

## **Исследование эффекта поляризации при NVIS распространении**

В.А. Иванов, Д.В. Иванов, М.И. Рябова

*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*

*Представлены результаты исследований влияния поляризационной интерференции на частотные и импульсные характеристики парциального радиоканала. На основе развитых методик синтеза ионограмм квазизенитного распространения проведены вычислительные эксперименты и получены результаты анализа вариаций точки пересечения ДХ магнитоионных компонент, определяющей область сильной поляризационной интерференции. Проведены исследования поляризационной полосы когерентности для различных средних частот радиоканала в зависимости от геофизических факторов.*

*The effect of the polarization interference for frequency and impulse responses partial radio. On the basis of the developed methods of synthesis ionograms. Computational experiments and obtained results of the analysis of variations of the point of intersection of dispersion characteristics magnitoionnyh component that defines the region of strong polarization interference. Researches polarization coherence bandwidth for different average radio frequency depending on geophysical factors.*

### **Введение.**

В последнее время интерес представляет проблема распространения широкополосных сигналов при больших углах падения их на ионосферу. Этот случай называют квазизенитным распространением (КЗР) [1, 2], КЗР обеспечивает радиосвязь в диапазоне дальностей 40-400 км. Ее практическая значимость состоит в независимости от рельефа земной поверхности, низкой стоимости, быстрой развертываемости системы, такая связь применяется службами по чрезвычайным ситуациям, медицины катастроф и военными. Для повышения эффективности работы этих систем требуется проведение комплексных исследований многомерного радиоканала КЗР [3-5], состоящего из упорядоченного множества парциальных каналов, имеющих равные полосы, но отличающихся средней частотой. Актуальность темы данных исследований определяется необходимостью для практики существенного расширения полосы используемых для ВЧ радиосвязи сигналов, а для фундаментальной науки - дальнейшего совершенствования экспериментальных радиофизических методов и средств диагностики ионосферы.

Проведенные ранее исследования [1, 2, 6] показали, что основными физическими эффектами, влияющими на искажения сигналов с расширенным спектром и характеристик парциальных радиоканалов при КЗР, являются поляризационная интерференция и частотная дисперсия [2, 7]. Поэтому в данной работе рассмотрены подходы и результаты исследования влияния на искажения этих эффектов.

**Цель работы:** исследование при квазизенитном зондировании ионосферы непрерывным ЛЧМ сигналом эффекта поляризационной интерференции и исследование вариаций поляризационной полосы когерентности для различных геофизических условий.

**Исследование поляризационной полосы когерентности в условиях пересечения дисперсионных характеристик магнитоионных компонент.** В рамках работы были синтезированы ионограммы квазизенитного распространения для случаев

однослойной ионосферы (ночные ионограммы) и с учетом подстилающего слоя (дневные ионограммы) для различных параметров ионосферы и протяженности трассы. Во всех случаях использовалась квазипараболическая модель слоя, критическая частота которого задается согласно формуле (1). Методики синтеза ионограмм подробно описаны в работе [3].

$$f_{0i}^2 = \frac{A_i}{r^2} + \frac{B_i}{r} + C_i \quad (1)$$

где  $A_i = \pm \frac{f_{ki}^2 r_{mi}^2 r_{bi}^2}{y_{mi}^2},$

$$B_i = \pm \frac{2f_{ki}^2 r_{mi} r_{bi}^2}{y_{mi}^2},$$

$$C_i = f_{kmi}^2 \mp \frac{f_{ki}^2 r_{bi}^2}{y_{mi}^2},$$

$r$  – геоцентрическое расстояние;

