передачі.
4. Перешкоди, що створюються вузькосмуговими та іншими РЕЗ у пункті прийому метеорного сигналу, не повинні заважати його прийому. Тобто, має забезпечуватися ЕМС у пункті прийому.
5. Частотна характеристика МРК не повинна істотно погіршувати перелічені вище корисні властивості сигналу.

За результатами теоретичного обґрунтування застосування ШПС у системах метеорного радіозв'язку можна зробити такі висновки

1. ШПС мають властивості, які можуть дозволити вирішити основні проблеми, що виникають під час передачі інформації через МРК, такі як вплив перешкод, обумовлених багатопроменевістю, перешкод ЗПЗ, ЕМС на стороні приймача та передавача. Проте поки невідомо, наскільки ШПС дозволять компенсувати спотворення обумовлені нерівномірністю АЧХ МРК. Для вирішення цього питання необхідно провести моделювання.

2. Зменшення тривалості інформаційного символу може призвести до серйозного впливу багатопроменевості, тому збільшення швидкості передачі інформації МСЗ потрібно використовувати ШПС.

3. З використанням ШПС може бути реалізований метод активного захисту МСЗ від перешкод класу ЗПЗ. Даний метод дозволяє приймати тільки корисні сигнали та виключати прийом перешкоджаючих сигналів, відбитих від зон аномальної іонізації. Не всі види ШПС дозволяють здійснювати кодовий розподіл, проте для тих сигналів, у яких є така можливість, не відомо, як це покращить якість передачі інформації.

4. Збільшення швидкості передачі інформації в МРК без істотного збільшення помилок можливе з використанням сигналів з великими базами. Поки невідомо, сигнали з якими базами мають найкращу якість передачі.

5. Метеорний радіоканал є широкосмуговим тільки з точки зору вузькосмугових систем, тому потрібно уважно обирати характеристики шумоподібного сигналу перед використанням його в МРК.

6. У розділі розглянуто кілька видів ШПС. За результатами аналізу показано, що можна виділити 3 види сигналів (ДЧ-ШПС, ФМ-ШПС, ДСЧ-ШПС), які дозволяють вирішувати відразу кілька проблем передачі інформації через МРК. Проте сказати відразу, який з цих сигналів потрібно використовувати в МСЗ без моделювання та кількісної оцінки, неможливо.

Третій розділ дисертаційної роботи «Математична модель МСЗ з використанням ШПС» присвячений розробці моделі МСЗ, яка дозволить обрати шумоподібний сигнал, параметри якого якнайкраще підходять для вирішення за-

дачі передачі інформації по МРК. Розглянемо її склад, структуру та особливості. Матеріали розділу опубліковані в [5, 13].

До складу моделі входять: модель джерела ШПС; модель МРК; модель приймача ШПС; модель приймача вузькосмугового сигналу (ВСС); модель передавача ВСС; модель шуму, що впливає на приймач ШПС. Загальна структура моделі подана на рис. 3.

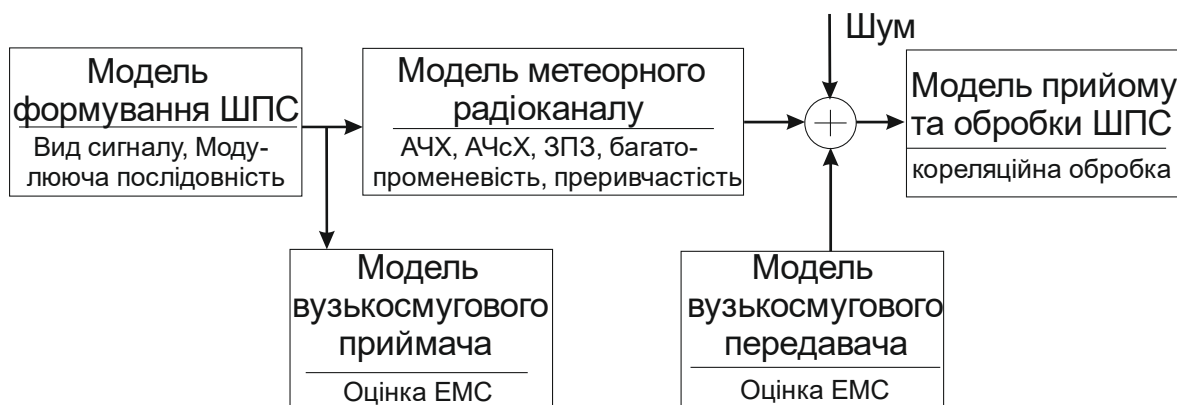


Рис. 3

Модель джерела ШПС формує необхідний шумоподібний сигнал з необхідними параметрами. Як інформаційний сигнал використовується випадковий синхронний телеграфний сигнал (ВСТС). Модулююча послідовність може бути будь-якою послідовністю (Баркера, Уолша, М-послідовність) або будь-якою іншою, наперед заданою. У моделі вона реалізується прямою вказівкою.

На вході блоку формування ШПС формується ВСТС - $I(t)$, після чого він перемножується з модулюючою послідовністю, виходить сигнал $S(t)$. Отриманий сигнал перемножується з модулюючою послідовністю $g(t)$ і внаслідок отримуємо сформований шумоподібний сигнал $S_{шо}(t)$.

