

*М.Н. СЮСЮК*, магистр, НТУ “ХПИ”, Харьков  
*Д.В. КОТОВ*, н.с., Институт ионосферы, Харьков  
*А.В. БОГОМАЗ*, м.н.с., Институт ионосферы, Харьков

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ ФУНКЦИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДЛЯ СЛУЧАЯ РАБОТЫ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

Двомірна функція невизначеності дозволяє врахувати деякі суттєві особливості параметрів досліджуваного середовища та апаратні характеристики радару. Врахування цієї функції необхідно для отримання достовірних значень параметрів іоносферної плазми, що визначаються за допомогою методу некогерентного розсіяння. Зроблено висновок про те, що використання двомірної функції невизначеності дозволить підвищити точність аналізу експериментальних даних та істотно поліпшити розрізнявальну спроможність за висотою.

Двумерная функция неопределенности позволяет учитывать некоторые существенные особенности параметров исследуемой среды и аппаратные характеристики радара. Учет этой функции необходим для получения достоверных значений параметров ионосферной плазмы, определяемых с помощью метода некогерентного рассеяния. Сделан вывод о том, что использование двумерной функции неопределенности позволит повысить точность анализа экспериментальных данных и существенно улучшить разрешение по высоте.

A two-dimensional function of uncertainty takes into account some the essential features of the medium and the instrumental characteristics of the radar. Accounting for this function is necessary to obtain reliable values of the parameters of the ionospheric plasma, determined by the method of incoherent scattering. It is concluded that the use of two-dimensional ambiguity function will increase the accuracy of the analysis of experimental data and improve the resolution of the height.

**Введение.** Известно, что при исследованиях ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) параметры ионосферной плазмы получают путём решения обратной радиофизической задачи [1]. Поскольку аналитического решения такой задачи не существует, она заменяется многократным решением прямой радиофизической задачи при различных заданных значениях параметров плазмы и сравнением экспериментальной АКФ НР сигнала с теоретическими АКФ. В качестве измеренных параметров плазмы принимают значения, соответствующие теоретической АКФ, наиболее близкой к экспериментальной [1].

При использовании современного подхода к анализу данных метода НР, такого как “full-profile” алгоритм [2 – 4], открываются новые возможности для более точного определения параметров ионосферной плазмы. Это связано с тем, что метод подразумевает, что прямая радиофизическая задача решается не для точечных значений параметров, а для целых высотных профилей параметров.

В процессе обработки данных с использованием “full-profile” алгоритма принципиально необходимо использование так называемой

двумерной функции неопределенности (ДФН), которая показывает относительный вклад различных пространственных областей плазмы и значений АКФ при разных задержках [2].

**Цель статьи** – представить результаты моделирования двумерной функции неопределенности для действующих режимов работы радара НР Института ионосферы.

**Алгоритмы моделирования.** Для обеспечения практической возможности использования данного метода было проведено моделирование ДФН. При этом учитывались реальные характеристики радара НР Института ионосферы, а также все существенные аппаратурные и методические преобразования, которые имеют место в реальных условиях проведения эксперимента.

Для моделирования использовалась следующая формула [2]:

$$W_{t,t'}(\tau, r) = \int_{-\infty}^{\infty} dv W_t^A(v, r) \overline{W_{t'}^A(v - \tau, r)},$$

где

$$W_t^A(\tau, r) = h(t - \tau) P \left( \tau - \frac{2r}{c} \right),$$

$h$  – импульсная характеристика приёмного устройства,

$P$  – огибающая зондирующего импульса,

$\tau$  – время задержки,

$r$  – расстояния до области рассеяния.

Были получены ДФН для двух режимов работы радара НР: с использованием длинного и короткого импульса зондирования.

Рассмотрим режим с использованием длинного импульса. В этом случае используется ФНЧ с полосой пропускания 19 кГц и длительностью огибающей зондирующего импульса 663 мкс. На рис. 1 представлены результаты моделирования ДФН для мощности сигнала НР. Можно видеть, что в итоговое значение мощности  $P$  вносят вклад также и значения мощности и АКФ, соответствующие другим высотам и задержкам. Относительный вклад таких значений зависит от вида импульсной характеристики ФНЧ, огибающей импульса и высотного распределения параметров ионосферной плазмы.

На рис. 2, изображены ДФН для ненулевых задержек  $\tau$ , а именно 0, 200, 400 и 600 мкс. Видно, что с увеличением задержки уменьшается область высот, которая участвует в образовании соответствующего значения АКФ.

Рассмотрим режим с использованием короткого импульса. В таком режиме используется ФНЧ с полосой пропускания 11 кГц и длительностью огибающей зондирующего импульса 130 мкс.

Так как данный режим используется только для измерения профиля мощности, приведем здесь только графики ДФН для такой мощности (рис. 3).

