

УДК 621.371:551.510

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОСФЕРНЫХ РАДИОКАНАЛОВ

В.А. Иванов, И.Е. Царев, М.И. Рябова

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SOLAR ACTIVITY INFLUENCE ON TIME CHARACTERISTICS OF IONOSPHERIC RADIO CHANNELS

V.A. Ivanov, I.E. Tsarev, M.I. Ryabova

Представлен каналный зонд для мониторинга узкополосных декаметровых радиоканалов с использованием сложных ЛЧМ-сигналов, позволяющий на основе разработанных методик и алгоритмов оценивать основные параметры функции рассеяния в каналах с полосой 3.1кГц в режиме реального времени. Произведена оценка величин группового уширения сигнала, отношения сигнал/шум, эффективность использования модемов на разных частотах при различных условиях солнечной активности.

The HF FMCW channel sounder is presented. The system based on developed methods and algorithms allow us to measure basic parameters of scattering function in 3 kHz HF channels in real time mode. The multipath spread values, SNR of signal on different frequencies at different solar activity conditions has been investigated.

Введение

Надежность и помехоустойчивость декаметровых радиотехнических систем во многом определяется состоянием ионосферы Земли. Ионосфера нестабильна, ее структура меняется в зависимости от времени года, времени суток и уровня солнечной активности. В этих условиях для исследования солнечно-земных связей и решения задач повышения надежности дальней радиосвязи остается актуальным развитие методов зондирования ионосферных радиоканалов.

Цель работы

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса для мониторинга узкополосных декаметровых радиоканалов с использованием сложных ЛЧМ-сигналов, позволяющего на основе разработанных методик и алгоритмов оценивать основные параметры функции рассеяния для КВ-радиоканалов, при различной солнечной активности.

Канальный зонд

Разрабатывается каналный зонд, основная задача которого – оценка функции рассеяния КВ-радиоканала на основе измерения его основных параметров при зондировании сигналами с различной частотно-временной структурой. Структурная схема разрабатываемого каналного зонда представлена на рис. 1. Зондирование производится в полосе частот телефонного канала 3.1кГц. Рабочая частота каналов меняется по расписанию. Для измерений уширения и отношения сигнал/шум (S/N) используется одноэлементный ЛЧМ-сигнал со сжатием во временной области. Для измерения уширения по частоте, по времени запаздывания группового сигнала и S/N используется многоэлементный ЛЧМ-сигнал со сжатием в частотной области.

Можно показать, что сигнал на выходе системы сжатия в частотной области будет иметь вид [1]:

$$|S(f)| = \frac{1}{2\pi} \left| \sum_{i=1}^n |H_{0i}| \exp \left[j2\pi \left(\frac{\dot{f} \tau_i^2}{2} - F_{дi} t_0 \right) \right] \right| \times \frac{e^{-j2\pi(f+F_{дi}-\dot{f}\tau_i)T_e} - 1}{-j2\pi(f+F_{дi}-\dot{f}\tau_i)} \times \frac{\sin[NT_3\pi(f+F_{дi})]}{\sin[\pi T_3(f+F_{дi})]} e^{-j\pi T_3(N-1)(f+F_{дi})}, \quad (1)$$

где f – скорость перестройки ЛЧМ-сигнала, N – количество ЛЧМ-элементов в сигнале, T_3 – длительность элемента сигнала, H_{0i} – модуль передаточной функции отдельного луча, $F_{дi}$ – доплеровское смещение частоты при распространении по i -ому лучу, τ_i – время группового запаздывания по этому лучу, n – число принимаемых лучей. Спектр сжатого сигнала разбивается на ячейки разрешения по дальности равные $1/T_3$, каждая ячейка является одномерным массивом значений амплитуд отсчетов спектра в данной ячейке. Далее строится трехмерный график-функция рассеяния радиоканала, где по оси X – отложена величина группового запаздывания, по оси Y – величина доплеровского сдвига, а по оси Z – величина амплитуды спектра. Далее производится выделение полезного сигнала из шума для определения основных характеристик КВ-радиоканала.