Таким чином, блок формування ШПС дозволяє нам встановлювати: інформаційне повідомлення; модулюючу послідовність; несучу частоту; закон модуляції, (фазову маніпуляцію, дискретну частоту та інші).

Модель метеороного радіоканалу враховує кілька основних особливостей передачі ШПС через метеорний радіоканал: уривчастість; нерівномірність амплітудно-частотної характеристики; нерівномірність амплітудно-часової характеристики; перешкоди ЗПЗ; ефекти, пов'язані з багатопроменевістю.

Структурна схема моделі МРК наведена на рис.4.

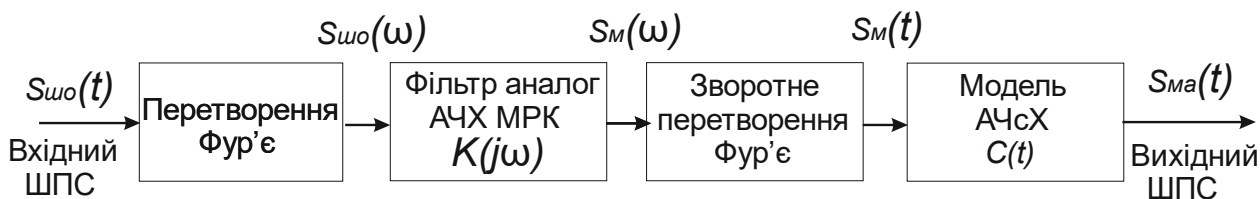


Рис. 4

Врахування впливу нерівномірності АЧХ в моделі реалізоване так. Вираз для сигналу у часовій області, отриманий на етапі формування ШПС, піддаєть-

ся перетворенню Фур'є. Спектр сигналу пропускається через фільтр, АЧХ якого відповідає АЧХ метеорного радіоканалу (2).

Апроксимація АЧХ МРК фільтром ФНЧ проводилася за методом найменших квадратів. Найменша розбіжність була досягнута, коли застосовувався фільтр третього порядку, який заснований на поліномі (2).

$$K_M(j\omega) = \frac{4,1 \cdot 10^{-4} + 1,2 \cdot 10^{-3} e^{-j\omega t} + 1,2 \cdot 10^{-3} e^{-j3\omega t} + 4,1 \cdot 10^{-4} e^{-j4\omega t}}{1 - 2,68e^{-j\omega t} + 2,41e^{-j2\omega t} - 0,73e^{-j3\omega t}}. \quad (2)$$

Ступінь розбіжності значень передавальної характеристики фільтра з передавальною характеристикою МРК показана на рис 5. На рисунку крива відповідна передавальній характеристиці ФНЧ, позначена як $K(f)$, а АЧХ МРК позначена як $K_{mrk}(f)$. Моделювання амплітудно-часових характеристик МРК можна розділити на дві складові: моделювання тривалості існування сліду; моделювання форми АЧсХ.

Для визначення тривалості існування метеорного сліду в моделі закладено масив даних, який включає в себе 100 значень тривалості (відповідно до закону розподілу часу існування сліду). Для вибору певної тривалості в моделі формується

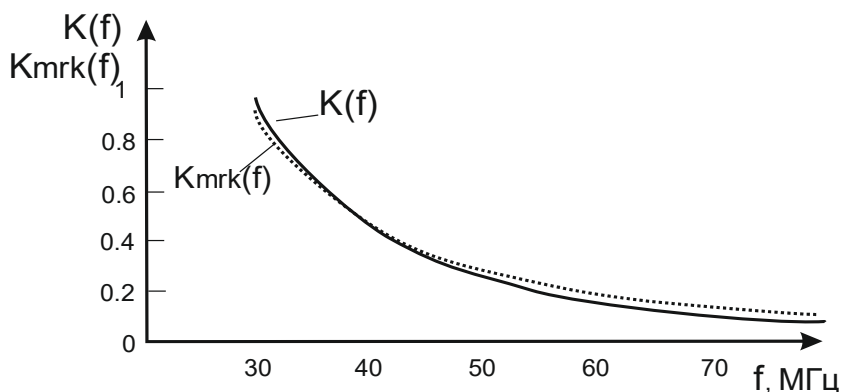


Рис 5

випадкове число, яке відповідає певному часу існування сліду.

На підставі отриманої тривалості моделюється форма АЧсХ. Оскільки процес формування АЧсХ метеорного сліду пов'язаний з формуванням зон Френеля, то для опису АЧсХ сліду доцільно використати функцію інтеграла Френеля.

В ході опису АЧсХ метеорного сліду можна знехтувати значенням функції в початковий період часу, оскільки на цей етап припадає процес синхронізації і входження у зв'язок. Тому не важливо, який з виразів брати за основу. Для формування залежності, максимально наближеної до АЧсХ метеорного сліду, дану залежність необхідно доповнити експоненціальним спадом.

Апроксимація функції проводилася на основі порівняння реальної АЧсХ метеорного сліду з функцією інтеграла Френеля. Внаслідок апроксимації було отримано вираз що описує АЧсХ метеорного сліду

$$C(t) = \frac{1}{\left(e^{\frac{t}{650}}\right)^{-2.2}} \int_0^t \cos\left(\frac{\tau^2}{(250-2f)}\right) d\tau. \quad (3)$$

Форма АЧсХ, отримана з використанням виразу (3), зображена на рис. 6.

