

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ПРИЙМАК В'ЯЧЕСЛАВ ЮРІЙОВИЧ

УДК 621.396.96

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПАСИВНИХ СИСТЕМ ЗВІРЕННЯ ЕТАЛОНІВ
ЧАСУ І ЧАСТОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИГНАЛІВ
ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ
ПАРАМЕТРІВ РАДІОКАНАЛУ**

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Антіпов Іван Євгенійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри «Основи радіотехніки»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Величко Анатолій Федорович,
Інститут радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України,
завідувач відділу;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Рондін Юрій Петрович,
Метрологічний центр військових еталонів Збройних сил України,
старший науковий співробітник науково-дослідницького відділу
військових еталонів

Захист відбудеться «29» грудня 2014 року о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14, ауд.13.

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

Автореферат розіслано «27» листопада 2014 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Звірення територіально рознесених еталонів часу і частоти необхідне для вирішення актуальних науково-технічних і оборонних задач, задач метрології часу і частоти, координатно-часового забезпечення, радіоастрономії, радіолокації, радіопеленгації, цифрового синхронного зв'язку. Успішне вирішення таких задач визначається як стабільністю еталонів, так і точністю їх звірення. Високі темпи вдосконалення еталонів (відносна нестабільність сучасних еталонів становить 10^{-13} ... 10^{-14} , а в перспективі - 10^{-15} ... 10^{-16}) вимагають відповідної точності їх синхронізації.

Із 70-х років до кінця минулого століття основними високоточними методами для синхронізації рознесених стандартів були активні алгоритми. Вони успішно розвивалися, у тому числі, завдяки колективам у Харкові (проф. Кащеєв) і в Казані (проф. Сидоров). У результаті їхніх робіт на сьогодні точність активних алгоритмів звірення близька до теоретично досяжної. Але активні методи передбачають випромінювання радіосигналу в обох пунктах, тому апаратура для їх реалізації є дорогою й енергоємною.

Алгоритми, які не потребують випромінювання в пунктах, що звіряються, поки що мають більшу похибку. Проте для звірення еталонів часу та частоти на сьогодні, як правило, використовуються саме вони, причому, джерелами інформації є супутникові радіонавігаційні системи (СРНС) GPS і ГЛОНАСС. Це виявляється можливим завдяки наявності моделей каналу зв'язку і точних координат супутників, що регулярно надаються власниками систем. Але монопольне положення, котре займають СРНС в області синхронізації, відіграє негативну роль. До негативних наслідків можуть призвести ситуації, коли СРНС будуть пошкоджені, заблоковані або переведені в режим трансляції неправдивої інформації.

Це викликає необхідність розробки альтернативних систем синхронізації. На кафедрі ОРТ, у тому числі, за участі проф. Ковалю Ю. А., раніше розроблялися пасивні методи звірення, у яких у якості загального джерела використовували сигнали наземних передавальних телевізійних станцій. Але використання наземних джерел обмежує радіус дії системи.

Для забезпечення покриття в масштабах усієї країни запропоновано використовувати сигнали геостаціонарних супутників (ГС) системи SBAS, але в цьому випадку похибка може становити ± 200 мкс, що пояснюється відсутністю адаптованих під алгоритм загального охоплення (АЗО) методів врахування нутацій ГС і апаратурних похибок, а також відсутністю відповідних моделей каналу поширення радіохвиль (ПРХ). Тому тема дисертаційної роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на вирішення науково-прикладної задачі удосконалення пасивних систем звірення еталонів часу і частоти з використанням сигналів геостаціонарних супутників шляхом урахування параметрів радіоканалу та інших факторів, властивих АЗО.

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

Дослідження за темою дисертації пов'язані з плановими НДР Харківського національного університету радіоелектроніки (ХНУРЕ) в рамках держбюджетної теми: № 239 «Розробка принципів побудови вітчизняного комплексу інформаційно-вимірювальних систем для прогнозування і аналізу наслідків надзвичайних ситуацій», підтема № 239-5 «Розробка альтернативних методів синхронізації, передачі та захисту інформації для використання в Державній інформаційній системі з надзвичайних ситуацій» (№ ДР 0109U001635), а також здобувач брав участь в НДР Національного наукового центру «Інститут метрології» «Забезпечення функціонування Державної служби єдиного часу й еталонних частот (ДСЧЧ) в Україні» (№ ДР 0111U004901, 0107U007810). У цих НДР здобувач був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Удосконалення пасивних систем синхронізації за сигналами ГС із урахуванням параметрів радіоканалу й зниження основних складових похибок синхронізації. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні наукові задачі:

- аналіз основних джерел похибок при використанні сигналів ГС і способи їх обліку;

- створення узагальненої моделі каналу синхронізації, до якої входить: модель прогнозування нутацій ГС, модель квадратурної обробки сигналу, модель багатопроменевого каналу ПРХ і вплив шуму на тимчасове положення сигналу, адаптація моделі іоносфери, тропосфери під алгоритм загального охоплення (АЗО);

- оцінка апаратурної похибки, викликані неузгодженістю антенно-фідерного пристрою (АФП), і розробка методу її компенсації;

- експериментальне підтвердження адекватності моделі шляхом вимірювання потенційної похибки АЗО з використанням сигналів ГС SBAS.

Об'єкт дослідження. Процес синхронізації часу і частоти з використанням у якості загального джерела сигналів ГС системи SBAS.

Предмет дослідження. Методи урахування нутацій і каналних затримок у тропосфері й іоносфері стосовно алгоритму загального охоплення з використанням сигналів ГС системи SBAS.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач використовувались основні положення статистичної теорії визначення та вимірювання параметрів сигналів, математичне імітаційне моделювання, статистична обробка результатів вимірювань й експериментальні дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено нову математичну модель нутацій ГС, яка базується на статистичних даних спостережень. Її відмінністю від відомих моделей являється те, що модель нутацій ГС побудовано на основі архівних даних спостережень за ГС, тоді як існуючі моделі будуються на вирішенні балістичних параметрів ГС. Запропонована модель дозволяє виявляти значні похибки прогнозування існуючих моделей.

2. Уперше на підставі розробленої моделі нутацій ГС запропоновано метод визначення координат ГС, у якому, на відміну від існуючих методів, не використовуються балістичні дані та зарубіжні моделі прогнозування нутацій, що дає можливість зменшити каналну випадкову похибку, викликану переміщенням ГС.

3. Уперше запропоновано метод зведення шкали часу приймача і шкали еталона, який, на відміну від існуючих методів, полягає у взаємкореляційній обробці їх сигналів із наступною корекцією шкали приймача, що, у свою чергу, дозволяє підвищити точність вимірювань апаратурної систематичної похибки в режимі нульової бази.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Запропоновано та захищено патентом технічне рішення реалізації АЗО з використанням сигналу геостаціонарного супутника системи SBAS, де здійснюється квадратурна обробка прийнятого поєднання сигналу і перешкод разом із взаємкореляційною обробкою в кожному каналі й урахуванням різниці затримок сигналу супутника до пунктів, викликаних геометричним розташуванням еталонів і супутника, його нутацією, різницею затримок сигналів у апаратурі, а також параметрами іоносфери і тропосфери на трасах поширення радіохвиль.

2. Запропоновано та захищено патентом нове технічне рішення реалізації узгоджуючого трансформатора навантаження, до якого підключено навантаження безпосередньо до виходу узгоджуючої секції, а також запропоновано методику розрахунку його хвильового опору, що дозволяє зменшити апаратурну похибку, викликану неузгодженістю АФП.

3. Експериментально визначена потенційно можлива похибка системи звірення, яка становить десятки пікосекунд і зумовлена внутрішніми шумами приймачів.

4. Експериментально підтверджене зменшення каналної похибки шляхом урахування нутації супутника, іоносферної та тропосферної затримок. Результати дисертаційної роботи реалізовані в НДР ХНУРЕ № 239 та НДР ННЦ «Інституту метрології» (шифр теми 06.06.07.01), а також упроваджені в навчальний процес у курс «Радіонавігаційні мережі та системи синхронізації», що підтверджується відповідними актами.

Особистий вклад здобувача. Основні наукові результати, наведені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем самостійно й достатньо повно викладені в 33 наукових роботах, опублікованих ним у співавторстві та самостійно. Особистий вклад здобувача в статтях, опублікованих у співавторстві, полягає в наступному.

У [1] здобувачем розроблена модель оцінки похибок, викликаних аддитивними нормальними шумами, а також розглянуто вплив корельованих перешкод, викликаних багатопроменевим каналом ПРХ, на похибку оцінки часового положення з обвідної та фази когерентної несучої прийнятих сигналів. У [2] здобувачем проаналізовано вплив рівня коефіцієнта стоячої хвилі (КСХ) на часове положення сигналу й експериментально досліджено «аномальні» затримки в АФП. У [3-4]

здобувачем проведено аналіз невизначеностей для алгоритмів синхронізації та розроблені єдині критерії їх порівняння. У [5] оцінено затримки сигналу в шарах атмосфери і здійснена адаптація моделей іоносфери для АЗО. У [6, 7, 9] здобувачем розроблено методику проведення експерименту в режимі «нульової бази», визначено потенційну точність АЗО з використанням сигналів ГС SBAS. На практиці перевірено моделі іоносферної, тропосферної компенсації. У [8] здобувачем отримано співвідношення для оцінок похибок і невизначеностей фазових пасивних систем частотно-часової синхронізації, а також оцінені порогові відносини сигнал/перешкода таких варіантів вимірювань. У [10] здобувачем проведено аналіз нутацій ГС і розроблено математичну модель їх врахування. У патенті [30] здобувачем запропоновано варіант вузькосмугового узгодження нечетвертьхвильовим трансформатором. У патенті [33] здобувачем запропоновано технічне рішення реалізації АЗО з використанням сигналу геостационарного супутника системи SBAS.

Апробація результатів дисертації. Наукові результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на наступних міжнародних науково-технічних конференціях: міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті», м. Харків; 8-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка (МЕТРОЛОГІЯ 2012)», м. Харків; міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в сфері радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», м. Запоріжжя (Запоріжжя 2012р.); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (РТ-2012) (Севастополь 2012); міжнародній Кримській конференції «СВЧ-техніка і телекомунікаційні технології» (КриМіКо-2013); 11-ій міжнародній конференції «Сучасні проблеми радіотехніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії», (TCSET'2014), (Львів-Славське, 2014).

Публікації. За темою дисертації всього опубліковано 33 наукові роботи, у тому числі 10 статей у провідних наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України, 19 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, отримано 4 патенти України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків та списку використаної літератури зі 106 найменувань, що займають загалом 163 сторінки. У представленій дисертації 68 ілюстрацій, 36 таблиць (з них 4 на окремих сторінках), список використаних джерел на 13 сторінках і додатки на 3 сторінках.

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 сформульовано задачі виміру зсуву шкал територіально рознесених еталонів часу в загальному випадку у разі використання АЗО. Розглянуто основні методи синхронізації з урахуванням сучасного стану і перспектив частотно-часового забезпечення в Україні. Проведено порівняльний аналіз відомих методів синхронізації. Це дало змогу виділити основні недоліки та переваги цих методів, які необхідно враховувати при рішенні конкретних задач синхронізації.

Системи синхронізації часу і частоти, побудовані з використанням пасивного АЗО і нових видів сигналів, можуть виступати як альтернатива СРНС. Тому робота, спрямована на вдосконалення систем із використанням АЗО, є актуальною. Україна не має своєї власної СРНС, а використання активних систем передбачає значні капіталовкладення для їх реалізації. Тому розробка альтернативних систем синхронізації часу і частоти, територіально рознесених в просторі еталонів, є актуальною і важливою задачею для України.