Смешанное моделирование работы каналного зонда

Исследования проводились для трасс Кипр–Йошкар-Ола и Иркутск–Йошкар-Ола. Исходные данные для численной модели определялись по ионограммам наклонного зондирования из банка данных МарГТУ за сентябрь 1997–2005гг. [1]. Ионограммы выбирались таким образом, чтобы они соответствовали дням с разными индексами солнечной активности (число Вольфа W). По выбранным ионограммам определялись величины уширения группового запаздывания, уровня сигнала, уровня шума для разных моделей многолучевости: на частотах 0.9 МПЧ – верхний

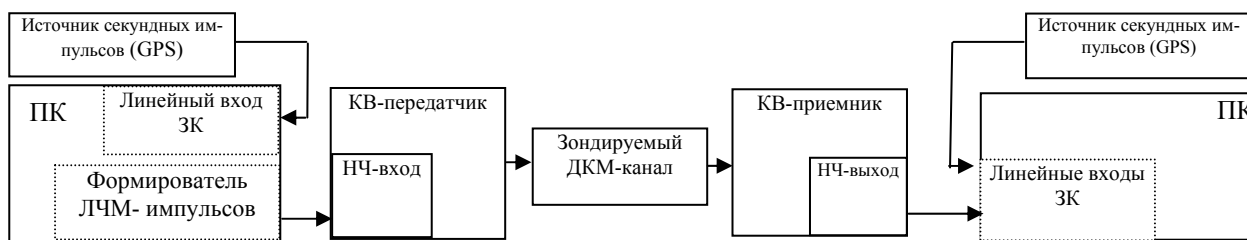


Рис. 1 Структурная схема системы канального зондирования.

и нижний лучи моды 1F2; 0.75МПЧ – нижние лучи мод 1F2 и 2F2; 0.55МПЧ – нижние лучи мод 1F2, 2F2 и 3F2. На рис. 2 изображены зависимости уширения сигнала по времени группового запаздывания (рис. 2, а и 2, б), отношения сигнал/шум (рис. 2, в и 2, г) на различных частотах от уровня солнечной активности W для различных трасс. Из рис. 2 видно, что для трассы Кипр–Йошкар–Ола при изменении W с 14 до 140 уширение по времени группового запаздывания увеличивается на 0.15 мс на частоте 0.9МПЧ; на 0.2 мс для частоты 0.55МПЧ; для частоты 0.75МПЧ такой зависимости практически нет. Для трассы Иркутск–Йошкар–Ола на частоте 0.9МПЧ значение Δt увеличилось на 0.2 мс, при этом прохождение сигнала на частотах 0.75МПЧ не наблюдалось в исследуемые дни. Из рис. 2 также видно, что значение отношения S/N для разных трасс практически не зависит от уровня солнечной активности.

Проведено имитационное моделирование работы канального зонда на базе лицензированного пакета прикладных программ SystemView [4]. Структурная схема изображена на рис. 3. Зондирующий ЛЧМ-сигнал (блок 2) перемножается с сигналом гетеродина (блоки 14, 13), далее усиливается и выделяется (блоки 25, 15) суммарная результирующая частота, которая является частотой выбранного канала. Далее происходит задержка сигнала на время, соответствующее времени распространения в радиоканале (блок 32). После этого моделируется многолучевое распространение сигнала в ионосфере с учетом времени запаздывания и доплеровского смещения частоты каждой моды (блоки 43, 44, 16, 17, 37, 39, 38, 40, 45). После этого сигнал смешивается с шумом (блок 45, 48).

После двойного преобразования частоты (18, 19 и 22, 21), выделения и усиления разностных сигналов (30, 33 и 31, 34) низкочастотный ЛЧМ-сигнал, состоящий из дискретных по времени отсчетов, поступает на вход программы обработки зондирующего сигнала, где происходит сжатие в частотной области, после чего строится функция рассеяния. Пример функции рассеяния для модели многолучевости сигнала 0.55МПЧ трассы Кипр–Йошкар–Ола и $W=120$ представлен на рис. 4.

По функциям рассеяния определялись канальные параметры сигнала, которые затем использовались для расчета эффективности модемов систем связи. По методике, описанной в [2], отношение сигнал/шум системы зондирования пересчитывалось на отношение сигнал/шум для системы связи при условии одинаковой мощности передачи обеих систем:

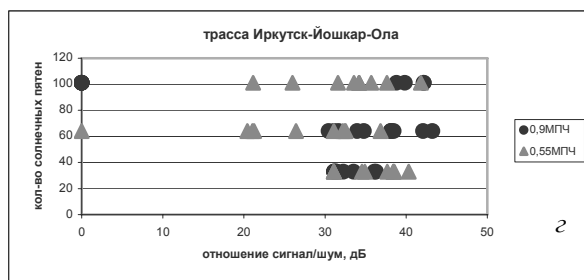
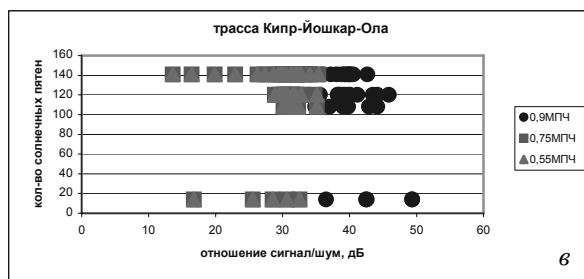
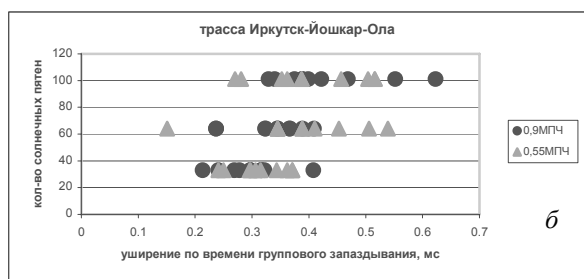
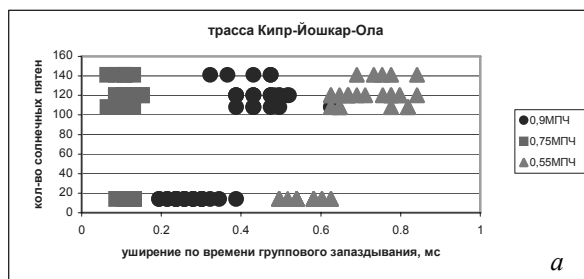


Рис. 2. Зависимости уширения времени группового запаздывания и отношения сигнал/шум от уровня солнечной активности для трасс Кипр–Йошкар–Ола и Иркутск–Йошкар–Ола.

$$\eta_{св} = \eta_3 - 10 \lg \left(\frac{\Delta f_{св}}{\delta F} \right),$$

где $\eta_{св}$ – отношение сигнал/шум системы связи, η_3 – отношение сигнал/шум системы зондирования,

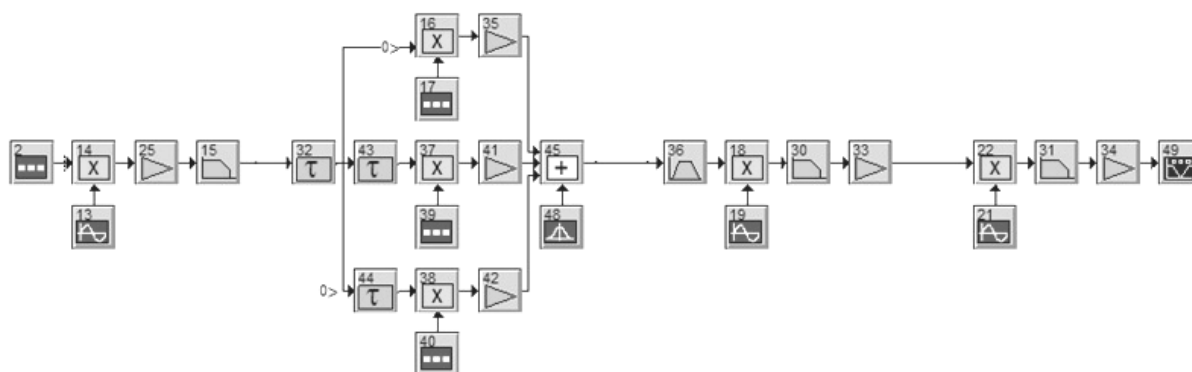


Рис. 3. Структурная схема моделирования ДКМ радиоканала.

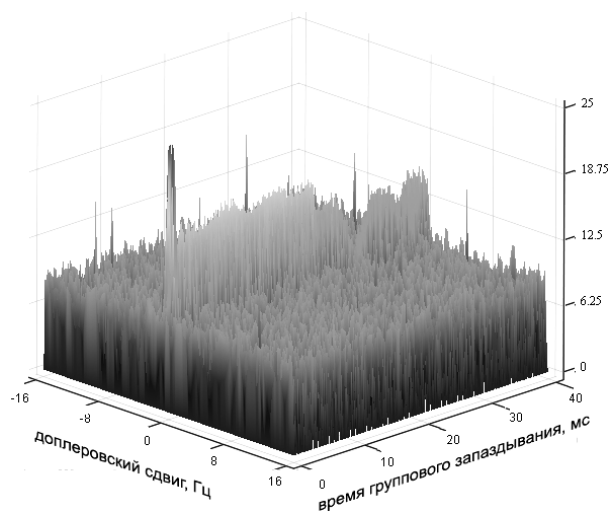


Рис. 4. Спектр сжатого многомодового сигнала, представленного в виде функции рассеяния.