У виразі (3) введена залежність від частоти таким чином, що під час використання сигналу ШПС, з несучими на різних частотах, довжини зон Френеля для цих частот враховані, і для різних частот відрізнятимуться. Форма АЧсХ у моделі змінюється кожен сеанс зв'язку шляхом зміни коефіцієнтів інтеграла Фур'є (3) з діапазону допустимих.

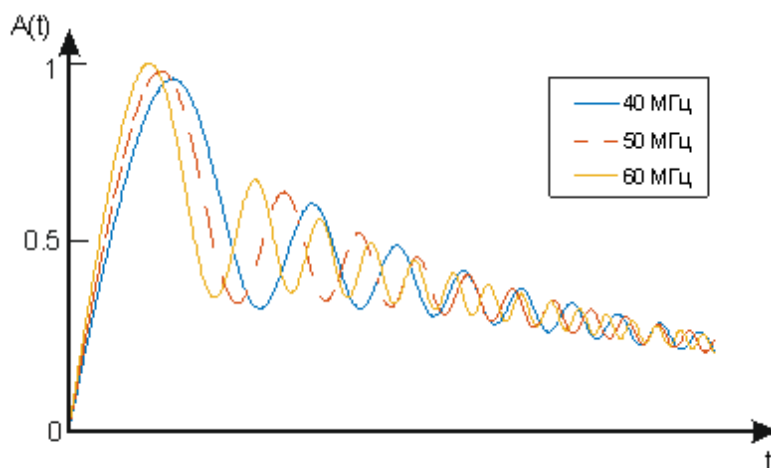


Рис. 6

У процесі моделювання часова реалізація сигналу, що пройшов через фільтр МРК (2), помножується на АЧсХ сліду (3) і коефіцієнт ослаблення. Значення коефіцієнта обирається в межах від 100 до 160 дБ

$$S_{MA}(t) = K_M S_M(t) C(t). \quad (4)$$

Для перевірки стійкості запропонованого сигналу до перешкод типу ЗПЗ і багатопроблемності програма моделі виконана так. Для моделювання ЗПЗ сформований ШПС піддається перетворенню Фур'є, потім пропускається через ФНЧ з частотою зрізу 40 МГц, оскільки на практиці ЗПЗ на більш високих частотах спостерігається рідко. Після зворотного перетворення Фур'є формується десять копій сигналу $S_{ВНЗ}(t + \Delta\tau_{ВНЗ})$, де $\Delta\tau_{ВНЗ} = 10$ мкс – взаємна затримка копій сигналу один щодо іншого, чим імітується відображення від просторово розподіленої області підвищеної іонізації. Затримані копії складаються один з одним,

$$S_{ВНЗ}(t) = \sum_{k=0}^9 S_{ВНЗ}(t + k\Delta\tau_{ВНЗ}), \quad (5)$$

і знову затримуються на регульований у моделі час (від 0 до 8 мс), що відповідає запізнюванню іоносферного сигналу відносно метеорного.

Аналогічно реалізована модель багатопроблемності, що виникає в процесі метеорного відбивання. Для цього сигнал (4) затримується на час $\Delta\tau_{МЛ} = 5 \dots 150$ нс, послаблюється в 1 ... 3 рази і складається з (4).

$$S_{МАВМ}(t) = S_{MA}(t) + K_{ОСЛ} S_{ВНЗ}(t). \quad (6)$$

Ця частина моделі також включається в міру необхідності для аналізу стійкості розглянутого ШПС до даного виду перешкоди. Структура моделі в частині формування перешкод, викликаних ЗПЗ і багатопроблемністю, подана на рис. 7.

