

УДК 621.396

В. А. Пуляев, И. Ф. Домнин, Д. А. Дзюбанов

Институт ионосферы Национальной академии наук и Министерства освіти і науки України, Харків

КОРРЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ КОНСТАНТЫ РАДИОЛОКАТОРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Пропонуються алгоритмічні процедури, призначені для мінімізації похибок обчислень електронної концентрації іоносферної плазми. Для їхнього функціонування запропоновано методіку аналізу зміни рівня космічного фону на вході радара некогерентного розсіяння. За допомогою цієї інформації можна здійснювати контроль технічного стану приймально-передатальної системи, що дозволяє проводити своєчасну корекцію константи радара та уточнювати електронну концентрацію без залучень даних іонозонда.

ВВЕДЕНИЕ

Ионосфера чутко реагує на зміни в геофізических оболочках — літосфері, атмосфері, магнітосфері — при впливі на них різних природних і техногенних факторів. Наблюдення за станом іоносфери в діапазоні висот від 100 км до 1500 км [3, 4] здійснюються в отриманні висотно-часових розподілів параметрів середовища, таких як електронна концентрація $N_e(h, t)$, електронна температура $T_e(h, t)$, іонна температура $T_i(h, t)$, дрейф плазми $V_{др}(h, t)$, газовий склад $v(h, t)$ і др. При оцінці стану космічної погоди всі вони дають можливість розглянути і проаналізувати величезний обсяг геофізическої інформації. Ця інформація успішно використовується багатьма службами при урахуванні особливостей сонечно-земних зв'язів, при корекції і апробації створюваних моделей середовища, в якому поширюються радіохвилі, при розробці стратегії підвищення надійності функціонування чутливої радіоапаратури, використовуваної в складі наземних, повітряних і космічних об'єктів.

Одним з найбільш інформативних методів, що дозволяють отримувати одночасно всі на-

бор перерахованих параметрів, є метод некогерентного розсіяння (НР) радіохвилі [14]. Він здійснюється з допомогою унікальних радіолокаційних установок — радарів НР, розташованих на території ряду країн [1, 12]. Особливістю отримання абсолютних значень електронної концентрації є те, що при розрахунках зазвичай використовується процедура калібрування профілю потужності розсіяного сигналу. Для цього привабливою є інформація з найближчих станцій вертикального зондування (іонозондів [5]), о критичній частоті шару F2. Однак складність ситуації полягає в тому, що в час іоносферних порушень, при виникненні спорадических шарів E_s, а також при виході іонозонда з строю отримати дані про критичній частоті неможливо, що призводить до втрати інформації в дорожньому радіофізическому експерименті.

Одна з можливостей виходу з цієї ситуації полягає в тому, що для процедур розрахунку висотно-часових залежностей електронної концентрації перед початком експерименту визначається чисельний показувач, що означає назву «константа радара» [14] і відображає стан основних його систем. Розуміється, що за весь час експерименту, який може тривати від кількох годин до

нескольких суток, он заменит отсутствующую информацию о критической частоте.

Проблема состоит в том, что в процессе эксплуатации технические характеристики и режимы работы систем радиолокатора изменяются, а это приводит к «уходу» текущих значений константы от её расчётных значений. И хотя предпринимаются меры по учёту таких особенностей, однозначной компенсации аппаратурных изменений добиться не удаётся, а результаты наблюдений иногда оказываются недостоверными, т. е. возможен срыв запланированного эксперимента.

Цель этой работы — показать возможность минимизации погрешности определения электронной концентрации за счёт контроля и последующей коррекции значений константы радиолокатора без привлечения данных ионозонда. Эта возможность состоит в том, что для минимизации погрешности предполагается использовать сведения об уровне мощности шума на входе радара НР, в том числе и входящего в его состав космического фона.

