

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ИОНОСФЕРЫ В АЛГОРИТМЕ ОБЩЕГО ОХВАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ SBAS

В.Ю. Приймак

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
61166, г. Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 700-22-84, факс (057) 702-10-13,
e-mail: ur4cxr@rambler.ru

We present a model of the ionosphere for use in the general scope of the algorithm with using satellite SBAS. A comparative analysis of mathematical models Klobuchara and IONEX. The method of calculations models Klobuchara and IONEX. The results of calculations of the ionospheric error, which is computed using these models.

В настоящее время для сличения эталонов времени в основном применяются сигналы спутниковых радионавигационных систем (СРНС) GPS и ГЛОНАСС. В ХНУРЭ разрабатывается альтернативный метод, основанный на применении алгоритма общего охвата (АОО) с сигналами геостационарных спутников (ГС) системы SBAS [1].

Принцип АОО иллюстрирует упрощенная временная диаграмма (рис. 1) (без учета влияния помех и аппаратурных задержек). На рис. 1 обозначены: $a, b, H_a(t), H_b(t)$ – пункты размещения эталонов и их шкалы времени; $\Delta T^{H_a \Rightarrow H_b}$ – сдвиг шкал пунктов; $s_0(t)$ – сигнал общего источника; $\tau_p^{s_0 \Rightarrow a}, \tau_p^{s_0 \Rightarrow b}$ – задержки общего сигнала до пунктов в канале распространения радиоволн (РРВ); $\Delta T^{H_a \Rightarrow s_0}, \Delta T^{H_b \Rightarrow s_0}$ – временные сдвиги между шкалами эталонов и сигналом общего источника; t_1^a, t_1^b – временные положения сигнала $s_0(t)$, принятого в пунктах.

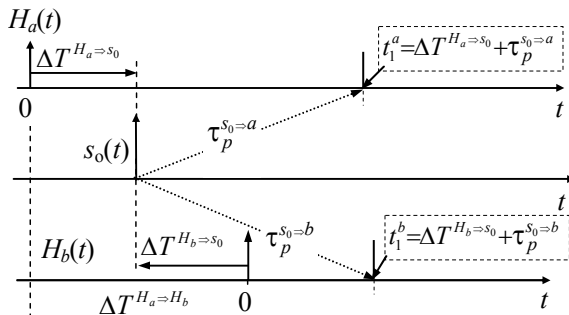


Рис.1

Из рис. 1 следует, что сдвиг шкал составит:

$$\Delta T^{H_a \Rightarrow H_b} = \Delta T^{H_a \Rightarrow s_0} - \Delta T^{H_b \Rightarrow s_0} = t_1^a - t_1^b - \Delta \tau_p^{s_0 \Rightarrow a, b} \quad (1)$$

где $\Delta \tau_p^{s_0 \Rightarrow a, b} = \tau_p^{s_0 \Rightarrow a} - \tau_p^{s_0 \Rightarrow b}$.

Если помеховые погрешности сличения могут быть определены путем статистической обработки результатов измерений и представлены в виде стандартной

неопределенности (СН) типа А [2], а аппаратурные погрешности – измерены, то каналные погрешности (зависящие от оценки $\Delta \tau_p^{s_0 \Rightarrow a, b}$ в выражении (1)) в случае применения для сличения сигналов ГС играют определяющую роль и существенно зависят, кроме геометрического фактора, параметров тропосферы и многолучевого распространения радиоволн, также от параметров ионосферы в канале РРВ.

При использовании сигналов спутников SBAS в АОО [1] для компенсации ионосферной задержки могут быть применены модели IONEX и Клобучара (Klobuchar) [4, 5]. Используя эти модели, была рассчитана задержка сигнала в слоях ионосферы для спутника SBAS №134 Inmarsat 3f3.

Данные суточных наблюдений за данным спутником (рис. 2) предоставлены коллективом базовой GPS-станции НУЦ РТ кафедры ОРТ ХНУРЭ.

Таблиця 1

Параметр		Примечание
Обозначение, наименование, единица измерения	Соотношение	
F – коэффициент отклонения	$1.0 + 16.0 \cdot (0.53 - El)^3$	
x – фаза модели,	$\frac{2 \cdot \pi \cdot (t - 50400)}{PER}$	
t – местная шкала времени, (с)	$4.32 \cdot 10^4 \cdot \lambda_i + t_{GPS}$: t_{GPS} – шкала времени GPS	Если: $\begin{cases} t \geq 86400, \text{ то } t - 86400, \\ t < 0, \text{ то } t + 86400 \end{cases}$
λ_i – долгота «подионосферной» точки	$\lambda_u + \frac{\psi \cdot \sin(Az)}{\cos(\varphi_i)}$	рад.
Ψ – центральный земной угол	$\frac{0.0137}{El + 0.11} - 0.022$	$PER < 7200$
PER – период модели, (с)	$\sum_{n=0}^3 \beta_n \varphi_m^n$	Если $PER < 7200$, то $PER = 0$
AMP – амплитуда вертикальной задержки, (с)	$\sum_{n=0}^3 \alpha_n \varphi_m^n$	Если $AMP < 0$, то $AMP = 0$
φ_m – геомагнитная широта точки «подионосферной» точки	$\varphi_i + 0.064 \cdot \cos(\lambda_i - 1.617)$	Если: $\begin{cases} \varphi_i > 0.416, \text{ то } \varphi_i = 0,416, \\ \varphi_i < -0.416, \text{ то } \varphi_i = -0,416 \end{cases}$
φ_i – геодезическая широта «подионосферной» точки	$\varphi_u + \psi \cdot \cos(Az)$	рад.

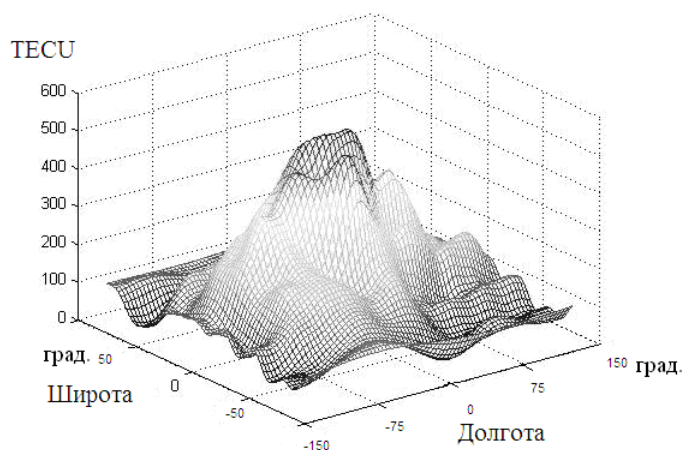


Рис. 3

В модели *IONEX* используется такая же система координат, как и в модели *Klobuchar* (геоцентрическая система WGS-84). При расчетах ионосферной задержки одним из важных моментов является определение вертикальной интегральной электронной концентрации, которая рассчитывается методом интерполяции по пространству [5]. Завершающим этапом является расчеты вертикальной ионосферной задержки $\Delta_{верт}$ и расчет наклонного значения ионосферной задержки R_{iono} в метрах:

$$\Delta_{\text{верт}} = \frac{40.3 \cdot \text{TECU} \cdot 10^{16 + \text{EXPONENT}}}{(f_{L1})^2};$$

$$R_{\text{iono}} = \Delta_{\text{верт}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \cos^2(El)}},$$

где f_{L1} – несущая частота системы SBAS; TECU – вертикальная интегральная электронная концентрация, EXPONENT – коэффициент, входящий в состав карт *IONEX*.

По моделям *IONEX* и *Klobuchar* рассчитаны поправки для ионосферы для спутника *SBAS* №134 *Inmarsat 3f3* на 289 GPS сутки. Координаты пункта наблюдения широта – 50 00' 54. 93366", долгота – 31 13' 48. 66807" (в системе координат ITRF00).

Данные поправок представлены в таблице 2.

Таблица 2

Модель	Поправка, (м)
<i>IONEX</i>	4.4
<i>Klobuchar</i>	6.3

Применение модели *Klobuchar* для компенсации влияния ионосферы в АОО позволяет компенсировать, как минимум, на 50% среднеквадратическую погрешность временных определений.

Достоинством модели является возможность применение ее в реальном масштабе времени. Для использования модели необходимы коэффициенты *Klobuchar* которые передаются в навигационном сообщении с борта спутников GPS. Использование этой модели в АОО приводит к зависимости от системы GPS.

В модели *IONEX* остаточное влияние ионосферы в АОО составляет не более 30% среднеквадратической погрешности временных определений. Недостатком модели является невозможность ее использования в реальном масштабе времени, так как ионосферные карты создаются в послесеансном режиме по данным международных сервисных центров обработки GPS/GNSS наблюдений, таких как IGS, EPN, JPL.

Более точно компенсировать влияние ионосферы в реальном масштабе времени позволяет двухчастотный метод. Для применения этого метода необходим второй источник сигнала с частотой излучения сигнала отличной от частоты излучения спутниками SBAS. В качестве такого источника, как альтернативу, можно рассматривать сигналы геостационарных телекоммуникационных спутников.

Список литературы

1. Коваль Ю.А. Экспериментальные исследования возможностей частотно-временной синхронизации при использовании сигналов геостационарных ИСЗ системы SBAS / Коваль Ю.А., Иванова Е.А., Костыря А.А., Иванова Е.А., Ал-Твежри Б.А., Хусейн А.Ф., Асаад Х. Х. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн. -техн. сб. – 2011. – №. 165. – С. 46–55.
2. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. – ISO, Switzerland, 1993.
3. The International GPS Service for Geodynamics.
4. Chang-Moon Lee, Kwan-Dong Park. Generation of Klobuchar Ionospheric Error Model Coefficients Using Fourier Series and Accuracy Analysis // Journal of Astronomy and Space Sciences. ASS.2011.28.1. № 28(1).
5. S. W. Gurtner. IONEX: The IONosphere Map Exchange Format Version 1. 1998.
6. <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.