

Д.В. КОТОВ, к.ф.-м.н., н.с., Институт ионосферы, Харьков;
А.В. БОГОМАЗ, н.с., Институт ионосферы, Харьков;
А.И. ЛЯЛЮК, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков;
Д.А. ИСКРА, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

О ВЛИЯНИИ ОГИБАЮЩЕЙ ИЗЛУЧАЕМОГО РАДИОИМПУЛЬСА НА ОЦЕНКИ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Рассмотрено влияние формы огибающей зондирующего импульса на результаты решения обратной задачи радиофизики (оценка параметров ионосферной плазмы с помощью метода некогерентного рассеяния). Показано, что использование измеренной по разработанному алгоритму огибающей зондирующего радиоимпульса привело к существенному улучшению результатов решения обратной задачи радиофизики. Устранены систематические погрешности оценивания параметров ионосферы, которые возникали вследствие неучёта реальной формы огибающей импульса.

Ключевые слова: радар некогерентного рассеяния, функция неопределённости, огибающая импульса.

Введение. Постановка задачи. Сигнал, поступающий на систему обработки радара некогерентного рассеяния (НР), представляет собой сложную суперпозицию сигналов, рассеянных различными областями ионосферной плазмы. Это связано как с физическими особенностями процесса НР [1, 2], так и с инерционностью фильтра радиоприёмного устройства радара [3]. Корректное решение обратной задачи радиофизики (получение характеристик рассеивающей среды, таких как температуры ионов T_i и электронов T_e , по измеренному спектру НР сигнала) возможно лишь при условии использования адекватной модели измерительных преобразований. Такой моделью является двумерная функция неопределённости (ДФН) автокорреляционной функции (АКФ) НР сигнала [4, 5]:

$$A_{t-t'}(\tau, r) = \int_{-\infty}^{\infty} dv A_t(v, r) \overline{A_{t'}(v - \tau, r)}$$

Здесь $A_t(\tau, r) = g(t - \tau)P(\tau - 2r/c)$, g – импульсная характеристика радиоприёмного устройства радара, P – огибающая зондирующего радиоимпульса, τ – время задержки, r – расстояние до области рассеяния.

Как видно, для расчёта ДФН необходимо знать импульсную характеристику радиоприёмного устройства радара НР и огибающую радиоимпульса, излучаемого в ионосферу. На современном этапе получение

© Д. В. Котов, А. В. Богомаз, А. И. Лялюк, Д. А. Искра, 2014

импульсной характеристики радиоприёмного устройства с высокой точностью не вызывает трудностей.

Сложнее обстоит дело с определением характеристик огибающей радиоимпульса. Импульсная мощность передатчика харьковского радара НР составляет около 2 МВт [6]. При этом прямое измерение огибающей сигнала на выходе передатчика не представляется возможным и не является целесообразным, поскольку в реальных условиях имеют место дополнительные искажения, возникающие при прохождении мощного радиосигнала сквозь фидерный тракт и антенную систему. Использование направленных ответвителей также вносит дополнительные погрешности.

В связи с отмеченными обстоятельствами, до последнего времени при расчёте ДФН использовалось приближение идеально прямоугольной огибающей зондирующего радиоимпульса.

Цель настоящей статьи состоит в представлении результатов измерений огибающей мощного радиоимпульса, используемого для зондирования ионосферы на харьковском радаре НР, а также в оценивании степени влияния огибающей такого импульса на искомые оценки плазменных температур.

Методика измерения огибающей мощного зондирующего радиоимпульса. Результаты. Измерения проводились с помощью выносной антенны типа «волновой канал» по боковому лепестку диаграммы направленности антенны НДА-100. После приёма сигнала производилось его детектирование, что позволило выделить огибающую радиоимпульса. Запись продетектированного сигнала осуществлялась с помощью модуля аналого-цифрового преобразования (АЦП) Е20-10. Используемое программное обеспечение позволило оцифровать сигнал с шагом 1 мкс, что дало возможность отследить все особенности изменения огибающей. Синхронизация модуля АЦП производилась при помощи импульса запуска передатчика.

