

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИОННОГО СОСТАВА ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. Богомаз

STATISTICAL ERRORS IN THE ESTIMATION OF TEMPERATURE AND ION COMPOSITION OF THE IONOSPHERE PLASMA BY MEANS OF INCOHERENT SCATTERING. THE SIMULATION RESULTS

A.V. Bogomaz

Оценка точности определения параметров ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния (НР) для различных высотных интервалов исследуемых областей ионосферы, гелиогеофизических условий, помеховой обстановки, сезона и времени суток, режимов работы радара является актуальной задачей. Грубую оценку точности можно произвести путем анализа большого объема экспериментальных данных, полученных на радаре НР; более точная оценка невозможна без теоретического моделирования. Проведенное статистическое моделирование заключалось в формировании сигнала, подобного смеси НР-сигнала и шума, и последующей обработке этого сигнала с использованием процедур, аналогичных тем, которые применяются на радаре НР. В результате были получены доверительные интервалы оценок температуры и ионного состава плазмы, закономерности величины разброса оценок, порядок величины возникающих смещений оценок при отношении сигнал/шум 10, 1 и 0.1 и времени накопления корреляционных функций НР сигнала 1, 15 и 60 мин.

Determining the accuracy of the ionosphere plasma parameters by means of incoherent scattering (IS) for different altitude ranges of the ionosphere, heliogeophysical conditions, etc. is a topical problem. A rough estimate of the accuracy of plasma parameters can be obtained by analyzing a large amount of experimental IS data. A more accurate estimate is impossible without theoretical modeling. Statistical simulation lied in generation of the signal, similar to a mixture of IS signal and noise, and processing of this signal as in the IS radar. As a result we obtained confidence intervals of temperature and ion composition of plasma, regularities in the dispersion of the estimates, magnitude of the displacement of the estimates when a signal-to-noise ratio was 10, 1 and 0.1 and the integration time of correlation functions of the IS signal was 1, 15 and 60 min.

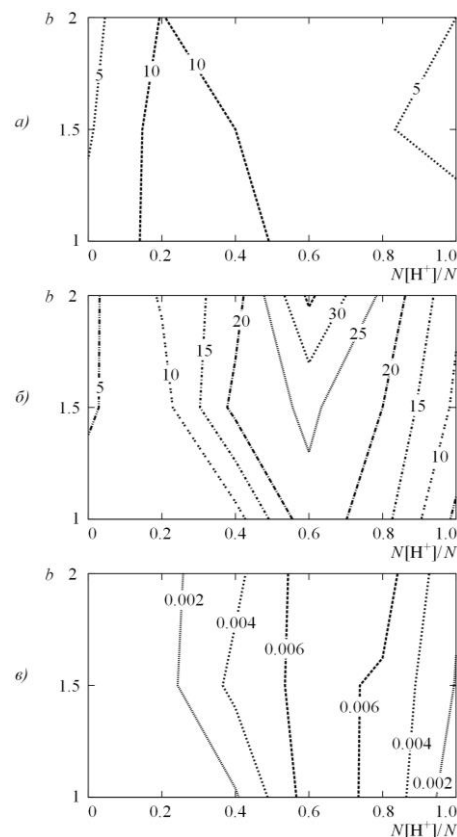
Цель настоящей работы – установление зависимостей доверительных интервалов температуры и ионного состава ионосферной плазмы от отношения сигнал/шум принимаемого радаром НР-сигнала и значений параметров.

Моделирование статистических погрешностей производилось в четыре этапа: синтез сигнала, подобного смеси НР-сигнала и шума с заданным значением отношения сигнал/шум; получение автокорреляционных функций (АКФ) НР-сигнала из смеси НР-сигнала и шума; решение обратной задачи рассеяния; анализ результатов решения обратной задачи рассеяния [Богомаз, 2013].

Синтез сигнала, подобного смеси НР-сигнала и шума с заданным значением отношения сигнал/шум, производился путем суммирования гармонических колебаний со случайной, равномерно распределенной в интервале от $-\pi$ до π фазой [Пуляев, 2009]. Спектральные составляющие НР-сигнала рассчитывались с использованием формулы для произвольного числа типов ионов [Dougherty, 1960]. Решение обратной задачи рассеяния состоит в многократном сравнении смоделированных АКФ НР-сигнала с рассчитанными согласно теории некогерентного рассеяния АКФ. При этом параметры, которые использовались при расчете теоретической АКФ, наилучшим образом согласующейся по методу наименьших квадратов со смоделированной АКФ, считаются оценками параметров ионосферной плазмы [Пуляев, 2010]. Анализ результатов решения обратной задачи рассеяния для 90 различных состояний ионосферы заключался в расчете математического ожидания, среднеквадратичного отклонения и доверительных интервалов математического ожидания таких параметров ионосферной плазмы, как температура ионов T_i , температура

электронов T_e и относительное содержание ионов атомарного водорода $N(H^+)/N$.

При моделировании учитывались аппаратные особенности радара НР Института ионосферы (Харьков).



Зависимости погрешностей параметров ионосферной плазмы: T_i (а), T_e (б), $N(H^+)/N$ (в) от относительного содержания ионов H^+ и отношения температур b .

Пример результатов статистического анализа оценок параметров ионосферной плазмы показан на рисунке.

Установлено, что с ростом отношения температур $b=T_e/T_i$ погрешность определения параметров увеличивается. Наибольшие погрешности температуры ионов наблюдаются при $N(H^+)/N < 0.4$, а наибольшие погрешности температуры электронов и относительного содержания ионов H^+ – при $N(H^+)/N \approx 0.6$.

Погрешность определения значений параметров ионосферной плазмы с помощью метода НР имеет приемлемые значения даже при низком отношении сигнал/шум (вплоть до $q=0.1$). При усреднении АКФ, соответствующем накоплению АКФ сигнала в течение 15 мин, и отношении сигнал/шум $q=1$ разброс оценок около их математического ожидания составлял не более 0.03 для $N(H^+)/N$ и не более 150 К для T_i и T_e . Возникающие при решении обратной задачи рассеяния смещения оценок существенно увеличиваются при $q < 1$.

Богомаз А.В. Алгоритм оценки статистических погрешностей результатов решения обратной радиофизической задачи при наличии шумоподобных помех // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2013»: материалы 9-й Междунар. молодежной научн.-техн. конф., Севастополь, 22–26 апреля 2013 г. 2013. С. 376.

Пуляев В.А., Богомаз А.В., Котов Д.В. Способ имитации смеси шумоподобного сигнала и помехи с заданными спектрами: пат. 42311 Украина. u200901462; заявл. 20.02.2009; опубл. 25.06.2009, Бюлл. № 12.

Пуляев В.А., Сокол Е.И., Богомаз А.В., Белозеров Д.П. Особенности решения прямой задачи рассеяния при расчете параметров ионосферной плазмы // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник «Радиотехника». 2010. № 160. С. 280–285.

Dougherty J.P., Farley D.T. A theory of incoherent scattering of radio waves by a plasma // Proc. Roy. Soc. 1960. V. A259. P. 79–99.

Институт ионосферы НАН и МОН Украины, Харьков, Украина