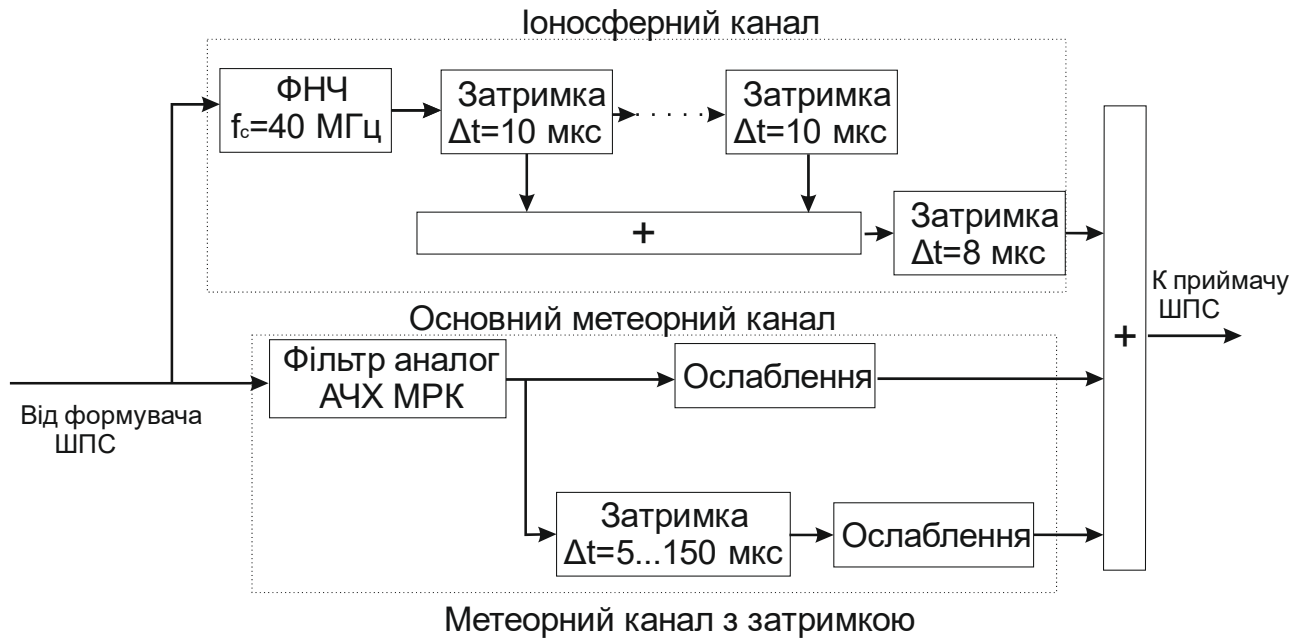


Рис. 7

У загальному вигляді модель МРК для широкосмугового сигналу можна описати таким виразом

$$S_{MAVM}(t, \omega) = K_{AЧХ}(\omega) \cdot C_{ABX}(t, \tau_1 \dots \tau_n) \cdot \left[S_{MA}(t, \omega) + \sum_{k=0}^i S_{BHZ}(t, \omega) + \sum_{k=0}^i S_{ML}(t, \omega) \right] \cdot [K_{OCL}]. \quad (7)$$

Ця модель є неперервною моделлю стохастичного каналу, тому що в ній присутнє ймовірнісне розсіювання для деяких елементів.

Модель приймача ШПС побудована на основі кореляційного детектора. Основне призначення блоку приймального пристрою в нашій моделі пов'язано з оцінкою ймовірності бітової помилки, при використанні того чи іншого ШПС.

Приймальний пристрій обробляє водночас потік корисного сигналу, що приходить в різні моменти часу, і спотворений внаслідок проходження через метеорний радіоканал; перешкоди класу ЗПЗ; перешкоди, обумовлені багатопроменевістю; шуми в ефірі.

Шуми формуються в моделі і додаються вже до суміші сигналів і перешкод. Шуми формуються на основі використання моделі білого гаусового шуму. Структура приймального пристрою зображена на рис. 8. Для визначення бітових помилок проводиться 10^5 випробувань, а потім кількість помилок ділиться

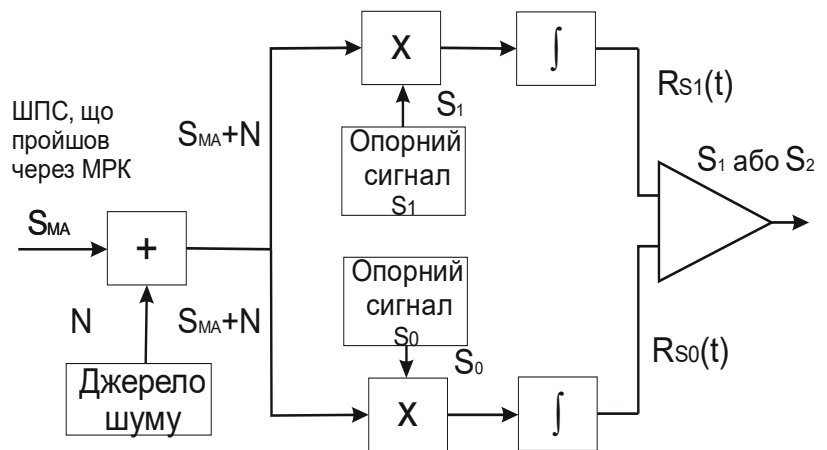


Рис. 8

на загальну кількість випробувань і обчислюється ймовірність бітової помилки.

Для оцінки перешкод, які можуть бути створені вузькосмуговими передавачами, які працюють у тій самій смузі, що і широкосмугова система метеорного зв'язку, модель доповнена блоком передавача вузькосмугової системи зв'язку.

Сигнал, що формується в цьому блоці, має вигляд

$$S_{\text{ЧМ}}(t) = A_{\text{ЧМ}0} \cos((\omega_0 + mU_{\text{РП}}(t))t), \quad (8)$$

де $A_{\text{ЧМ}0}$ – амплітуда несучого коливання; ω_0 – його несуча частота; m – індекс частотної модуляції; $U_{\text{РП}}(t)$ – мовоподібна перешкода. Як модулюючий сигнал перешкоди використовується мовоподібна перешкода, тому що радіостанції, які працюють в зазначеному діапазоні, як правило, використовуються для передачі мови.

Висновки з розділу 3

1. Розроблено математичну модель МРК, яка враховує характеристики метеорного радіоканалу в широкій смузі частот. За допомогою цієї моделі може бути обраний ШПС, найбільш придатний для передачі по МРК.

2. Модель АЧХ враховує частоту несучого коливання і на основі цього змінює довжину зони Френеля для сигналу, тим самим змінюється форма АЧХ. Для кожного з випробувань модель набуває різного вигляду АЧХ, з безлічі можливих. Модель переривчастості імітує різну тривалість існування метеорного сліду. Тривалість існування сліду вибирається випадково, а ймовірність вибору ґрунтується на імовірнісних характеристиках МРК.

