

Оценка способов определения полного электронного содержания в ионосфере

А.А. Власов, Е.В. Кузьминых, В.В. Чукин

ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
Россия, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр.,
Ekaterina_Kuzminykh@mail.ru

В данной работе рассматриваются способы определения полного электронного содержания в ионосфере и проводится их сравнение. Сделаны выводы о целесообразности использования в оперативных условиях.

This work deals with different methods of total electron content determination. Methods were compared and it was made a conclusion about their practical use.

Введение

В настоящее время интенсивно развиваются глобальные навигационные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС, которые предназначены для определения местоположения пользователя на основе регистрации радиосигналов навигационных спутников. При проходе сигнала через ионосферу возникает ионосферная задержка.

Таким образом, ионосфера становится одним из источников ошибки в определении местоположения пользователя. Величина задержки пропорциональна полному электронному содержанию (ПЭС) вдоль траектории распространения волны. Изменения ПЭС вызывают пропорциональные изменения фазы и искажения амплитуды радиосигнала. Следовательно, чем точнее будет описано пространственно-временное распределение концентрации в ионосфере, тем точнее можно будет определить положение пользователя.

Помимо этого, так как наблюдаются вариации полного электронного содержания за несколько дней до повышения сейсмической активности, возможно использование полученных данных для прогноза землетрясений.

Полное электронное содержание

На сегодняшний день получить информацию о распределении ПЭС в ионосфере можно разными способами. Во-первых, ПЭС можно измерить с помощью методов зондирования. Во-вторых методом численного моделирования. Для первого способа используются различные средства ионосферного мониторинга, как то станции вертикального и наклонного зондирования, метод частичных отражений, радары некогерентного рассеяния, трансionoсферное зондирование (когда передатчик находится в космосе, а приемник на земле). Отдельно можно отметить контактный метод, когда датчик находится непосредственно в ионосфере. Второй способ представляет собой использование глобальных и региональных моделей ионосферы. Таких моделей существует достаточно много. В данной работе для сравнительного анализа были использованы модели IRI и модель Клобухара. Прежде чем двигаться дальше, скажем несколько слов о том, что представляют из себя данные модели.

Модель IRI

Модель разрабатывается совместной рабочей группой Международного союза по исследованиям радиоволн (International Union of Radio Science - URSI) и Комитета по космическим исследованиям (Committee on Space Research — COSPAR). Это эмпирическая модель. Она основана на временных рядах ионосферных измерений. В нижней части ионосферы (ниже 150 км) используется геодезическая система

координат, в верхней части (выше 150 км) используется геомагнитная система координат, а именно модифицированная широта магнитного склонения, как наиболее подходящая [1]. Для того чтобы описать суточные вариации в зависимости от высоты могут быть использованы различные параметры. Для области E это зенитный угол Солнца, так как здесь под влиянием солнечной радиации происходит наиболее сильная ионизация. В F-области таким параметром выступает местное и/или универсальное время, которое зависит от эффектов, связанных с вращением магнитных полюсов [2].

Модель Клобухара

Модель полного электронного содержания была разработана в конце 70-х для коррекции ионосферной задержки в одночастотных приёмниках GPS. Данные о состоянии ионосферы здесь передаются при помощи всего восьми коэффициентов, которые вычисляются на основе эмпирической модели Бента [3]. Модель была получена при помощи аппроксимации полного вертикального содержания из модели Бента по методу наименьших квадратов. Несмотря на крайнюю простоту эта дает неплохие результаты на практике со среднеквадратичной ошибкой около 50% [4], именно поэтому её используют для учета ионосферной задержки в приемниках GPS.

Недостатки

Как первый, так и второй имеют ряд достоинств и недостатков. Так как нас в первую очередь интересует возможность использовать данные об ПЭС в оперативных условиях, то остановимся на том, почему нам не подходят вышеперечисленные методы: несоответствие современным требованиям к глобальности и оперативности. А именно высокая стоимость оборудования, стационарность установок, наличие высококвалифицированного персонала, и следовательно их небольшое количество. Что касается моделей, то их использование не дает необходимой точности и достоверности, ввиду усредненности картины состояния ионосферы.

Использование ГНСС

Активная разработка навигационных систем привела к возможности их использования для определения ПЭС по результатам измерений задержек радиосигналов, ими передаваемых и последующей их переработки. По измеренным задержкам с рабочими частотами f_1 и f_2 можно определить величину ионосферного запаздывания сигналов. Эта величина пропорциональна интегралу от пространственного распределения ЭК вдоль трассы. Учитывая геометрический фактор, можно получить формулу для определения полного электронного содержания в ионосфере:

$$TEC = \frac{f_1^2 f_2^2 (L_{ИЗМ(2)} - L_{ИЗМ(1)}) \left[1 - \left(\frac{R \cdot \cos \beta}{R + z_{\max}} \right)^2 \right]^{0.5}}{40.4 (f_2^2 - f_1^2)}$$

В нашем распоряжении есть данные, полученные при помощи GPS и ГЛОНАСС в отдельности и совместно, а также данные рассчитанные при помощи моделей IRI и Клобухара. На основе этих данных были построены графики и сделаны выводы о целесообразности использования системы ГЛОНАСС для учета ионосферной задержки в оперативных условиях.

Литература

1. Rawer K. Propagation of decameter waves (h.f. band) [Text] / Rawer K. // Meteorological Influences on Radio Wave propagation. – Indianapolis, Indiana, 1963. – P.221-250.
2. Bilitza D. International reference Ionosphere 2000 [Text] / Bilitza D. // Radio Science – 2001. – Vol.36, №2. – P.261-275.
3. Bent R.B. A Highly Successful Empirical Model for the Worldwide Ionospheric Electron Density Profile [Text] / Bent R.B., Llewellyn S.K., Schmid P.E. – Melbourne: DBA Systems, 1972.
4. Klobuchar J.A. Design and characteristics of the GPS Ionospheric Time Delay Algorithm for Single frequency users [Text] / Klobuchar J.A. // Proceeding of PLANS'86. – Las Vegas, 1986. – P.280-286.