Рассмотрим эту возможность подробнее.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известно, что основные успехи в понимании физических процессов, происходящих в ионосфере, были достигнуты в конце 1950-х гг. в результате внедрения новых методов её радиолокационного зондирования. Эксперименты, выполненные Э. Эплтоном и А. Барнеттом, Ж. Брейтом и М. Тьювом, базировались на наблюдении радиосигнала с частотой f при его отражении от ионосферы. Появление отражения с высоты h свидетельствовало о выполнении условия $f = f_N$, где f_N — плазменная частота:

$$f_N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{N_e e^2}{m_e \epsilon_0}}, \text{ Гц.} \quad (1)$$

Здесь N_e — электронная концентрация (м^{-3}), $e = 1.68 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд электрона, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ кг — масса электрона, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — диэлектрическая проницаемость свободного пространства. Если f_N выразить в мегагерцах, выражение (1) примет вид хорошо известного соотношения $f_N = 8.97 \cdot 10^{-6} \sqrt{N_e}$

Одной из особенностей работы ионозонда (импульсного локатора с частотной разверткой), является то, что он может изменять частоту f излучаемого сигнала от 2 до 20 МГц и по отраженному сигналу получать распределение электронной концентрации вплоть до высоты максимума слоя F2, на которой электронная концентрация равна $N_{eF2} = 1.24 \cdot 10^{10} f_{F2}^2$. Ионизированные же области, расположенные выше максимума (выше 200 ... 300 км), не удается исследовать с поверхности Земли методом вертикального зондирования.

Для получения сведений о распределении электронной концентрации $N_e(h)$ на высотах выше максимума используется радиолокационная система, которая позволяет всё же «видеть» рассеянный сигнал, приходящий от верхней ионосферы. Для этого применяют зондирующие радиоимпульсы, излучаемые в диапазоне метровых или дециметровых волн. Применение таких сигналов лежит в основе метода некогерентного рассеяния [14].

В этом случае для расчёта $N_e(h)$ вначале оценивается высотное распределение мощности $P_S(h)$ сигнала рассеяния. При этом используется радиолокационная аппаратура в следующем составе: а) радар НР, с помощью которого в каждом сеансе измерений (при статистическом усреднении результатов за время единиц-десятков минут) возможен расчёт высотного распределения как мощности сигнала рассеяния, так и коэффициентов корреляции флуктуаций электронной плотности [7]; б) расположенный вблизи ионозонд, привлекаемый в качестве независимого дополнительного средства для непрерывного предоставления в процессе эксперимента текущих значений критической частоты f_{F2} .

Такой подход для получения $N_e(h)$ носит название метода «профиля мощности» [14, 15]. Суть его в том, что по корреляционной функции рассеянного сигнала, путем решения обратной задачи рассеяния [6, 10] определяется высотная зависимость температур заряженных частиц ионосферной плазмы: электронов $T_e(h)$ и ионов $T_i(h)$. А полученные результаты, из которых выбирается информация о параметрах среды на высоте h_{F2} , дают возможность рассчитать нор-

мированный профиль электронной концентрации как [10]

$$N_e(h)|_h = \frac{P_S(h)h^2[1+T_e(h)/T_i(h)]}{P_S(h_{F2})h_{F2}^2[1+T_e(h_{F2})/T_i(h_{F2})]},$$

где h — текущая высота, h_{F2} — высота максимума электронной концентрации, на которой $N_e(h)/N_e(h_{F2})=1$, $P_S(h_{F2})$, $T_e(h_{F2})$ и $T_i(h_{F2})$ — параметры, относящиеся к участку на высоте максимума.

Получив по данным ионозонда абсолютное значение электронной концентрации N_{eF2} на высоте максимума профиля F2, абсолютные значения для всего высотного распределения $N_e(h)$ можно найти как

$$N_e(h) = N_e(h)|_h N_{eF2}.$$

Подобная реализация радиофизического эксперимента, при всей сложности комплексной работы технических систем, значительных энергетических затратах, приводит к усложнению обстановки в радиоэфире при работе ионозонда, который излучает в довольно широком диапазоне частот. Кроме того, имеют место значительные погрешности расчёта критической частоты f_{F2} при прохождении терминатора, а также есть риск потери сведений ионозондом из-за магнитовозмущённых условий в ионосфере.

Есть ещё один способ, описанный в работе [14], базируется на совместной работе радара НР с ионозондом. При этом значения электронной концентрации N_{eF2} предполагается получать лишь эпизодически, в спокойных дневных ионосферных условиях, а в паузах между включениями ионозонда использовать константу

$$C = \frac{P_S(h_{F2})h_{F2}^2[1+T_e(h_{F2})/T_i(h_{F2})]}{N_{eF2}}.$$

Константа радиолокатора C позволяет рассчитывать электронную концентрацию при отсутствии текущих значений f_{F2} :

$$N_e(h) = \frac{P_S(h)h^2[1+T_e(h)/T_i(h)]}{C}. \quad (2)$$

Как уже отмечалось выше, при таком использовании константы C в любой момент ее текущее значение может отличаться от рассчитанно-

го перед началом работы. Уточнять же константу, прерывая при этом зачастую уникальный эксперимент, недопустимо.