Другий розділ присвячений аналізу пасивної системи синхронізації та її удосконалення. Проведено аналіз похибок і невизначеностей в АЗО з використанням сигналів ГС системи SBAS. Розглянуто методи обліку каналних і апаратурних похибок.

Похибки, що визначаються при статистичній обробці результатів вимірювань зсуву шкал, відповідають стандартній невизначеності типу А. Причини і методи урахування складових невизначеності типу А в разі використання сигналів ГС наведені в табл.1.

Похибки, які неможливо визначити статистичною обробкою, формують невизначеність типу В. До невизначеності типу В належать канална й апаратурна похибки.

Таблиця 1

Причини і методи урахування складових невизначеності типу А

Вид	Причини	Методи врахування
$u_A(\text{ап})$	Затримка в антенно-фідерних та ін. трактах	Вимірювання АЗ і режим «нульовий бази», модель роботи трактів
	Власні шуми трактів приймача	

Причини і методи урахування складових невизначеності типу В у разі використання сигналів ГС наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Причини і методи урахування складових невизначеності типу **B**

Вид	Причини	Методи урахування
$u_B(\text{кан})$	Параметри іоносфери	Моделі, ПКЧ, НКК
	Параметри тропосфери	
	Нутація ГС	
	Багатопроменевість ПРХ	Модель
$u_B(\text{ап})$	Температура, старіння елементів і ін.	Вимірювання АЗ і режим «нульовий бази»

Невизначеність типу **A** може бути визначена шляхом вимірювань апаратурної затримки (АЗ) і режимом «нульової бази». Для урахування каналних похибок, викликаних впливом іоносфери можливо застосувати моделі Klobuchar, IONEX, також можливі оцінки іоносферних поправок шляхом спільної обробки вимірювань псевдодальностей за кодом і фазою сигналу. Варіант оцінки іоносферних поправок спільної обробки вимірювань псевдодальностей за кодом і фазою дає негативний результат у разі застосування стандартних одночастотних GPS-приймачів. У табл. 3 наведено залишковий вплив затримки сигналу, викликаний аномальними утвореннями в шарах іоносфери, тропосфери, а також неточністю прогнозу орбіт супутника.

Таблиця 3

Залишковий вплив затримки сигналу

Причини	СКВ затримки сигналу	
	нс	м
Затримка в шарі іоносфери	$\pm 6,6$	± 2
Затримка в шарі тропосфери	± 2	$\pm 0,6$
Нутація ГС	± 88	± 27

Серед каналних похибок найбільше виділяються ті, що викликані нутацією супутника. Спектральним методом проаналізовано нутації ГС (рис.1). За основними гармоніками спектра отримано коефіцієнти Фур'є, які входять у канонічний вираз тригонометричного ряду Фур'є, за допомогою якого описано рух ГС

$$D(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)).$$

Для розрахунку похибок, викликаних переміщенням ГС, запропоновано статистичну модель прогнозу нутацій ГС. В основу моделі закладено архівні дані положення ГС. Прогнозована дальність розраховується за виразом (1).

$$D = \sum_{i=n}^n D_{(0)} + ((A_{(0)} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f(t) \pm \varphi)) + (A_{(n)} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f(t) \pm \varphi)) \pm D_{(n)}), \quad (1)$$

де D_0 – середня місячна дальність, $D_{(n)}$ – поправка середньої добової дальності, $A_{(n)}$ – амплітуда коливань в n -ний день, φ – початкова фаза, $f(t)$ – період коливань на добу.

На рис. 2 представлено дальність до ГС, спрогнозована за виразом (1).

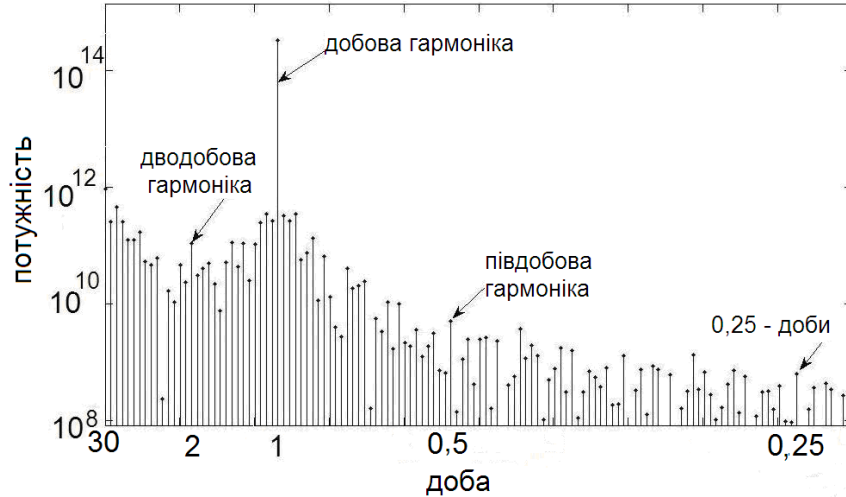


Рис.1. Спектр нутацій ГС за місяць

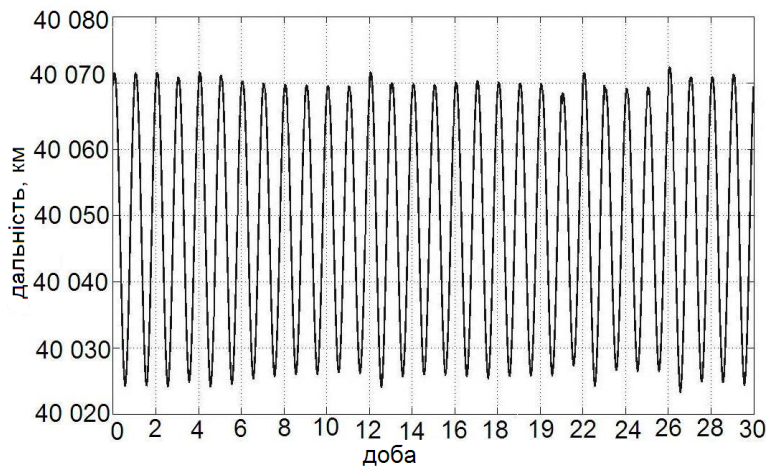


Рис.2. Дальність до ГС, отримана з виразу 1

Результати статистичного аналізу методів прогнозу нутацій ГС наведені в табл.4.

Таблиця 4

Результат статистичної обробки

Методи прогнозу	M_x м	σ м	СКО м
Модель SDP4 (NOARD, NASA)	53,2	$3,58 \cdot 10^4$	189
Регресійний аналіз (запропоновано у роботі)	53,1	$1,07 \cdot 10^3$	32,8
Гармонійний аналіз (запропоновано у роботі)	89,3	$1,7 \cdot 10^7$	$4,14 \cdot 10^3$
Статистична модель (запропоновано у роботі)	17	$4,16 \cdot 10^4$	204

Шляхом моделювання оцінювалась апаратурна похибка, викликана неузгодженістю АФП. Дослідження показали, що похибка внаслідок неузгодженості АФП становить близько 2-3 нс. Уперше запропоновано і запатентовано варіант вузькосмугового узгодження нечетвертьхвильовим трансформатором.

У третьому розділі здійснено оцінку можливості застосування квадратурної обробки сигналів у пасивних системах синхронізації для випадку вимірювання часового положення сигналів за фазою сигналу. Для цього розроблено модель, що дозволяє імітувати пристрій квадратурної обробки сигналу, і два варіанти застосування такої обробки в пасивних системах. У роботі наведено принципи побудови моделі і результати моделювання.

Моделювання квадратурного каналу в АЗО підтвердило наявність порогових ефектів, які виявляються у різкому збільшенні середньоквадратичного відхилення виміру зсуву шкал $\sigma_{\Delta T}$ при зменшенні відношення сигнал/перешкода нижче деякого граничного значення $q_{\text{пор}}$. Хоча порогові ефекти теоретично обґрунтовані для вимірювання часового положення сигналів після узгодженої фільтрації, однак модельні значення для пасивних систем синхронізації в разі квадратурної обробки ($q_{\text{пор/«КОС+СФ»}}$ і $q_{\text{пор/«КОС+ВКО»}}$) приблизно на 3 дБ перевищують теоретичні значення.

При $q < q_{\text{пор}}$ залежності середньоквадратичного відхилення (СКВ) σ_t та ефективної ширини спектра обвідної $\Delta\omega_{\text{эф}}$ від (q), для квадратурної обробки істотно відрізняються від теоретичних. При $q > q_{\text{пор}}$ точності вимірювання зсуву шкал в алгоритмі загального охоплення для двох випадків квадратурної обробки, взаємкореляційної обробки (ВКО) й узгодженої фільтрації, практично збігаються.

За умови перевищення відношення сигнал/перешкода відповідних порогових значень квадратурна обробка може бути використана в пасивних системах синхронізації для вимірювань зсуву шкал по фазі загальних сигналів спільно з узгодженою фільтрацією або взаємкореляційною обробкою. Перевагою при спільному застосуванні квадратурної й взаємкореляційної обробки є суттєво менший обсяг інформації, якою обмінюються пункти.

У третьому розділі розглядалися питання багатопроменевого ПРХ. При багатопроменевому ПРХ результуючий сигнал, що приймається, можна

представити як:
$$s_p(t) = s_0[t - t_0(t)] + \sum_{i=1}^m \alpha_i s_0[t - t_0(t) - \tau_i(t)],$$

де $t_0(t)$ – закон зміни істинної затримки сигналу; α_i , $\tau_i(t) > t_0(t)$ – відносний рівень і закон зміни затримки i -го «променя»; m – кількість «променів», $S_0(t)$ – обвідна амплітуд.

Визначення часового положення (ВЧП) сигналу здійснювалося по обвідній або фазі когерентної несучої результуючого сигналу

$$s_{pCF}(t) = s_{0CF}[t - t_0(t)] + \sum_{i=1}^m \alpha_i s_{0CF}[t - t_0(t) - \tau_i(t)],$$

де $S_{0CF}(t)$ – обвідна амплітуд сигналу на виході узгоджувачого фільтра (УФ).

Для визначення функцій обвідної та фази нормованого результуючого сигналу на виході УФ застосовувався комплексний сигнал, який відповідає миттєвому значенню нормованої ВКФ. Обвідну амплітуд визначаємо як модуль комплексної обвідної ВКФ (2):

$$\begin{aligned} \underline{S}_{pВКФ}(t) &= S_{0AKФ}[t - t_0(t)] \cdot e^{j\omega_0[t - t_0(t)]} + \sum_{i=1}^m \alpha_i S_{0AKФ}[t - t_0(t) - \tau_i(t)] \cdot e^{j\omega_0[t - t_0(t) - \tau_i(t)]} = \\ &= \left\{ S_{0AKФ}[t - t_0(t)] + \sum_{i=1}^m \alpha_i S_{0AKФ}[t - t_0(t) - \tau_i(t)] \cdot e^{-j\omega_0[\tau_i(t)]} \right\} \cdot e^{j\omega_0[t - t_0(t)]}, \end{aligned} \quad (2)$$

де $s_{pВКФ}(t)$ – нормована до значення $S_{0CF}(0)$ взаїмкореляційна функція результуючого $s_p(t)$ і неспотвореного $s_0(t)$ сигналів; $s_{0AKФ}(t) = s_{0CF}(t) / S_{0CF}(0)$ – нормована автокореляційна функція сигналу $s_0(t)$; ω_0 – несуча кутова частота.

