

Исследование дисперсионных искажений радиосигналов при трансionoсферном зондировании

Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, М. И. Рябова, А. А. Кислицын

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет»

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, RyabovaMI@volgatech.net

Представлена методика для исследования дисперсионных искажений сигналов при трансionoсферном распространении. На основе смоделированных значений полного электронного содержания получены результаты вычисления дисперсионной характеристики, её наклона и полосы когерентности.

The technique for the study of dispersion distortions signals at through ionosphere. On the basis of the simulated values of the total electron content obtained results of calculations of the dispersion characteristics, its inclination and coherence bandwidth

Введение

В космических системах связи и в радиолокации широкое применение нашли широкополосные и сверхширокополосные сигналы. Особенности их использования является высокая пропускная способность каналов, высокая разрешающая способность по дальности, а также обеспечение более высокой помехоустойчивости систем радиосвязи [1-3].

Однако при распространении сигналов в трансionoсферном радиоканале из-за дисперсных свойств ионосферы происходит изменение фазовых соотношений между гармоническими составляющими широкополосного сигнала. Данное явление приводит к частичной или полной потери полезной информации в сигнале-носителе. Таким образом, задача исследования влияния дисперсионных искажений на радиосигналы при трансionoсферном распространении является актуальной задачей.

Цель работы – развитие метода оценки дисперсионных искажений радиосигналов при трансionoсферном зондировании.

Реализация поставленной цели достигается на основе решения следующих задач:

- анализ методики расчёта дисперсионной характеристики (ДХ) радиосигналов при трансionoсферном распространении;
- моделирование данных для расчёта полного электронного содержания, вычисления ДХ, наклона ДХ, полосы когерентности;
- анализ полученных результатов.

Принцип расчёта ДХ широкополосных радиосигналов при трансionoсферном зондировании

В настоящее время существуют различные методы для исследования искажения сигналов [4–6]. Одним из распространенных является разложение фазы сигнала по частоте вблизи рабочей (либо средней) частоты [7]. При исследовании более сильных искажений в случае широкополосных сигналов используют высокочастотное приближение в разложении показателя преломления среды .

При высокочастотном приближении фазовый сдвиг сигнала φ с учётом фазовой дисперсии удобно представлять в виде разложения в ряд Тейлора [8,9]:

$$\varphi(\omega, t) = \varphi(\bar{\omega}, t) + \varphi'_\omega \cdot \Omega + \varphi''_\omega \cdot \frac{\Omega^2}{2!} + \varphi'''_\omega \cdot \frac{\Omega^3}{3!} + \dots \quad (1)$$

где φ'_ω , φ''_ω , φ'''_ω – параметры фазовой частотной дисперсии первого, второго и третьего порядка;

$\Omega = \omega - \bar{\omega}$, $\bar{\omega}$ – средняя частота канала.

Обычно параметр дисперсии первого порядка равен времени группового запаздывания. При транссионосферном зондировании средой распространения является ионосферная плазма. Дисперсионная характеристика ионосферного канала имеет вид [8,10,11]:

$$\tau(f) = \frac{2}{c} \int_0^z \frac{dz}{n(f, z)} \quad (2)$$

где $n = \sqrt{1 - f_0^2 / f^2}$,

$f_0^2 = e^2 N / \pi m = \mu N$ – квадрат плазменной частоты.

На таких радиоприемах применяются частоты, значения которых значительно превышают плазменные частоты слоя F_2 . Поэтому отношение квадратов частот, входящее в выражение для показателя преломления много меньше единицы для всех высот ионосферы. Таким образом, формула для групповой задержки (дисперсии первого порядка) имеет следующий вид:

$$\tau(f) \approx \frac{2z}{c} + \frac{\mu}{c \cdot f^2} N_t \quad (3)$$

где $N_t = \int_0^z N(z) dz$ – при больших z является полным электронным содержанием (ПЭС) ионосферы.

Простейшую оценку дисперсионных искажений можно получить, сравнивая полосу сигнала с полосой когерентности [11,12].

Полоса когерентности канала равна:

$$\Delta f_k = \frac{2}{\sqrt{\pi |s(f)|}} \quad (4)$$

учитывая, что $s(f) = \frac{d\tau}{df}$ полоса когерентности для транссионосферного радиоканала определяется следующим образом:

$$\Delta f_k = \sqrt{\frac{cf_p^3}{\pi \mu N_t}} \quad (5)$$

Основным параметром для определения частотной дисперсии является полное электронное содержание. Методика определения полного электронного содержания вдоль луча «спутник-приемник» с использованием фазовых и групповых измерений на двух частотах достаточно хорошо описана в литературе [13,14].

Хорошо известно, что ПЭС, полученное по групповым измерениям достаточно сильно зашумлено. Особенно значительно это проявляется на низких углах, где шумы измерений могут достигать более 100 %. При этом с точностью до ошибки, связанной с ДСВ, групповые измерения ПЭС являются абсолютными.

Фазовые измерения характеризуются значительно меньшим шумом, однако, вследствие неоднозначности измерения фазы, они позволяют получать только вариации ПЭС вдоль луча спутник приемник.

Таким образом, для вычисления абсолютного вертикального ПЭС используется алгоритм, основанный на одновременном использовании фазовых и групповых измерений ПЭС и простой модели измерений ПЭС, учитывающей дифференциальные кодовые задержки [10,11].

Результаты эксперимента

Для вычисления ДХ по данным трансионосферного зондирования были рассчитаны суточные вариации ПЭС. В качестве экспериментальных данных использовались результаты измерений в 2013-2014 гг. Анализируемые дни, а также среднее значение Kp за сутки, максимальное и минимальное значение ПЭС, среднеквадратичное отклонение (СКО) ПЭС по данным отдельного приёмника GPS/ГЛОНАСС представлены в таблице 1:

Таблица 1. Анализируемые дни

г. Йошкар-Ола					
дата	день года	$Kp_{ср}$	ПЭС _{мин} , TECU	ПЭС _{макс} , TECU	СКО
2013 год					
13 июня	164	1,2	12,4	21,5	2,8
7 ноября	311	2,4	3,7	33	10
2014 год					
28 января	28	1	4	19,8	5,3
13 марта	72	2,8	9,4	39,7	10,3

Суточные ходы абсолютного ПЭС над г. Йошкар-Олой для различных сезонов представлены на рис. 1.

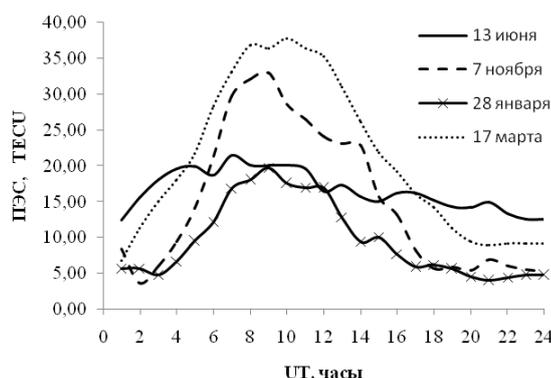


Рис. 1. Суточные ходы абсолютного ПЭС над г. Йошкар-Олой

Таким образом, рассчитав среднее значение ПЭС для каждого из сезонов, построим дисперсионные характеристики рабочих сигналов 0,003–3 ГГц (рис. 2). Основным параметром дисперсности является наклон ДХ, поэтому для выбранных дней в сезоне построены соответствующие зависимости (рис. 3).

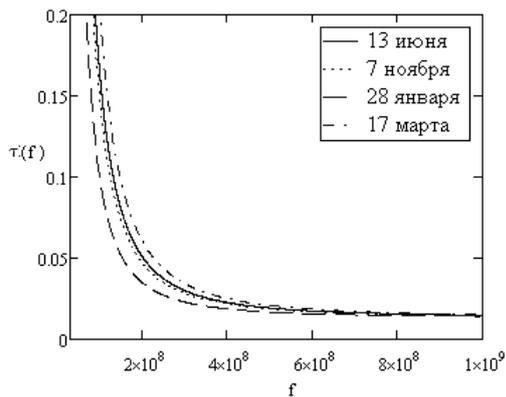


Рис. 2. ДХ транссионсферного радиоканала

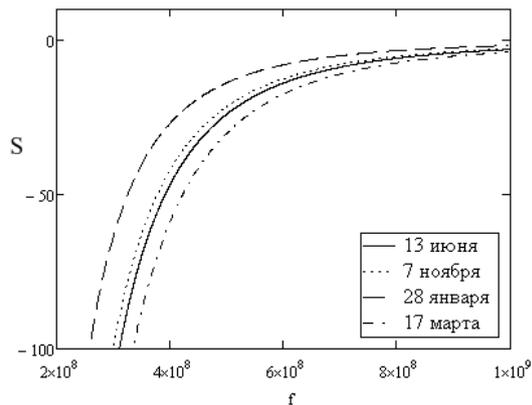


Рис. 3. Зависимости наклонов ДХ

На основе построенных зависимостей для оценки дисперсионных искажений была определена полоса когерентности для каждого из сезонов.

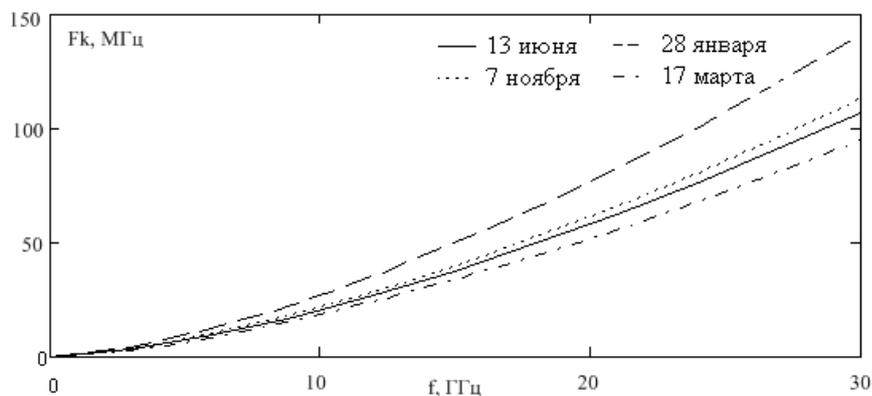


Рис. 4. Зависимости полос когерентности

Заключение

В ходе данного исследования рассмотрена методика расчёта дисперсионной характеристики (ДХ) радиосигналов при транссионсферном распространении; смоделированы данные для расчёта полного электронного содержания для вычисления ДХ, наклона ДХ, полосы когерентности. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что зондирующие сигналы подвергаются дисперсионным воздействиям.

Литература

1. *Петренко, П. Б.* Моделирование и оценка ионосферных искажений широкополосных радиосигналов в локации и связи / П. Б. Петренко, А. М. Бонч-Бруевич // Вопросы защиты информации, 2007. № 3. С. 24-29
2. *Иванов, Д.В.* Исследование дисперсности сверхширокополосных декаметровых радиоканалов и коррекции дисперсионных искажений / Иванов Д.В., Иванов В.А., Лащевский А.Р. // III Всероссийская научная конференция «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике». – Муром: Изд.-полиграфический центр МИВлГУ, 2010. С. 7-16.
3. Бонч-Бруевич, А. М. Оценка показателей качества согласованной фильтрации широкополосных сигналов, с учетом влияния диспергирующих свойств среды распространения / А. М. Бонч-Бруевич, П. Б. Петренко, М. П. Сычев // Информатизация

и информационная безопасность правоохранительных органов: сб. тр. 17 междунар. науч. конф – М. : Акад. упр. МВД России, 2008.- С. 291-296.

4. Иванов В.А. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, 2010. № 1 (8). С. 3-37.

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

6. *Иванов, В.А.* Исследование регулярной и стохастической дисперсии в ионосферных широкополосных высокочастотных радиоканалах / В.А. Иванов, Д.В. Иванов, Н.Н. Михеева, М.И. Рябова // Нелинейный мир. – 2012. – Т. 10, № 10. – С. 678-686.

7. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967.

8. *Арманд, Н. А.* Коррекция дисперсионных искажений широкополосных сигналов / Н. А. Арманд, В. А. Иванов // Распространение радиоволн: сборник докладов XXI Всероссийской научной конференции. В 2-х т.: Т 1. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 457 с.

9. *Штейншлейгер, В. Б.* О разрешающей способности трансionoсферной РЛС с синтезированной апертурой для дистанционного зондирования Земли в УКВ-диапазоне волн / В. Б.Штейншлейгер, А.В. Дзенкевич, В. Ю. Минаков и др. // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т.42, № 6. – С. 725-732.

10. *Иванов, Д. В.* Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений: монография. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 268 с.

11. *Иванов, В.А.* Определение параметров частотной дисперсии по данным трансionoсферного зондирования / В.А. Иванов, Н.В. Рябова, М.И. Рябова, А.А. Кислицын // «Труды ПГТУ. Сер.: «Технологическая». – 2014. – Вып. 2. – С. 82-86.

12. *Иванов, В. А.* Влияние частотной дисперсии на распространение сигналов при трансionoсферном зондировании / В. А. Иванов, Н. В. Рябова, М. И. Рябова, А. А. Кислицын // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (ПТиТТ-2014). – Казань: Изд-во Казан. гос.техн.ун-та, 2014. – С.136-139.

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

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