Из всего изложенного следует, что из-за возможности отличия текущего значения константы C от значения, определённого в начале эксперимента, крайне необходим способ надежного контроля и методика коррекции этого показателя, чтобы избежать ошибок в расчётах электронной концентрации.

Как один из выходов в структуру радара могут быть введены дополнительные блоки для формирования контрольного сигнала, направляемого в антенну радара с целью его приёма и обработки. Ниже мы предлагаем менее трудоёмкий вариант — использовать уже имеющуюся информацию, а именно ту, которая содержится в характере изменения составляющих шума $P_N(t)$ на входе радара.

Рассмотрим подробнее, какую информацию несут в себе суточные изменения уровня составляющих шума, и покажем пути её использования для дополнительного контроля и уточнения рассчитанных значений электронной концентрации.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Одной из особенностей метода НР является то, что в системе обработки регистрируется смесь $P_{S+N}(h)$, содержащая как полезный сигнал рассеяния $P_S(h)$, так и почти всегда превышающий его по уровню фоновый шум $P_N(t)$, интенсивность которого обычно оценивается в конце радиолокационной развертки дальности.

Как известно, появление фонового шума в радарах НР обусловлено внешними и внутренними факторами [2]. Так, с внешними факторами связано наличие в луче радара космических сигналов, в том числе и от групп звездных скоплений (все они совместно с Солнцем и галактической средой образуют так называемый космический фон). Когда эта составляющая принимается неподвижной приёмной антенной, то в зависимости от времени суток она дает вклад в эффективную шумовую температуру T_N , изменяющийся от нескольких десятков до нескольких сотен градусов. В состав фонового шума

Рис. 1. Значения мощности P_N шума, полученные в процессе исследования ионосферы над Харьковом за период с 27 мая по 6 июня и 14 июля 2006 г.

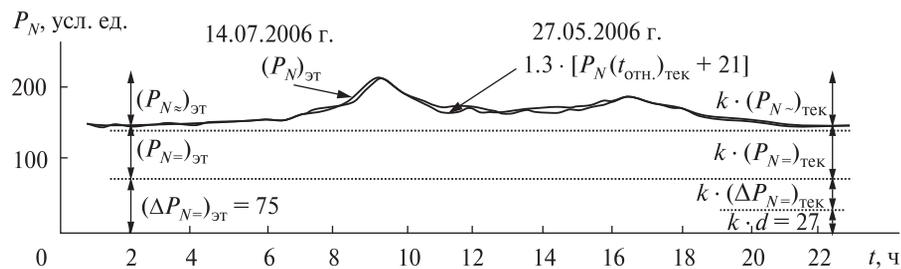
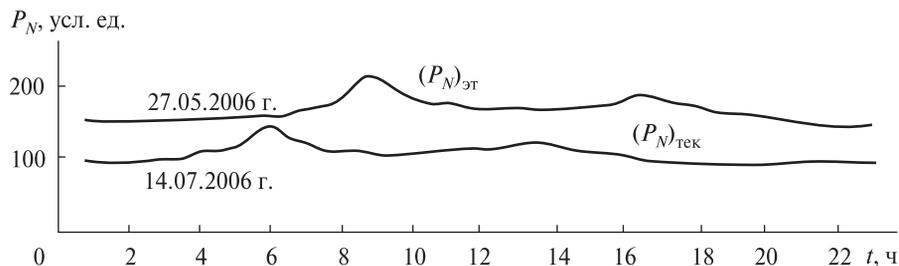


Рис. 2. Сопоставление переменных составляющих мощности шума для текущего и эталонного дней с учётом их приведения во времени и итерационного подбора коэффициентов k и d

входят и другие сигналы, которые оказываются в зоне диаграммы направленности антенны (грозовые разряды, отражения и радиотепловые шумы от земной поверхности, которые приняты боковыми лепестками и т. д.).

Внутренние же факторы обуславливают появление аддитивной составляющей, связанной с шумовым характером работы радиоэлементов радара. Такая составляющая отражает текущее техническое состояние его аппаратуры и образует добавку к шумовой температуре T_N также на уровне нескольких сотен градусов.

