

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБЩЕГО ОХВАТА ДЛЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИГНАЛОВ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ИСЗ

Коваль Ю. А. Иванова Е. А., Приймак В. Ю. Плехно С. А., А. Ф. Хусейн
Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057)700-22-84, факс (057)- 702-10-13,
e-mail secort@kture.kharkov.ua

Введение и постановка задачи. Синхронизация (сравнение, сличение) территориально разнесенных стандартов времени и частоты – основа для реализации современных частотно-временных методов, позволяющих решать актуальные научно-технические и оборонные задачи в области метрологии времени и частоты, при создании систем координатно-временного обеспечения (включая спутниковые радионавигационные системы – СРНС), радиоастрономии, радиолокации, радиопеленгации, цифровой синхронной связи. Успешное решение таких задач определяется как стабильностью стандартов времени и частоты, так и точностью их сличения. Высокие темпы совершенствования стандартов наивысшей точности – эталонов (относительная нестабильность современных эталонов составляет 10^{-13} – 10^{-15} , а в перспективе – 10^{-16} – 10^{-18}) определяет актуальность задачи повышения точности методов сличения.

В настоящее время основным для сравнения шкал времени как государственных эталонов друг с другом, так и с вторичными эталонами является метод, основанный на использовании сигналов СРНС GPS (США) и ГЛОНАСС (РОССИЯ). В стадии разработки находятся Европейская СРНС (GALILEO), в создании которой участвует Украина, и СРНС Китая COMPASS/BEIDOU. Сигналы СРНС используются также для частотно-временной синхронизации в других отраслях науки и техники.

Монопольное положение, которое занимает СРНС в области синхронизации, играет отрицательную роль. К негативным последствиям могут привести, например, ситуации, когда СРНС по различным причинам будут заблокированы или переведены в режим трансляции ложной информации. Помимо зависимости от зарубежных систем, к недостаткам применения СРНС для синхронизации относятся: малое соотношение сигнал/помеха; недостаточная оперативность; низкая помехоустойчивость.

В связи с этим актуальны работы, направленные на создание альтернативных методов синхронизации.

Одним из таких альтернативных методов может быть метод синхронизации основанный на реализации алгоритма общего охвата (АОО), (известный в зарубежной литературе как *common view*) при приеме сигналов геостационарных ИСЗ [1,2].

Для экспериментальной проверки потенциальной точности предлагаемого метода синхронизации использованы результаты приема GPS-подобных сигналов геостационарных ИСЗ глобальной системы дифференциальных поправок СРНС GPS SBAS

Исходные данные измерений были предоставлены коллективом базовой GPS-станции («SURE») НУЦ РТ кафедры ОПТ ХНУРЭ. На первом этапе исследований проводилась обработка сигналов, полученных в течение суток при приеме сигналов одного ГС ИСЗ (№131 Inmarsat 3f1). Общее число данных составляло примерно 85000, каждое из которых включало: псевдодальность, полученную по огибающей сигнала (кодированная псевдодальность), псевдодальность, полученную по фазе когерентной несущей частоты (фазовая псевдодальность), радиальную скорость, отношение сигнал/шум.

Приведенный в качестве примера на рис. 1 график зависимости псевдодальности от времени $D_{SURE}^{mod}(t)$ при кодовых измерениях наглядно показывает характер перемещения ИСЗ, которое получило название *нута́ция*.

На первом этапе была проведена статистическая обработка результатов, полученных от одного из ГС ИСЗ в пункте SURE. Как показала обработка, СКО времени запаздывания составляет порядка единиц наносекунд при кодовых измерениях и менее наносекунд при фазовых измерениях.

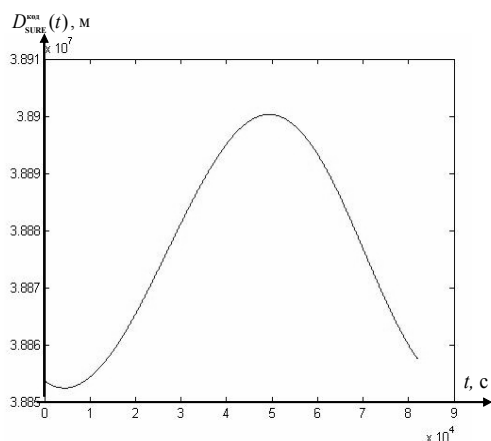


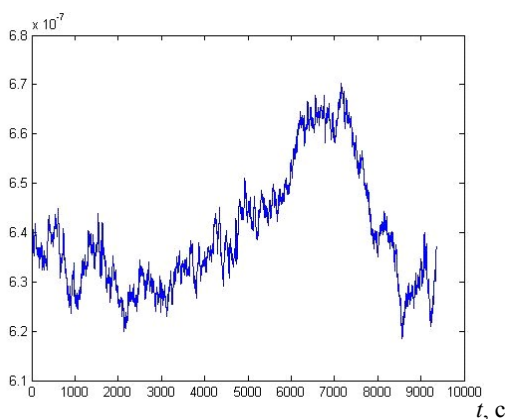
Рис.1. Зависимости псевдодальности от времени