$\Delta f_{св}$ – полоса системы связи, δF – разрешающая способность системы зондирования. При условии однополосной передачи, ширине полосы $\Delta f_{св} = 3.1$ кГц и $\delta F = 32$ Гц, отношение сигнал/шум для системы связи будет на 19.8 дБ меньше, чем для ЛЧМ-ионозонда. Таким образом, зная характеристики сигнала на выходе системы связи, можно оценить эффективность модемов при связи на различных скоростях.

Оценка эффективности использования модемов производилась на основе характеристических поверхностей производительности PSK модемов, описанных в [3]. Экспериментально установлено, что для различных уровней солнечной активности уширение времени группового запаздывания (рис. 2) не превышает 1 мс, а величина доплеровского сдвига для средних широт по рекомендациям ИТУ [3] не больше 1 Гц. Затем по характеристическим поверхностям выбирались пороговые значения отношения сигнал/шум для различных скоростей связи, при которых битовая ошибка при передаче данных не превышала 10^{-3} . Получено, что при применении модемов со скоростью передачи информации 2400, 1200 и 300 бит/с пороговые значения отношений сигнал/шум составили 14, 6, и 1 дБ соответственно. Далее вычислялась эффективность использования модема на различных скоростях (рис. 5).

По полученным результатам видно (рис. 5), что наибольшая эффективность использования

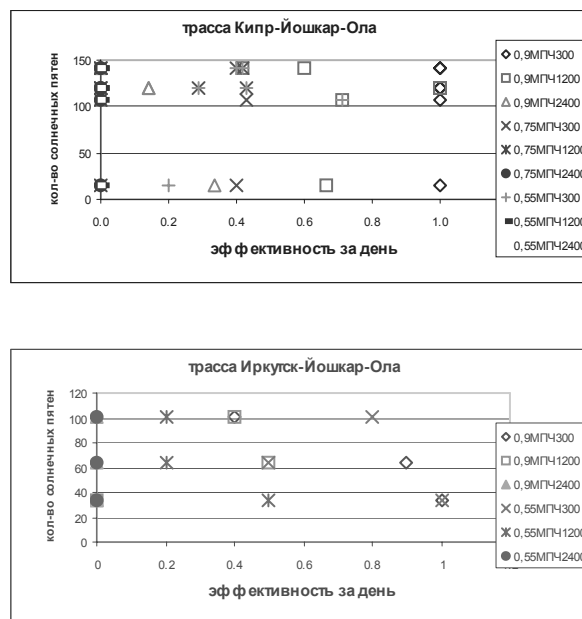


Рис. 5. Зависимость эффективности использования PSK модемов от уровня солнечной активности.

модемов приходится на частоты 0.9 МПЧ, при скорости связи 300 бит/с, при этом для явной зависимости эффективности использования модемов на различных скоростях от уровня солнечной активности не наблюдается.

Выводы

Представлен каналный зонд, предназначенный для мониторинга узкополосных КВ-радиоканалов с использованием сложных ЛЧМ-сигналов, позволяющий оценивать уширение времени группового запаздывания, доплеровское уширение и отношение сигнал/шум в каналах с полосой 3.1 кГц. Разработанный комплекс на основе предложенной методики позволяет оценивать эффективность работы модемов систем связи на различных скоростях передачи данных. В работе были исследованы величины группового уширения сигнала на разных частотах при различных условиях солнечной активности. Показано, что значение Δt для исследуемых трасс зависит от уровня солнечной активности и с ростом W от 14 до 140 увеличивается на 1.5–0.2 мс для частот 0.9 МПЧ и 0.55 МПЧ, а значение S/N не изменяется в значительных пределах. Установлено, что наиболее

эффективной является связь на 0.9МГц на скорости 300 бит/с, передача данных на больших скоростях возможна при увеличении S/N, что может быть достигнуто увеличением мощности передатчика системы связи.

Работа выполнена при поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (5251Р/7648), РФФИ (проекты 06-02-16089; 06-02-08059; 05-07-90313, 07-05-12047).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационно-аналитическая система для исследования ионосферы и каналов декаметровый радиосвязи: / Егшин А.Б., Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 323 с.
2. Рябова Н.В. Диагностика и имитационное моделирование помехоустойчивых декаметровых радиоканалов Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 292 с.
3. Recommendation ITU-R F.1487, "Testing of HF Modems with Bandwidths of up to about 12 kHz using ionospheric Channel Simulators", (Question ITU-R 213/9)
4. Разевиг В.Д., Лаврентьев Г.В., Златин И.Л. SystemView – средство системного проектирования радиоэлектронных устройств / Под ред. В.Д. Разевига. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 352 с.

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл.