

Оценка полной электронной концентрации ионосферы по разности запаздывания 2-х частей ЛЧМ импульса

В.Н. Марчук, В.М. Смирнов, О.В. Юшкова

ФирЭ им.В.А.Котельникова РАН

Marchuk@ms.ire.rssi.ru

Рассмотрен алгоритм оценочного расчета полной электронной концентрации ионосферы по разности запаздывания 2-х частей ЛЧМ импульса, отраженного от поверхности планеты. Данный алгоритм апробирован на модельных данных и на экспериментальных данных радара MARSIS.

The algorithm is considered to calculate estimation of the total electron density of the ionosphere from the difference of delay 2 parts of chirped pulse reflected from the surface of the planet. This algorithm is tested on simulated data and experimental data of radar MARSIS.

Методы радиолокационного зондирования широко используются для дистанционного исследования космических тел и их оболочек. Изучение характеристик ионосфер планет имеет важное значение, как в познавательном, так и в прикладном аспекте: для определения так называемых «окон прозрачности» - диапазонов частот для которых поглощение в ионосфере минимально. Именно эти диапазоны используются для зондирования подповерхностных структур грунтов планет с орбитальных станций. Наибольший интерес в этом отношении представляет исследование ионосферы Марса.

До недавнего времени информация об ионосфере Марса базировалась на результатах интерпретации радиозатменных экспериментов, в которых оценивается средняя электронная плотность ионосферы при прохождении через нее трассы прямой видимости между Землей и космическим аппаратом, находящимся на орбите Марса [1,2]. Анализ имеющихся данных о параметрах ионосферы Марса позволяет получить хорошее представление в основном о дневной ионосфере. Ночная, точнее вечерняя или сумеречная, ионосфера представлена единичными экспериментами, которые не дают общей картины о распределении электронной концентрации. После 2005 г. эти данные пополнились моностатическими измерениями, первые из которых выполнены радаром MARSIS [3] установленном на межпланетном аппарате Европейского космического агентства «Mars-Express». Совокупность всех этих экспериментальных данных представляет основу для оценки величины и пространственно-временных вариаций электронной концентрации в ионосфере Марса.

Однако рассмотренные методы зондирования с орбиты позволяют измерять только верхнюю часть ионосферы (рис.1.). Нижняя же часть остается неисследованной, так как частоты выше критической не проходят до нее, а частоты ниже критической практически не отражаются.

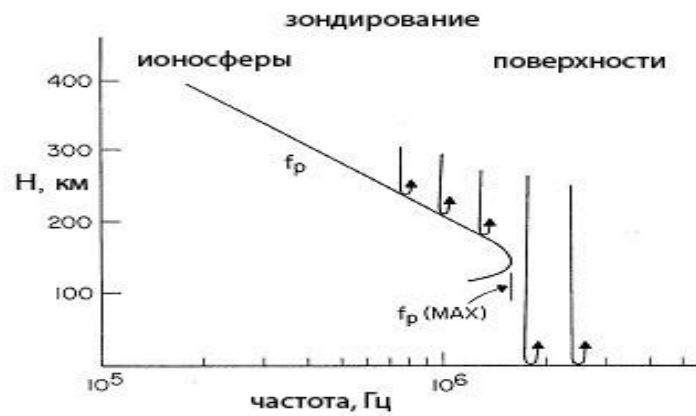


Рис. 1. Зондирование ионосферы и грунта с орбиты космического аппарата

Для определения полной электронной концентрации ионосферы разработан специальный алгоритм, который позволяет по разности запаздывания 2-х частей ЛЧМ импульса, отраженного от поверхности планеты получить оценочные значения (рис.2):

$$N_i \cong 372 \cdot (\tau_g(f_1) - \tau_g(f_2)) \cdot \frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2}.$$

Здесь используется тот факт, что ионосфера является диспергирующей средой, в которой радиоволны различных частот f_i распространяются с разными скоростями $\tau_g(f_i)$.

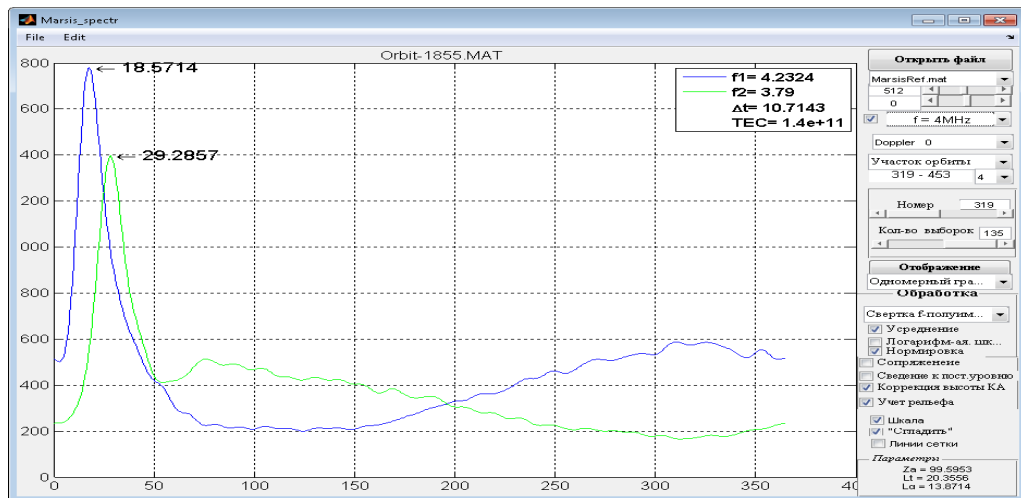


Рис. 2. Условное время прихода двух когерентных сигналов.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы №9 фундаментальных исследований Президиума РАН "Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звезд".

Литература

1. Kliore A J, Cain D L, Levy G S, et al. Occultation experiment: results of the first direct measurement of Mars' atmosphere and ionosphere. Science, 1965. №149. P. 1243-1248.
2. Васильев М. Б., Вышлов А.С., Колосов М.А. и др., Предварительные результаты двухчастотного радиопросвечивания ионосферы Марса при помощи станции «Марс» в 1974г.- Космические исследования, 1975. Т.13, с.48-54

3. Gurnett, D. A. Radar soundings of the ionosphere of Mars/ D. A Gurnett and al// Science, 23 December, 2005, v 310, p.1929-1933
4. R. Jordan and et. The Mars express MARSIS sounder instrument //Planetary and Space Science 57, 2009, p. 1975-1986
5. Armand N.A., Smirnov V.M., Hagfors T. Distortion of radar pulses by Martian ionosphere // Radio Sci. 2003. V. 38. № 5. P. 1090–1101.
6. Смирнов В.М., О.В. Юшкова. Влияние ионосферы в экспериментах по подповерхностному зондированию грунта Марса и способ его коррекции. //Астрономический вестник. 2013, том 47, № 6, с. 467–474.
7. Смирнов В.М., Черная Л.Ф., Юшкова О.В., Рыков К.Н. Радиолокационное зондирование планеты Марс с орбиты автоматической межпланетной станции «Марс-Экспресс». Космические исследования. 2006. №4, с.317-328.
8. Гинзбург, В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме / В. Л. Гинзбург. - М.: Наука.- 1967. - 684 с.
9. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. М.: Сов. радио, 1971, 568 с.