

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Науменко Віталій Миколайович



УДК 621.396.96

**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЧАСТОТНО-ЧАСОВОЇ
СИНХРОНІЗАЦІЇ В РОЗНЕСЕНИХ ПАСИВНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ
СИСТЕМАХ**

Спеціальність 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Костира Олександр Олексійович**, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба Міністерства оборони України, начальник науково-дослідної лабораторії факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Величко Анатолій Федорович**, інститут радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, завідувач відділу;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Коломійцев Олексій Володимирович**, Інститут танкових військ Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства оборони України, начальник кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки.

Захист відбудеться “ _____ ” _____ 2019 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14, ауд. 13.

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

Автореферат розісланий “ _____ ” _____ 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03

доктор технічних наук, професор



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Існує велика кількість інформаційно-вимірювальних систем, до складу яких входять еталони (стандарти) часу та частоти. Це системи астрономічних спостережень, системи контролю за рухом супутників Землі і космічних об'єктів, навігаційні системи наземного і космічного базування, системи контролю геофізичних процесів, які розвиваються синхронно та ін.

Частотно-часові методи набувають все більшого значення для самих різних галузей науки і техніки – на їх основі створюються нові прилади, забезпечуються надточні фізичні експерименти, розробляються нові технології, методи і засоби в метрології та приладобудуванні.

Високоточна загальнодержавна синхронізація часу та частоти забезпечує умови для створення систем автоматичної посадки літальних апаратів, автоматичного регулювання великих транспортних потоків. Точність частотно-часової синхронізації є визначальною для забезпечення надійного цифрового зв'язку, банківської безпеки, електронного документообігу.

Важливим напрямком для частотно-часових систем є енергетика. Особливо гостро це питання постає з запровадженням альтернативних джерел електроенергії та їх підключенням до загальнодержавної енергетичної системи.

Для здійснення частотно-часових звірень в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) розроблено пасивний метод загального охоплення (ПМЗО), який реалізовується у багатопозиційній пасивній системі синхронізації (БПСС) [4, 5].

Основним параметром, що відображає якість роботи системи частотно-часових звірень (ЧЧЗ), є значення похибок синхронізації. Істинне і вимірне значення різниці часу запізнювання сигналів, а, отже, похибка синхронізації може змінюватися під впливом різних дестабілізуючих факторів, до яких відносяться [4, 11]:

- флуктуації часу поширення радіохвиль (ПРХ) в радіоканалі;
- штучні перешкоди і природні завади, внутрішні апаратурні шуми;
- багатопроменеве ПРХ;
- флуктуації затримок в передавальній та приймальній апаратурі;
- обчислювальні (алгоритмічні) похибки;
- взаємне розходження шкал еталонів та ін.

Похибки, що викликані перевідбиттям сигналів (багатопроменевість ПРХ), також відносяться до категорії похибок, пов'язаних з поширенням інформаційного сигналу. Такі похибки виникають через перевідбиття сигналу від близько розташованих об'єктів – будівель, металевих конструкцій, дерев і т.п. [6-8]. В результаті цього ефекту час поширення перевідбитих сигналів перевищує час поширення «прямого» сигналу.

Похибки багатопроменевості часто визначають результуючу точність частотно-часових і координатних вимірювань. Тому в ряді робіт розглядається питання підвищення точності ЧЧЗ за рахунок усунення (компенсації) такого джерела похибки як багатопроменевість ПРХ. В технічній літературі показано, що багатопроменевість ПРХ викликає зміщення піку основної пелюстки або вини-

кнення багатопіковості взаємокореляційної функції (ВКФ) прийнятих сигналів, що знижує точність звірення і ймовірність вірного звірення. Зменшення впливу багатопроменевості є актуальною і для задач позиціонування з допомогою ГНСС, про що свідчать рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку щодо необхідності запровадження заходів для компенсації впливу багатопроменевості ПРХ.

На практиці середнє значення багатопроменевості сигналу може становити -3 дБ відносно рівня основного сигналу, що робить неможливим виконання високоточних ЧЧЗ. Якщо час затримки додаткового променя (променів) менше тривалості сигнальної вибірки, то в прийнятому сигналі буде присутня частково корельована перешкода, рівень і ступінь кореляції якої збільшується при зменшенні часу затримки і яка може привести до збільшення ймовірності помилкової синхронізації.

Вимоги до точності виконання частотно-часових вимірів і надійності функціонування інформаційно-вимірювальних систем постійно зростають, що і робить актуальною задачу розробки методів підвищення точності звірення просторово рознесених мір часу та частоти в пасивних радіотехнічних системах синхронізації за умови багатопроменевості сигналу спільного джерела.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження пов'язані з виконанням планових НДР, які проводилися в ХНУРЕ, в Національному науковому центрі "Інститут метрології" (ННЦ ІМ) та в метрологічному центрі військових еталонів Збройних Сил України:

№ 239 "Розробка принципів побудови вітчизняного комплексу інформаційно-вимірювальних систем для прогнозування і аналізу наслідків надзвичайних ситуацій", підтема № 239-5 "Розробка альтернативних методів синхронізації, передачі і захисту інформації для використання в Державній інформаційній системі з надзвичайних ситуацій" (№ ДР 0109U001635), (2013р.), (виконавець);

№ 287 "Створення технологій побудови багатфункціонального радіотехнічного комплексу для екологічного моніторингу", розділ № 287-5 "Розробка альтернативних методів синхронізації інформаційно-вимірювальних систем раціонального природокористування", № ДР 0114U002697 (2014-2015 р.р.), (виконавець);

№ 676 "Забезпечення функціонування Державної служби єдиного часу і еталонних частот (ДСЧЧ) в Україні" №№ ДР 0111U004901, 0112U008240, 0115U003818), які виконувались Українським метрологічним центром Державної служби єдиного часу і еталонних частот (2013-2016 р.р.), (виконавець);

"Дослідження варіантів побудови й функціонування комплексу апаратури Центру метрологічного контролю та розробка програмно-методичного забезпечення його дослідної експлуатації та державних випробувань", № ДР 0114U00411 (2014 р.), (виконавець);

"Дослідження методів синхронізації шкал часу і частоти та визначення оптимальних варіантів звірення вихідного еталона Збройних Сил України (ВЕЗСУ 07-01-01-09) часу та частоти з державним еталоном", шифр «Промет-

РТ» (2014р.), (виконавець).

- № Н9/2005 – “Виконання робіт зі збереження та забезпечення належного функціонування наукового об’єкта, що становить національне надбання, Багатоцільового геофізичного комплексу для дослідження атмосфери та припливу метеорної речовини Харківського національного університету радіоелектроніки” (2013-2016 р.р.), (виконавець).

Мета і задачі досліджень.

Мета роботи полягає в розробці методів для підвищення точності звірення просторово рознесених еталонів (стандартів) часу та частоти в пасивних радіотехнічних системах синхронізації в умовах багатопроменевості сигналу спільного джерела (СД).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Обґрунтувати спектральний метод компенсації пасивних перешкод за наявності багатопроменевого поширенням сигналу СД у БПСС.

