

Стохастические дисперсионные искажения импульсных характеристик широкополосных высокочастотных радиоканалов

В.А. Иванов, Д.В. Иванов, Н.Н. Михеева, А.Н. Эпаев

Марийский государственный технический университет, Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3, miheevann@marstu.net

Развиты методы и математические модели характеристик широкополосных высокочастотных радиоканалов и исследовано влияние на них стохастических дисперсионных искажений. Показано, что при нормальном законе распределения стохастической дисперсии с нулевым средним радиоканал разрушается и не поддается коррекции, когда СКО закона превышает 75 мкс.

Methods and mathematical models of high-frequency wideband radio channels characteristics are developed and influence on stochastic dispersive distortions are investigated. It is shown that at the normal law of distribution the stochastic dispersion with a zero average the radio channel collapses and doesn't give in to correction when average quadratic deviation exceeds 75 μ s.

В настоящее время в связи с достижениями радиоэлектроники создались технические возможности для реализации коррекции дисперсионных искажений в широкополосных высокочастотных радиоканалах и тем самым существенного увеличения полосы неискаженной передачи. Однако, аппаратная реализация появившихся в последнее время возможностей затрудняется из-за нерешенности ряда научных проблем. К ним, в частности, относится не развитость радиофизических методов и математических моделей для исследования нерегулярных стохастических дисперсионных искажений. Необходимы данные о влиянии на коррекцию таких факторов как неоднородность и изменчивость дисперсности среды распространения.

Цель работы состоит в развитии методов и математических моделей для исследования характеристик широкополосных высокочастотных радиоканалов, и влияния на них стохастических дисперсионных искажений.

1. Влияние регулярной и стохастической дисперсии на частотную характеристику радиоканала.

Рассмотрим частотную характеристику (ЧХ) линии связи, которую в общем случае можно представить в виде:

$$H(\bar{f}, f, T) = H_0(\bar{f}, f, T) \exp[-i\varphi(\bar{f}, f, T)]. \quad (1)$$

Нелинейная зависимость фазо-частотной характеристики (ФЧХ) от частоты приводит фазовой, а зависимость амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) от частоты – амплитудной дисперсии линии связи.

Для исследования изменения данной характеристики при изменении частоты и особенно изменения ее фазового сомножителя вводим, помимо ФЧХ, функцию:

$$\tau_j(\bar{f}, f, T) = \frac{1}{2\pi} d\varphi_j / df, \quad (2)$$

которую назовем дисперсионной характеристикой (ДХ) тракта распространения.

В натурных исследованиях на наземных радиолиниях ДХ различных трактов можно оценить по ионограммам линии связи, которые представляют собой следы на плоскости групповое запаздывание - частота. Пример ионограммы наземной радиолинии Иркутск – Йошкар-Ола представлен на рис. 1. Видно, что в условиях слабо возмущенной ионосферы следы можно заменить линиями, являющиеся по сути искомыми дисперсионными характеристиками. Кроме того, эти линии можно с некоторой степенью точности задать аналитически в виде многочленов от частоты.

Пусть ДХ тракта распространения можно представить в виде полинома $P_n(f)$ степени n :

$$\tau_j(\bar{f}, f, T) = P_{nj}(f) = \sum_{k=1}^n \alpha_k f^k. \quad (3)$$

Из (3) интегрированием нетрудно получить полиномиальную модель ФЧХ тракта:

$$\varphi_j(\bar{f}, f, T) = \varphi_j(f_o) + \sum_{k=1}^n \frac{\alpha_k}{k+1} \cdot f^{k+1}. \quad (4)$$

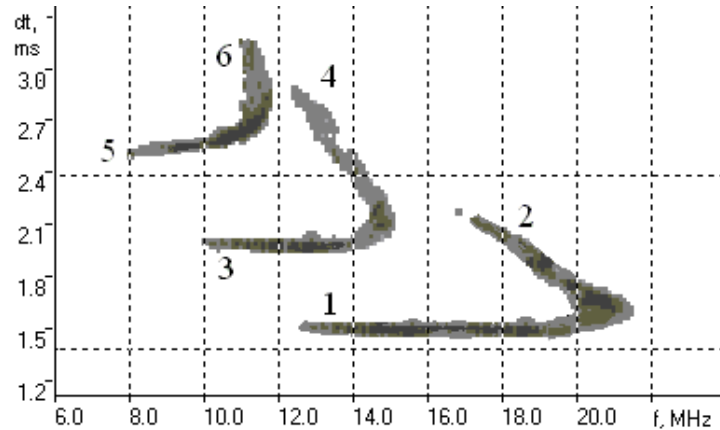


Рис. 1. Ионограмма радиолинии Иркутск – Йошкар-Ола, 29.09.2005 14:40 LT (след 1 – ДХ тракта с входом $1F2$, след 2 – тракта с входом $1F2_p$, след 3 – тракта $2F2$, след 4 – тракта $2F2_p$, след 5 – тракта $3F2$, след 6 – тракта $3F2_p$)

Импульсная характеристика (ИХ) радиоканала в условиях только регулярной дисперсии имеет вид:

$$h_j(\bar{f}, \tau, T) = h_{pj}(\bar{f}, \tau, T) + \int_{f_p}^{f_p+\Delta f} H_{0j}(f) \cdot \varphi_H(f) \cdot \exp(-i(\varphi_p(f) - \pi/2)) \exp(2\pi i f \tau) df \quad (5)$$

Натурные эксперименты показывают, что дисперсионные искажения имеют стохастический вид, когда наряду с «зеркальным» отражением сигнала в среде имеет место также его рассеяние на случайных неоднородностях. При этом «диффузные» моды не разрешаются по быстрому времени и интерферируют, т.е. ЧХ является результатом интерференции случайных колебаний. Пусть средняя интерференционная полоса когерентности для «диффузных» мод превышает полосу канала, тогда случайные замирания ЧХ в полосе пропускания будут носить общий характер, а ЧХ отдельной моды можно представить в виде:

$$H_j(\bar{f}_k, F, T) = \mu_j(\bar{f}_k, T) \cdot H_{rj}(\bar{f}_k, F), \quad (6)$$

где $\mu_j(T)$ – случайный в медленном времени процесс, $H_r(\bar{f}_k, F)$ – детерминированный сомножитель ЧХ, а $F = f - \bar{f}$.

Нетрудно показать, что в этом приближении ИХ будет иметь вид:

$$h_j(\bar{f}_k, \tau, T) = \mu_j(\bar{f}_k, T) \cdot h_{rj}(\bar{f}_k, T, \tau), \quad (7)$$

где $h_{rj}(\bar{f}_k, T, \tau)$ - детерминированная ИХ.

Таким образом, в случае присутствия «диффузных» мод ЧХ и ИХ являются стохастическими функциями медленного времени.

2. Результаты вычислительного эксперимента по исследованию влияния на ИХ стохастической дисперсии

Вычислительный эксперимент проводился для радиотрассы Кипр-Йошкар-Ола протяженностью 2363 для периодов: зима (22 декабря), весна (22 марта), лето (22 июня) и осень (23 сентября). Рассматривалась полоса частот шириной 1 МГц вблизи 0.5МГц, 0.7МГц и 0.9МГц.

Был проведен анализ импульсной характеристики (ИХ) радиоканала на основе регулярной и нерегулярной дисперсионной характеристики (ДХ) радиоканала. ДХ рассматривалась в виде суммы детерминированной и случайной компонент:

$$\tau_H(f) = \bar{\tau}(f) + \tau_s(f). \quad (8)$$

Детерминированная (регулярной) ДХ $\bar{\tau}(f)$ строилась с использованием модели профиля электронной концентрации ионосферы в виде двух параболических слоев (E и F), параметры которых вычислялись по данным модели IRI. На выбранной полосе частот регулярная ДХ аппроксимировалась линейной функцией. Стохастическая (случайная) составляющая ДХ $\tau_s(f)$ задавалась в виде нормального случайного процесса с параметрами: $\langle \tau_s \rangle = 0$ и $\langle \tau_s^2 \rangle = \sigma_\tau^2 > 0$.

В вычислительном эксперименте исследовался вид ИХ в случае регулярной ДХ и зависимость высоты пика или пьедестала на ИХ от величины параметра σ_τ случайной ДХ.

При анализе ИХ для регулярной ДХ было установлено, что для всех рассматриваемых случаев ИХ имеет вид пика на полосе вблизи 0.5МГц. Для частот вблизи 0.7МГц и 0.9МГц прямоугольный пьедестал на ИХ наблюдается в вечерние и ночные часы, пик – в остальное время суток. Высота пьедестала ИХ в течение суток варьируется в пределах 12-42 Дб. В таблице 1 представлены интервалы изменения высоты пьедестала для рассматриваемых случаев.

Таблица 1. Интервалы изменения высоты пьедестала импульсной характеристики для регулярной дисперсионной характеристики радиоканала

	0,5 МГц	0,7 МГц	0,9 МГц
весна	19,5 – 30,4 Дб	19,1 – 26,0 Дб	18,8 – 26,6 Дб
лето	16,2 – 30,1 Дб	12,5 – 27,1 Дб	12,5 – 20,9 Дб
осень	24,7 – 29,5 Дб	21,4 – 41,4 Дб	18,3 – 40,9 Дб
зима	19,4 – 37,1 Дб	14,1 – 27,5 Дб	16,0 – 33,2 Дб

Стохастическая составляющая ДХ приводила к образованию шумового пьедестала на ИХ, причем его уровень зависел от величины параметра σ_τ . Чем больше была его величина, тем выше был уровень шумового пьедестала (рис. 2).

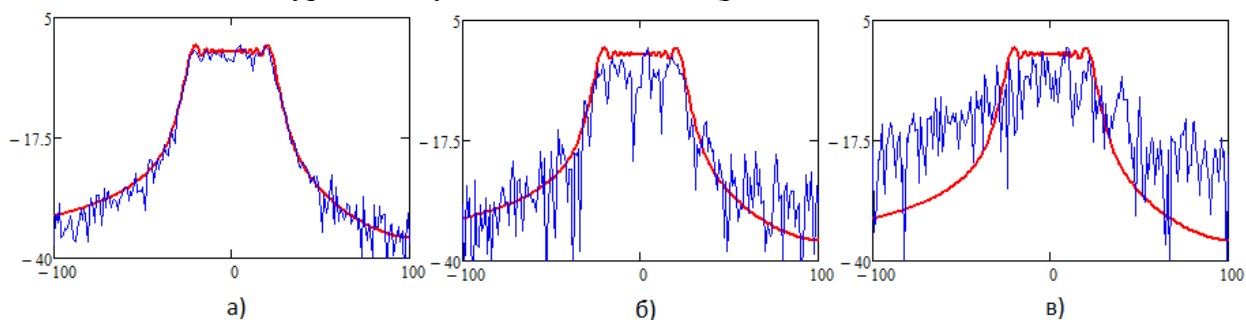


Рис. 2. Зависимость уровня шумового пьедестала на ИХ от величины параметра σ_τ (красная линия – ИХ для регулярной ДХ, синяя линия – ИХ для нерегулярной ДХ; а) $\sigma_\tau = 5$, б) $\sigma_\tau = 25$, в) $\sigma_\tau = 75$)

В вычислительном эксперименте проводился анализ ИХ для значений параметра σ_τ от 5 до 100 мкс с шагом 5 мкс. В ходе вычислительного эксперимента установлено, что пьедестал ИХ становится практически неразличимым при $\sigma_\tau \geq 75$

На рис. 3 представлена зависимость высоты пьедестала ИХ от σ_τ , полученная для весеннего периода. Вертикальные отрезки отображают разброс экспериментальных данных (от минимального значения до максимального) для различных средних частот канала распространения с полосой частот 1МГц.

На рис. 4 проиллюстрированы результаты исследования по сезонам. Во всех случаях высота пьедестала ИХ уменьшается с увеличением параметра σ_τ . Видно, что значения высоты пьедестала ИХ для осеннего периода больше соответствующих значений для других периодов, для весеннего – меньше.

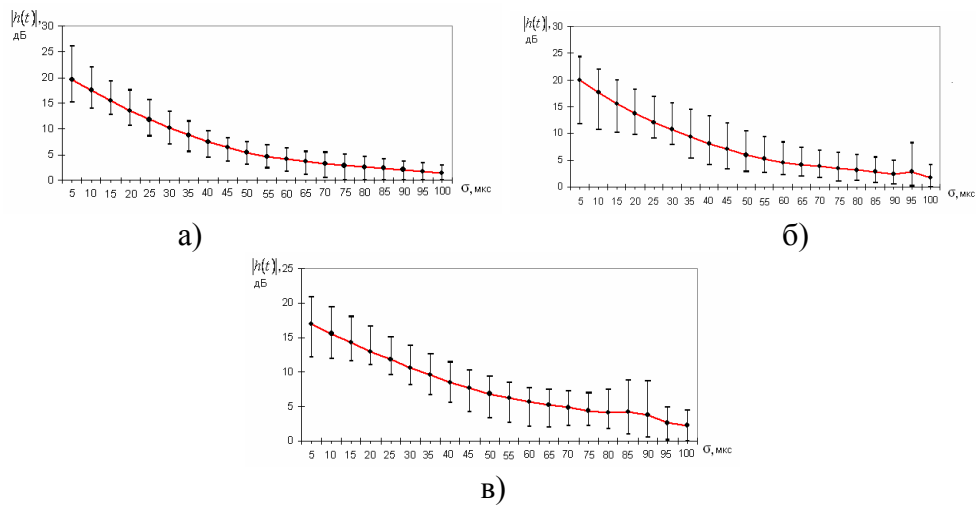


Рис. 3. Зависимость высоты пьедестала ИХ от σ_τ (а – для полосы частот канала 1 МГц со средней частотой: 0,5МГц, б – 0,7МГц, в – 0,9МГц) (весна)

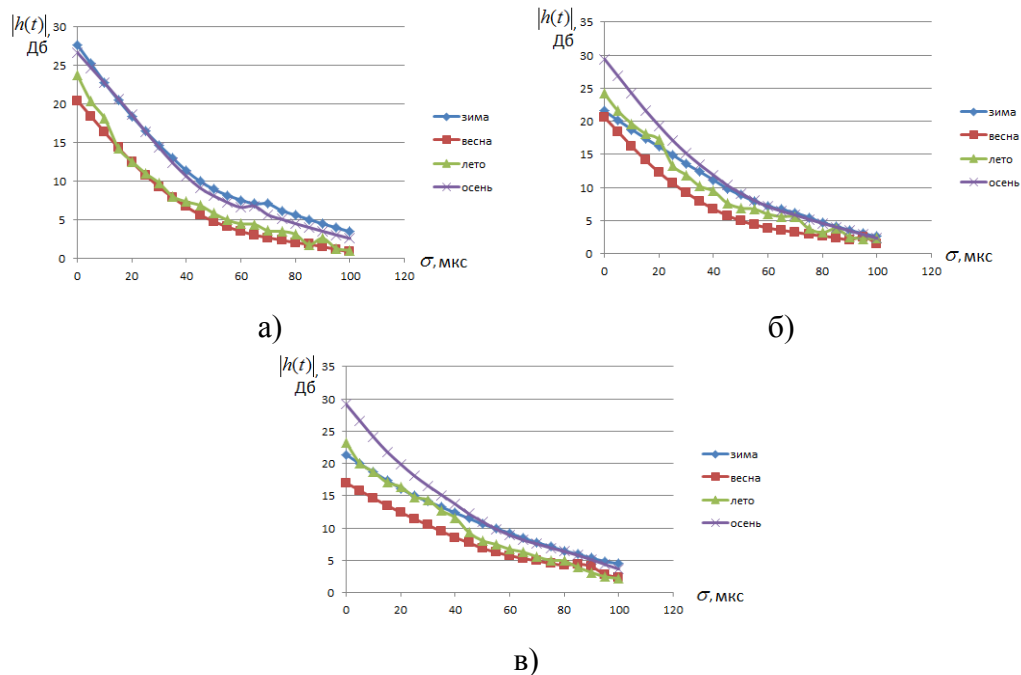


Рис. 4. Зависимость высоты пьедестала ИХ от σ_τ по сезонам (а – для полосы частот канала 1МГц со средней частотой: 0,5МГц, б – 0,7МГц, в – 0,9МГц)

Выводы

Развиты методы и математические модели характеристик широкополосных высокочастотных радиоканалов и исследовано влияние на них стохастических дисперсионных искажений. В результате вычислительного эксперимента установлено, что в случае стохастической дисперсии при ее нормальном законе распределения с нулевым первым моментом радиоканал разрушается и не поддается коррекции при значениях СКО закона распределения более 75 мкс.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: проекты № 10-02-00620; 10-07-00466-а; 11-07-00420-а; ФЦП: ГК № 14.740.11.1147, № 14.740.11.1209; №14.740.11.1436; АВЦП: № 8.2523.2011, № 8.2448.2011, № 8.2559.2011.

Список литературы

1. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970.
2. Gherm, V.E. Scattering function of the fluctuating ionosphere in the HF band / V.E.Gherm, N.N.Zernov // Radio Science. -1998. - V. 33. –P.1019-1033.
3. Иванов, В.А. Канальные параметры рассеяния для среднеширотной ионосферы / В.А. Иванов, Е.В. Катков, М.И. Рябова, А.А. Чернов // Вестник МарГТУ. –Йошкар-Ола. - 2011. - Т.13 - №3. - С. 93-101.
4. Иванов, Д.В. Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений / Д.В. Иванов – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 266 с.
5. Revision of part 15 of commission`s rules regarding ultra-wideband transmission systems. First report and order/ FCC 02-48 – Federal Communications, 2002.
6. Иванов, Д.В. Исследования особенностей дисперсионных характеристик радиоканалов с помощью ЛЧМ - ионозонда радиоканалов / Д.В. Иванов, В.А. Иванов, А.А. Колчев //Изв. вузов. Радиофизика. – 2001. – Т. XLIV, № 3. – С.241-253.
7. Salous, S. Dispersion of chirp pulses by the ionosphere / S. Salous // J. Atmos. Terr. Phys. - 1994, - V. 56. - № 8. - P. 979-994.
8. Salous, S. Weighted spectral width of ionospherically dispersed chirp pulses / S. Salous //HF radio systems and techniques. IEEE. - 1994. - №.392. - P. 114-117.