3. АЧХ метеорного радіоканалу апроксимована моделлю фільтра нижніх частот. Ця модель має високу ступінь збіжності з реальною АЧХ метеорного радіоканалу. Максимальна збіжність була досягнута застосуванням методу найменших квадратів, для порівняння реальної АЧХ і форми передавальної характеристики фільтра.

4. Оцінка якості сигналу, що пройшов через МРК, виконується за допомогою розрахунку ймовірності бітової помилки. Для кожного сеансу зв'язку проводиться 10^5 ітерацій для точного визначення ймовірності бітової помилки.

5. За підсумками розділу отримано математичний вираз для моделі метеорного радіоканалу в широкій смузі частот. Дана модель є неперервною моделлю стохастичного каналу, оскільки в моделі присутнє ймовірнісне розсіювання для часових характеристик МРК.

У **четвертому розділі** «Моделювання та вибір ШПС для використання в системах метеорного зв'язку» представлені результати моделювання проходження різних сигналів через МРК. Представлені види сигналів, які є найкращими для використання в МСЗ. Матеріали розділу опубліковані в [9, 10, 14].

На початку розділу було описано моделювання проходження простого сигналу із мінімальною частотною маніпуляцією та простого ФМ сигналу, таким чином була підтверджена адекватність моделі.

За результатами моделювання видно, що збільшення смуги частот сигналів призводить не тільки до збільшення швидкості передачі даних, але й збільшення помилок.

Критерієм до вибору ШПС при моделюванні є ймовірність бітової помилки під час передачі.

У розділі описано моделювання проходження ДЧ-ШПС, ФМ-ШПС, ДСЧ-ШПС. Для кожного з цих сигналів було проведено моделювання за різної ширини смуги частот і було визначено, з якою шириною смуги частот сигнал краще передається через МРК. Потім для кожного типу сигналу були обрані варіанти, які передавалися з найменшою ймовірністю помилки, і було проведено порівняння (Рис. 9).

Як видно з рисунку, найменшу ймовірність бітової помилки забезпечує ДСЧ-ШПС сигнал, і можна зробити висновок, що він якнайбільше підходить для використання в системах метеорологічного радіозв'язку. Адаптація сигналу до каналу вимагає вирішення декількох завдань. Крім вибору типу сигналу, який

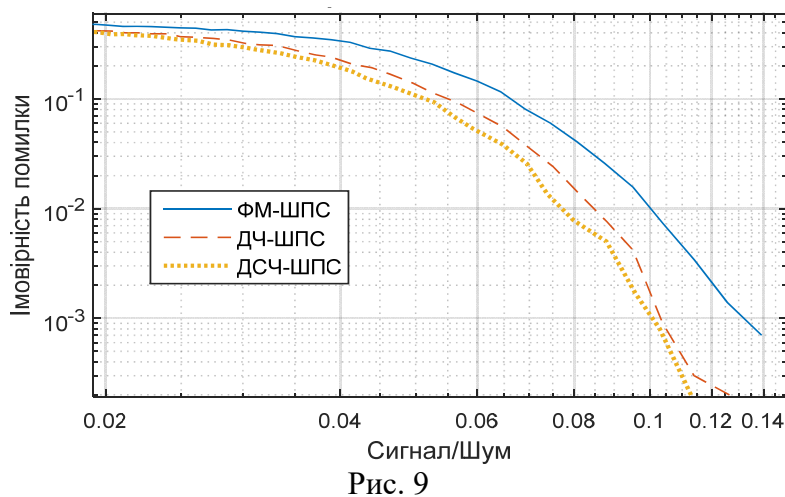


Рис. 9

потрібно передати через МРК, потрібно визначити вимоги для параметрів ДСЧ-ШПС. Ці вимоги можна розділити на такі: розташування несучих частот; вимоги до модулюючої послідовності і бази.

Було проведено моделювання проходження сигналів з різним розташуванням несучих. Як видно з рис. 10, найбільша якість передачі спостерігається для сигналів з розташуванням несучих поблизу 40 МГц. Крім цього, було проведено моделювання проходження сигналів з різними базами. В ході

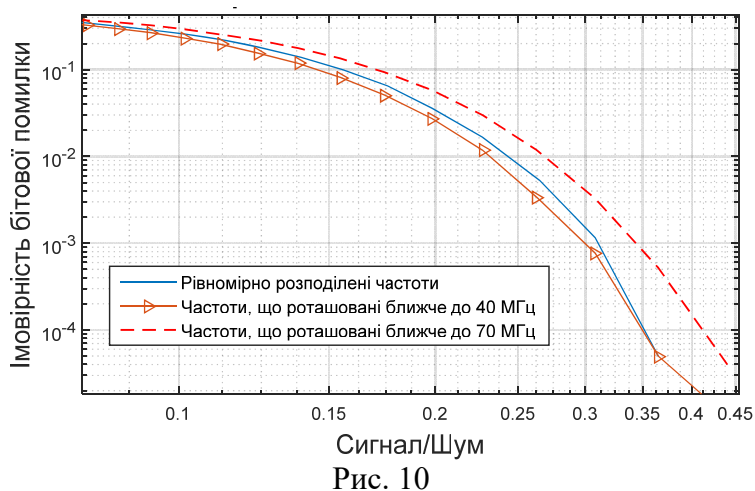


Рис. 10

моделювання зроблено висновок, що збільшення бази сигналу вище 64 і зменшення менше 36 збільшує ймовірність бітової помилки для сигналів.