2. Розробити математичну модель БПСС з реалізацією спектрального методу компенсації багатопроменевої складової сигналу СД.

3. Розробити комбінований метод підвищення точності синхронізації просторово рознесених мір часу та частоти при багатопроменовому сигналі СД у БПСС.

4. Розробити алгоритм функціонування БПСС, який дозволяє реалізувати спектральний метод компенсації пасивних перешкод і реалізувати можливість виконання звірень просторово рознесених еталонів часу та частоти з допустимими похибками за умов багатопроменевої сигналу СД.

5. Розробити структурну схему експериментальної установки БПСС, в якій реалізувати комбінований метод підвищення точності синхронізації просторово рознесених мір часу та частоти з компенсацією багатопроменевої перешкоди (БП).

6. Провести експериментальні дослідження щодо можливості технічної реалізації комбінованого методу підвищення точності синхронізації просторово рознесених еталонів (стандартів) часу та частоти при наявності БП сигналу СД у БПСС.

Об’єкт досліджень – процес синхронізації просторово рознесених еталонів часу та частоти за наявності багатопроменевої сигналів СД.

Предмет досліджень – пасивний метод синхронізації з використанням сигналів СД, похибки синхронізації та їх джерела, процедури обробки результатів вимірювань зсуву шкал часу і частоти при багатопроменовому поширенні сигналу СД у БПСС.

Виходячи з мети і предмету досліджень, наукова задача, яка вирішується в дисертаційній роботі, полягає в розробці методів підвищення точності синхронізації просторово рознесених еталонів (стандартів) часу та частоти за наявності багатопроменевої сигналу СД.

Методи досліджень базуються на теорії часового, спектрального і кореляційного аналізу, математичному моделюванні процесів при дослідженні причин виникнення, характеру і механізму впливу БП в БПСС; теорії ймовірності та математичної статистики, чисельному аналізі при обробці та аналізі резуль-

татів моделювання та експериментальних результатів; експериментальних дослідженнях для перевірки достовірності результатів теоретичних досліджень та можливостей технічної реалізації запропонованих підходів і рішень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено новий метод компенсації впливу багатопроменевості сигналу СД на результуючу похибку синхронізації БПСС, який, на відміну від відомих, дозволяє здійснити компенсацію частково-корельованих і некорельованих БП у спектральній області аналізу.

2. Розроблено новий комбінований метод підвищення точності частотно-часових звірень у БПСС, який, на відміну від відомих, полягає у поєднанні методів компенсації впливу багатопроменевості сигналу СД та методу математичної інтерполяції дискретного сигналу цифрового приймача.

3. Розроблено нову математичну модель БПСС, в якій, на відміну від відомих моделей систем звірення шкал часу і частоти, реалізовано компенсацію багатопроменевості сигналу СД у спектральній області аналізу.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблений алгоритм роботи компенсатора реалізує нову послідовність (етапність) виконання операцій компенсації БП в БПСС шляхом проведення операцій у спектральній області. В основу роботи алгоритму покладено операції швидкого перетворення Фур'є та кореляційного аналізу, що дозволяє скоротити час обробки результатів вимірювань.

2. Застосування нового комбінованого методу підвищення точності частотно-часових звірень у БПСС дозволяє забезпечити точність частотно-часових звірень на рівні десятків наносекунд за наявності БП у сигналі СД.

3. Отримані в ході проведення експериментальних досліджень пасивної системи синхронізації результати підтверджують працездатність запропонованого методу компенсації БП сигналу СД. Використання компенсатора дозволило подавити БП до рівня, який забезпечив зниження середньоквадратичної похибки вимірювання зсуву шкал часу та частоти у 4-5 разів.

4. Розроблено новий спосіб синхронізації просторово рознесених мір часу і частоти з використанням сигналів низькоорбітальних та середньоорбітальних штучних супутників Землі, який відрізняється від відомих тим, що в якості відлікових моментів часу беруться моменти, коли доплерівська частота супутникового сигналу має завчасно визначене значення. Спосіб запатентовано.

Результати дисертаційної роботи реалізовані у вище зазначених НДР, що підтверджується відповідними актами впровадження, які містяться в додатках до дисертації.

Достовірність і обґрунтованість отриманих наукових результатів забезпечується та підтверджується: коректним використанням відомих підходів оцінки параметра при визначенні взаємного зсуву шкал еталонів, математичного апарату спектральної, кореляційної та статистичної обробки для оцінки похибки синхронізації рознесених у просторі еталонів (стандартів) часу і частоти; високою відповідністю результатів експериментальних досліджень лабораторних макетів систем синхронізації отриманим теоретичним висновкам та даним.

Особистий внесок здобувача. Нові наукові результати отримані здобу-

вачем особисто. У роботах, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: запропоновано та розроблено нові методи компенсації впливу багатоприменовості сигналу СД на результуючу похибку синхронізації у БПСС [2, 6, 7, 8, 13, 15]; розроблено нову математичну модель БПСС з компенсацією БП у спектральній області аналізу [8, 15]; розроблено методику проведення експерименту [1, 3, 4, 7, 12]; розроблено структурну схему експериментальної установки [2, 4, 7, 10, 12]; розроблено новий алгоритм роботи компенсатора БП у БПСС [8, 15]; розроблено принципи обробки виконаних вимірювань [1, 6, 7, 12, 13], проведено аналіз отриманих результатів [5, 9, 11] розроблено новий спосіб синхронізації просторово рознесених мір часу і частоти з використання сигналів низькоорбітальних та середньоорбітальних штучних супутників Землі [16].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи були представлені і обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях:

міжнародний радіоелектронний форум “Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку”, (МРФ-2012, 2015, 2016, ХНУРЕ, м. Харків) [9, 12, 14]; міжнародна конференція “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп’ютерної інженерії”, (ТСЕТ-2014 р.), (Львів-Славське, 2014 р.) [10]; ІХ міжнародна науково-технічна конференція „Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2014)”, Національний центр "Інститут метрології", м. Харків, 2014. [11]; науково-технічна конференція “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки”, (Центральний науково-дослідний інститут озброєння і військової техніки, м. Київ – 2015р.) [13]; міжнародна науково-практична конференція „Інформаційно-комунікаційні науки і технології” (PIC S&T 2018), ХНУРЕ, м. Харків, 2018 р. [15].

Публікації результатів дисертації. Основні результати за темою дисертації опубліковані в 8 статтях у періодичних виданнях, які входять до переліку фахових видань України, стаття [3] опублікована в журналі „Східно-Європейський журнал передових технологій”, який включено до міжнародної науково-метричної бази РІНЦ, статтю [8] опубліковано в журналі „Метрологія та прилади”, який включено до міжнародної науково-метричної бази Index Copernicus, отримано 1 патент України на корисну модель, опубліковано 7 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертація являє собою рукопис і складається із вступу, 4 розділів, висновку, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації 192 сторінки, у тому числі 156 сторінок основного тексту, з яких 8 сторінок повністю займають рисунки та таблиця. Список літератури містить 132 роботи вітчизняних і закордонних авторів. У додатки включені акти впровадження результатів роботи та публікації за темою дисертації. Основний зміст дисертації містить 63 рисунки та 1 таблицю.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми досліджень, актуальність науково-технічної задачі, надаються відомості про зв'язок дисертаційної роботи з науко-

вими програмами і напрямками. Сформульовано предмет, об'єкт та методи дослідження, представлені відомості про наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, дані про реалізацію результатів роботи. Представлена інформація про наукові публікації автора за темою роботи, його особистий внесок та апробації результатів досліджень.

У першому розділі проведено аналіз вимог до точності звірення мір часу та частоти в інформаційно-вимірювальних системах різного призначення. Визначені основні джерела похибок синхронізації. Зазначено, що суттєвий вплив на характеристики якості частотно-часової синхронізації просторово рознесених мір може здійснювати багатопроменеве поширення інформаційних сигналів. Явище багатопроменевості притаманне більшості радіолокаційних та радіонавігаційних систем, в тому числі і БПСС на основі ПМЗО, які розробляються в ХНУРЕ. Проаналізовано існуючі методи компенсації перешкод в радіотехнічних системах. Зроблено висновок щодо необхідності розробки нових методів компенсації багатопроменевого сигналу з урахуванням особливостей функціонування БПСС. Сформульовано основні задачі досліджень для виконання поставленої науково-практичної задачі [6-8, 13-15].

У результаті виконаного аналізу встановлено, що на точність звірення часу та частоти в БПСС впливає ряд чинників, серед яких суттєве значення можуть мати трасові похибки синхронізації, спричинені багатопроменевістю проходження сигналу, що є причиною виникнення корельованої перешкоди. При цьому середній рівень БП приймається на 3 дБ нижчим від рівня основного сигналу.

Класичні методи компенсації перешкод не працюють, коли перешкода діє в основній пелюстці діаграми спрямованості приймальної антени та приймається практично одночасно з корисним сигналом і є його точною копією.

Для підвищення точності частотно-часової синхронізації просторово рознесених еталонів (стандартів) часу та частоти в БПСС потрібно розробити методи, які забезпечують ефективну компенсацію БП та дають мінімальні похибки визначення часового положення максимуму сигналу на виході кореляційного приймача.

У другому розділі синтезовано структуру оптимального вимірювача, який реалізує ПМЗО в БПСС. На основі аналізу особливостей функціонування ПМЗО теоретично обґрунтовано можливість компенсації багатопроменевості сигналу СД за умови, коли БП відсутня, або ж має допустимий рівень хоч би в одному з пунктів, що синхронізуються. Розроблено методи компенсації БП, математичні моделі та алгоритми роботи БПСС для часової та спектральної області аналізу сигналів, а також комбінований метод підвищення точності частотно-часової синхронізації, який базується на поєднанні методів компенсації БП та методів математичної інтерполяції вихідних дискретних сигналів цифрового корелятора. Розроблено рекомендації для ефективної роботи компенсатора БП з використанням запропонованих методів [4, 6-8, 13-15].

У відповідності з ПМЗО для довільного сигналу СД величина зсуву шкал часу визначається за результатами взаємкореляційної обробки m сигнальних

вибірок, в кожній з яких міститься по i відліків. Аналізу підлягає діагональна матриця взаємкореляційних функцій розмірністю $(m \times m)$ [8, 15]:

$$\mathbf{B}^{AB}[\tau] = M\{\mathbf{X}_m^{AB}[i+\tau]\mathbf{X}_m^{B*T}[i]\} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{11}^{AB} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \mathbf{B}_{mm}^{AB} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

тобто у формуванні ВКФ беруть участь ідентичні фрагменти сигналу СД, тому всі елементи цієї матриці окрім діагональних дорівнюють нулю. Для кожної з ВКФ \mathbf{B}_{mm}^{AB} знаходиться часове положення її максимуму, яке далі бере участь в статистичній обробці результатів вимірів і формуванні результуючої оцінки звірення шкал часу еталонів.

У ході виконаних теоретичних досліджень обґрунтована можливість компенсації багатопроменевості сигналу СД при її відсутності хоча б в одному з пунктів, що синхронізуються. Тут слід виходити з припущення про те, що багатопроменевість не може бути одночасно присутньою в усіх пунктах, що синхронізуються. Вважаємо, що при прийомі сигналу СД в пункті \mathbf{B} спостерігається ефект багатопроменевості.

Розроблено метод компенсації БП в частотній (спектральній) області аналізу сигналів. Для переходу в частотну область використовується відома операція перетворення Фур'є.

У результаті прямого дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) масивів сигнальних вибірок $U^B[i]$ і $U^A[i]$, які було записано в пунктах \mathbf{B} та \mathbf{A} , знаходяться реальні та уявні частки спектральних складових прийнятих сигналів СД [8, 15]

$$y^{A(B)}(j\omega, m) = \operatorname{Re}\{G^{A(B)}(j\omega, m)\} = \sum_{i=0}^{N-1} \left[u^{A(B)}(i) \cos \frac{mi}{N} + u_*^{A(B)}(i) \sin \frac{mi}{N} \right];$$

$$x^{A(B)}(j\omega, m) = \operatorname{Im}\{G^{A(B)}(j\omega, m)\} = \sum_{i=0}^{N-1} \left[-u^{A(B)}(i) \sin \frac{mi}{N} + u_*^{A(B)}(i) \cos \frac{mi}{N} \right],$$

де $m=0, 1, \dots, N$ – кількість відліків ДПФ.

З використанням реальної та уявної частин комплексного перетворення Фур'є вираховуються миттєві амплітудно-частотні та фазочастотні спектри сигналів (АЧС і ФЧС):

$$|G^{A(B)}(j\omega, m)| = \sqrt{\left[\operatorname{Re}\{G^{A(B)}(j\omega, m)\} \right]^2 + \left[\operatorname{Im}\{G^{A(B)}(j\omega, m)\} \right]^2};$$

$$\varphi^{A(B)}(\omega, m) = \operatorname{arctg} \left[\operatorname{Im}\{G^{A(B)}(j\omega, m)\} / \operatorname{Re}\{G^{A(B)}(j\omega, m)\} \right].$$

При цьому на спектр сигналу СД, прийнятого в пункті \mathbf{B} , накладається спектр багатопроменевої перешкоди, що умовно демонструється на рис. 1.

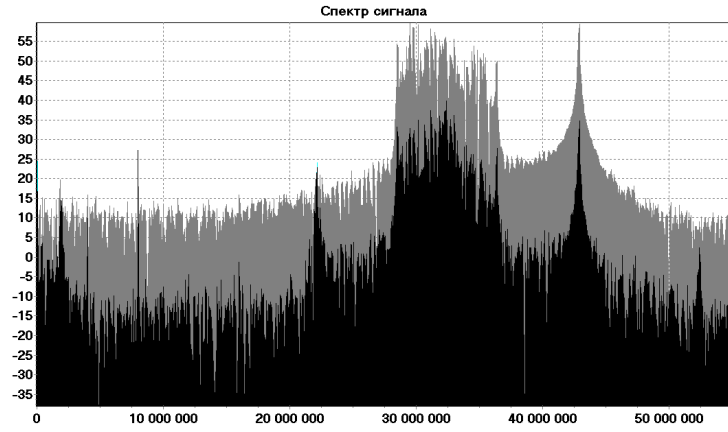


Рисунок 1 – Спектр корисного сигналу (сірий колір), спектр сигналу перешкоди (чорний колір).

Наступним кроком є знаходження миттєвих АЧС і ФЧС багатопроменевої перешкоди в пункті **B**, для чого потрібно компенсувати сигнальну складову. Для цього використовуються масиви миттєвих АЧС і ФЧС сигнальних вибірок, отриманих в пункті **A**, після амплітудного нормування та вирівнювання різниці фаз. Використання співвідношень векторної алгебри дає [8, 15]:

$$|G^{Bn}(j\omega, i)| = \sqrt{[G^B(j\omega, i)]^2 - [G^A(j\omega, i)]^2 + 2G^B(j\omega, i)G^A(j\omega, i)\cos(\pi/2 - \Delta\varphi^{AB}(\omega, i))};$$

$$\varphi^{Bn}(\omega, i) = \arcsin[G^A(j\omega, i)\sin(\pi/2 - \Delta\varphi^{AB}(\omega, i)) / G^{Bn}(j\omega, i)].$$

Далі необхідно компенсувати перешкодову складову в сигналі пункту **B**:

$$|G^{Bm}(j\omega, i)| = \sqrt{[G^B(j\omega, i)]^2 - [G^{Bn}(j\omega, i)]^2 + 2G^B(j\omega, i)G^{Bn}(j\omega, i)\cos(\pi/2 - \Delta\varphi^{Bn}(\omega, i))};$$

$$\varphi^{Bm}(\omega, i) = \arcsin[G^{Bn}(j\omega, i)\sin(\pi/2 - \Delta\varphi^{Bn}(\omega, i)) / G^{Bm}(j\omega, i)].$$

Отримані в результаті розрахунків дані дозволяють визначити реальні та уявні складові АЧС сигналу пункту **B**, в якому БП компенсовано:

$$\operatorname{Re}\{G^{Bm}(j\omega, i)\} = |G^{Bm}(j\omega, i)|\cos\varphi^{Bm}(\omega, i);$$

$$\operatorname{Im}\{G^{Bm}(j\omega, i)\} = |G^{Bm}(j\omega, i)|\sin\varphi^{Bm}(\omega, i).$$

Для отримання ВКФ сигнальних вибірок пунктів формується новий комплексний масив [8, 15]:

$$[Z(k) = \operatorname{Re}\{G^A(k)\}\operatorname{Im}\{G^{Bm}(k)\}], k = 0, \dots, N - 1$$

і виконується зворотне перетворення Фур'є:

$$B(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Z(k) e^{j\frac{2\pi}{N}nk},$$

що дає початкові дані для подальшого інтерполяційного визначення часового положення максимумів ВКФ та статистичної обробки результатів звірень.

Отже, щоб компенсувати БП в сигналі СД в пункті **B** у частотній області, необхідно реалізувати наступний алгоритм:

за наявними сигнальними вибірками, записаними в пунктах **A** і **B**, визначити реальні і уявні частини спектральних складових прийнятих сигналів СД;

вирахувати миттєві АЧС і ФЧС цих сигналів;

вирахувати миттєві АЧС і ФЧС багатопроменевої перешкоди в пункті **B**;

компенсувати БП в спектрі сигналу пункту **B**;

розрахувати реальну і уявну складові АЧС сигналу пункту **B** після компенсації БП;

отримати комплексний масив для взаємної спектральної щільності сигналів в пунктах і виконати операцію зворотного перетворення Фур'є.

Отриманий в результаті масив значень ВКФ сигналів використовується для звірення шкал часу еталонів в пунктах.

Для підвищення точності визначення часового положення максимумів ВКФ при формуванні масиву (1) здійснюється інтерполяція цих значень [2, 9]. Знаходження уточненого положення максимумів ВКФ може виконуватися шляхом визначення екстремумів функції або методом половинного поділу (дихотомії). Щоб знайти екстремум, необхідно взяти похідну функцію і прирівняти її до нуля $x'(t) = 0$. Недоліком цього способу є те, що екстремальні точки можуть знаходитись поза межами відрізка, де виконується пошук максимуму. Тому для вірного обчислення доцільно використовувати метод дихотомії або алгоритм "бджолиного рою" [2, 9].

Наступним кроком є статистична обробка – знаходження значень математичного очікування і СКВ зсуву шкал часу за відомими співвідношеннями [2, 4, 5, 9]. Обчислюється математичне очікування часового положення максимумів ВКФ і відображається графіком або візуалізується у вигляді гістограми.

Спільне застосування методів компенсації БП та методів математичної інтерполяції для високоточного визначення часового положення максимуму ВКФ прийнятих сигналів СД дозволяє реалізувати комбінований метод підвищення точності частотно-часової синхронізації, який поєднує переваги та можливості зазначених методів.

Таким чином, розроблені методи компенсації та математичні моделі компенсаторів БП в БПСС для часової та спектральної області аналізу, а також комбінований метод підвищення точності частотно-часової синхронізації, який базується на поєднанні методів компенсації БП та методів математичної інтерполяції дискретних вихідних сигналів цифрового корелятора.

Третій розділ. Проведено математичне моделювання пасивної системи часо-частотної синхронізації при узгодженій фільтрації (УФ) та взаємкореляційній обробці (ВКО) прийнятих сигналів СД. Наведено результати моделювання

пасивної системи синхронізації для випадків застосування квадратурної обробки сигналів (КОС) з подальшою УФ або ВКО. Розроблено математичну модель пасивної системи часо-частотної синхронізації при наявності багатопроменевості сигналу СД. Проведено аналіз абсолютних похибок оцінки часового положення прийнятих сигналів за наявності однієї детермінованої корельованої перешкоди. Розроблено математичну модель пасивної системи часо-частотної синхронізації при наявності багатопроменевості сигналу СД, в якій формуються сигнальні вибірки з внутрішньо-імпульсною частотно-фазовою модуляцією. Розроблено математичну модель та алгоритм дослідження фільтруючих властивостей системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), як елемента приймального пристрою БПСС [1, 2, 5, 6, 8, 10, 11, 13-15].

Структурну схему блоку моделювання «КОС+ВКО» для пункту **A** показано на рис. 2. Для пункту **B** схема ідентична і відрізняється відповідним індексом у позначеннях.

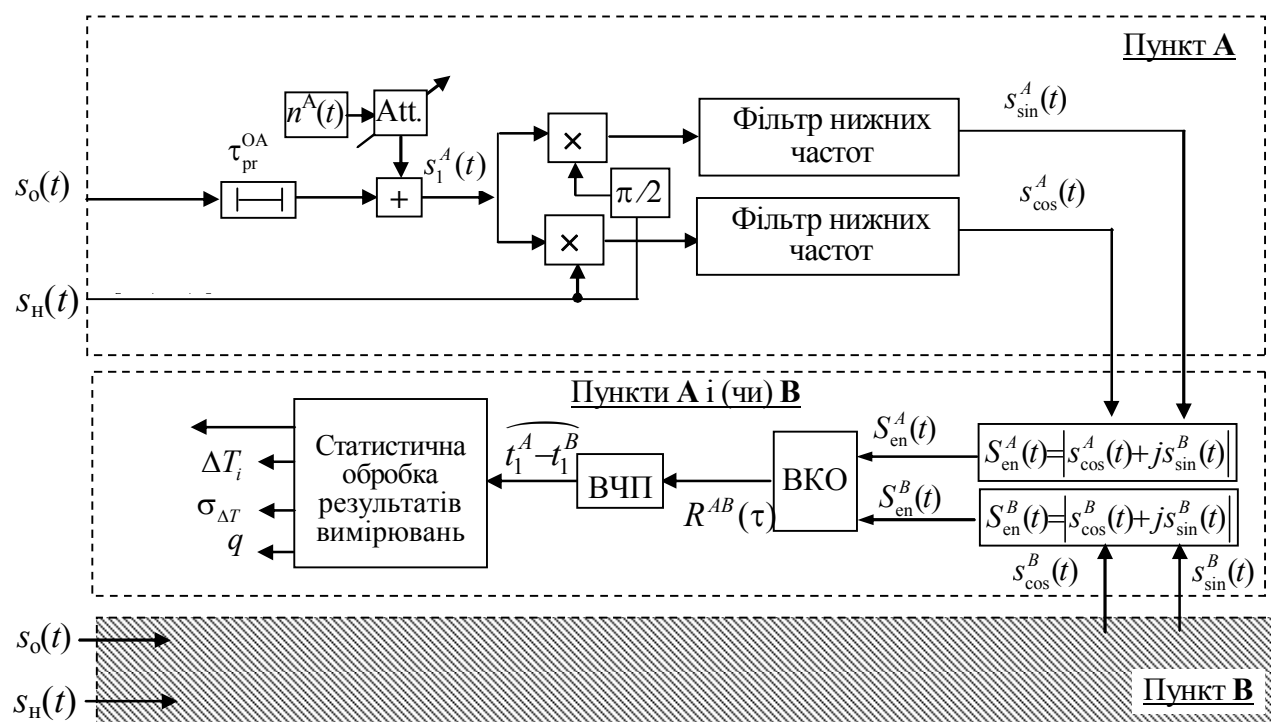


Рисунок 2 – Структура блоку моделювання «КОС+ВКО»

До складу блоку входять: лінії затримки, що імітують затримку сигналу в каналі ПРХ $\tau_{pr}^{OA}, \tau_{pr}^{OB}$; генератори перешкод $n^A(t), n^B(t)$; атенюатори «Att.» і суматори «+», що формують адитивні суміші затриманого сигналу СД і перешкод $s_1^A(t), s_1^B(t)$, елементи пристроїв квадратурної обробки – перемножувачі «x» і фазообертачі на $\pi/2$; фільтри нижніх частот для придушення перетворених сигналів з частотою $2\omega_0$; формувачі обвідної сигналу $S_{en}(t) = |s_{\cos}(t) + js_{\sin}(t)|$; пристрій для ВКО обвідних сигналів в пунктах $S_{en}^A(t), S_{en}^B(t)$, вимірювачі часового

положення сигналів «ВЧП», алгоритм статистичної обробки результатів вимірювань.

Результатами моделювання пасивної системи синхронізації для випадків застосування квадратурної обробки з подальшою УФ або ВКО є середні значення зсуву шкал $\overline{\Delta T}$ і СКВ вимірів $\sigma_{\Delta T}$, а також гістограми, що дозволяють перевірити гіпотези щодо закону їх розподілу.

Аналіз розподілу значень зсуву шкал ΔT_i , отриманих в результаті моделювання, показує, що при співвідношенні сигнал/перешкода, більшому від порогу $q > q_{\text{пор}} = 6 \dots 9$, закон розподілу наближається до нормального з математичним очікуванням $\overline{\Delta T}$, а при $q < q_{\text{пор}}$ – прагне до рівномірного.

При $q < q_{\text{пор}}$ залежності $\sigma_i \Delta \omega_{\text{эф}}(q)$ (рис. 3) для квадратурної обробки суттєво (в 1,5 рази) відрізняються від теоретичних. У випадку $q > q_{\text{пор}}$ точності вимірювання зсуву шкал в ПМЗО для випадків квадратурної обробки і узгодженої фільтрації практично співпадають [5].

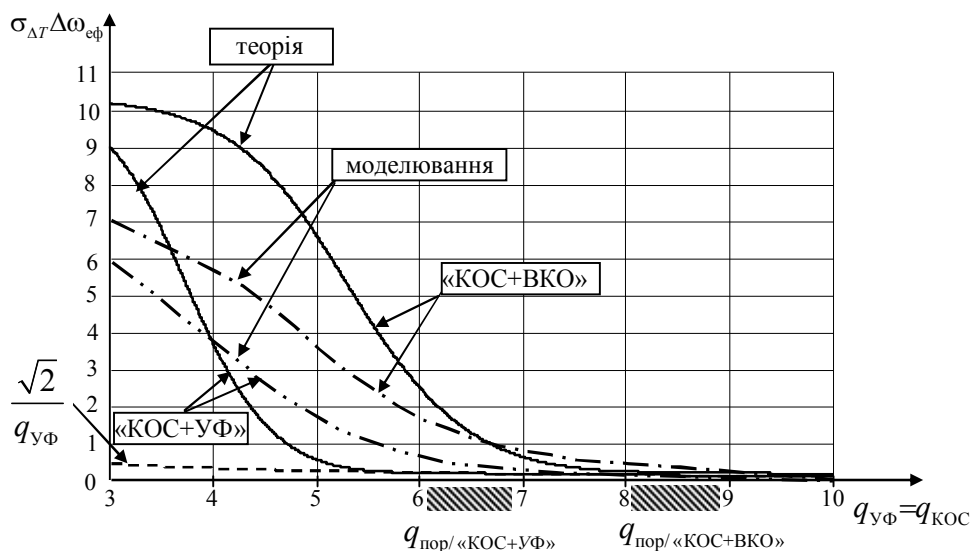


Рисунок 3 – Залежність СКВ вимірювання зсуву шкал в пасивних системах синхронізації від співвідношення сигнал/перешкода

Застосування квадратурної обробки і отримання обвідної сигналу СД дозволяє істотно зменшити обсяг інформації, якою обмінюються пункти для подальшої взаємокореляційної обробки, що є перевагою у порівнянні з передачею оцифрованого сигналу на радіо або проміжній частоті.

