



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **27311** (13) **U**
(51) МПК
G01S 13/95 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТНО-ЧАСОВОГО РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОННОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНОСФЕРНОЇ ПЛАЗМИ

1

2

(21) u200706730

(22) 15.06.2007

(24) 25.10.2007

(72) ПУЛЯЄВ ВАЛЕРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, UA,
ЛИСЕНКО ВАЛЕРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", UA

(56)

(57) Спосіб визначення висотно-часового розподілу електронної концентрації іоносферної плазми, в процесі якого для випадку некогерентного розсіяння використовують вираз:

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

де h - висота,

$P_S(h)$, $T_e(h)$ і $T_i(h)$ - висотні залежності потужності сигналу розсіяння, електронної та іонної температур плазми,

C - константа радіолокатора, яка спочатку розраховується в один із сеансів в еталонну добу за виразом:

$$C_{ET} = \frac{P_S(h_{F2})_{ET} \cdot (h_{F2})_{ET}^2 \cdot [1 + T_e(h_{F2})_{ET} / T_i(h_{F2})_{ET}]}{1,24 \cdot 10^{10} \cdot (f_{F2})_{ET}^2},$$

де $P_S(h_{F2})_{ET}$, $T_e(h_{F2})_{ET}$ і $T_i(h_{F2})_{ET}$ - одержані радіолокатором з висоти максимуму $(h_{F2})_{ET}$ іоносферного шару F2 потужність сигналу розсіяння, а також електронна та іонна температури,

$(f_{F2})_{ET}$ - значення критичної частоти для цієї висоти з іоносферної станції (іонозонда), а потім константа уточнюється в поточний день згідно з виразом:

$$C = C_{ET}/k,$$

де k - ітераційний множник, що враховує зміну коефіцієнта підсилення приймача радіолокатора

по відношенню до його стану в еталонний день та знаходиться при фіксації мінімуму суми середньоквадратичних відхилень в процедурі, що має вигляд:

$$\sum_t \{P_N(t)_{ET} - k \cdot [P_N(t = t_{ВІДН})_{ПОТ} + d]\}^2 \Rightarrow \min,$$

де $P_N(t)_{ET}$ - залежність потужності фоновому шуму протягом інтервалу T на виході приймача в еталонний день, що одержана в кожному сеансі в кінці радіолокаційної розгортки дальності, де сигнал некогерентного розсіяння вже не реєструється,

$P_N(t = t_{ВІДН})_{ПОТ}$ - ця ж потужність в поточний день, віднесена до моменту часу еталонної доби, d - ітераційна добавка до постійної складової потужності шуму,

який **відрізняється** тим, що поточне значення константи C замінюється на $C_{ПОТ}$ з урахуванням зміни в m разів енергетики радіолокатора, а саме:

$$C_{ПОТ} = C \cdot m,$$

при цьому m розраховується за виразом:

$$m = 1 - \frac{d}{(\Delta P_{N=})_{ET}},$$

де $(\Delta P_{N=})_{ET}$ - добавка фоновому шуму, яка знаходиться як різниця між постійними складовими потужності фоновому шуму при ввімкненому та вимкненому радіопередавачеві, причому в той момент еталонної доби, коли має місце мінімум змінної складової потужності шуму (мінімум сигналу від зоряних скупчень).

Корисна модель належить до радіолокації, зокрема до радіотехнічних вимірювань параметрів іоносфери методом некогерентного розсіяння (НР). Ця модель може бути застосована для

зменшення похибок обчислення висотно-часового розподілу концентрації електронів, використовуючи як в процесі, так і по результатам радіофізичного експерименту операцію уточнення

(13) **U**
(11) **27311**
(19) **UA**

константи радіолокатора з оглядом на зміну випромінюваної енергії в імпульсі. Мета розробки - підвищення ефективності визначення параметрів іоносфери, що є дуже важливим для оптимального рішення наукових і практичних задач радіозв'язку, супутникового зв'язку, навігації, космонавтики та ін.

