

А.В. БОГОМАЗ, н.с., Институт ионосферы, Харьков

Д.В. КОТОВ, н.с., Институт ионосферы, Харьков

ПРОВЕРКА АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ПРОФИЛЯ МОЩНОСТИ НЕКОГЕРЕНТНО РАССЕЯННОГО СИГНАЛА

Описано алгоритм корекції, що запропоновано для покращення висотного розрізнення при визначенні профілю потужності некогерентно розсіяного сигналу за допомогою простого довгого зондуючого імпульсу, та підтверджено його ефективність.

Описан алгоритм корекции, предлагаемого для улучшения высотного разрешения при определении профиля мощности некогерентно рассеянного сигнала с помощью простого длинного зондирующего импульса, и подтверждена его эффективность.

The algorithm of correction, proposed to improve high-altitude resolution in determining the power profile of incoherent scatter signal using a simple long probe pulse is described. The effectiveness of this algorithm is confirmed.

Введение. При определении высотных распределений параметров ионосферы с помощью простых длинных сигналов высотное разрешение, пропорциональное длительности импульса, в большинстве случаев является неудовлетворительным (так как величина высоты однородной атмосферы H_p обычно меньше интервала высот, занимаемого импульсом $cT_n/2$). Вследствие этого в общем случае могут возникать искажения оценок измеряемых параметров ионосферной плазмы. Так, при использовании длинного зондирующего импульса ($T_n = 663$ мкс) величина высоты максимума распределения мощности некогерентно рассеянного (НР) сигнала переоценивается до нескольких десятков километров, а значение мощности недооценивается до нескольких десятков процентов [1]. Очевидно, что такая погрешность носит систематический характер и приводит к погрешностям определения параметров плазмы, прежде всего концентрации электронов [2].

В подобной ситуации для повышения разрешающей способности либо применяются сложные сигналы (что не всегда возможно и оправдано) [3], либо же сложные алгоритмы коррекции результатов, полученных с использованием простых зондирующих сигналов. Наиболее эффективным и корректным из таких алгоритмов является “full-profile” анализ [4].

Цель статьи – предварительное тестирование алгоритма, основанного на “full-profile” подходе, и использующего в процессе коррекции распределений мощности двумерную функцию неопределённости (ДФН), рассчитанную для одного из действующих режимов работы радара НР Института ионосферы [5].

Суть алгоритма коррекции. Предлагаемая коррекция заключается в подборе такого теоретического распределения мощности, которое, будучи пропущенным через математическую модель измерительного канала, учитывающую специфику процесса НР и все существенные аппаратные характеристики (форму импульсной характеристики радиоприёмного устройства, форму огибающей зондирующего сигнала и др.), даст результат, наилучшим образом согласующийся (например, по критерию наименьшего среднеквадратического отклонения) с экспериментальными результатами [6].

Проверка эффективности алгоритма. Для проверки эффективности алгоритма коррекции профиля мощности было проведено моделирование, основные этапы которого заключались в следующем.

1. Выбор исходного (“реального”) профиля мощности НР сигнала.

Был выбран усреднённый на интервале 15 мин профиль мощности, полученный во время измерений 15 декабря 2009 г. На рис. 1 этот профиль показан сплошной линией.

2. Получение “экспериментального” профиля мощности НР сигнала.

“Экспериментальный” профиль $P'(H)$ был получен путём пропускания исходного профиля мощности $P(H)$ через математическую модель измерительного канала. На рис. 1 он показан прерывистой линией. В условиях реальных измерений имеются лишь такие, “экспериментальные”, профили мощности.

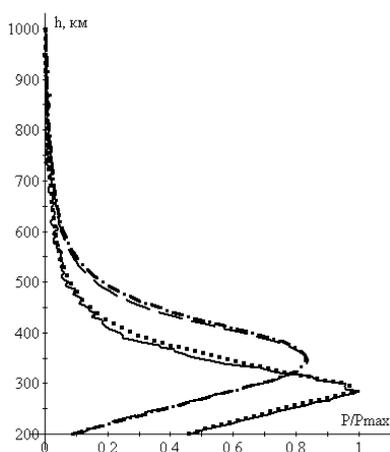


Рис. 1. Высотное распределение мощности НР сигнала. Сплошной линией показан “реальный” профиль, прерывистой линией – “экспериментальный”, точками – восстановленный профиль, штрих-пунктиром – восстановленный профиль, пропущенный через математическую модель измерительного тракта

Пропускание исходного профиля мощности через математическую модель измерительного канала заключалось в свёртке этого профиля с ДФН радара НР $A(h, \tau)$, показанной на рис. 2, по следующей формуле:

$$P'(H) = \frac{\int_{h=0}^{h_0} P(H-h)A(h, \tau=0)dh}{\int_{h=0}^{h_0} A(h, \tau=0)dh},$$

где h_0 – высота, выше которой ДФН $A(h_0, \tau = 0)$ имеет только нулевые значения.

