

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ РАДИОФИЗИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОПОДОБНЫХ ПОМЕХ

Богомаз А.В.

Институт ионосферы, Украина

E-mail: albom85@yandex.ru

Аннотация — Представлен разработанный алгоритм оценки статистических погрешностей результатов решения обратной радиофизической задачи (ионосферных параметров, получаемых с помощью метода некогерентного рассеяния в условиях постоянно присутствующих шумоподобных помех).

1. Введение

Метод некогерентного рассеяния (НР) радиоволн считается наиболее информативным методом изучения ионосферы и позволяет получить оценки таких параметров ионосферной плазмы, как температура электронов и ионов, относительное содержание ионов различных сортов, концентрация и скорость движения электронов, причём как ниже, так и выше максимума ионизации. Достоверность оценок параметров, получаемых с помощью метода НР, подтверждается другими дистанционными методами (например, методом вертикального зондирования), а также спутниковыми и ракетными измерениями. Но актуальной задачей остаётся определение статистической погрешности оценок этих параметров для различных гелиогеофизических условий, помеховой обстановки, режимов работы радара НР и алгоритмов обработки НР сигналов.

2. Основная часть

Разработанный алгоритм оценки статистической погрешности результатов решения обратной задачи состоит из следующих этапов:

- моделирование смеси НР сигнала и шумоподобной помехи с заданным значением отношения сигнал/помеха;

- получение автокорреляционной функции (АКФ) НР сигнала;

- решение обратной радиофизической задачи;

- анализ результатов решения обратной радиофизической задачи.

Моделирование смеси НР сигнала и шумоподобной помехи производится по формуле [1]

$$S^{\text{СИГН+ПОМ}}(t) = k \cdot \sum_{i=1}^N [A_i^{\text{СИГН}} \sin(\omega_i t + \theta_i)] + \sum_{j=1}^M [A_j^{\text{ПОМ}} \sin(\omega_j t + \theta_j)], \quad (1)$$

где $A_i^{\text{СИГН}}$ и $A_j^{\text{ПОМ}}$ — амплитуды, связанные со спектральными составляющими НР сигнала и помехи выражениями $A_i^{\text{СИГН}} = \sqrt{W_i^{\text{СИГН}}}$ и $A_j^{\text{ПОМ}} = \sqrt{W_j^{\text{ПОМ}}}$; N и

M — число этих составляющих; ω_i и ω_j — круговые частоты; θ_i и θ_j — случайные начальные фазы, равномерно распределённые на интервале $[-\pi; \pi]$; k — регулирующий коэффициент, значение которого связано со значением отношения сигнал/помеха q выражением

$$k = \sqrt{q} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M (A_j^{\text{ПОМ}})^2}{\sum_{i=1}^N (A_i^{\text{СИГН}})^2}}.$$

Спектральные составляющие НР сигнала $W_i^{\text{СИГН}}$ рассчитываются с использованием формулы для произвольного числа типов ионов, полученной Дж.П. Догерти и Д.Т. Фарли [2].

По формуле (1) производится моделирование помехи (при этом считается, что $k = 0$).

Следующим этапом является получение АКФ НР сигнала. Для этого из АКФ смеси сигнала и помехи рассчитанной по формуле

$$R(\tau) = S^{\text{СИГН+ПОМ}}(t) \cdot S^{\text{СИГН+ПОМ}}(t + \tau),$$

вычитается АКФ помехи, рассчитанной по аналогичной формуле, что соответствует процедуре обработки сигнала радара НР Института ионосферы. АКФ смеси НР сигнала и помехи, а также АКФ помехи усредняются по 1463 реализациям, что соответствует 1-минутному накоплению АКФ принятого радара сигнала. Также возможно последующее усреднение АКФ НР сигнала по различному числу реализаций (например, соответствующему 15- или 60-минутному накоплению).

Решение обратной радиофизической задачи осуществляется с использованием рассчитанной ранее библиотеки теоретических АКФ НР сигнала. Значения параметров плазмы, по которым была рассчитана теоретическая АКФ, наилучшим образом согласующаяся по методу наименьших квадратов с моделированной АКФ НР сигнала, считаются оценками параметров ионосферной плазмы.

Заключительным этапом является расчёт математического ожидания, среднеквадратичного отклонения и доверительных интервалов для набора значений параметров ионосферной плазмы при различных реализациях смеси НР сигнала и помехи.

3. Заключение

Представленный алгоритм позволяет определить величину статистических погрешностей результатов решения обратной задачи при исследовании ионосферы методом НР и может использоваться для проверки способов повышения точности системы обработки радара.

4. Список литературы

- [1] Пат. України на корисну модель UA № 42311. Спосіб імітації суміші шумоподібного сигналу та завади із заданими спектрами / В.О. Пуляев, О.В. Богомаз, Д.В. Котов. — Оpubл. 25.06.2009, Бюл. № 12/2009.
- [2] Dougherty J.P. A theory of incoherent scattering of radio waves by a plasma / J.P. Dougherty, D.T. Farley // Proc. Roy. Soc. — London, 1960. — Vol. A259. — P. 79 — 99.

ALGORITHM OF THE ESTIMATION OF RANDOM ERRORS IN THE INVERSE RADIOPHYSICS PROBLEM IN THE PRESENCE OF NOISE

Bogomaz O.V.

Institute of ionosphere, Ukraine

Abstract — The developed algorithm for estimation of random errors in the ionosphere parameters, obtained by means of an incoherent scatter radar, is presented.