Розглянемо відомий спосіб-аналог наземного радіолокаційного визначення висотно-часового розподілу електронної концентрації, який базується на використанні вимірюваних радіолокатором НР на протязі доби (в кожному сеансі тривалістю декілька хвилин) висотних профілів потужності $P_s(h)$ сигналу розсіяння та температур заряджених часток: електронів $T_e(h)$ і іонів $T_i(h)$ [1]. При цьому для розрахунку профілю електронної концентрації використовується формула:

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

де C - константа пропорційності, залежна від технічних параметрів радіолокатора. Ця константа визначається в одному із сеансів в еталонний (ЕТ) період по формулі:

$$C = \frac{P_s(h_{F2})_{ET} \cdot (h_{F2})^2_{ET} \cdot [1 + T_e(h_{F2})_{ET} / T_i(h_{F2})_{ET}]}{1,24 \cdot 10^{10} \cdot (f_{F2})^2_{ET}}, \quad (2)$$

і дозволяє лише періодично, до 1 разу за добу, включати допоміжний пристрій - іонозонд - і оцінювати значення критичної частоти f_{F2} на висоті h_{F2} максимуму іоносферного шару F2.

Мається на увазі, що з цією константою за допомогою виразу (1) буде розраховуватися електронна концентрація в той період доби, коли іонозонд виключено, тобто відсутнє джерело електромагнітного засмічення радіоефіру в широкому діапазоні частот (десятки МГц).

Недоліком цього методу є те, що в реальності величина C може в любий момент раптово змінитися і призвести до появи непередбачених похибок. Однією із причин її варіювання є зміна режиму роботи приймальної системи радіолокатора із-за нестабільності параметрів елементів. Також в залежності від падіння або росту відношення сигнал/шум (із-за сонячної активності, магнітних бур і т.д.) можуть змінюватися (персоналом або автоматично) коефіцієнти підсилення відеопристроїв для узгодження розмаху аналогового сигналу з динамічним діапазоном АЦП і т. д. І якщо відбулася така зміна, а уточнення константи - ні, то всю групу сеансів аж до моменту включення іонозонда треба відбраковувати, бо одержані дані є недостовірними. В результаті це призводить до того, що іонозонд намагаються включати все частіше, тобто його змушують працювати майже безперервно.

Найбільш близьким до способу, що пропонується - прототипом - є такий, що базується на контролі в процесі визначення електронної концентрації деяких технічних характеристик радіолокатора НР, а саме - коефіцієнта підсилення приймальної системи [2]. Для цього використовуються сигнали, які присутні на вході радіолокатора НР із-за періодичної появи в зоні

радіовидимості його антени зоряних скупчень, джерел так званих космічних шумів.

Рівень цих шумів використовується у способі-прототипі як деякий еталон. Згідно запропонованої методики, константу (2), обчислену в еталонний день, приймають лише в якості першого, стартового значення C_{ET} . Так як це значення з вищезгаданих причин в поточний (ПОТ) день може змінюватися, то його намагаються корегувати на більш точне значення C . Для цього за допомогою математичних розрахунків, аналізуючи зміну на виході приймача в k раз розмаху періодичної складової космічних шумів, синхронної з коефіцієнтом підсилення, проводять уточнення константи згідно з наступним виразом:

$$C = C_{ET} / k. \quad (3)$$

Такий спосіб дозволяє збільшити ймовірність одержання правильного результату, а значить - значно зменшити частоту включення іонозонду.

Проте є ще одна причина, що може призвести до зміни константи радіолокатора в поточний день. Це - нестабільність рівня випромінюваної радіолокатором НР потужності в імпульсі, яку неможливо день від дня тримати жорстко в одних і тих же межах.

Причин зміни енергетики радіолокатора є декілька, в тому числі:

- переключення режимів роботи радіолокатора (під час експерименту може варіюватися тривалість та форма зондувальних імпульсів);
- зміна технічних характеристик радіолокатора (міняються коефіцієнти підсилення передавачів, порушується ортогональність каналів, порушується стан антен но-фідерного тракту та інше);
- виникнення паразитних шумів радіопередавача (із-за дробового ефекту на його кінцевих каскадах - лампах або клістронах);
- коливання живлячої напруги в мережі і т. д.

