

УДК 53.087

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРИЕМНОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОВОЛН,
РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ЧЕРЕЗ ИОНОСФЕРУ**

Д.А. Когогин, И.А. Насыров

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED RECEIVING COMPLEX TO STUDY
THE CHARACTERISTICS OF RADIO WAVES PROPAGATING THROUGH THE IONOSPHERE**

D.A. Kogogin, I.A. Nasyrov

Известно, что радиозондированием с поверхности Земли можно определить ход концентрации электронов только в нижней ионосфере; что же касается концентрации электронов между слоями и концентрации в верхней ионосфере, т. е. выше максимума слоя F2, то ее нельзя определить при помощи радиозондирования с поверхности Земли. В данной статье рассмотрен метод измерения полного электронного содержания (ПЭС) в верхней ионосфере при помощи искусственных спутников Земли. Метод основан на измерении угла поворота, плоскости поляризации радиоволн, проходящих через ионосферу. На основании предлагаемого метода разработана блок-схема автоматизированного приемного комплекса (АПК), построенного на функционально независимых элементах. Построение АПК на основе функционально независимых узлов позволяет по отдельности проводить их модернизацию и усовершенствование с использованием другой аппаратурной и элементной базы и новых технических решений, развивать идеи многоканального приема и обработки информации.

It is known that the radio probing of the earth's surface can determine the course of the electron concentration only in the lower ionosphere. Progress electron concentration between the layers and the concentration in the upper ionosphere above maximum F2 layer can not be determined by radio probing the earth's surface. In this article, the method of measuring the total electron content (TEC) in the upper ionosphere with the help of satellites. The method is based on measuring the rotation angle, the plane of polarization of radio waves passing through the ionosphere. On the basis of the method developed by block-circuit automated receiving complex (APC) was built on functional-independent elements. APC on the basis of functionally independent units, allows separately pursue their modernization and improvement of using the apparatus and other components and new technical solutions, develop the idea of multi-channel receiving and processing information.

Измерение угла поворота плоскости поляризации радиоволн, проходящих через ионосферу

Интегральная концентрация электронов в ионосфере может быть определена по данным измерения угла поворота плоскости поляризации волн, излучаемых передатчиками искусственных спутников Земли [Черный, 1972]. Угол поворота плоскости поляризации после прохождения волной расстояния $z_2 - z_1$ в ионосфере равен

$$\Omega = \kappa \int_{z_1}^{z_2} \alpha dz, \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} (n_2 - n_1). \quad (2)$$

При достаточно высокой частоте имеет место неравенство

$$\frac{w_0^2}{w^2} \ll 1. \quad (3)$$

Используя данное неравенство и предположив, что несущая частота сигнала достаточно высока, получим окончательную формулу для α :

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \frac{e^2}{m^2} \frac{\mu_0}{\epsilon_0} \frac{1}{w^2} \int_z^{z_0} NH_{NL} dz, \quad (4)$$

где z_0 – высота нижней границы ионосферы. Подставив в данную формулу численные значения e , μ_0 , ϵ_0 , m , получаем

$$\Omega = \frac{1.2H_{0L}}{w^2} \int_z^{z_0} N(z) dz. \quad (5)$$

В данной формуле угол Ω может быть каким угодно. Однозначное же соответствие между измеренным углом поворота $\Omega_{изм}$ и истинным углом Ω имеет место в том случае, если Ω не превосходит значения π . Неоднозначность в определении угла Ω можно устранить, если излучать две волны с двумя достаточно близкими частотами w_1 , w_2 и с одинаковыми первоначальными положениями плоскостей поляризации.

Для спутников системы ГЛОНАСС характерно излучение на двух диапазонах с центральными частотами 1600 МГц и 1250 МГц. На основе разности фаз принимаемых на двух частотах сигналов со спутников ГЛОНАСС предлагается восстановить полное электронное содержание (ПЭС) в ионосфере [Sardon et al., 1994; Warmant, 1998].

Рассмотрим подробнее, будут ли удовлетворять частоты спутников системы ГЛОНАСС таким требованиям, чтобы можно было использовать выражение (5). Во-первых, частоты должны быть достаточно высокими, чтобы можно было наблюдать эффект Фарадея. Гироманнитная частота равна

$$f_{H_0} = 1.4 \text{ МГц}. \quad (6)$$

Следовательно, w_1 , w_2 должны быть гораздо больше $w_{H_0} = 8.85 \cdot 10^6$. Во-вторых, поскольку при любых возможных значениях концентрации электронов должно иметь место неравенство

$$\Omega_2 - \Omega_1 < \pi, \quad (7)$$

зная одну из частот, можно найти разность частот, удовлетворяющую этому неравенству, и соответственно вторую частоту из формулы

$$\pi = 1.2H_0 \left(\frac{1}{w_2^2} - \frac{1}{w_1^2} \right) N_m z_b \approx \approx 2.4H_0 \frac{w_2 - w_1}{w_1^3} N_m z_b. \quad (8)$$

Если $w_1=1250$ МГц,

$$w_2 - w_1 = \frac{\pi w_1^3}{2.4H_0 N_m z_b}. \quad (9)$$

Находим разность частот и вторую частоту:

$$\begin{aligned} w_2 - w_1 &= 16.21 \cdot 10^9, \\ w_2 &= w_1 \pm 16/21 \cdot 10^9. \end{aligned} \quad (10)$$