Повну фазу визначаємо як аргумент комплексного сигналу (3)

$$\begin{aligned} \Psi_{pВКФ}(t) &= \arg[\underline{S}_{pВКФ}(t)] = \\ &= \omega_0[t - t_0(t)] - \arctg \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i S_{0AKФ}[t - t_0(t) - \tau_i(t)] \sin[\omega_0 \tau_i(t)]}{S_{0AKФ}[t - t_0(t)] + \sum_{i=1}^m \alpha_i S_{0AKФ}[t - t_0(t) - \tau_i(t)] \cos[\omega_0 \tau_i(t)]} \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Проведено аналіз і моделювання похибок ВЧП сигналів, викликаних корельованими багатопробеневими перешкодами, що дозволяє сформулювати такі висновки:

– похибка ВЧП радіосигналу по його обвідній δt_{or} при корелятивній заваді з фіксованим рівнем α і затримкою τ при зміні останньої коливається в межах $\delta t_{or \max} \geq \delta t_{or} \geq \delta t_{or \min} < 0$, які при $\alpha \ll 1$ пропорційні обвідній АКФ основного сигналу. Значення похибки ($\delta t_{or \max \max}, \delta t_{or \min \min}$) залежать від форми обвідної АКФ основного сигналу і величини α ;

– похибка ВЧП сигналу за фазою когерентної несучої δt_{φ} при зміні фіксованої затримки τ корельованої перешкоди коливається в межах $\delta t_{\varphi \max} \geq \delta t_{\varphi} \geq \delta t_{\varphi \min} < 0$, які при $\alpha \ll 1$ пропорційні обвідній АКФ основного сигналу; екстремальні значення похибки ($\delta t_{\varphi \max \max} = |\delta t_{or \min \min}|$) залежать від величини α і не залежать від форми обвідної АКФ основного сигналу.

Моделювання «аномальних» затримок в АФП підтверджує залежність часового положення сигналу від ступеня узгодження антенно-фідерного пристрою з навантаженням.

Для зменшення похибки, викликані неузгодженістю АФП, запропоновано та захищено патентом нове технічне рішення реалізації узгоджувача трансформатора навантаження, до якого підключено навантаження безпосередньо до виходу узгоджувачої секції, а розміри поперечного перерізу секції вибирається за умови забезпечення хвильового опору:

$$Z_x = \sqrt{Z_{x1} \cdot \left(R_n + \frac{X_n^2}{R_n - Z_{x1}} \right)},$$

де Z_x – хвильовий опір секції, що узгоджує опір навантаження; Z_{x1} – хвильовий опір відрізка лінії передачі, підключеного до входу секції, що узгоджує опір навантаження; R_n – активна складова повного опору навантаження; X_n – реактивна складова повного опору навантаження.

При узгодженні АФП довжина узгоджувачої елемента не змінюється, отже, затримка в АФП буде постійною і незалежною від узгоджувачої елемента.

У **четвертому розділі** експериментально оцінено потенційну можливість звірення АЗО з використанням сигналів ГС системи SBAS. Проведено оцінку впливу іоносферної затримки на рознесених базах. Експериментально підтверджено вплив рівня КСХ на затримку сигналу в АФП.

Експериментальні дослідження потенційної можливості звірення АЗО з використанням сигналів ГС, показали, що для обробки даних підходять дані короткочасних спостережень. На добових вимірах сигнал супутника може бути нестабільним.

У табл. 5 наведено результати вимірювань у режимі нульової бази, які відображають максимально можливу точність звірення з використанням ГС системи SBAS.

Таблиця 5

Результати статистичної обробки даних

Види вимірів	Оцінка					
	Загальний АФП		Різні АФП зі штатною антенною		Різні АФП з направленою антенною	
	м	с	м	с	м	с
код	0,1	$3,4 \cdot 10^{-10}$	2,3	$8 \cdot 10^{-9}$	1,4	$4 \cdot 10^{-9}$
фаза	$4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-11}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-11}$

Точність вимірювань псевдодальності до ГС залежить від стабільності шкали приймача. Розбіжності шкали приймача зі шкалою стандарту мають випадковий характер і пов'язані з особливостями роботи прийомного модуля.

Для врахування цієї похибки розроблено метод зведення шкали часу приймача і шкали еталона, що полягає у взаємкореляційній обробці їх сигналів із наступною корекцією шкали приймача, що дозволяє підвищити точність вимірювань апаратурної систематичної похибки в режимі нульової бази.

Експериментально підтверджено вплив рівня КСХ на затримку сигналу в АФП. Для реальних довжин кабеля і якості узгодження АФП аномальні затримки можуть досягати одиниць відсотків від тривалості імпульсів, що становить декілька наносекунд. Це може призводити до такого ж порядку АСП.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення точності звірення еталонів часу і частоти з використанням АЗО і сигналів ГС системи SBAS шляхом врахування часу поширення сигналу в радіоканалі, а також упроваджено нову модель нутацій супутника і адаптовано під АЗО моделі іоносфери та тропосфери, що дозволило підвищити точність звірення еталонів часу на рознесених базах у порівнянні з попередніми дослідженнями.

У ході вирішення зазначеної задачі отримані такі наукові результати.

1. Уперше побудовано статистичну модель прогнозування координат ГС за результатами обробки архівних даних координат ГС протягом тривалого періоду часу (кількох місяців).

2. На підставі аналізу механізму впливу багатопроменевого ПРХ встановлено, що похибка ВЧП радіосигналу за його обвідною при корелятивній перешкоді з фіксованим рівнем і затримкою для С/А коду з псевдовипадковою послідовністю довжиною в 1023 символи і періодом повторення - 1 мс на частоті L1 складає ± 1 нс.

3. Запропоновано і захищено патентом технічне рішення реалізації АЗО з використанням сигналу геостаціонарного супутника системи SBAS, де здійснюється квадратурна обробка прийнятої суміші сигналу і перешкод у поєднанні з взаємкореляційною обробкою в кожному каналі. Враховується різниця затримок сигналу супутника до пунктів, викликаних геометричним розташуванням еталонів і супутника, його нутацією, різницею затримок сигналів в апаратурі пунктів, а також параметрами іоносфери і тропосфери на трасах поширення радіохвиль.

4. Розроблено методику проведення вимірювань у режимі «нульової бази», а також вперше запропоновано алгоритм зведення шкал приймачів.