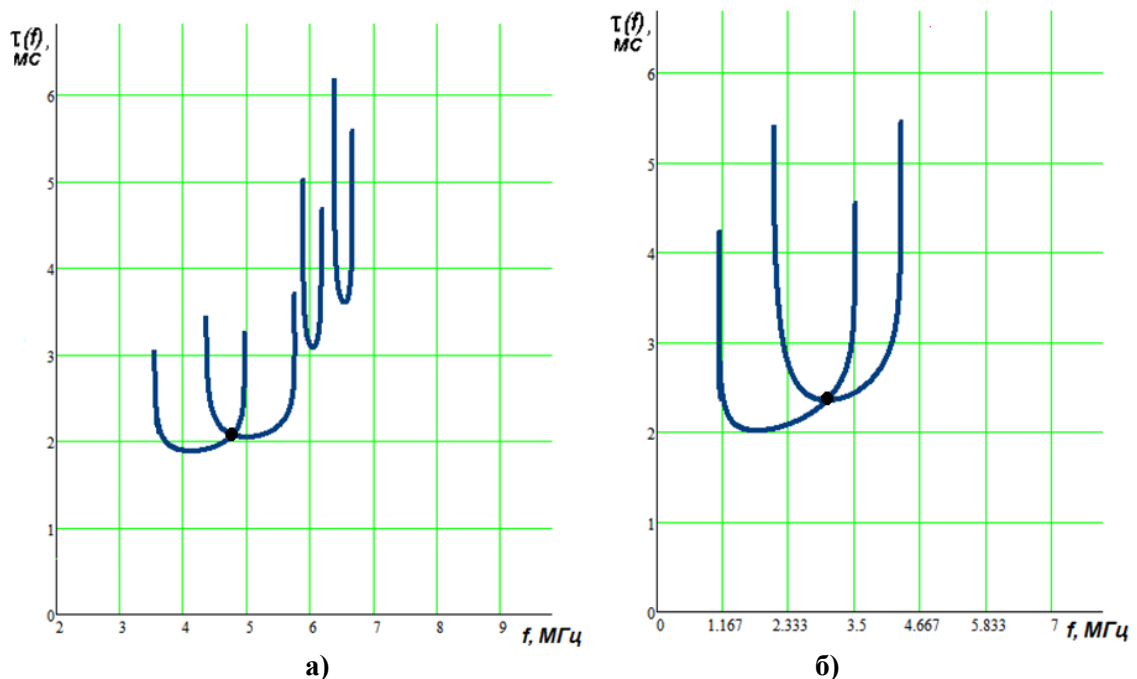
$r_m$  – значение  $r$  в максимуме слоя;

$r_b$  – значение  $r$  на нижней границе слоя;

$y_m$  – полутолщина слоя,

$f_k$  – критическая частота в максимуме слоя.

На рис.1. показаны примеры синтезированных ионограмм для трассы г. Йошкар-Ола – оз. Яльчик.



**Рис. 1. Синтезированные ионограммы для трассы г. Йошкар-Ола – оз. Яльчик: а) дневная ионограмма, б) ночная ионограммы**

Следует отметить наличие точек пересечения дисперсионных характеристик (ДХ) магнитоионных компонент. Вычислительные эксперименты позволили

проанализировать вариации точки пересечения, определяющей область сильной поляризационной интерференции, в зависимости от протяженности радиотрассы для четырех сезонов. Результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 2. Видно, что область сильной поляризационной интерференции испытывает сезонные вариации, имея наибольшие значения осенью и весной и наименьшие летом. Кроме того, увеличение протяженности трассы квазизенитного распространения приводит к увеличению абсциссы точки пересечения. При этом для радиолиний протяженностью до 500 км этот рост незначителен и составляет  $\approx 20\%$ .

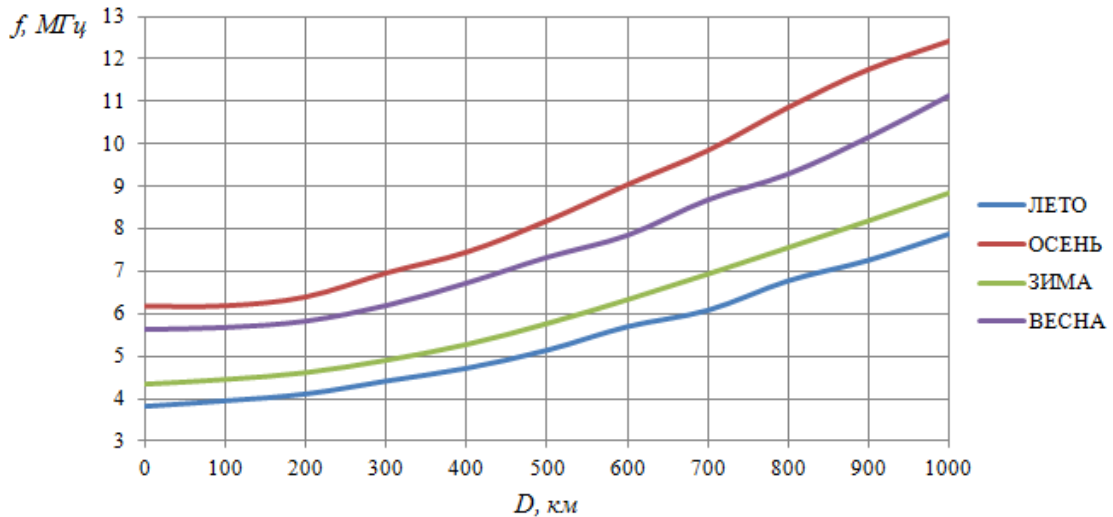


Рис. 2. Вариации точки пересечения ДХ магнитоионных компонент

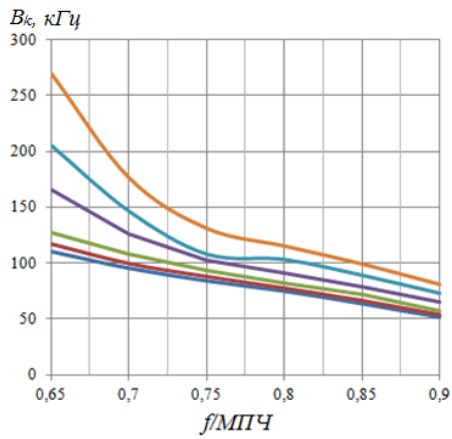
Известно, что полоса когерентности - это полоса частот, на границах которой набег нелинейной составляющей фазы частотной характеристики канала равен 1 рад, и предельная полоса частот сигнала ограничена величиной полосы когерентности  $B < B_k$ . В работе [4] показано, что изменение времени группового запаздывания в частотной области является одним из ограничивающих факторов когерентности широкополосных ВЧ радиоканалов.

$$B_k = \frac{2}{\sqrt{\pi |d\tau(f)/df|}}, \quad (2)$$

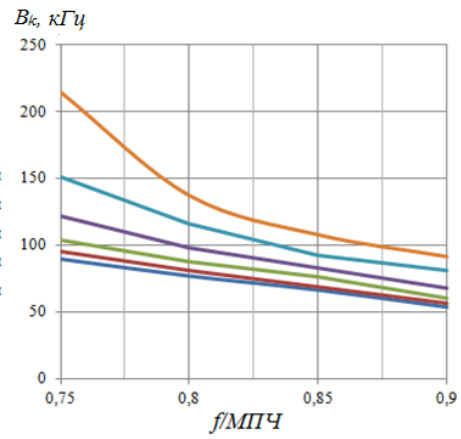
где  $\tau(f)$  - дисперсионная характеристика.

Использование полосы когерентности удобно по той причине, что она позволяет путем сравнения ее с полосой сигнала качественно оценить степень дисперсионных искажений. При этом можно утверждать, что если полоса сигнала меньше полосы когерентности, то его дисперсионные искажения будут незначительными.

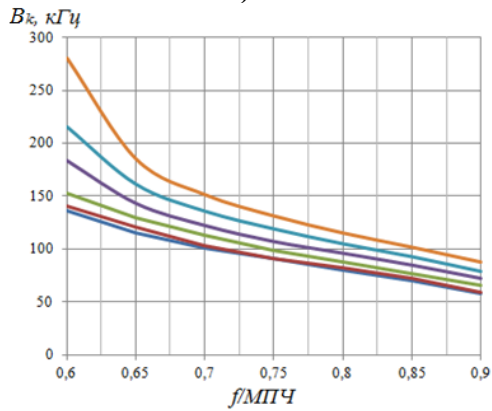
В рамках работы были проведены вычислительные эксперименты сезонных вариаций полосы когерентности для различных средних частот радиоканала в случаях исследования обыкновенной и необыкновенной компонент. На рис. 3 представлены результаты эксперимента.



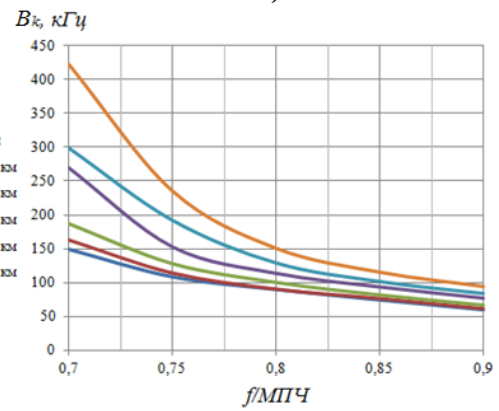
а)



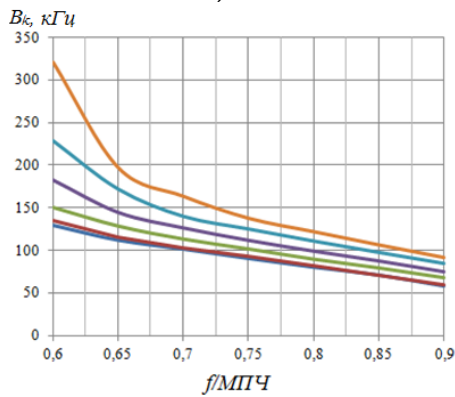
б)



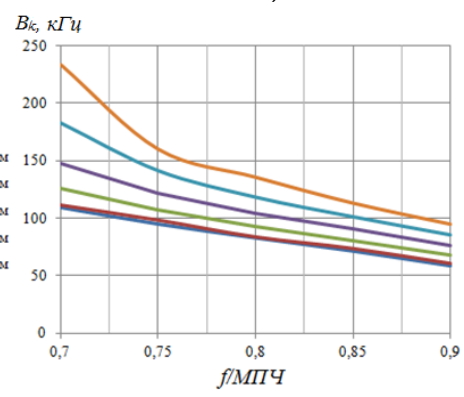
в)



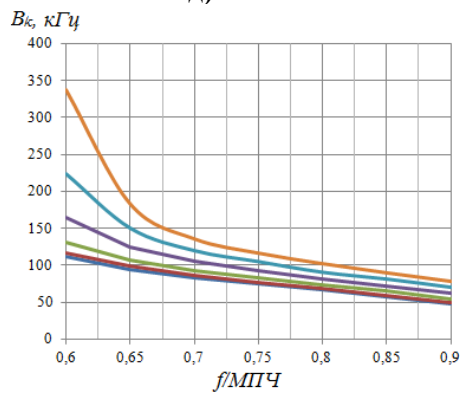
г)



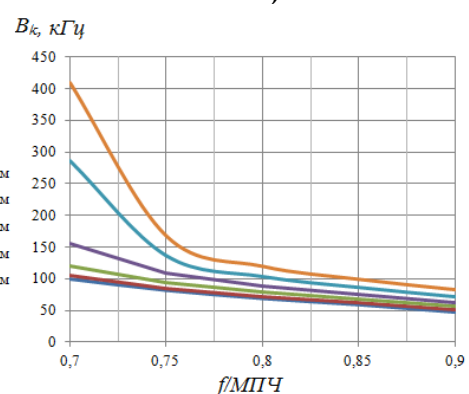
д)



е)



ж)



з)

Рис. 3. Результаты исследований полосы когерентности

Исследования показали, что полоса когерентности уменьшается в среднем на 200 кГц при изменении рабочей частоты от 0,6МПЧ до 0,7МПЧ в случае обыкновенной компоненты (см. рис.3 а, в, д, ж) и от 0,7МПЧ до 0,75МПЧ в случае необыкновенной компоненты (см. рис.3 б, г, е, з). Кроме того, увеличение протяженности радиолинии от 100 км до 500 км приводит к увеличению полосы когерентности в области частот от 0,6МПЧ до 0,75МПЧ. Наибольшие значения полосы когерентности наблюдаются летом и зимой от 350 кГц до 450 кГц, а наименьшие значения – весной и осенью  $\approx 50$  кГц.

**Выводы.** Представлены результаты исследований влияния поляризационной интерференции на частотные и импульсные характеристики парциального радиоканала. На основе развитых методик синтеза ионограмм квазизенитного распространения проведены вычислительные эксперименты и получены результаты анализа вариаций точки пересечения ДХ магнитоионных компонент, определяющей область сильной поляризационной интерференции. Проведены исследования поляризационной полосы когерентности для различных средних частот радиоканала в зависимости от геофизических факторов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 13-07-00371-а; 13-02-00524-а; 15-07-05280; 15-07-05294), госзадания Министерства образования и науки РФ (проекты 8.2697.2014/К, 3.2695.2014/К).*

### Литература

1. Subekti, A. A Study of NVIS For Communication in Emergency and Disaster Medicine / A. A. Subekti, K. Usman, F. Ohyama, H. Juzoji, I. Nakajima // Proc. APAMI &СJKMI-KOSMI Conference. - 2003. - P. 259-262.
2. Иванов, В.А. Особенности характеристик высокочастотных ионосферных радиолиний квазизенитного распространения / В.А. Иванов, Д.В. Иванов, М.И. Рябова, Е.В. Тимофеев // Электросвязь. - 2013. - № 5. - С. 45-48.
3. Иванов, В.А. Определение основных параметров многомерного коротковолнового радиоканала с использованием панорамного ионозонда / В.А. Иванов, Д.В. Иванов, Н.В. Рябова, А.Р. Лащевский, Р.Р. Бельгибаев, А.А. Елсуков, А.В. Мальцев, В.В. Павлов, М.И. Рябова, А.А. Чернов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. - 2011. - № 2. - С. 15-23.
4. Erukhimov, L.M. Pedersen mode ducting in a randomly stratified ionosphere / L.M. Erukhimov, V.P. Uryadov, Yu.N. Cherkashin, V.A. Eremenko, V.A. Ivanov, N.V. Ryabova, V.V. Shumaev // Waves in Random Media. - 1997. - № 4. - P. 531-544.
5. Иванов, Д.В. Оптимальные полосы частот сложных сигналов для декаметровых радиолиний / Д.В. Иванов // Радиотехника и электроника. - 2006. - Т. 51, № 4. - С. 389-396.
6. Иванов, В.А. Исследования особенностей дисперсионных характеристик радиоканалов с помощью ЛЧМ-ионозонда / В.А. Иванов, Д.В. Иванов, А.А. Колчев // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. - 2001. - Т. 44, № 3. - С. 241-254.
7. Boguta, N.M. Use of ionosondes in adaptive HF communication system / N.M. Boguta, V.A. Ivanov, Y.V. Noga, N.V. Ryabova, I.V. Ryabov, V.P. Uryadov, V.V. Shumaev // Радиотехника. - 1993. - Т. 4. - С. 77.
8. Иванов, В.А. Аппаратура частотного обеспечения в адаптивной системе КВ радиосвязи / В.А. Иванов, Н.В. Рябова, В.П. Урядов, В.В. Шумаев // Электросвязь. - 1995. - № 11. - С. 30.

9. Рябова, Н.В. Радиомониторинг и прогнозирование помехоустойчивых декаметровых радиоканалов / Рябова Н.В. // диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Йошкар-Ола, 2004
10. Крюковский, А.С. Моделирование лучевой и каустической структуры электромагнитных полей по данным радиотомографии ионосферы в окрестности экваториальной аномалии / А.С. Крюковский, Д.С. Лукин, Д.В. Растягаев // Электромагнитные волны и электронные системы. - 2010. - Т. 15, № 8. - С. 5-11.
11. Крюковский, А.С. Теория расчета эталонных фокальных и дифракционных электромагнитных полей на основе специальных функций волновых катастроф / А.С. Крюковский, Д.С. Лукин // Радиотехника и электроника. - 2003. - Т. 48, № 8. - С. 912-921.