

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО РАДИОКАНАЛА С УЧЕТОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

О.А. Трушкова, А.А. Кислицын, А.В. Зуев

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия
trushkova_ol@mail.ru

VARIABILITY OF TRANSIONOSPHERIC RADIO CHANNEL, TAKING INTO ACCOUNT THE GEOPHYSICAL AND GEOGRAPHICAL FACTORS

O.A. Trushkova, A.A. Kislitsyn, A.V. Zuev

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

Аннотация. Важной характеристикой, влияющей на распространение сигнала через ионосферу, является полное электронное содержание. В свою очередь, полное электронное содержание испытывает значительные вариации при изменении геофизических и географических условий. В работе представлена методика исследования полного электронного содержания по данным транссионосферного зондирования. Представлены результаты суточных вариаций полного электронного содержания в различных широтно-долготных регионах при различных уровнях солнечной активности. На основе полученных результатов проведена оценка степени искажений сигналов при транссионосферном распространении, с помощью исследования параметров дисперсии радиоканала.

Ключевые слова: спутниковая связь, полное электронное содержание, транссионосферный радиоканал, дисперсионная характеристика, частотная дисперсия.

Abstract. Total electron content is an important characteristic affecting the signal propagation through the ionosphere. In turn, the total electron content is experiencing significant variations when you change the geophysical and geographical conditions. The paper presents the methodology of the study the total electron content according transionospheric sensing. Presents the results of diurnal variations in total electron content in different latitudinal-longitudinal regions under different levels of solar activity. On the basis of the results of the assessment of the degree of distortion of signals in casinosthere distribution, using the parameters of dispersion of the radio channel.

Keywords: satellite communication, total electronic content, transionospheric radio channel, dispersion characteristic, frequency dispersion.

Введение

Радионавигационный сигнал, распространяясь через земную атмосферу, подвергается влиянию различных факторов. Существенное влияние на распространение радиосигнала оказывает верхняя часть атмосферы Земли–ионосфера. Основной характеристикой, определяющей изменение параметров радионавигационного сигнала, является полное электронное содержание (ПЭС) и его составляющие вдоль пути распространения [Айфраймович, 2006].

Исследование вариаций ПЭС и построение суточного хода над заданным регионом позволяет получить обобщенную картину в различное время суток, в различные сезоны, для возмущенной ионосферы, что в свою очередь необходимо для анализа пространственного распределения интенсивности вариаций ПЭС и составления рекомендаций навигационных измерений для практической реализации технологии тестирования характеристик транссионосферного распространения радиосигналов на трассе спутник–Земля.

Целью работы является исследование влияния геофизических и географических факторов на параметры транссионосферного канала связи.

Определение ПЭС для различных регионов

Решение задач распределения полной электронной концентрации ионосферы в настоящее время возможно благодаря применению спутниковых

навигационных систем ГЛОНАСС/GPS. Определение абсолютного значения ионосферного вертикального полного электронного содержания позволяет анализировать пространственное распределение интенсивности вариаций полного электронного содержания (ПЭС) и составлять рекомендации навигационных измерений для решения ряда прикладных задач радиосвязи, радиолокации, навигации и т. п.

Алгоритмы и методики получения ПЭС подробно описаны в работах [Иванов, 2013а, Иванов, 2013б, Ясюкевич, 2013]. Согласно данным методикам, проведены экспериментальные измерения значений полного электронного содержания для г. Йошкар-Олы, а также для некоторых городов России различного местоположения, и построены соответствующие зависимости, отражающие результаты суточных ходов ПЭС. На рис. 1 представлен пример построения суточных ходов ПЭС для различных регионов за 21 февраля 2015 г.