За результатами моделювання були висунуті вимоги до виду сигналу ДСЧ-ШПС. Частотні вимоги до сигналу повинні бути такими. Потрібно використовувати нижній частотний діапазон МРК (40 - 50 МГц). Також потрібно, щоб частоти були найбільш близькі одна до одної. Кількісна оцінка мінімального рознесення частот між сигналами може бути основою для подальших досліджень. Під час використання сигналу з шириною спектра 5 МГц і базою 36, пропускна здатність метеорологічної системи радіозв'язку буде збільшена до 140 кбіт/с. З чого можна зробити висновок, що з використанням рекомендованого

сигналу швидкість передачі МСЗ збільшиться в 7 разів порівняно з раніше використовуваними сигналами.

В кінці розділу описані рекомендації з вибору сигналу для системи МСЗ. У цьому підрозділі описані технічні та фізичні фактори, які впливають на вибір сигналу. Основним з цих параметрів є середня швидкість передачі інформації. Наприкінці підрозділу наведена таблиця з рекомендаціями з вибору сигналу для МСЗ залежно від необхідної швидкості передачі, допустимої потужності, допустимої ширини полоси частот.

Висновки з розділу 4

1. Моделювання сигналів з малою базою і порівняння отриманих результатів з відомими роботами дозволяє вважати модель адекватною. Це підтверджується ще й тим, що:

- збільшення ймовірності бітової помилки зі збільшенням середньої частоти сигналу (на прикладі ФМ сигналу) відповідає очікуваному;

- збільшення бази ФМ-ШПС призводить до покращення ймовірності бітової помилки за інших рівних умов.

2. Для ФМ-ШПС с великою базою ($B=31$) залежність ймовірності бітової помилки від зміни частоти менш явно виражена, ніж для простого сигналу.

3. Для ДЧ-ШПС із зростанням бази ймовірність бітової помилки погіршується, хоча й не суттєво. Це пов'язано з частковою втратою виграшу від збільшення бази через суттєве розширення спектра сигналу, який у свою чергу нерівномірний.

4. Моделювання було проведено для різних видів ШПС. Найменша ймовірність бітової помилки спостерігалась під час проходження ДСЧ-ШПС.

5. Для ДСЧ-ШПС було проведено моделювання розташування частотних складових. З цього дослідження можна зробити висновок, що розташування частотних складових поблизу нижньої межі частотного діапазону МРК (40 МГц) є найбільш прийнятним.

6. В ході моделювання були визначені межі бази ДСЧ-ШПС від 36 до 64.

7. В ході використання рекомендованого сигналу швидкість передачі інформації збільшилася до 140 кбіт/с, що порівняно з вузькосмуговими МСЗ (АМСС, RANDOM), з шириною спектра близько 20 кГц, збільшилась к 7 разів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача спрямована на вирішення важливої науково-прикладної задачі підвищення швидкості передачі інформації метеорних систем радіозв'язку за рахунок розробки адекватної математичної моделі МРК, методів аналізу проходження ШПС через МРК, а також аргументованого вибору виду сигналу.

В ході вирішення вказаного завдання отримані такі науково-практичні результати:

1. Проаналізовано характеристики метеорного радіоканалу з точки зору застосування в ньому широкосмугових або шумоподібних сигналів. Проаналізовано характеристики АЧсХ каналу, зокрема, зміна форми АЧсХ, залежно від

частоти. Проаналізовано модель АЧХ каналу, що заснована на емпіричних спостереженнях.

2. Розроблена нова математична модель МРК, яка відрізняється від існуючих урахуванням характеристик МРК у широкій смузі частот. Запропоновано спосіб апроксимації АЧХ каналу фільтром нижніх частот. У моделі врахована мінливість АЧХ каналу, а також вплив основних перешкод, характерних для МРК (перешкоди ЗПЗ, перешкоди через багатопроменевість та недостатню електромагнітну сумісність).

3. Розроблено метод активного захисту системи МРЗ від перешкод класу ЗПЗ за допомогою кодового розподілу сигналів за ознакою, для прийому певного сигналу в певний момент часу. Цей метод також може бути використаний в системах метеорної радіолокації.

4. За допомогою розробленої моделі проаналізовано проходження різних видів ШПС по МРК. Внаслідок моделювання виявлено, що за інших рівних умов найменшу ймовірність бітової помилки забезпечують ДСЧ-ШПС (0,2% із відношенням $c/\text{ш} = 0,08$). ДЧ-ШПС суттєво поступається (1%), а ФМ-ШПС (5%) при тому самому співвідношенні $c/\text{ш}$.

5. Шляхом моделювання уточнені параметри ДСЧ-ШПС, що забезпечують найменшу ймовірність бітової помилки в процесі передачі по МРК. Показано, що ймовірність бітової помилки погіршується втричі зі зміщенням максимуму спектральної густини ДЧ-ШПС із діапазона 40...45 МГц у діапазон 65...70 МГц. Найменшу ймовірність бітової помилки мають сигнали з базами від 36 до 64. У випадку вибору бази вище чи нижче цього значення спостерігається збільшення бітової помилки.