В основу корисної моделі, що пропонується, поставлена задача зменшення похибок обчислення електронної концентрації, причому тих похибок, що виникають із-за нестабільності значень константи радіолокатора на протязі поточної доби, і які викликані зміною технічного стану елементів і режимів радіопередавача радіолокатора та його антенної системи. Цінність такої моделі полягає в тому, що завжди можна повернутися до результатів вимірювань попередніх періодів, скорегувавши неточні значення електронної концентрації у відбракованих сеансах.

Вирішення цієї задачі досягається тим, що пропонується допоміжна процедура уточнення константи C радіолокатора, в процесі якої вона замінюється на поточне значення $C_{пот}$ з оглядом на зміну в m раз енергетики радіолокатора. Для цього пропонується аналіз тієї частки постійної складової фоновому шуму на виході приймача радіолокатора, формування і розмах якої пов'язані з величиною випромінюваної в простір потужністю.

Уточнимо, яку інформацію несуть в собі складові фоновому шуму $P_N(t)$ на прикладі даних радіолокатора НР, який розташований на території

Інституту іоносфери НАН і МОН України (м. Харків).

Як відмічається в прототипі, в складі фоновому шуму $P_N(t)$ реєструються безліч складових квазістаціонарних шумів різної природи, обумовлених впливом зовнішніх і внутрішніх факторів. І якщо в прототипі як еталон використовується змінна складова виду P_{N-} , обумовлена світінням (шумом) неба, то в нашому випадку будемо використовувати інформацію, закладену в розмах постійної складової.

Цю складову розділимо на дві визначальні частини (Фіг.1).

Перша з цих частин P_{N-} має розмах, не залежний від енергетики радіолокатора, і утворюється грозовими розрядами, тепловими шумами земної поверхні та іншими зовнішніми причинами.

До другої частини ΔP_{N-} відносяться відбиття від землі, прийняті паразитними пелюстками діаграми спрямованості антени. Саме ці відбиття утворюються при включенні передавача і, в залежності від варіацій випромінюваної потужності радіолокатора, визначають зміну цієї частини складової шуму. Цей факт легко підтвердити, якщо при нерухомій антені вмикати та вимикати передавач і фіксувати різницю в рівні прийнятого шуму.

Саме цю другу частину, реєструючи зміну її розмаху, пропонується у новому способі використати ще для однієї корекції поточного значення константи радіолокатора.

Сутність способу, що пропонується, є такою.

Для розрахунку значень електронної концентрації $N_e(h)$, як і в способі-прототипі, будемо використовувати вираз (1). При цьому в якості константи радіолокатора C залучається її базове значення C_{ET} , яке було розраховане в один із сеансів в еталонну добу за допомогою залежності:

$$C_{ET} = \frac{P_S(h_{F2})_{ET} \cdot (h_{F2})_{ET}^2 \cdot [1 + T_e(h_{F2})_{ET} / T_i(h_{F2})_{ET}]}{1,24 \cdot 10^{10} \cdot (f_{F2})_{ET}^2},$$

де $P_S(h_{F2})_{ET}$, $T_e(h_{F2})_{ET}$ і $T_i(h_{F2})_{ET}$ - одержані радіолокатором з висоти максимуму $(h_{F2})_{ET}$ іоносферного шару F2 потужність сигналу розсіяння, а також електронна та йонна температури, $(f_{F2})_{ET}$ - значення критичної частоти для цієї висоти з іоносферної станції (іонозонда).

В поточний день це значення уточнюється з оглядом на новий стан приймача згідно з виразом:

$$C = C_{ET}/k,$$

де k - ітераційний множник, що враховує зміну коефіцієнту підсилення приймача радіолокатора по відношенню до його стану в еталонний день.