Графики единичных значений сдвига шкал

$$\Delta T(t) = t_{\text{ISURE}}(t) - t_{\text{ITEST}}(t),$$

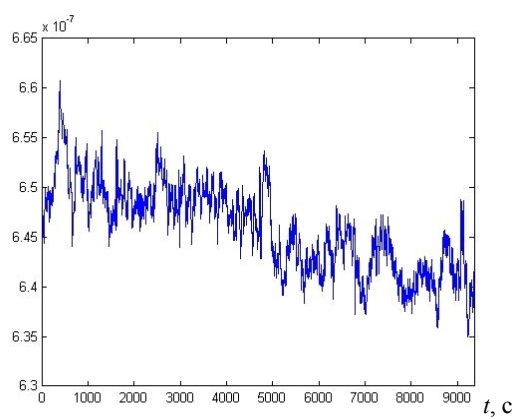
вычисленных в соответствии с АОО для кодовых и фазовых измерений, приведены соответственно на рис.2,а и рис. 2,б.

$\Delta T^{\text{кол}}(t), \text{ с}$



а

$\Delta T^{\text{фаз}}(t), \text{ с}$



б

Рис. 2 - Графики единичных значений сдвига шкал

Единичные измерения сдвига шкал ΔT в выбранном участке разбивались на 11 интервалов, продолжительностью 13 мин^1 (780 с) каждый. Далее для каждого i -го интервала определялись средние значения $\overline{\Delta T}_i$ и СКО σ_i .

В результате линейной и кубической МНК-аппроксимаций СКО остатков $\delta_{ic/n}$ составило для кодовых измерений порядка единиц наносекунд, а для фазовых – менее наносекунды.

На заключительном этапе исследований была проведена обработка результатов измерений с учетом параметров нутации, полученных с применением модели [3]. При этом были использованы результаты приема в тех же пунктах сигналов геостационарного ИСЗ № 124 ARTEMIS. Анализ экспериментальных данных позволил выбрать интервал времени для дальнейшей обработки в пределах $(0 \dots 5 \cdot 10^4)$ с.

Для учета нутации геостационарных ИСЗ были вычислены скорректированные раз-

¹ Продолжительность интервала выбрана совпадающей с принятой в международной методике обработки результатов измерения сдвига шкал в режиме „common view” с использованием сигналов СРНС GPS.

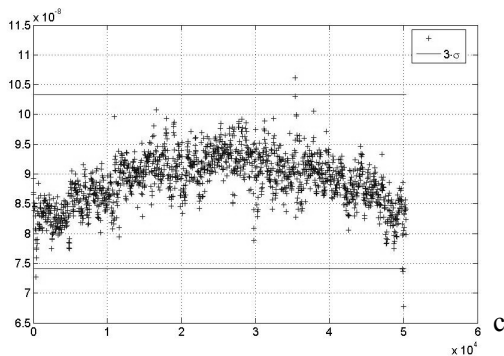
ности дальностей и значения сдвига шкал:

$$\Delta D_{СК}(t) = \Delta D_э(t) - \Delta D_м(t); \Delta T_{СК}(t) = \Delta D_{СК}(t) / c,$$

где $\Delta D_э(t)$ - разность дальностей по экспериментальным данным; $\Delta D_м(t)$ - разность дальностей данных, полученных при моделировании.

Статистическая обработка зависимостей $\Delta T_{СК}(t)$ (рис. 3) позволила оценить средние значения сдвига шкал $\overline{\Delta T}$ и СКО σ различных методов: по фазовым наблюдениям $\overline{\Delta T}^{\text{фаз}} = 88,75$ нс, $\sigma^{\text{фаз}} = 4,86$ нс; по кодовым наблюдениям $\overline{\Delta T}^{\text{код}} = 25,6$ нс, $\sigma^{\text{код}} = 22,6$ нс.