6. Результатом роботи є висновок про те, що з використанням рекомендованого виду ШПС швидкість передачі інформації МСЗ може бути збільшена у 7 разів порівняно із існуючими МСЗ за тієї самої випромінюваної потужності.

Основний результат полягає в тому, що у роботі показаний спосіб збільшення швидкості передачі інформації МСЗ в кілька разів без збільшення потужності системи передачі інформації, а із застосуванням спеціального ШПС.

Практична цінність роботи полягає у вироблених вимогах до сигналу, який може бути використаний у МРК. На основі моделювання вироблені вимоги до частотних характеристик ШПС, а також до бази сигналу. Використані в роботі методи можуть бути застосовні для вибору ШПС в інших каналах зв'язку з відносно вузькою і нерівномірною смугою частот. Використання результатів дисертаційних досліджень підтверджується 3 актами впровадження.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Баранчиков Д. А., Сорох Н. О., Шандренко Р. В., Создание автоматизированного стенда для оцифровки данных с фотопленки // Сб. научн. трудов 4-го Межд. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Перспективы и развитие». – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2011. – С. 352 - 354.

2. Шандренко Р. В. Автоматизированный стенд для оцифровки данных о метеорных исследованиях //16-й межд. молодёжный форум «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков, 2012. – С. 164 - 165.
3. Антипов И. Е. Сорох Н. О, Шандренко Р.В. Совершенствование метода определения координат метеорного радианта // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – № 5 – С. 29 – 33.
4. Антипов И. Е. Сорох Н. О, Шандренко Р.В. Восстановление координат метеорного радианта по неполной радиолокационной информации // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2012. Вып. 169. – С. 11 – 15.
5. Волков О. В., Ткалич. И. А., Шандренко Р.В. Приёмник ШПС метеорной связи на базе вещательного FM- приёмника //17-й межд. молодёжный форум «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков, 2013. – С.169-170.
6. Антипов И. Е., Шандренко Р.В., Шкарлет А. И. Предварительные результаты моделирования параметров метеорной РЛС с целью оптимизации её работы // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2013. Вып. 174. – С. 47 – 52
7. Шандренко Р. В., Шкарлет А. И. Применение шумоподобных сигналов в радиолокации// Сб. научн. трудов 10-й Межд. Молодежной научно-технической коференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2014» – Севастополь, 2014. – С. 69.
8. Шандренко Р.В., Шкарлет А. И. Применение шумоподобных сигналов в метеорной радиолокации и связи//18-й межд. молодёжный форум «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков, 2014. – С.187-188.
9. Антипов И. Е., Шандренко Р.В., Шкарлет А. И. Методы активной защиты метеорной автоматизированной радиолокационной системы от помех// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2014. Том 3, № 9(69). – С. 42 – 46.
10. Шандренко Р. В., Шкарлет А. И., Шернин М. А. Методы активной защиты метеорной автоматизированной радиолокационной системы от помех возвратно-наклонного зондирования // Сб. научн. трудов 5-го Межд. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы и развитие». – Харьков, 2014. – С. 137 - 138.
11. Антипов И. Е., Шандренко Р.В., Шкарлет А. И.. Метод активной защиты метеорной автоматизированной радиолокационной системы от помех с использованием шумоподобных сигналов // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2016. Вып. 184. – С. 24 – 27.
12. Шандренко Р. В. Изучение АЧХ метеорного радиоканала с использованием ТВ сигнала //20-й межд. молодёжный форум «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков, 2016. – С.21-22.
13. Шандренко Р. В. Метод численного описания метеорной АВХ по точкам экстремума //17-й межд. молодёжный форум «Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков, 2013. – С.199-200.
14. Шандренко Р. В. Совершенствование систем метеорной радиосвязи путем применения шумоподобного сигнала с учетом АЧХ канала //19-й межд. мо-

лодѣжный форум «Радиоэлектроника и молодѣжь в XXI веке». Сб. материалов форума. Т.3. – Харьков, 2015. – С.110-111.

15. Антипов И. Е., Приймак В. Ю., Шандренко Р.В., Имнехир Н. О. Анализ частотных свойств метеорного радиоканала путем приема телевизионного сигнала// Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2015. Вып. 183. – С. 24 – 27.

АННОТАЦИЯ

Шандренко Р.В. Совершенствование систем метеорной радиосвязи путем применения в них шумоподобных сигналов – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, 2016.

В работе рассматривается актуальная научно-практическая задача повышения средней скорости передачи метеорных систем передачи информации с помощью использования шумоподобных сигналов.

В работе изложены физические принципы метеорного распространения радиоволн. Описаны основные характеристики метеорного радиоканала, к которым относятся амплитудные, частотные, временные характеристики. Кроме этого рассмотрены помехи, которые возникают при передаче сигнала по метеорному каналу. К ним относятся помехи, обусловленные возвратно-наклонным зондированием ионосферы, помехи многолучевости, помехи, обусловленные неполной электромагнитной совместимостью.

Кратко рассмотрены основные существующие системы метеорной радиосвязи. Отмечается, что в основном они являются узкополосными, и основным их недостатком является низкая скорость передачи информации. В ходе обзора сделан вывод, что увеличение скорости передачи информации в разы возможен с помощью расширения спектра сигнала.

Рассмотрены характеристики шумоподобных сигналов, с точки зрения их применения в метеорном радиоканале, и как они будут полезны в борьбе с помехами, возникающими при передаче информации по МРК. Также рассмотрены основные виды ШПС и выделены те, которые явно не подходят для МРК.