5. Досліджено потенційну точність АЗО в режимі нульової бази. Із загальним антенно-фідерним трактом точність звірення становить $1,4 \cdot 10^{-11}$ с за фазою і $3,4 \cdot 10^{-10}$ с за обвідною сигналу. Із роздільним антенно-фідерним трактом точність звірення становить близько $4,3 \cdot 10^{-11}$ с за фазою і $8 \cdot 10^{-9}$ с за кодом сигналу. З використанням спрямованих антен точність звірення становить близько $3,2 \cdot 10^{-11}$ с за фазою і $4 \cdot 10^{-9}$ с за обвідною сигналу.

6. Експериментально підтверджено достовірність статистичної моделі прогнозу нутацій ГС, що дозволяє рекомендувати її для прогнозування часових затримок, обумовлених нутацією ГС.

Таким чином, усі поставлені задачі вирішено і мета дисертації досягнута. Подальші дослідження в даному напрямку мають бути спрямовані на удосконалення засобів, що дозволяють компенсувати спорадичні утворення в шарах іоносфери і тропосфери. Для компенсації іоносферної затримки доцільно розглянути використання сигналів телекомунікаційних ГС, несучі частоти яких істотно вищі, ніж у ГС SBAS.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у дві НДР, а також у навчальний процес у курс «Радіонавігаційні мережі і системи синхронізації», що підтверджується відповідними актами впровадження.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коваль Ю.А. Погрешность оценки временного положения сигналов в многолучевых каналах / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, Е.А. Иванова, В.Ю. Приймак, А.Ф. Хусейн, Б.А. Ал-Твержи // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2011. – № 3/12 (51). – С. 51 – 60.
2. Коваль Ю.А. Аномальные задержки антенно-фидерных трактов систем с высокоточным измерением временного положения сигналов / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, В.Ю. Приймак, О.А. Соляник, С.Ф. Семенов, Х.Х. Асаад, А.Ф. Хусейн // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – Х: ХНУРЭ, 2011. – Вып.165. – С.37 – 45.
3. Коваль Ю.А. Оценивание неопределенности измерений при сличениях эталонов Времени и частоты радиотехническими методами / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, В.Ю. Приймак, Б.А. Ал-Твежри // Системи обробки інформації. – 2012. – № 1(99). – С. 30 – 33.
4. Коваль Ю.А. Критерии сравнения радиотехнических методов и алгоритмов синхронизации разнесенных эталонов времени и частоты / Ю.А. Коваль, Е.А. Иванова, В.Ю. Приймак, А.Ф. Хусейн // Радиотехника. – 2012. – №169. – С. 37 – 48.
5. Коваль Ю.А. Возможности снижения ионосферной составляющей погрешности синхронизации при использовании сигналов системы SBAS / Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак, А.Ф. Хусейн // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – №1. – С.40 – 45.
6. Коваль Ю.А. Учет канальных погрешностей пассивной системы синхронизации времени и частоты при использовании сигналов геостационарных ИСЗ / Ю.А. Коваль, А.А. Костыря, В.Ю. Приймак, С.А. Плехно, Х.Х. Асаад // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. Х.: ХНУРЭ, 2012. – № 170. – С. 210 – 216.
7. Коваль Ю.А. Анализ и экспериментальные оценки неопределенности измерений сдвига шкал времени с применением сигналов системы SBAS / Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак, С.А. Плехно, А.А. Костыря,

- Б.А. Ал-Твержи, А.Ф. Хусейн // Системи обробки інформації. – 2013. – № 3(110). – С. 107 – 111.
8. Приймак В.Ю. Моделирование фазовых пассивных систем синхронизации, использующих квадратурную обработку сигналов / В.Ю. Приймак., А.Ф. Хусейн // Журн. Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/9 (63). – С. 7 – 12.
 9. Коваль Ю.А. Экспериментальные исследования потенциальной точности сличения шкал времени с применением сигналов системы SBAS / Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак., А.А. Костыря., А.Ф. Хусейн, Б.А. Ал-Твержи // Журн. Радиотехника. – 2013. – №173. – С.81 – 87.
 10. Антипов И.Е. Оценка погрешностей методов измерений и прогнозирования орбит спутников в пассивной системе сличения шкал времени с использованием сигналов системы SBAS / И.Е. Антипов., В.Ю. Приймак // Метрологія та прилади. – 2014. – №1. – С.23 – 26.
 11. Приймак В. Ю. Анализ неопределенностей типа «В» в пассивной системе синхронизации с использованием сигналов SBAS / В.Ю. Приймак, А. И. Дрига, А.Т. Маркус / Радиоелектроника и молодежь в XXI веке: 18-й междунар. 2014. – С.157 – 158.
 12. Antipov I. The passive method error analysis for time standards collation using geostationary satellites / Ivan Antipov, Viacheslav Pryimak // XIth International Conference TCSET'2014 „Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science”, Lviv-Slavske, Ukraine, 2014. – С.367 – 368.
 13. Экспериментальные исследования потенциальной точности сличения шкал времени с применение сигналов системы SBAS / Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак, А.А. Костыря, С.А. Плехно // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии, сентябрь, 2013. – С.296 – 297.
 14. Приймак В.Ю. Коррелированные помехи в системах синхронизации времени и частоты / В.Ю. Приймак, Е.А. Гончаренко, Я.О. Труханова // Радиоелектроника и молодежь в XXI веке: 18-й междунар. молодежный форум, 2013. – С. 142 – 143.
 15. Приймак В.Ю. Применение модели тропосферы в пассивной системе синхронизации с использованием системы SBAS / В.Ю. Приймак, А.Ф. Хусейн // Радиоелектроника и молодежь в XXI веке: 17-й междунар. молодежный форум, 2013. – С. 142 – 143.
 16. Приймак В.Ю. Стенд для оценки качества синхронизации с использованием сигналов геостационарных спутников SBAS / В.Ю. Приймак, С. А. Плехно, А. Ф. Хуссейн // «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (РТ-2011) 2011. – С. 71.
 17. Коваль Ю.А. Моделирование пассивных систем синхронизации, использующих квадратурную обработку огибающих сигналов / Ю.А. Коваль, А. А. Костыря, В. Ю. Приймак, Б. А. Ал-Твежри // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – ЗНТУ. 2013. – С.71– 72.
 18. Коваль Ю.А. Возможности снижения ионосферной составляющей погрешности синхронизации при использовании сигналов системы SBAS /

- Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак, А.Ф. Хусейн // Радиоэлектроника, информатика, управления. – ЗНТУ. 2013. – С.40 – 45.
19. Приймак В.Ю. Применение моделей ионосферы в алгоритме общего охвата с использованием сигналов системы SBAS / В.Ю. Приймак // XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Метрологія та вимірвальна техніка» 2012. – С.111 – 114.
 20. Оценивание погрешностей и неопределенностей измерений в системах синхронизации / Ю.А. Коваль, В.Ю. Приймак, А.А. Костыря, Б.А. Ал-Твежри // тез. докл. СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Конф. Сентябрь, 2012. – С.332 – 333.
 21. Приймак В.Ю. Применение модели ионосферы для снижения погрешности синхронизации с использованием сигналов геостационарных спутников / В.Ю. Приймак // тез. докл. радиоэлектроника и молодежь в XVI веке. конф., март, 2012. – С.138 – 139.
 22. Koval Y. Criteria For Comparison Of Synchronization Algorithms Spaced Measures Time And Frequency // Yury Koval, Viacheslav Pryimak // тез. докл. Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science. конф. (February 2012) отв. ред. Прудюс І.Н. – Lviv. 2012. – С. 552.
 23. Koval Y. Channel Errors and Comparison Uncertainties of Time Standards with Signals of Geostationary Satellites / Yury Koval, Viacheslav Pryimak // Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012 "MODERN PROBLEMS OF RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATIONS AND COMPUTR SCIENCE", Lviv-Slavske, Ukraine February 21-24, 2012. – T1, Ч2, P. 312.
 24. Реализация алгоритма общего охвата для частотно-временной синхронизация при использовании сигналов геостационарных ИСЗ / Ю.А. Коваль, Е.А. Иванова, В.Ю. Приймак, А.Ф. Хуссейн, С.А. Плехно // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспектива развития» (МРФ-2011): междунар. радиоэлектр. 2011. – С. 83 – 84.
 25. Влияние канальных и аппаратурных коррелированных помех на погрешность частотно-временной синхронизации / Ю.А. Коваль, Е.А. Иванова, В.Ю. Приймак, Б.А. Ал-Твержи // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспектива развития» (МРФ-2011): междунар. радиоэлектр. форум, 19-22 окт. 2011. – С. 85 – 86.
 26. Частотно-временная синхронизация при использовании сигналов геостационарных ИСЗ системы SBAS / Ю.А. Коваль, С.А. Иванова, А.А. Костыря, В.Ю. Приймак, С.А. Плехно // тез. докл. СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. Конф., сентябрь, 2011. – С.392.
 27. Приймак В.Ю. Влияние коррелированных помех на погрешности навигационных и частотно – временных измерений / В.Ю. Приймак, Х.Х. Асаад, А.Ф. Хусейн // Сборник материалов 7-й международной молодежной НТК «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2011)». – Севастополь: СевНТУ. – 2011. – С.60.
 28. Приймак В.Ю. Стенд для оценки качества синхронизации с применением GPS-сигналов и направленных антенн / В.Ю. Приймак, С.А. Плехно,

- А.Ф. Хусейн, Б.А. Ал-Твежри // тез. докл. радіоелектроніка и молодежь в XXI веке. конф. Апрель, 2011. – С.177.
29. Приймак В.Ю. Анализ влияния задержек сигналов в антенно-фидерных устройствах на погрешность систем синхронизации / В.Ю. Приймак // тез. докл. радиоелектроніка и молодежь в XXI веке. конф. Март, 2010. – С.78.
30. Пат. 57278 Україна МПК Н 01 Р 1/20, Р 01 Р 5/00. Узгоджуючий трансформатор / Білявцев В.Б., Короленко Р.О., Приймак В.Ю.; заявник і патентовласник Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки. – №u2010 04286; заявл. 13.04.10 ; опубл. 25.02.11, Бюл. № 4.
31. Пат. 96841 Україна МПК Н 01 Р 5/00. Патент для з'єднання двох відрізків хвилеводів (варіанти) / Білявцев В.Б., Приймак В.Ю., Токарев А.В.; заявник і патентовласник Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки. – №a2010 04185; заявл. 12.04.10 ; опубл. 12.12.11, Бюл. № 23.
32. Пат. 96842 Україна МПК Н 01 Р 5/00. Хвилеводний реактивний елемент (варіанти) / Білявцев В.Б., Ламанець П.В., Приймак В.Ю.; заявник і патентовласник Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки. – № a2010 04206; заявл. 12.04.10; опубл. 12.12.11, Бюл. № 23.
33. Пат.76698 Україна МПК G 04 G7/00. Спосіб частотно-часової синхронізації просторово рознесених еталонів і стандартів часу й частоти / Коваль Ю.А., Приймак В.Ю., Костиря О.О., Хуссейн А.Ф.; заявник і патентовласник Харків, Харківський національний університет радіоелектроніки. – № u2012 08340; заявл. 07.07.12 ; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1.

АНОТАЦІЇ

Приймак В.Ю. Удосконалення пасивних систем звірення еталонів часу і частоти з використанням сигналів геостационарних супутників із урахуванням параметрів радіоканалу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, 2014.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу підвищення точності звірення еталонів часу і частоти з використанням АЗО і сигналів ГС системи SBAS шляхом обліку часу поширення сигналу в радіоканалі, а також упроваджено нову модель нутацій супутника і адаптовано під АЗО моделі іоносфери та тропосфери, що дозволило підвищити точність звірення еталонів часу та частот на рознесених базах у порівнянні з попередніми дослідженнями.