$$\Delta T_{СК}^{\text{фаз}}(t), \text{ с}$$



$$\Delta T_{СК}^{\text{код}}(t), \text{ с}$$

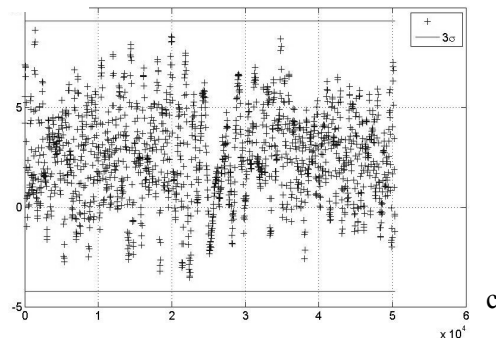


Рис.3. $\Delta T_{СК}(t)$ для фазовых и кодовых измерений

Для улучшения помехозащищенности и увеличения отношение сигнал/помеха разработана установка с направленными антеннами. Установка состоит из аппаратного и программного комплексов в состав которых входят параболическая антенна, которая установлена на подвижной платформе, GPS/SBAS приемник и ПК (рис. 4). В фокусе параболического зеркала установлен облучатель, роль которого выполняет штатная антенна GPS+SBAS приемника. Параметры антенны рассчитывались таким образом, чтобы при нутациях спутник не выходил за границы ДН по уровню 0.7 Θ . Коэффициент усиления параболической антенны по расчетным данным составляет около 28 дБ.

Ориентация антенны производится в два этапа. На первом этапе антенна позиционируется по координатам спутника, получив сигнал со спутника, на втором этапе производится позиционирование по максимуму сигнала. Соединение GPS/SBAS приемника с компьютером производится через последовательный интерфейс RS 232. Обмен данными и управления приемником осуществляется разработанной программой, Интерфейс программы показан на рис. 5.

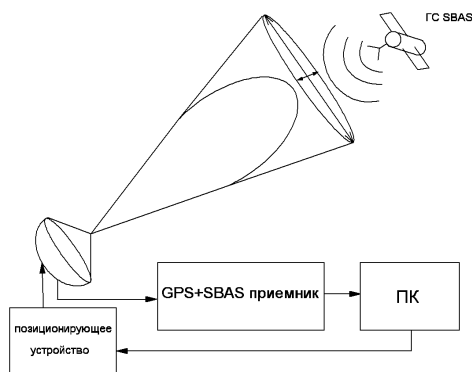


Рис. 4 Измерительная установка

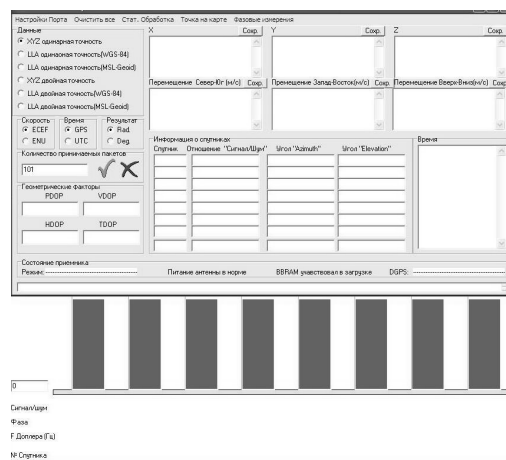


Рис. 5. Интерфейс программы

Данная программа позволяет считывать с приемника более расширенные навигационные данные, а именно доплеровский сдвиг частоты принимаемого спутника, значение

фазы, соотношение сигнал/шум. При измерении данные сохраняются в массив, после чего извлекаются, и производится обработка.

Помеховая погрешность по оценкам СКО составляет порядка единиц наносекунд при измерениях по коду и менее наносекунды при фазовых измерениях.

Увеличение погрешностей при учете модельных параметров нутации ИСЗ (до единиц наносекунд при фазовых и десятка наносекунд при кодовых измерениях) приводит к необходимости, кроме совершенствования модели нутации, дополнительной калибровки параметров нутации экспериментальными методами, например, с применением радиометеорной аппаратуры.

Помеховая погрешность сличения с применением сигналов ИСЗ SBAS может быть существенно снижена, а помехозащищенность и надежность приема сигналов значительно повышены с использованием направленных антенн и усовершенствованной измерительной установки.

Литература.

[1] Petley B.W. Time and frequency in fundamental metrology. / B.W. Petley // PIEEE. – 1991. – Vol. 79, No. 1. – P. 1070–1076.

[2] Нестеренко Г.В., Коваль Ю.О., Иванова О.О. Спосіб частотного – часової синхронізації просторово рознесених еталонів і стандартів часу та частоти: пат. 38167 України, МПК. G 04 G 7/00; опубл. 21.07.08, Бюл. №24.

[3] Коваль Ю.А., Иванова Е.А. и др. Погрешности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов телекоммуникационных геостационарных спутников с учетом модели их перемещения Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2009. – №. 4/10 (40). – С. 25-29.

[4] Антипов И. Е. и др. Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации. – Харьков: Коллегиум, 2006. – 308с.