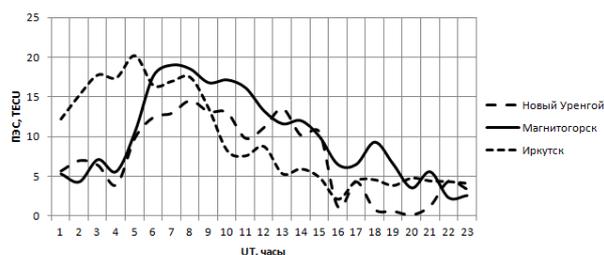


Рис. 1. Суточный ход ПЭС для городов с различным местоположением

Следует отметить, что при исследовании регионов с различными, но близкими по значению широтами полученное вертикальное значение ПЭС практически совпадает, это свидетельствует тому, что ионосфера данных регионов близка по своим характеристикам. Наибольшие амплитудные суточные изменения ПЭС наблюдаются на широтах, находящихся ближе к экваториальным, что соответствует теоретическим сведениям о том, что максимум ионизации достигается вблизи экватора.

Частотная дисперсия трансionoсферного радиоканала

Известно, что среда распространения в трансionoсферном радиоканале обладает дисперсионными свойствами, которые являются причиной изменения фазовых соотношений между гармоническими составляющими сигнала [Петренко, 2007]. Дисперсия обусловлена зависимостью от частоты показателя преломления среды. Трансионoсферное

распространение возможно на частотах, превышающих критическую частоту ионосферы. Поэтому теория трансionoсферного распространения имеет свои особенности, связанные с этим условием. Они проявляются в том, что показатель преломления допускает разложение по степеням отношения плазменной частоты к частоте распространяющегося колебания:

$$n(z) = \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_p^2(z)}{\omega^2}\right)} \approx \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{f_p^2(z)}{f^2}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{f_p^2(z)}{f^2}\right)^2 - \frac{1}{16} \left(\frac{f_p^2(z)}{f^2}\right)^3 \dots = (1) = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kN}{f^2}\right) - \frac{1}{8} \left(\frac{kN}{f^2}\right)^2 - \frac{1}{16} \left(\frac{kN}{f^2}\right)^3 \dots$$

Тогда для набегу фазы в среде будем иметь формулу

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{c} \int_s [\omega n(\omega, z)] dz \approx \omega \int_s \frac{dz}{c} - \left[\frac{1}{f} \frac{\pi k}{c} \int_s N_e(z) dz + \frac{1}{f^3} \frac{\pi k^2}{4c} \int_s N_e^2(z) dz + \frac{1}{f^5} \frac{\pi k^3}{8c} \int_s N_e^3(z) dz \right] = (2) = \omega \int_s \frac{dz}{c} - \left[\frac{\alpha_1}{f} + \frac{\alpha_2}{f^3} + \frac{\alpha_3}{f^5} \right],$$

