

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТРОПОСФЕРНОЙ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛА НКА ГЛОНАСС ПО МОДЕЛИ, РАЗРАБОТАННОЙ В ВКА ИМЕНИ А.Ф. МОЖАЙСКОГО

Краснов В.М.¹, Миросердова Е.Ю.¹, Чернова Е.А.¹,
Шабалина А.Н.¹, Яблонская В.П.¹

¹ – Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия,
vmkrasnov@yandex.ru

Аннотация. Данные радиозондов за 2014 и 2018 г использовались для проверки модели для регионов: Вашингтона, Сирии, Новосибирска и Японии. Расчеты по модели проводились как с коррекцией профилей по данным наземных наблюдений, так и без коррекции профилей.

Ключевые слова: тропосфера, радиоволна, модель, данные радиозондов.

В Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского создана модель для расчета тропосферной задержки сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) ГЛОНАСС [1]. Модель является улучшенным вариантом модели Международного союза электросвязи МСЭ-РР.835-5 (02/2012). В частности, при расчете температуры и плотности атмосферы вместо Стандартной атмосферы США 1976 г. используется модель NRLMSISE-00, а влажность рассчитывается на основе стандарта ГОСТ 26352-84. В этом стандарте, в отличие от МСЭ-РР.835-5, осредненные профили влажности для широт: 10°, 30°, 50° и 70°с.ш. даны для четырех различных меридианов: 0°, 80°, 180° и 280°В.Д. Модель позволяет производить расчеты задержки навигационного сигнала в тропосфере для любой точки земного шара и для произвольных траекторий радиолучей. Задержки сигнала НКА в тропосфере определяется профилями диэлектрической проницаемости (ϵ) вдоль траектории радиоволны $\epsilon = 1 + \frac{1.552 \cdot 10^{-4}}{T} \left(p + \frac{4810e}{T} \right)$, где T - температура, К; p - давление, гПа; e – парциальное давление водяного пара, гПа.

Целью настоящей работы являлось проверить точность расчета тропосферной задержки сигналов НКА для регионов: Вашингтона, Сирии, Новосибирска и Японии. Для проверки модели использовались данные шаров-зондов (профили давления, температуры и влажности) за 2014 и 2018 годы. Задержка сигналов в тропосфере при вертикальном распространении радиоволн от спутника к приемнику рассчитывалась по формуле $\Delta s = \int \sqrt{\epsilon} ds - s$, где s – геометрический путь радиоволны в тропосфере. Расчеты тропосферной задержки проводились отдельно: по модели и экспериментальным данным шаров-зондов. Затем вычислялась разница в расчетах, которая для каждого дня 2014 и 2018 г.г. осреднялась помесячно.

Модель предусматривает также возможность корректировать профили на основе данных наземного наблюдения давления, температуры и влажности. Для этого случая также проводилось сравнения результатов расчета по модели и экспериментальным данным.

В таблице 1 представлены максимальные значения ошибок расчета задержки сигналов НКА ГЛОНАСС в тропосфере и соответствующие им среднеквадратичные отклонения для исследуемых регионов, в частности: m_1 и σ_1 - для модельных расчетов без коррекции профилей; m_2 и σ_2 - для модельных расчетов с коррекцией профилей по данным наземных наблюдений.

Таблица 1 - Максимальные значения ошибок расчета тропосферной задержки и соответствующие им среднеквадратичные отклонения (см)

Регион	2014г				2018г			
	m_1	σ_1	m_2	σ_2	m_1	σ_1	m_2	σ_2
Вашингтон	5.7	5.8	2	4	11.6	7.4	5	5.1
Сирия	17	3	12.2	3.3	16.6	2.3	11.9	3.4
Новосибирск	14.3	3.5	6.4	3	15.4	3.4	7.3	1.3
Япония	22	5	17.7	6.1	20	5	16.9	2.1

Видно, что коррекция модели с помощью результатов наземных измерений увеличивает точность расчета тропосферной задержки. Сезонный ход ошибок расчета оказался различным для различных регионов. Максимальные ошибки расчетов мало меняются при сравнении результатов за 2014 и 2018 г.г. для регионов: Сирии, Новосибирска и Японии - и почти в два раза возросли для региона Вашингтона.

Литература

1. Готюр И.А., Караваев Д.М., Краснов В.М., Кулешов Ю.В., Лебедев А.Б., Мешков А.Н., Щукин Г.Г. Оценка влажной компоненты тропосферной задержки радиоволн на основе модели и данных микроволновой радиометрии. Известия высших учебных заведений. Радиофизика. Нижний Новгород, 2017. Том: 60, № 3, С. 223-230.

ESTIMATION OF TROPOSPHERIC DELAY OF RADIO WAVE OF GLONASS SYSTEM BASED ON MODEL DEVELOPED IN A.F. MOZHAISKY MILITARY SPACE ACADEMY AND RADIOSOUNDE DATA

Krasnov V.M.¹, Miloserdova E. Yu.¹, Chernova E.A.¹,
Shabalina A.N.¹, Yablonskaya V.P.¹

¹ – *Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russia, vmkrasnov@yandex.ru*

Abstract. Radiosonde data during 2014 and 2018 years were used to test the model for regions: Washington, Syria, Novosibirsk and Japan. We conducted the calculations with correction of the model using data of ground equipment and without correction of the model.

Key words: troposphere, radiowave, model, radiosonde data.