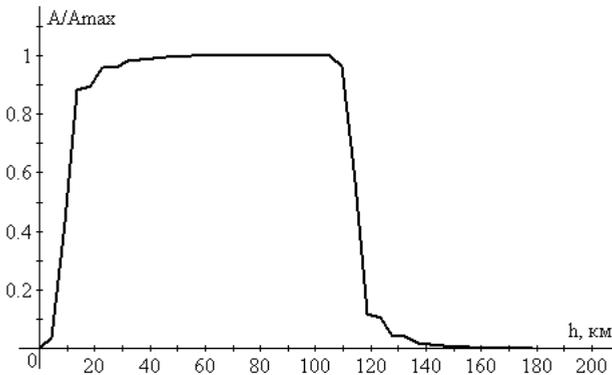


Рис. 2. ДФН для мощности ($\tau = 0$)

3. Поиск теоретического профиля, который будучи пропущенным через ту же математическую модель измерительного канала наилучшим образом согласуется с “экспериментальным” профилем.

В результате ранее проведенного моделирования [1] было установлено, что максимум “экспериментального” профиля мощности $P'(H)$ по сравнению с “реальным” $P(H)$ всегда завышен примерно на одно и то же значение. Учёт этого обстоятельства позволил сократить количество задаваемых вариантов теоретического профиля.

Исходный теоретический профиль получается из “экспериментального” путём его корректировки по высоте. Далее выбираются узлы, в которых будут варьироваться значения мощности. В качестве главного узла выбирается максимум профиля, остальные узлы берутся ниже и выше максимума. Значения мощности на всех высотных интервалах вне ограниченного узлами участка жёстко фиксируются.

Так как увеличивать узлов нецелесообразно вследствие роста времени перебора, значения мощности между узлами теоретического профиля рассчитываются с помощью интерполяции В-сплайнами.

Выводы. Моделирование показало, что удовлетворительные результаты описанный метод даёт даже в случае выбора трёх узлов (главный узел – в максимуме скорректированного профиля, и по узлу выше и ниже главного на 22 км). Мощности в узлах варьировались в пределах от 80 до 160 % от их первоначального значения с шагом 10 %.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности используемого алгоритма. Например, из рис. 1 следует, что коррекция позволила уточнить максимальное значение мощности до 20%; как результат устраняется двадцатипроцентное смещение оценок концентрации электронов для всего профиля.

Таким образом, применение предложенного алгоритма целесообразно для ощутимого повышения точности определения параметров ионосферы методом НР.

Список литературы: 1. *Лысенко В.Н.* Измерение параметров ионосферы средствами корреляционной обработки некогерентно рассеянного сигнала // Радиофизика и электроника. – 2002. – Т. 7, № 1. – С. 82 – 88. 2. *Эванс Дж.* Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн // ТИИЭР. – 1969. – Т. 57, № 4. – С. 139 – 175. 3. *Рогожкин Е.В., Пуляев В.А.* Измерение параметров ионосферы с использованием фазовой модуляции несущей // Вестник Харьковского политехнического института. – 1986. – № 234, вып. 4. – С. 30 – 34. 4. *Holt J.M., Rhoda D.A.* Optimal analysis of incoherent scatter radar data // Radio Sci. – 1992. – P. 435 – 447. 5. *Сюсюк М.Н., Котов Д.В., Богомаз А.В.* Моделирование двумерной функции неопределенности радара некогерентного рассеяния // (см. статью в этом сборнике) 6. *Богомаз А.В., Котов Д.В., Ярков Е.И.* Восстановление профиля мощности сигнала некогерентного рассеяния // Конференция молодых учёных “Дистанционное радиозондирование ионосферы (ИОН–2011)” (Харьков, Украина, 12 – 15 апреля 2011 г.). – Сборник тезисов. – 2011. – С. 34.

Поступила в редколлегию 19.09.2011