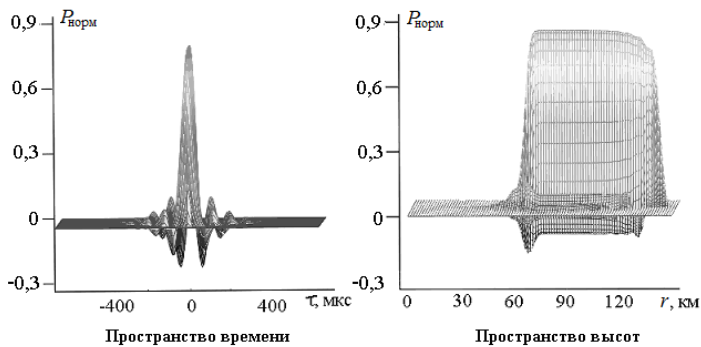


Рис. 1. Результаты моделирования ДФН во всех сечениях прослоек для режима с использованием длинного импульса

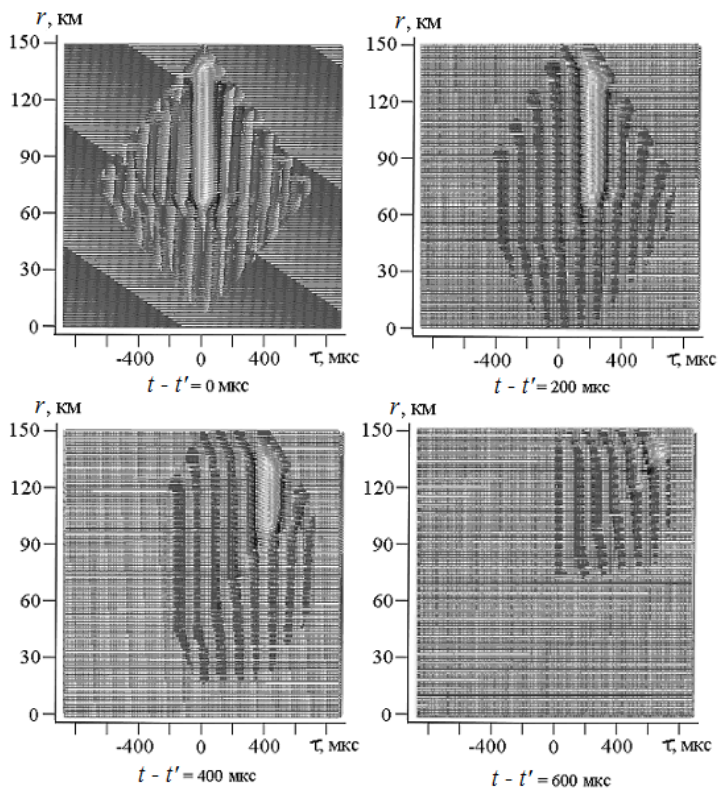


Рис. 2. Изображение ДФН для разных видов задержки

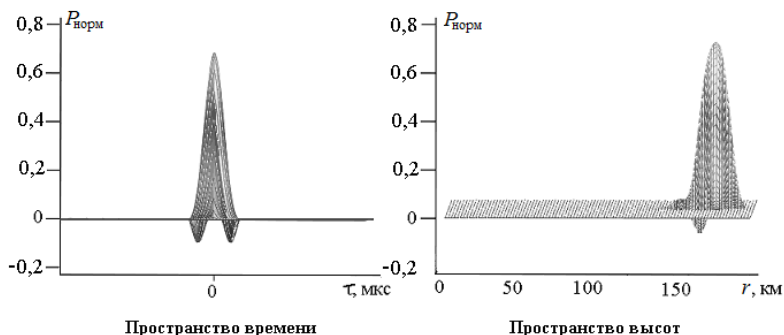


Рис. 3. Результаты моделирования ДФН во всех сечениях прослоек для режима с использованием короткого импульса

**Обсуждение результатов.** Проведенное моделирование и анализ полученных результатов позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Получены ДФН, которые готовы к использованию в процессе обработки данных, полученных с помощью радара НР Института ионосферы.

2. Установлено, что в значение АКФ, измеряемой для заданной высоты и задержки  $t' - t$ , вносят вклад и значения АКФ, соответствующие другим высотам и задержкам. Относительный вклад таких значений зависит от вида импульсной характеристики ФНЧ приемного устройства радара НР, формы и длительности огибающей зондирующего импульса и высотного распределения параметров ионосферной плазмы.

Учёт ДФН позволит существенно повысить точность анализа экспериментальных данных и, используя «full-profile» алгоритм, улучшить разрешение по высоте.

**Список литературы:** 1. Пуляев В.А., Дзюбанов Д.А., Домнин И.Ф. Определение параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн: монография. – Х.: Підручник: НТУ «ХПІ», 2010. – 240 с. 2. Holt J.M., Rhoda D.A. Optimal analysis of incoherent scatter radar data // Radio Science. – 1992. – P. 435 – 447. 3. Lehtinen M.S., Huuskonen A., Pirttila J. First experiences of full-profile analysis with GUIDAP // Ann. Geophysicae. – 1996. – V. 14. – P. 1487 – 1495. 4. Hysell D.L., Chau J.L., Huba J.D. Topside measurements at Jicamarca during solar minimum // Ann. Geophysicae. – 2009. – V. 27. – P. 427 – 439.

Поступила в редакцию 29.06.2011