При врахуванні параметрів радіоканалу забезпечується зниження основних складових похибок синхронізації. Для вирішення цієї задачі розроблено узагальнену модель, до якої входять: модель прогнозування нутацій ГС,

модель квадратурної обробки сигналу, модель багатопроменевого ПРХ і вплив шуму на часове положення сигналу, адаптовано моделі іоносфери, тропосфери під алгоритм загального охоплення. Особливостями запропонованих систем і методів є: модель прогнозу нутацій ГС, яка розроблена на базі загальнодоступних архівних даних координат супутників, модель квадратурного каналу обробки сигналу, яка дозволяє оцінити можливість застосування квадратурної обробки в пасивних системах синхронізації для випадку вимірювання часового положення сигналів за фазою сигналу, модель ПРХ, яка дозволяє отримати коректні оцінки похибок визначення часового положення сигналів залежно від параметрів корельованих завад, форми сигналу і методів фіксації його часового положення, адаптовано відомі моделі компенсації іоносфери і тропосфери під АЗО.

Ключові слова: алгоритм загального охоплення, нутація, квадратурна обробка сигналів, синхронізація, похибка, багатопроменевість.

Приймак В.Ю. Усовершенствование пассивных систем сличения эталонов времени и частоты с использованием сигналов геостационарных спутников с учетом параметров радиоканала. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, 2014.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача повышения точности сличения эталонов времени и частоты с использованием алгоритма общего охвата (АОО) и сигналов геостационарных спутников (ГС) системы SBAS путем учета времени распространения сигнала в радиоканале, а также внедрено новую модель нутаций спутника и адаптировано под АОО модели ионосферы и тропосферы что позволило повысить точность сличения эталонов времени и частот на разнесенных базах.

За счет учета параметров радиоканала обеспечивается снижение основных составляющих погрешностей синхронизации. Для решения этой задачи разработана обобщенная модель, которая включает в себя: модель прогнозирования нутаций ГС, модель квадратурной обработки сигнала, модель многолучевого распространения радиоволн (РРВ) и влияние шума на временное положение сигнала, адаптацию модели ионосферы, тропосферы под АОО. Особенности предложенных систем и методов являются: модель прогноза нутаций ГС, разработанная на базе общедоступных архивных данных координат спутников, модель квадратурного канала обработки сигнала, которая позволяет оценить возможность применения квадратурной обработки в пассивных системах синхронизации для случая измерения временного положения сигналов по их огибающим и фазе, модель РРВ, которая позволяет получить корректные оценки погрешностей определения временного положения сигналов в зависимости от параметров коррелированных помех, формы сигнала и методов фиксации его временного положения, адаптированные известные модели компенсации ионосферы и тропосферы под АОО.

В работе рассмотрены основные методы синхронизации с учетом современного состояния и перспектив частотно-временного обеспечения в Украине. Проведен сравнительный анализ известных методов синхронизации. Это дало возможность выделить основные недостатки и преимущества этих методов, которые необходимо учитывать при решении конкретных задач синхронизации.

Разработан вариант узкополосного согласования антенно-фидерного тракта для уменьшения влияния аномальной погрешности на временное положение сигнала.

В работе проведен спектральный анализ нутаций ГС. На основе общедоступных архивных данных разработана модель нутаций спутника.

Разработана модель квадратурной обработки сигнала. При помощи модели КОС проанализировано влияние пороговых отношений сигнал/помеха.

В работе представлена оценка влияния многолучевости на определения временного положения сигнала. Оценено влияние ионосферы, тропосферы на задержку сигнала.

Экспериментально оценена потенциальная возможность сличения АОО с использованием сигналов ГС системы SBAS. Разработан алгоритм проведения измерений в режиме «нулевой базы». Проведена оценка влияния ионосферной задержки на разнесенных базах. Экспериментально подтверждено влияния уровня коэффициента стоячей волны на задержку сигнала в антенно-фидерном устройстве. На практике подтверждены основные теоретические положения работы.

Ключевые слова: алгоритм общего охвата, нутация, квадратурная обработка сигналов, синхронизация, погрешность, многолучевость.

Priymak V.Yu. The improvement of time-frequency comparison passive systems using geostationary satellites signals within the radio channel parameters. – The Manuscript.

The Dissertation for the Degree of Technical Sciences Candidate by the Specialty 05.12.17 – Radio and Television Systems. Kharkov National University of Radio Electronics, Kharkov, 2014.

In this thesis it was solved an actual applied scientific task of the improvement of time-frequency comparison passive systems using geostationary satellites signals (GSS). The reduction of the synchronization major components is achieved by taking into account the radio channel parameters. A generalized model was developed to solve this problem. It includes the forecasting GS nutation model, the quadrature signal processing model, the multipath radio waves propagation model and the noise influence on the temporal signal position, the adaptation of the ionosphere, troposphere models to the overall coverage algorithm (OCA). There are the features of the proposed systems and methods such as forecasting model GS nutation which is developed on the basis of publicly available data archival satellite coordinates, the quadrature signal processing model, which allows to evaluate the possibility of using a quadrature passive treatment systems for the case of measuring the synchronization time position signals on their envelope and phase, the multipath radio waves propagation

model, which allows to obtain errors correct estimates in determining the signals temporal position depending on the correlated noise parameters, waveform and fixing methods of his temporary position, the adaptation of the ionosphere, troposphere models to the overall coverage algorithm.

In this paper, the basic synchronization methods was examined in the light of the current state and the frequency-time support prospects in Ukraine. The comparative analysis of the known synchronization methods was conducted. This provided an opportunity to highlight the main advantages and disadvantages of these methods, you need to consider solving specific problems of synchronization.

Keywords: the overall coverage algorithm, the nutation, the quadrature signal processing model, the synchronization, the error, the multipath.

Підп. до друку 18.11.14.
Умов. друк. арк. 1,2.
Зам. № 2-919.

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

Спосіб друку – ризографія.
Тираж 100 прим.

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

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