Результати математичного моделювання повністю відповідають основним положенням теорії статистичних вимірювань в радіолокації і зв'язку, а, отже, адекватно відображають фізичні процеси, що відбуваються в БПСС. З отриманих результатів моделювання випливає, що умовою мінімізації аномальних вимірювань є співвідношення сигнал/перешкода $> 6 \dots 9$.

У четвертому розділі розроблено спосіб синхронізації рознесених у просторі еталонів (стандартів) часу та частоти з використанням сигналів низькоорбітальних і середньоорбітальних штучних супутників Землі. Наведено ре-

зультати експериментальних досліджень макету БПСС з використанням сигналів центрального наземного телебачення (ЦНТБ) та при синхронізації за фазою аналогового телевізійного сигналу в режимі "нульової бази". Продемонстровано роботу БПСС з компенсацією багатопроменевої перешкоди при прийомі OFDM сигналу. Сформульовано практичні рекомендації щодо реалізації компенсатора багатопроменевої перешкоди [3, 4, 7, 8, 12-16].

Зняття обмеження по дальності дії пасивної системи синхронізації може бути здійснено шляхом реалізації способу частотно-часової синхронізації просторово рознесених мір часу і частоти з використанням у якості СД сигналів низькоорбітальних і середньоорбітальних ШСЗ (рис. 4) [16].

Як відлікові моменти часу для синхронізації шкал часу просторово рознесених еталонів пропонується використовувати частотні особливості прийнятого сигналу, а саме – моменти, коли носійна частота сигналу рухомого спільного джерела має в одному приймальному пункті нульове доплерівське зміщення, а в іншому – заздалегідь розраховане значення доплерівського зсуву частоти. При цьому просторове положення спільного джерела і пунктів, що синхронізуються (координати), повинні бути відомі з необхідною для виконання розрахунків точністю.

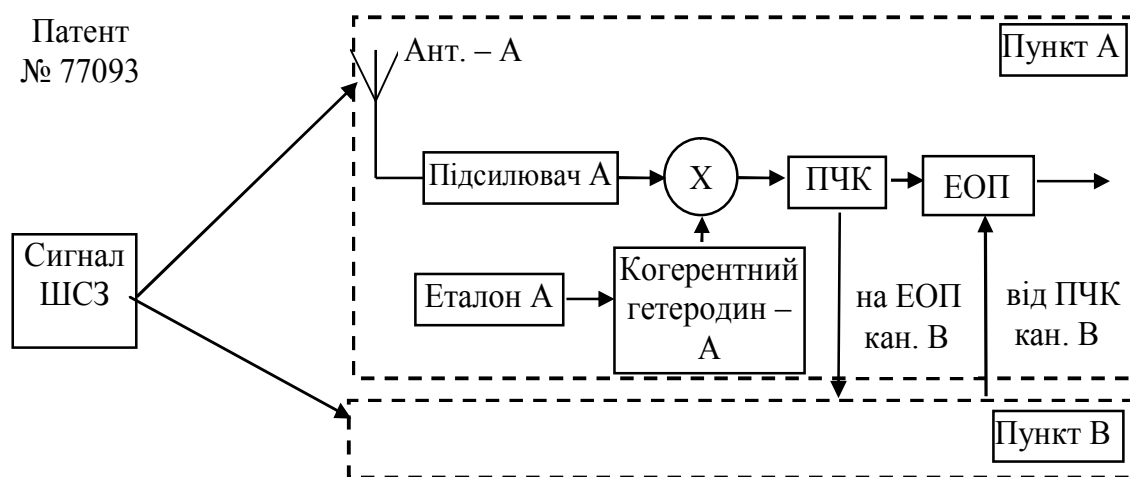
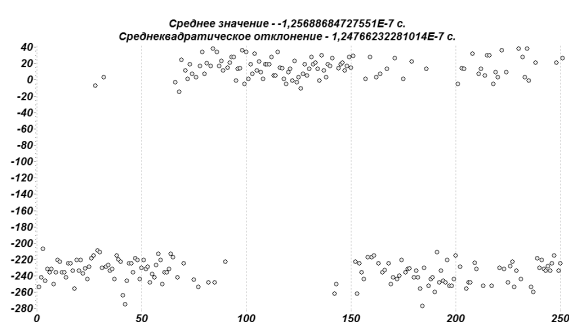


Рисунок 4 – Структурна схема системи синхронізації за сигналом ШСЗ

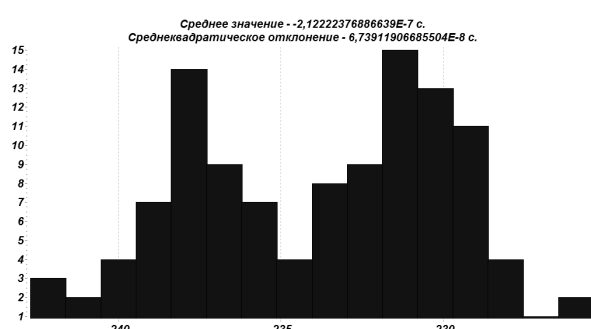
Експериментальні дослідження по звіренню шкал еталонів часу і частоти підтвердили високу ефективність розробленого методу компенсації БП [6-8, 13-15]. Отримані практичні результати повністю підтверджують теоретичне обґрунтування можливості компенсації частково корельованої перешкоди, що знаходиться в межах часового стробу розрізнення. У проведеному експерименті сигнал перешкоди майже досягав і навіть перевищував рівень корисного сигналу, що не позначилося на працездатності запропонованого алгоритму [7-8, 13-15].

Результати експериментальних досліджень макету БПСС за наявності БП (рис. 5) підтвердили теоретично обґрунтовану можливість компенсації багатопроменевої перешкоди. СКВ результатів вимірів становить 13,8 нс, що майже в 5 разів менше похибки вимірів, отриманих без компенсації багатопроменевого сигналу.

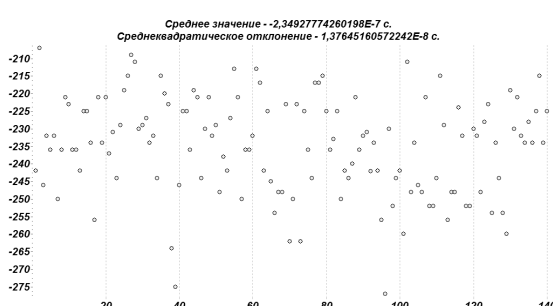
Розроблений алгоритм компенсації БП може застосовуватися і в інших пасивних багатопозиційних радіотехнічних системах, принцип роботи яких базується на спільній обробці інформаційних сигналів.



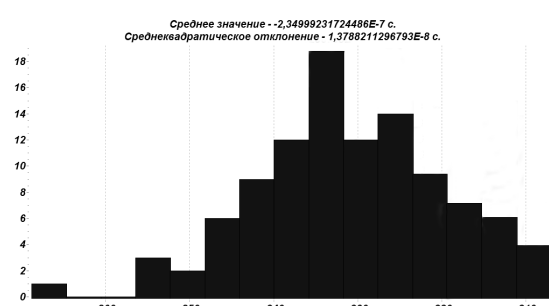
а – Точковий масив результатів вимірів



б – Гістограма результатів вимірів



в – Масив значень часового положення максимумів ВКФ сигналів після компенсації БП



г – Гістограма значень часового положення максимумів ВКФ сигналів після компенсації БП

Рисунок 5 – Результати обробки вимірів в умовах багатопроменевого прийому сигналу СД

У Висновках наводяться основні наукові положення та результати, отримані при виконанні дисертаційних досліджень.

У Додатках представлені Акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення актуальної науково-технічної задачі розроблення методів забезпечення високої точності звірення рознесених у просторі мір часу та частоти за рахунок застосування нових методів компенсації впливу БП спільного джерела сумісно з математичною інтерполяцією дискретного сигналу в пристрої цифрової обробки БПСС. Використання розроблених методів забезпечило підвищення точності синхронізації майже у 5 разів.

Результати, які отримані здобувачем в процесі теоретичних та експеримен-

тальних досліджень, дають підстави сформулювати такі висновки та пропозиції.

1. Розроблено новий метод компенсації впливу багатопроменевості сигналу СД на результуючу похибку синхронізації БПСС, який дозволяє здійснити компенсацію БП у спектральній області аналізу, що сприяє підвищенню швидкості отримання результатів частотно-часових звірень.

2. Поєднання методів компенсації впливу багатопроменевості сигналу СД та методів математичної інтерполяції дискретного сигналу цифрового кореляційного приймача дозволило розробити новий комбінований метод підвищення точності частотно-часових звірень у БПСС.

3. З використанням відомих методів спектрального аналізу розроблено нову математичну модель БПСС, в якій реалізовано компенсацію багатопроменевості сигналу СД в частотній області.

4. Розроблений алгоритм роботи компенсатора реалізує нову послідовність (етапність) виконання операцій компенсації БП в БПСС шляхом проведення операцій у частотній області на основі застосування швидкого перетворення Фур'є та спектрального аналізу, що дозволяє скоротити час обробки результатів вимірювань.

5. Застосування нового комбінованого методу підвищення точності частотно-часових звірень у ході експериментальних досліджень лабораторного макету БПСС забезпечило точність частотно-часових звірень на рівні 13,8 наносекунди.

6. Отримані в ході проведення експериментальних досліджень пасивної системи синхронізації результати підтверджують працездатність запропонованого методу компенсації БП сигналу СД. Використання компенсатора дозволило подавити БП до рівня, який забезпечив зниження середньоквадратичної похибки вимірювання зсуву шкал часу та частоти у 4-5 разів.

7. Новий спосіб синхронізації рознесених у просторі мір часу і частоти з використання сигналів низькоорбітальних та середньоорбітальних ШСЗ, розроблений в ході дисертаційних досліджень, дозволяє зняти обмеження по дальності дії БПСС, притаманний БПСС з сигналами наземних випромінювачів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в держбюджетні НДР, які виконувалися в ХНУРЕ, а також в Національному науковому центрі “Інститут метрології” та в Метрологічному центрі військових еталонів, що підтверджено відповідними актами впровадження.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Костыря А.А. Исследование фильтрующих свойств системы фазовой автоподстройки применительно к задаче синхронизации времени и частоты [текст]/А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, Х.Х. Асаад //Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. № 169, Х.: ХНУРЭ, 2012. – с. 16-21.

2. Костыря А.А. Применение интерполирующих алгоритмов для получения оценок сдвига шкал эталонов времени и частоты при синхронизации по общему источнику сигналов [текст]/А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно,

О.А.Сомов, Х.Х. Асаад // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. № 173, Х.: ХНУРЭ, 2013. – С. 88-95.

3. Костыря А.А. Экспериментальные исследования потенциальной точности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов цифрового наземного телевидения [текст]/А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков //Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2014. – Вип. 1/9(67). – С.24-28.

4. Должиков В.В. Исследования макета пассивной системы синхронизации по фазе несущей частоты аналогового телевизионного сигнала [текст] / В.В. Должиков, А. А. Костыря, В.Н. Науменко и др.//Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2014. – Вып. 178. – С. 111 - 118.

5. Коваль Ю.А. Квадратурная обработка сигналов в моделях пассивных систем частотно-временной синхронизации [текст] / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, В.Н. Науменко и др.// Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – Вып. 182. – С. 79 - 86.

6. Костыря А.А. Компенсация многолучевости сигнала общего источника в пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – Вып. 183. – С. 13 - 17.

7. Костыря А.А. Экспериментальная проверка алгоритма компенсации многолучевой помехи в пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – Вып. 184. – С. 94 - 99.

8. Костира О.О. Компенсація багатопроменевих перешкод в рознесеніх пассивних системах синхронізації часу та частоти [текст] / О.О. Костира, В.М. Науменко, В.О.Стороженко // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. Вип. № 4, Харків, 2019. — С. 17-23.

9. Науменко В.Н. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов обработки результатов измерений сдвига шкал в системах синхронизации времени и частоты [текст] /В.Н. Науменко, С.А. Плехно // Материалы XVII Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», том 3, Харьков 2013, с. 132-133.

10. Alexander Kostyria, Sergey Plehno, Vitaliy Naumenko, Sergey Ushakov. Experimental estimation of potential accuracy synchronization of time and frequency standards by using signals of digital TV [text] // International Conference TCSET'2014 “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science”. – Lviv-Slavske, Ukraine, 2014. – p. 794.

11. Костыря А.А. Моделирование аппаратных погрешностей системы синхронизации времени и частоты. [текст] / А.А. Костыря, С.А. Плехно, В.Н. Науменко //IX міжнародна науково-технічна конференція „Метрологія та вимірвальна техніка (Метрологія-2014)”, Харків, 2014. — С. 134-136.

12. Науменко В.Н. Результаты экспериментальных исследований макета фазовой пассивной системы синхронизации времени и частоты [текст] / В.Н. Науменко, С.А. Плехно, С.И. Ушаков // Материалы XIX Междунар. мол. форума

“Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”. – Харьков: ХНУРЭ, 2015. – Том 3. – С. 63-64.

13. Костыря А.А. Компенсация влияния многолучевости в многопозиционной пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / А.А. Костыря, В.Н. Науменко, С.И. Ушаков// Матеріали науково-техн. конференції “Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки” 15-18 грудня 2015р. – К.: ЦНДІ ОБТ, 2015. – С. 349-350.

14. Науменко В.Н. Компенсация многолучевой помехи в пассивной системе синхронизации времени и частоты [текст] / В.Н. Науменко, С.И. Ушаков// Матеріали XX Юбилейного Международного молодежного форума “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – Том 3. – С. 50-51.

15. Oleksandr Kostyria. Mathematical Models of Blocks for Compensation Multipath Distortion in Spatially Separated Passive Time-Frequency Synchronization Radio System [text] / Oleksandr Kostyria, Vera Storozhenko, Vitaly Naumenko, Yury Romanov // 2018 International Scientific-Practical Conference “Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)”, Kharkiv, Ukraine, 2018. – p. 104-108.

16. Коваль Ю.О., Костыря О.О., Науменко В.М., Асаад Х.Х. Спосіб частотно-часової синхронізації просторово рознесених еталонів і стандартів часу та частоти / Патент на кор. модель. №77093 від 25.01.2013. Бюл. № 2.

АНОТАЦІЯ

Науменко В.М. Методи підвищення точності частотно-часової синхронізації в рознесених пасивних радіотехнічних системах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2019.

В дисертації вирішена актуальна науково-прикладна задача розроблення методів для забезпечення високої точності звірення рознесених у просторі мір часу та частоти за рахунок застосування нових методів компенсації впливу багатопроменевої перешкоди спільного джерела сумісно з математичною інтерполяцією дискретного сигналу в пристрої цифрової обробки багатопозиційної пассивної системи синхронізації (БПСС).

З використанням відомих методів спектрального аналізу розроблено нову математичну модель БПСС, в якій реалізовано компенсацію багатопроменевості сигналу спільного джерела в частотній області. Розроблений алгоритм роботи компенсатора реалізує нову послідовність (етапність) компенсації багатопроменевої перешкоди в БПСС. Застосування нового комбінованого методу підвищення точності частотно-часових звірень у ході експериментальних досліджень лабораторного макету БПСС забезпечило точність частотно-часових звірень на рівні 13,8 наносекунд. Новий спосіб синхронізації просторово-рознесених мір часу і частоти з використанням сигналів низькоорбітальних та середньоорбітальних штучних супутників Землі, розроблений в ході дисертаційних досліджень, дозволяє зняти обмеження по дальності дії БПСС, прита-

манний БПСС з сигналами наземних випромінювачів.

Ключові слова: синхронізація часу і частоти, багатопозиційна пасивна система синхронізації, похибки синхронізації, пасивний метод загального охоплення, багатопроменевий сигнал.

АННОТАЦІЯ

Науменко В.Н. Методы повышения точности частотно-временной синхронизации в разнесенных пассивных радиотехнических системах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2019.

В диссертации решена актуальная научно-прикладная задача разработки методов для обеспечения высокой точности сличения разнесенных в пространстве мер времени и частоты за счет применения новых методов компенсации влияния многолучевой помехи общего источника совместно с математической интерполяцией дискретного сигнала в устройстве цифровой обработки многопозиционной пассивной системы синхронизации (МПСС).

Проведенные теоретические исследования позволили разработать новые методы компенсации многолучевой помехи, а эффективность их применения подтверждена экспериментально. Использование разработанных методов обеспечило повышение точности синхронизации почти в 5 раз.

Для реализации разработанных методов компенсации многолучевой помехи с учетом особенностей построения МПСС выработаны следующие рекомендации:

- необходимо добиваться минимума остаточной мощности полезного сигнала при выделении сигнала многолучевой помехи;
- обеспечивать идентичность амплитудно-частотных и фазово-частотных характеристиках УПЧ в приемных устройствах синхронизируемых пунктов;
- выполнять условие равенства единице коэффициента взаимной корреляции сигналов общего источника, действующих на выходах УПЧ приемных пунктов.

Использование предложенных принципов возможно и в других многопозиционных системах, принимающих идентичные полезные сигналы, если хотя бы в одном из приемных пунктов помеха отсутствует либо не превышает допустимого уровня.

С использованием известных методов спектрального анализа разработано новую математическую модель МПСС, в которой реализована компенсация многолучевости сигнала общего источника в частотной области. Разработанный алгоритм работы компенсатора реализует новую последовательность выполнения операций подавления многолучевой помехи в МПСС путем проведения операций в спектральной области на основе применения быстрого преобразования Фурье и частотного анализа, что позволяет сократить время обработки результатов измерений. Применение нового комбинированного метода повы-

шения точности частотно-временных сличений в ходе экспериментальных исследований лабораторного макета МПСС обеспечило точность сличений на уровне 13,8 наносекунд.

Новый способ синхронизации пространственно разнесенных мер времени и частоты с использования сигналов низкоорбитальных и среднеорбитальных искусственных спутников Земли, разработанный в ходе диссертационных исследований, позволяет снять ограничение по дальности действия МПСС, присущий таким системам при использовании сигналов наземных излучателей.

Ключевые слова: синхронизация времени и частоты, многопозиционная пассивная система синхронизации, пассивный метод общего охвата, многолучевой сигнал.

ABSTRACTS

Naumenko V.M. Methods of increasing the accuracy of frequency-time synchronization in the spaced-out passive radio engineering systems. –Manuscript.

The thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences specialty 05.12.17 – radio and television systems. – Nationally Kharkov University of Radio Electronics, Kharkov, 2019.

In dissertation the actual scientifically-applied task of development of methods is decided for providing of high exactness of collation of set about the in space measures of time and frequency due to application of new methods of indemnification of influence of multiband hindrance of general source together with mathematical interpolation of discrete signal in the device of digital treatment of the multiposition passive system of synchronization (MPSS).

With the use of well-known methods of spectral the new mathematical model of MPPS, in that indemnification of multiband signal of general source is realized in a frequency area, is worked out. The worked out algorithm of work of will realize the new sequence (stage) of implementation of operations of suppression of multiband hindrance in the multi position passive systems of synchronization by realization of operations in a spectral region on the basis of application of fast Fourier transformation and frequency analysis, what time of treatment of results of measuring allows to shorten. Application of the new combined method of increase of exactness of frequency-temporal collations during experimental researches of layout of MPSS provided exactness of collations at the level of 13,8 nanoseconds. New method of synchronization of spatially set about the measures of time and frequency from the use of signals of space satellites, worked out during dissertation researches, allows to lift restrictions on distance of action of MPSS inherent to such systems at the use of signals of surface emitters.

Keywords: synchronization of time and frequency, multi positional passive systems of synchronization, synchronization error, passive method of synchronization, signal an external source.

Підп. до друку 27.09.19. Формат 60x84 1/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Тираж 100 прим. Ціна договірна.
Зам. 1/24 від 01.10.19.

Віддруковано в типографії ФОП Андреев К.В.
61166, Харків, вул. Богомольця, 9, кв. 50.
Свідоцтво про державну реєстрацію
№24800170000045020 від 30.05.2003 р.
er.zakaz@gmail.com
тел. 063-933-62-73