Как показывает анализ, значения мощности этих составляющих фонового шума можно использовать для предложенного выше контроля значений константы C . К примеру, для ориентированной в зенит антенны харьковского радара НР имеются зафиксированные суточные зависимости уровня фонового шума $P_N(t)_{ЭТ}$, как добавки к сигналу рассеяния, после статистического усреднения данных за период 27 мая — 6 июня 2006 г. (рис. 1). Отметим, что при усреднении каждая последующая суточная линия корректировалась (сдвигалась влево на $1/365$ часть суток, или около 4 мин), т. е. приводилась по времени к состоянию на 27 мая 2006 г., поэтому в дальнейших расчётах этот день нами будет рассматриваться в качестве эталонного. Так-

же на графике приведен фоновый шум, полученный в текущих сутках 14 июля 2006 г., с использованием которого будет приведён пример уточнения значений электронной концентрации.

На радиолокаторах в других географических пунктах можно наблюдать аналогичный характер временных зависимостей фонового шума. Обычно имеют место два максимума и два минимума, что связано с движением луча антенны по небесной сфере (со сменой в зоне луча групп наблюдаемых звёздных радиоисточников).

Дальнейший анализ данных позволяет разложить фоновый шум на три интересующие нас составляющие [11] (см. рис. 2).

1. Первая составляющая, переменная величина $P_{N\sim}(t)_{ЭТ}$, образуется за счёт космического фона. Соотношение между значениями локальных максимумов и минимумов на этой кривой напрямую связано с коэффициентом усиления приёмной системы радиолокатора.

2. Вторая составляющая $(\Delta P_{N=})_{ЭТ}$ образуется из сигнала, отражаемого от земли и принимаемого боковыми лепестками диаграммы направленности антенны. Это отражение возникает в момент включения передатчика и зависит от уровня излучаемой мощности радара. Например, при включении и выключении передатчика 27 мая 2006 г. харьковский радиолокатор регист-

рировал появление дополнительной шумовой добавки $(\Delta P_{N=})_{\text{ЭТ}}$ на уровне 75 условных единиц (уровней квантования в квадрате), что составляет 25...30 % от общего фона.

3. Третья составляющая $(P_{N=})_{\text{ЭТ}}$ образуется радиотепловыми шумами земной поверхности, а также зависит от состояния радиокомпонентов схем. На данном этапе исследований уровень этой составляющей принимается постоянным.

Для решения нашей задачи предлагается контролировать значения всех трех составляющих на протяжении некоторого временного интервала T и проводить периодические уточнения константы с последующей коррекцией значений электронной концентрации. В отличие от традиционных методов радиоастрономии [13], предполагается контролировать не абсолютные значения мощности выбранного в качестве эталона контрольного сигнала, а соотношение между значениями мощности космического фона в разнесённые моменты времени (в точках минимума и максимума).

Суть такой коррекции заключается в следующем (см. рис. 2).

1. Определяется отличие размахов в точках глобального минимума и максимума шума $P_N(t)_{\text{ТЕК}}$ в текущий день. Вычисляется отношение к такой же разнице, полученной из размаха $P_N(t)_{\text{ЭТ}}$ в эталонный день. Так как это отношение отражает, насколько изменился с момента эталонных суток коэффициент усиления приёмной системы, то это значит, что во столько же раз изменилось усиление и полезной составляющей — мощности $P_S(h)_{\text{ЭТ}}$ сигнала рассеяния (а значит, и константы).

2. Анализируется уровень третьей составляющей $(\Delta P_{N=})_{\text{ТЕК}}$ и оценивается его приращение по отношению к уровню составляющей эталонного дня. Изменение уровня (константы) показывает, насколько изменилась мощность $P_S(h)_{\text{ЭТ}}$ возвращаемого сигнала рассеяния, но уже из-за нестабильной работы передатчика радиолокатора или флуктуаций питающих его напряжений.

3. С помощью полученных сведений константа $C_{\text{ЭТ}}$ преобразовывается в значение $C_{\text{ТЕК}}$, соответствующее изменённым характеристикам состояния радара, и с помощью выражения (2)

уточняются значения электронной концентрации.

Практическая реализация данной методики заключается в выполнении следующих операций.

Шаг 1. Значения текущей мощности шума $P_N(t)_{\text{ТЕК}}$ пересчитываются на момент эталонных суток путем циклического сдвига данных вдоль оси времени на значение $t = t_{\text{ОТН}}$, эквивалентное разнице между календарными датами. Затем реализуется процедура поэлементного сравнения этой отнесённой мощности $P_N(t_{\text{ОТН}})_{\text{ТЕК}}$ с эталонной мощностью $P_N(t)_{\text{ЭТ}}$. Для этого предлагается итерационная процедура вида [8]

$$\Delta(k, d) = \sum_{t=0}^T \{P_N(t)_{\text{ЭТ}} - k[P_N(t_{\text{ОТН}})_{\text{ТЕК}} + d]\}^2 \Rightarrow \min,$$

в процессе выполнения которой анализируются суммы средних квадратичных отклонений $\Delta(k, d)$ линий, где T — рассматриваемый период корректируемых суток, $k = 0.5 \dots 2.0$ — диапазон подбора коэффициента усиления приёмной системы радара, $d = -50 \dots +50$ — диапазон подбора коэффициента, отражающего изменение рабочего состояния передатчика.

Шаг 2. По окончании процедуры итераций (по найденному минимуму Δ) устанавливается, что если бы при данном состоянии аппаратуры определялась константа $C_{\text{ЭТ}}$, то с высоты максимума слоя F2 был бы принят уровень мощности сигнала рассеяния $P_S(h_{F2})_{\text{ТЕК}}$, равный иному значению, а именно:

$$P_S(h_{F2})_{\text{ТЕК}} = \frac{P_S(h_{F2})_{\text{ЭТ}}}{k}.$$

Шаг 3. С учётом появившейся добавки d определяется величина изменения мощности излучения передатчика, равная [9]

$$m = \frac{(\Delta P_{N=})_{\text{ЭТ}} - kd}{(\Delta P_{N=})_{\text{ЭТ}}} = 1 - \frac{kd}{(\Delta P_{N=})_{\text{ЭТ}}}.$$

Шаг 4. Полученные коэффициенты можно использовать для уточнения текущих значений константы $C_{\text{ТЕК}}$ согласно выражению

$$C_{\text{ТЕК}} = C_{\text{ЭТ}} \frac{m}{k} = \frac{C_{\text{ЭТ}}}{k} \left[1 - \frac{k \cdot d}{(\Delta P_{N=})_{\text{ЭТ}}} \right].$$

Высотно-временные значения электронной концентрации за период T корректируются с использованием формулы

$$N_e(h, t)_{\text{корр}} = N_e(h, t) \frac{C_{\text{эт}}}{C_{\text{тек}}}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Предложенный вариант обработки представлен на рис. 2, где демонстрируется момент совмещения значений переменных составляющих $P_{N\sim}(t)_{\text{тек}}$ и $P_{N\sim}(t)_{\text{эт}}$. Результаты расчётов в итерационной процедуре для этого случая следующие: а) коэффициент передачи приёмника в текущий день оказался меньше эталонного в $k = 1.3$ раза; б) передатчик радара в это же время работал с меньшей ($m = 1 - 21/75 = 0.7$) мощностью излучения. Согласно такой ситуации с целью коррекции необходимо пересчитать полученные значения электронной концентрации 14 июля 2006 г., а именно: умножить их на 1.3 из-за использования радара с уменьшённым коэффициентом передачи приёмного тракта, а также ещё раз умножить на $1/0.7 = 1.43$ из-за сниженной мощности радиопередающего устройства.

ВЫВОДЫ

Методика коррекции результатов измерений электронной концентрации ионосферной плазмы, представленная здесь, позволяет производить уточнение параметров ионосферы в те периоды, когда с момента предыдущего расчёта константы в состоянии технических систем радара НР произошли изменения. Предложенный в данной работе алгоритм коррекции результатов измерений, осуществляемый в случае отсутствия данных о критической частоте со станций вертикального зондирования, возможен благодаря анализу информации о характере поведения шумовых составляющих (в особенности космического фона), регистрируемых на входе радиолокатора, и позволяет, как показывает практика измерений, значительно улучшить численные показатели расчётов.

Предложенная коррекция даёт возможность вернуться к результатам измерений, проведён-

ным в предыдущие периоды, чтобы проверить корректность значений использованной в то время константы. Для этого необходимо сопоставить уровень шума тех дней со значениями шума эталонного дня, найти отличия и скорректировать результаты вычислений. Такая проверка приводит к уменьшению допущенных погрешностей расчётов электронной концентрации и повышает достоверность радиофизического эксперимента.

Следует также помнить, что уровень космического фона при приёме сигнала изменяется в зависимости от интенсивности ионосферного поглощения (наибольшее поглощение — в летний день). Согласно предложенной методике сравниваются уровни фона хотя и для разных суток, но в одно и то же время суток, поэтому неточности в расчёты будут вносить лишь сезонные отличия интенсивностей поглощения. Мы рекомендуем использовать не один, а несколько эталонных значений $P_{N\sim}(t)_{\text{эт}}$ для этих случаев.

Рассмотренная выше процедура используется в процессе ионосферных исследований, осуществляемых с помощью радара НР Института ионосферы НАН и МОН Украины (г. Харьков).

1. Абрамов В. Г., Жеребцов Г. А., Заворин А. М. Радар некогерентного рассеяния ИСЗФ СО РАН // Материалы региональной научной конференции, посвященной 100-летию изобретения радио. — Иркутск, 1995. — С. 16—20.
2. Головин В. И., Рогожкин Е. В., Таран В. И. Наблюдения ионосферы с помощью метода НР. Сообщение 2. Аппаратурные и методические особенности // Вестн. Харьков. политехн. ин-та. — 1979. — № 155, вып. 1. — С. 12—22.
3. Григоренко Е. И., Боговский В. К., Емельянов Л. Я. и др. Вариации параметров ионосферы в периоды высокой и низкой солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. — 2001. — 41, № 2. — С. 199—203.
4. Дзюбанов Д. А., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Исследование и моделирование вариаций параметров ионосферной плазмы в период минимума 23-го цикла солнечной активности // Космічна наука і технологія. — 2008. — 14, № 1. — С. 44—58.
5. Лысенко В. Н., Склярів І. Б. Перспективи применения ионозонда в составе радара НР Института ионосферы // Вестн. НТУ «ХПИ». — 2004. — № 23. — С. 63—68.

6. Мазманишвили А. С., Пуляев В. А. Разработка информационных технологий оценки параметров ионосферной плазмы в методе некогерентного рассеяния радиоволн // Космічна наука і технологія. — 2003. — 9, № 4. — С. 73—78.
7. Мазманишвили А. С., Пуляев В. А. Распределение корреляционного функционала при точечном измерении данных // Изв. вузов. Радиофизика. — 2004. — 47, № 9. — С. 789—797.
8. Пат. Украины UA № 24531, МКИ G 01 S 13/95. Способ определения высотно-временного распределения электронной концентрации ионосферной плазмы при нестабильности константы радиолокатора / В. А. Пуляев, В. Н. Лысенко. — Заявл. 01.12.06; Опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
9. Пат. Украины UA № 27311, МКИ G 01 S 13/95. Способ определения высотно-временного распределения электронной концентрации ионосферной плазмы / В. А. Пуляев, В. Н. Лысенко. — Заявл. 15.06.07; Опубл. 25.10.07, Бюл. № 17.
10. Пуляев В. А. Оценка параметров ионосферной плазмы в методе некогерентного рассеяния радиоволн // Восточно-Европейский журн. передовых технологий. — 2003. — 5(5). — С. 12—14.
11. Пуляев В. А. Оценка критической частоты слоя F2 с помощью константы радиолокатора НР // Вестн. НТУ «ХПИ». — 2007. — № 10. — С. 162—165.
12. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом НР // Геомагнетизм и аэрономия. — 2001. — 41, № 5. — С. 659—666.
13. Цейтлин Н. М. Применение методов радиоастрономии в антенной технике. — М.: Сов. радио, 1966.— 360 с.
14. Эванс Дж. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн // Тр. ИИЭР. 1969. — 57, № 4. — С. 139—175.
15. Evans J. V. Studies of the F region by the incoherent backscatter method. — Lexington, M. I. T. Lincoln Lab., 1962. — Mass. Tech. Rept. 274.

Надійшла до редакції 03.07.09

V. A. Pulyayev, I. F. Domnin, D. A. Dzubanov

CORRECTION OF AN ESTIMATE FOR ELECTRON CONCENTRATION OF IONOSPHERIC PLASMA AT INSTABILITY OF THE CONSTANT OF THE INCOHERENT SCATTER RADAR

We propose algorithmic procedures for the minimization of calculation errors in the electron concentration of ionospheric plasma. The technique for power analysis of space background at the input of the incoherent scatter radar is developed for these algorithms. This information enables one to control the transceiver system condition, which permits one to correct the radar constant and to improve the value of electron concentration without ionoprobe data.