Подобная методика измерения огибающей позволила избежать упомянутых выше проблем и получить форму огибающей сигнала, излучаемого в ионосферу, т.е. с учётом искажений, вносимых фидерным трактом и антенной системой.

Результаты измерений представлены на рис. 1. Хорошо видно, что реальная форма огибающей отличается от прямоугольной, особенно в области переднего фронта импульса.

Результаты использования измеренной огибающей зондирующего импульса. Примеры рассчитанных высотных зависимостей плазменных температур представлен на рис. 2.

Видно, что применение более адекватной модели измерительных преобразований (ДФН АКФ НР сигнала рассчитана с использованием измеренной огибающей), привело к заметному изменению значений T_i и T_e как в ночное время, так и в дневные часы.

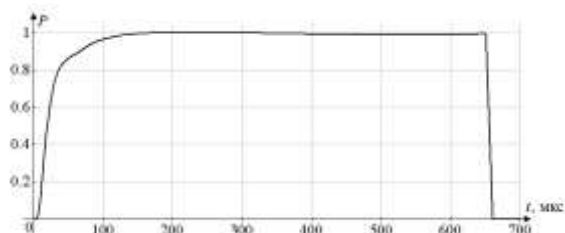


Рис. 1. – Измеренная огибающая зондирующего радиоимпульса

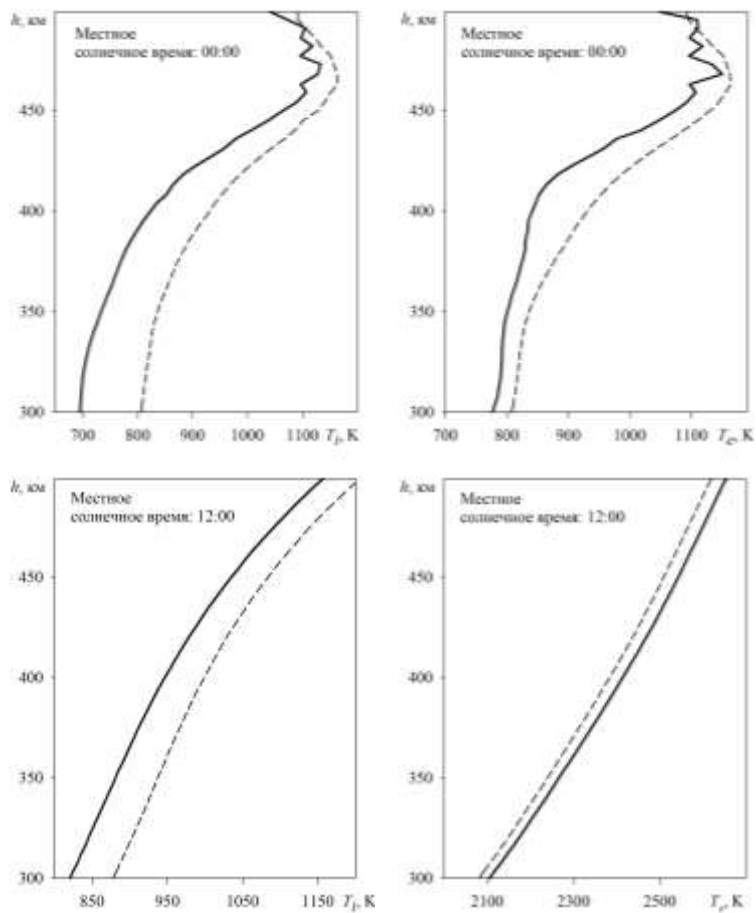


Рис. 2. – Результаты расчёта плазменных температур для ночных и дневных условий 25.03.2009 г. с использованием измеренной (сплошная линия) и прямоугольной (пунктир) огибающих зондирующего импульса

Можно сказать, что до сих пор расчётные температуры ионов систематически завышались (до 100 К в ночное время и до 50 К днём). Значения T_e имели сходный характер и величину смещения ночью, в дневные часы имела место обратная картина: температура электронов была занижена до нескольких десятков Кельвин.

Выводы. Проведенные исследования позволили выявить достаточно сильную чувствительность оценок искомым плазменных температур к изменениям формы огибающей зондирующего радиоимпульса. Использование измеренной огибающей позволило устранить систематическое смещение температуры ионов, которое для минимума солнечной активности достигало 100 К (15 %) в ночные часы. Такой результат является весьма значимым, поскольку для обеспечения приемлемой точности прогнозирования состояния атмосферы погрешность определения температуры ионов не должна превышать несколько процентов [7].

Список литературы: 1. *Брюнелли Б. Е.* Физика ионосферы / *Б. Е. Брюнелли, А. А. Намгаладзе.* – М.: Наука, 1988. – 528 с. 2. *Лысенко В. Н.* Измерение параметров ионосферы средствами корреляционной обработки некогерентно рассеянного сигнала / *В. Н. Лысенко* // Радиофизика и электроника. – 2002. – Т. 7. – № 1. – С. 82–88. 3. *Эванс Дж. В.* Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / *Дж. В. Эванс* // ТИИЭР. – 1969. – Т. 8. – № 4. – С. 139–175. 4. *Hysell D. L.* Full profile incoherent scatter analysis at Jicamarca / *D. L. Hysell, F. S. Rodrigues, J. L. Chau, J. D. Huba* // Ann. Geophys. – 2008. – № 26. – P. 59–75. 5. *Сюсюк М. Н.* Моделирование двумерной функции неопределённости радара некогерентного рассеяния / *М. Н. Сюсюк, Д. В. Котов, А. В. Богомаз* // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. – 2011. – № 44. – С. 81–84. 6. *Таран В. И.* Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущённом состояниях методом некогерентного рассеяния / *В. И. Таран* // Геоматнетизм и аэронавтика. – 2001. – Т. 41. – № 5. – С. 659–666. 7. *Picone J. M.* NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues / *J. M. Picone, A. E. Hedin, D. P. Drob, A. C. Aikin* // J. Geophys. Res. – 2002. – V. 107. – № A12. – P. 1–16.

Bibliography (transliterated): 1. *Brjunelli B. E.* Fizika ionosfery / *B. E. Brjunelli, A. A. Namgaladze.* – Moscow: Nauka, 1988. – 528 p. 2. *Lysenko V. N.* Izmerenie parametrov ionosfery sredstvami korreljacionnoj obrabotki nekogerentno rassejannogo signala / *V. N. Lysenko* // Radiofizika i jelektronika. – 2002. – V. 7. – NO 1. – P. 82–88. 3. *Jevans Dzh. V.* Teoreticheskie i prakticheskie voprosy issledovanija ionosfery metodom nekogerentnogo rassejanija radiovoln / *Dzh. V. Jevans* // TIIEr. – 1969. – V. 8. – NO 4. – P. 139–175. 4. *Hysell D. L.* Full profile incoherent scatter analysis at Jicamarca / *D. L. Hysell, F. S. Rodrigues, J. L. Chau, J. D. Huba* // Ann. Geophys. – 2008. – NO 26. – P. 59–75. 5. *Sjusjuk M. N.* Modelirovanie dvumernoj funkcii neopredeljonnosti radara nekogerentnogo rassejanija / *M. N. Sjusjuk, D. V. Kotov, A. V. Bogomaz* // Vestnik NTU “KhPI”. – 2011. – NO 44. – P. 81–84. 6. *Taran V. I.* Issledovanie ionosfery v estestvennom i iskusstvenno vozmushhenom sostojanijah metodom nekogerentnogo rassejanija / *V. I. Taran* // Geomagnetizm i ajeronomija. – 2001. – V. 41. – NO 5. – С. 659–666. 7. *Picone J. M.* NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues / *J. M. Picone, A. E. Hedin, D. P. Drob, A. C. Aikin* // J. Geophys. Res. – 2002. – V. 107. – NO A12. – P. 1–16.

Поступила (received) 10.11.2014