Множник знаходиться при фіксації мінімуму суми середньоквадратичних відхилень в процедурі, що має вигляд:

$$\sum_t \{P_N(t)_{ET} - k \cdot [P_N(t = t_{\text{відн}})_{\text{ПОТ}} + d]\}^2 \Rightarrow \min, (4)$$

в якій $P_N(t)_{ET}$ - залежність потужності фоновому шуму на протязі інтервалу T на виході приймача в еталонний день, що одержана в кожному сеансі в кінці радіолокаційної розгортки дальності, де

сигнал некогерентного розсіяння вже не

реєструється, $P_N(t = t_{\text{відн}})_{\text{ПОТ}}$ - ця ж потужність поточного дня, віднесена до моменту часу еталонної доби, d - ітераційна добавка до постійної складової потужності шуму.

Новим в способі є те, що значення константи C перед розрахунком $N_e(h)$ ще раз уточнюється. Це значення, згідно процедури, що наведена нижче, замінюється на $C_{\text{ПОТ}}$, яке більш точно відповідає новому технічному стану тепер ще й передавача та антенно-фідерного тракту радіолокатора в поточний день.

Робиться це так.

В ітераційному процесі пошуку моменту співпадання (Фіг.2) форм змінних складових

еталонної потужності шуму $P_N(t)_{ET}$ та приведеної

поточної потужності $P_N(t = t_{\text{відн}})_{\text{ПОТ}}$ фіксується, як було сказано вище, добавка d до постійної складової. Саме з її допомогою можна розрахувати коефіцієнт m , який буде показувати, на скільки змінюється день від дня (або за більш короткий термін) величина випромінюваної потужності в системі передавач - антенно-фідерна система.

Аналіз ліній на Фіг.2 показує, що всі складові потужності поточного шуму в результаті ітераційної процедури змінюються на величину множника k . Разом з тим виникає і добавка kd (зі знаком плюс або мінус), що відповідає збільшенню або зменшенню в m раз енергетики радіолокатора. А значить, це свідчить, що пропорційно добавці kd змінюється і потужність і сигналу розсіяння $P_S(h_{F2})_{ET}$, визваного опроміненням іоносфери. Тобто, з огляду на новий технічний стан, але вже передавальної системи, необхідно ще раз скорегувати константу, використовуючи вираз

$$C_{\text{ПОТ}} = C \cdot m,$$

де величина m розраховується згідно залежності

$$m = \frac{k \cdot (\Delta P_{N-})_{\text{ПОТ}} - k \cdot d}{k \cdot (\Delta P_{N-})_{\text{ПОТ}}} = 1 - \frac{d}{(\Delta P_{N-})_{ET}} \quad (5)$$

Для реалізації виразу (5) необхідно мати

еталонну величину $(\Delta P_{N-})_{ET}$. Її в цьому способі необхідно оцінювати одночасно з розрахунком C_{ET} а саме - як різницю між постійними складовими потужності фоновому шуму при ввімкненому та вимкненому передавачеві. При цьому треба пам'ятати, що для одержання найбільшої точності вимірювань цієї величини таку операцію бажано проводити в той момент еталонної доби, коли має місце мінімум змінної складової потужності шуму (мінімум сигналу від зоряних скупчень).

Робота за способом, що пропонується, нижче демонструється на прикладі реального сеансу (Фіг.2) харківського радіолокатора НР, який було розглянуто в спо-собі-прототипі. Вона полягає в наступному.

1. Запам'ятовуємо в еталонний день 27.05.2006р. фон шумів та за виразом (2) розраховуємо C_{ET} . Також шляхом вмикання та вимикання передавача біля 2^{00} фіксуємо різницю в рівнях прийнятого шуму як $(\Delta P_{N-})_{ET}$. В цей день

було оцінено, що $(\Delta P_N)_{ET} = 75$ умовних одиниць (рівнів квантування).

2. Відносимо до періоду еталонної доби положення елементів поточної потужності шуму $P_N(t)_{\text{ПОТ}}$ в день 14.07.2006р. шляхом їх циклічного переносу вправо на період, що еквівалентний різниці в 48 діб між датами, тобто на величину в 48/365 доби, або $t_{\text{ВІДН}} = 3 \text{ год. } 12 \text{ хв.}$

3. Накладаємо на добовий хід еталонних шумів $-P_N(t)_{ET}$ потужність поточного шуму $(\Delta P_N)_{\text{ПОТ}}$ (Фіг.3).

4. Проводимо ітераційну процедуру поелементного порівняння цих приведених потужностей, використовуючи вираз (4). Фіксуємо в момент одержання мінімуму суми відхилень ітераційні коефіцієнти $k=1.3$ і $d=21$.

5. По результатам ітерації виявляємо, що так як коефіцієнт підсилення приймальної системи змінився в $k=1.3$ раз, то і значення константи відповідає меншому значенню, а саме $C=C_{ET}/1.3$.

6. Також виявляємо, так як добавка фоновому шуму у цьому випадку дорівнює $d=21$, то це свідчить про те, що має місце зниження енергетики майже в

$$m = 1 - \frac{d}{(\Delta P_N)_{ET}} = 1 - \frac{21}{75} \approx 0.7 \text{ раз.}$$

З урахуванням цього ще раз перераховуємо константу як

$$C_{\text{ПОТ}} = C \cdot 0.7,$$

та уточнюємо електронну концентрацію за виразом (1), підставивши в нього значення $C=C_{\text{ПОТ}}$.

Як приклад, що демонструє кількісні показники покращання точності розрахунку висотно-часового розподілу концентрації електронів $N_e(t)$, на Фіг.3 наведені графічні лінії її значень для доби 14.07.2006р., обчислені по різним методикам. Штрихова лінія (а) - результат розрахунку $N_e(t)$ за методикою способу-аналогу. Тонка лінія (б) - це результат, уточнений (збільшений) до 30% згідно методики способу-прототипу, який використовував значення константи радіолокатора, скореговане з оглядом на новий технічний стан приймача (ослаблений коефіцієнт передачі). Товста лінія (в) - електронна концентрація, одержана після врахування ще й стану передавача, який в поточний день призвів до зниження потужності випромінювання. Графік показує, що в результаті останнього уточнення, коли константа стала відповідати більш правильній енергетиці радіолокатора, електронна концентрація збільшилась ще майже на 30%.

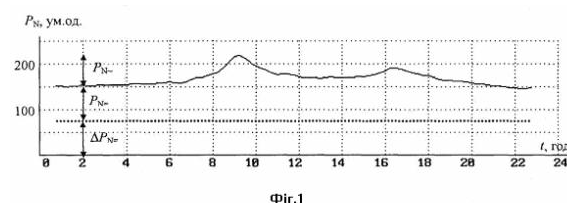
Внаслідок того, що у відомих способах розрахунку висотно-часового розподілу електронної концентрації відсутні означені відзнаки: фіксація в період еталонної доби (під час вмикання та вимикання радіопередавача) в той момент, коли має місце мінімум сигналу від зоряних скупчень, тієї частки постійної складової потужності фоновому шуму, що залежить від енергетики радіолокатора, а також розрахунок на її основі коефіцієнту зміни випромінюваної потужності та уточнення в поточний день

константи радіолокатора з оглядом на новий технічний стан його радіопередавача та антенно-фідерного тракту, то спосіб, що пропонується, відповідає критерію "істотні відзнаки".

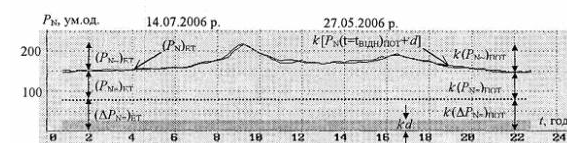
Джерела інформації.

1. Эванс Дж. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн. - Труды ИИЭР. 1969. - 57, №4. - С.139-175.

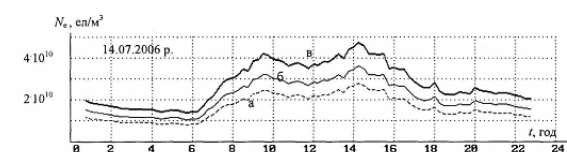
2. Пуляев В.О., Лисенко В.М. Спосіб визначення висотно-часового розподілу електронної концентрації іоносферної плазми при нестабільності константи радіолокатора /Позитивне рішення від 21.03.2007р. про видачу деклараційного патенту України на корисну модель за заявкою №u200612656 з пріоритетом від 01.12.2006р.



Фіг.1



Фіг.2



Фіг.3