В ходе обзора выделены несколько ШПС, которые позволяют бороться с основными помехами в МРК. К таким сигналам относятся фазоманипулированные ШПС (ФМ-ШПС), дискретные частные ШПС (ДЧ-ШПС), дискретные составные частотные ШПС (ДСЧ-ШПС). Предложен способ борьбы с помехами возвратно-наклонного зондирования, который основан на кодовом разделении сигналов передатчика.

Для определения степени влияния неравномерной АЧХ МРК разработана математическая модель метеорного радиоканала, учитывающая амплитудные, частотные, временные характеристики МРК в широкой полосе частот, а также помехи, возникающие при передаче. Модель также включает в себя блоки формирования ШПС, и блок приема ШПС. Блок приема ШПС представляет собой корреляционный обнаружитель. Количественной оценкой качества передачи информации по МРК является вероятность битовой ошибки.

Проведено моделювання проходження простих широкополосних сигналів через МРК. По результатам моделювання зроблено висновок, що розширення спектра збільшує ймовірність біткової помилки.

Проведено моделювання проходження ФМ-ШПС, ДЧ-ШПС і ДСЧ ШПС з різними несучими частотами. Також проведено моделювання проходження сигналів з різним розташуванням частотних складових і різними базами.

По итогам моделювання отримано вимоги до ШПС для використання його в метеорних системах зв'язу. Сигнал ШПС для метеорної системи радіозв'язу повинен бути ДСЧ-ШПС з базою від 36 до 64. Частотні складові сигналу повинні бути розташовані близько до частоти 40 МГц.

При використанні рекомендованого сигналу швидкість передачі інформації збільшилася до 140 кбіт/с, що порівняно з вузькосмуговими МСПІ (АМСС, RANDOM) з шириною спектра порядку 20 кГц збільшилася в 7 разів.

Ключові слова: метеорний радіоканал, метеорна система зв'язу, шумоподібний сигнал, амплітудно-частотна характеристика, ймовірність біткової помилки, швидкість передачі інформації.

АНОТАЦІЯ

Шандренко Р.В. **Вдосконалення систем метеорного радіозв'язу шляхом використання в них шумоподібних сигналів** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2016.

У роботі вирішена актуальна науково-практична задача підвищення середньої швидкості передачі метеорних систем передачі інформації (МСПІ) шляхом використання в них шумоподібних сигналів (ШПС).

У роботі викладені фізичні принципи метеорного поширення радіохвиль. Стисло розглянуті існуючі системи метеорного радіозв'язу. Розглянуті характеристики шумоподібних сигналів, з точки зору їх застосування в метеорному радіоканалі (МРК), та їх переваги в боротьбі із перешкодами виникаючими під час передачі інформації.

Для визначення ступеня впливу нерівномірності амплітудно-частотної характеристики МРК розроблено математичну модель МРК, що враховує характеристики МРК у широкій смузі частот, а також існуючі перешкоди. За результатами моделювання визначені вимоги, що висувуються до ШПС для метеорної системи зв'язу. Цей сигнал має бути дискретно-частотним складаним ШПС, із базою від 36 до 64. Частотні складові сигналу мають бути близькі до частоти 40 МГц.

В ході використання рекомендованого сигналу, швидкість передачі збільшилася до 140 кбіт/с, що у порівнянні із вузькосмуговими МСПІ збільшилася в 7 разів.

Ключові слова: метеорний радіоканал, метеорна система зв'язу, шумоподібний сигнал, амплітудно-частотна характеристика, ймовірність біткової помилки, швидкість передачі інформації.

ABSTRACT

Shandrenko R. V. Improvements of Meteor-burst communication systems by using noise-like signals. – Manuscript.

The thesis for the degree of Technical Sciences Candidate (equivalent of Ph. D. degree). Speciality 05.12.17 – radio and television systems. – National university of radioelectronics, Kharkov, 2016.

Thesis describes actual scientific and practical task of increasing the average bit rate of meteor-burst communication systems by using noise-like signals.

The thesis presents the physical principles of meteor radio propagation. It briefly describes the main existing meteor-burst communication systems, the characteristics of noise-like signals in terms of their use in the meteoric-burst radio channel, and their use against distortions that are arising in the transmission of information.

To determine the degree of influences of nonlinear frequency response characteristic of the meteor-burst channel, mathematical model which takes into account the characteristics of the MBC in a wide frequency band, as well as interference was developed.

Requirements for noise-like signal in meteor-burst applications were determined according to the results of the modelling. It should be discrete frequency composite noise-like signal with a base of 36 to 64. Frequency components should be in nearest of 40 MHz.

In case of using such signal, bit rate of the meteoric-burst communication system can be increased to 140 kbps.

Keywords: Meteor-burst channel, meteor-burst communication system, noise-like signal, response characteristic, bit-error ratio, bit rate.

Підп. до друку 3.10.17.
Умов. друк. арк. 1,2.
Зам. №

Формат 60×84_{1/16}.
Облік. вид. арк. 1,0.
Ціна договірна.

Спосіб друку – ризографія.
Тираж 100 прим.

Віддруковано у типографії ФОП Андреев К. В.
61166, Харків, вул. Серпова, 4
ep.zakaz@gmail.com