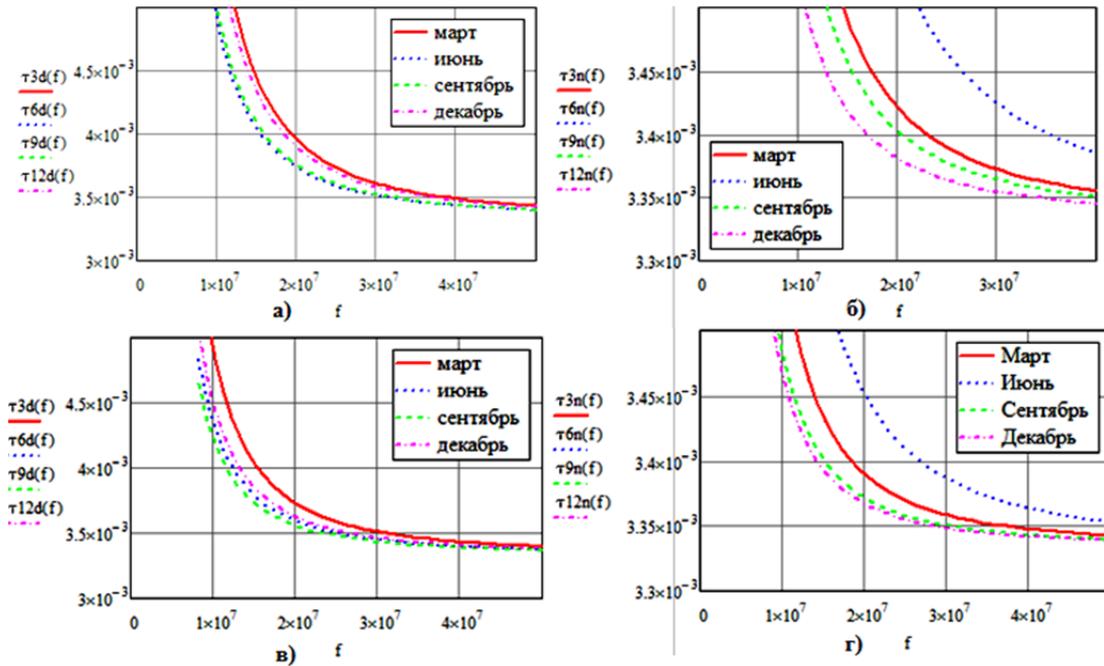


Рис. 2. Дисперсионная характеристика для ночной ионосферы при максимальной солнечной активности (а); ночной ионосферы при минимальной солнечной активности (б); дневной ионосферы при максимальной солнечной активности (в); дневной ионосферы при минимальной солнечной активности (г)

При больших значениях z интеграл $\int_s N_e(z) dz$ равен полному электронному содержанию. Таким образом, можно отметить, что ПЭС является ключевым параметром для оценки частотной дисперсии в трансionoсферном радиоканале.

Далее определим первые три производные от фазы по частоте в точке \bar{f} , которые являются характеристиками частотной дисперсии:

$$\tau_g(f) = \frac{d\varphi}{d\omega}(f) = \frac{1}{2\pi} \left[2\pi \int_s \frac{dz}{c} + \frac{\alpha_1}{f^2} + 3 \frac{\alpha_2}{f^4} + 5 \frac{\alpha_3}{f^6} + \dots \right] (9)$$

$$s(f) = \frac{d\tau_g}{df}(f) = -\frac{1}{\pi} \left[\frac{\alpha_1}{f^3} + 6 \frac{\alpha_2}{f^5} + 15 \frac{\alpha_3}{f^7} + \dots \right] \quad (10)$$

$$v(f) = \frac{d^2\tau_g}{df^2}(f) = \frac{3}{\pi} \left[\frac{\alpha_1}{f^4} + 10 \frac{\alpha_2}{f^6} + 35 \frac{\alpha_3}{f^8} + \dots \right] \quad (11)$$

На фиксированной частоте $f = \bar{f}$ числа: $\tau_g(\bar{f})$, $s(\bar{f})$, $v(\bar{f})$ являются параметрами фазовой дисперсии канала на этой частоте.

Пример построения ДХ при различных геофизических условиях для различных сезонов в 2015 г. представлены на рис. 2.

Заключение

Зависимость величины максимума и амплитуды суточных вариации ПЭС от солнечной активности вблизи экваториальных широт выражена сильнее чем в более высоких. Указанные эффекты находятся в полном соответствии с теорией образования ионосферы. Для оценки влияния частотной дисперсии на вид дисперсионных характеристик построены соответствующие зависимости. Установлено, что для исследуемых систем при дневной ионосфере наибольшее значение групповой задержки наблюдается в весенний период, наименьшее — в зимний. При ночной ионосфере наибольшее значение задержки отмечается в летний период, наименьшее — в зимний.

Список литературы

Афраймович Э.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли // Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. 480 с.

Иванов В.А., Рябова Н.В., Рябова М.И. и др. Экспериментальное определение полного электронного содержания в ионосфере над Йошкар-Олой с использованием технологий ГЛОНАСС/GPS // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: материалы IV Всероссийской научной конференции (III Всероссийские Арmandовские чтения). Муром: Изд. Полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013а. С. 101–105.

Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова М.И. и др. Искажения широкополосного радиосигнала в ионосфере, вызванные нелинейной частотной дисперсией // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013б. № 2(18). С. 5–15.

Петренко П.Б., Бонч-Бруевич А. М. Моделирование и оценка ионосферных искажений широкополосных радиосигналов в локации и связи // Вопросы защиты информации. 2007. № 3. С. 24–29.

Ясюкевич Ю.В., Мыльникова А.А., Демьянов В.В. и др. Суточная динамика вертикального полного электронного содержания над городами Иркутск и Йошкар-Ола по данным GPS/ГЛОНАСС и модели IRI-2012 // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3(19). С. 18–29.