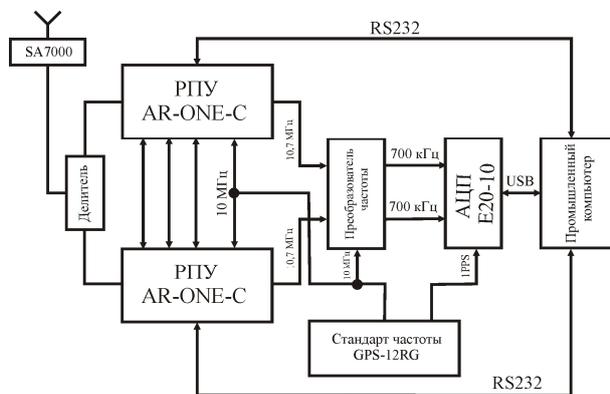
Анализируя проделанный расчет, делаем вывод, что вторая частота 1600 МГц входит в допустимый интервал и позволяет нам рассчитывать угол Ω по формуле (5).

Блок-схема и описание работы автоматизированного приемного комплекса

Автоматизированный приемный комплекс (АПК) объединен в единую систему, включающую антенно-фидерное устройство (широкополосная антенная система SA7000), два сканирующих приемника AOR AR-ONE-C, устройство преобразования частоты на два канала данных (преобразователь частоты, собранный на микросхеме 235PC1), устройство синхронизации (источник опорной частоты – рубидиевый стандарт частоты GPS 12PR), аналого-цифровой преобразователь (LCARD E2010), промышленный компьютер Fastwel AdvantiX и контрольный цифровой осциллограф RIGOL DS1202CA. Блок-схема АПК представлена на рисунке.

Работа АПК происходит следующим образом. Сигнал, принятый антенной, поступает на вход двухканального делителя, собранного на Т-коннекторах BNC, где происходит разделение исходного сигнала на два с сохранением амплитуды и фазы принятого сигнала. После делителя оба сигнала поступают на входы радиоприемного устройства (РПрУ). Используемые в АПК профессиональные приемники AR-ONE-C настраиваются на разные центральные частоты спутников навигационной системы ГЛОНАСС. Первый приемник настроен на частоту 1.6 ГГц, второй – на 1.25 ГГц.

Данные приемники применяются в комплексах радиопеленгации, состоящих из нескольких взаимосвязан-



Блок-схема АПК.

ных приемников при обеспечении фазовой когерентности. Основным, но не единственным достоинством данных приемников является величина относительно фазового сдвига, которая не превышает 5 %. После прохождения приемного тракта сигнал каждого канала снимается с выхода промежуточной частоты приемника (ПЧ), которая равна 10.7 МГц. Далее сигнал поступает на преобразователь частоты (ПрЧ). В результате на выходе ПрЧ сигнал имеет несущую частоту 700 КГц. Преобразованный сигнал с центральной частотой 700 КГц и полосой ~41 КГц поступает на вход АЦП, где преобразуется в цифровой код без каких-либо искажений. Сигнал, пройдя тракт аналого-цифрового преобразования, записывается в компьютер. Связь с модулем АЦП осуществляется по интерфейсу USB 2.0. Стоит отметить, что АЦП имеет вход 1PPS, на который подается сигнал с соответствующего выхода рубидиевого стандарта частоты для осуществления синхронизации и старта сбора данных. Связь между приемниками AR-ONE-C и компьютером реализована с помощью интерфейса RS-232. Таким образом, используя синхронизацию всех устройств, входящих в АПК, мы производим их калибровку, а также получаем возможность задавать время старта и остановки сбора данных. Сбор, визуализация (просмотр в реальном времени и в записи), регистрация (сохранение в цифровом виде) и экспорт в MatLab для дальнейшей обработки осуществляется с помощью программы LGraph2, разработанной специально для сбора данных от устройств производства фирмы ООО «ЛКард». Операционная система Windows не является системой реального времени, т.е. при включении системы сбора данных от нескольких устройств запись начинается не одновременно для каждого из каналов сбора, а величина задержки непредсказуема. Для обеспечения одновременности и когерентности записи в программе LGraph2 предусмотрена запись по синхростарту, реализованная с помощью синхронизации записи данных от подключенного к компьютеру GPS-модуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Медведев П.П., Баранов И.С. Глобальные космические навигационные системы // Итоги науки и техники. Сер. Геодезия и аэросъемка. М.:ВИНИТИ. 1992. Т. 28. 159 с.
 Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. Изд-е 2-е, доп. и переработ. М.: Сов. радио, 1972, 464 с.
 GPS Atmosphere Profiling. Methods and Error Assessments // Scientific Report 98-7, Danish Meteorological Institute, Copenhagen, 1998 / P. Hoeg, Larsen G.B., et al. 203 p.
 Sardon E.A., Rius A., Zarraoa N // Radio Sci. 1994. V. 29, N. 3. P. 577.
 Warmant R. // Proc. Analysis Center Workshop. Germany, Darmstadt, February 9–11, 1998. P. 249.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань