

УДК 621.67 : 535

О.А. Моргун¹, О.Л. Поляков², С.Є. Ломоносов²¹Європейський університет, Київ²Південний центр радіотехнічного спостереження, Севастополь

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ РОЗШИРЕННЯ СПЕКТРУ ЗАВДАНЬ ОКРЕМИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВУЗЛІВ

У статті розглянута можливість застосування окремих радіотехнічних вузлів (ОРТВ) для вирішення завдань не пов'язаних з контролем космічного простору. Авторами розроблено ряд пропозицій щодо модернізації й використання РЛС «Дніпро» для науково-дослідних практичних робіт в області дослідження іоносфери, а також виявлення аеродинамічних і надводних об'єктів.

Ключові слова: окремі радіотехнічні вузли, система контролю та аналізу космічної обстановки, модернізація, вимірювання.

Вступ

Окремі радіотехнічні вузли є засобами вирішення завдань контролю космічного простору та здійснюють надобрийну радіолокацію в межах прямої видимості й призначені для: огляду космічного простору і виявлення цілей у межах зони огляду; вимірювання параметрів руху космічних об'єктів; супроводу цілей за даними радіолокаційних вимірів; визначення типу цілей; видачі інформації про супроводжувані цілі на вищестоячий пункт управління. Однак, закладені при розробці принципи функціонування станції дозволяють значно розширити спектр розв'язуваних завдань. Досвід використання подібної апаратури свідчить про можливість використання РЛС «Дніпро» у дослідженнях іоносфери, що стане вагомим внеском у досягнення вітчизняної науки й техніки.

Метою статті є аналіз використання аналогічних систем РФ і оцінка можливості модернізації ОРТВ для вирішення завдань іоносферних досліджень.

Аналіз літератури. Аналіз інформації існуючих джерел свідчить про підвищену увагу наукового співтовариства до явищ і процесів, що відбуваються в іоносферних шарах Землі [1]. Це обумовлене значним впливом характеристик середовища поширення радіохвиль на якість функціонування апаратури із трансіоносферними каналами зв'язку й передачі даних. Крім того, мають місце значні сонячно-земні залежності індикатором яких виступає іоносферний шар Землі [2].

Загальні відомості. Іоносфера (від іони й грецьк. σφαίρα – куля), іонізована частина верхньої атмосфери, розташована вище 50 км. Верхньою межею іоносфери є зовнішня частина магнітосфери Землі. Іоносфера являє собою природний утвір розрідженої слабоіонізованої плазми, що перебуває у магнітному полі Землі та має специфічні властивості, що визначають характер поширення у ній радіохвиль і різних збурювань завдяки своїй високій електропровідності.

Спостереження світової мережі станцій дозволили одержати глобальну картину зміни іоносфери

залежно від сонячної активності, Земних процесів і інших астрономічних явищ.

Застосування спочатку ракет і супутників дозволяє одержувати надійну інформацію про верхню атмосферу, безпосередньо вимірювати іонний склад (за допомогою мас-спектрометра) і основні фізичні характеристики іоносфери (температуру, концентрацію іонів і електронів) на всіх висотах, досліджувати джерела іонізації, інтенсивність і спектр короткохвильового іонізуючого випромінювання Сонця й різноманітних корпускулярних потоків. Це дозволило пояснити регулярні зміни в іоносфері. За допомогою супутників, що несуть на борті іоносферну станцію й зондують іоносферу зверху, вдалося досліджувати верхню частину іоносфери, розташовану вище максимуму шару F і тому недоступну для вивчення наземними іоносферними станціями. Поряд з ракетами й супутниками одержали успішний розвиток нові наземні методи дослідження [1], особливо важливі для вивчення нижньої частини іоносфери в області D: методи часткового відбиття й перехресної модуляції; вимірювань за допомогою реометрів поглинання космічного радіовипромінювання на різних частотах; дослідження поля довгих і наддовгих радіохвиль; метод нахилоного й зворотно-нахилоного зондування; метод зворотнього некогерентного (томпсонівського) розсіювання, започаткований на принципі радіолокації, коли в іоносфері посилюють короткий потужний імпульс радіовипромінювання, а потім приймають слабкий розсіяний сигнал, розтягнутий у часі залежно від відстані до точки розсіювання.

Останній метод дає можливість проводити вимірювання не тільки розподілу не до надвеликих висот (1000 км і вище), але дає також температуру електронів і іонів, іонний склад, регулярні й нерегулярні рухи й інші параметри іоносфери.

У цей час вивчення іоносфери продовжує розвиватися у двох напрямках. Перший – з точки зору її впливу на поширення радіохвиль і другий – дослідження фізико-хімічних процесів, що відбуваються в ній. Це, у свою чергу, привело до народження нової науки – аерономії [2].

Таким чином, у даний час ставиться завдання створення єдиної всеосяжної системи контролю для створення високоточної глобальної динамічної моделі іоносфери. вирішення такого завдання вимагає комбінації теоретичних і лабораторних досліджень із методами безпосередніх вимірів на ракетах, супутниках і систематичних спостережень іоносфери мережею наземних станцій.

Розділ основного матеріалу

Метод некогерентного розсіювання (НР) дає можливість найбільш комплексного виміру й діагностики наземними засобами параметрів іоносферної плазми [3, 4]. У даному методі використовуються потужні УКХ або СВЧ радіолокатори, за допомогою яких вдається одержати інформацію про вертикальну структуру іоносфери і її динаміку. Основна частина випромінюваної радаром НР енергії проходить крізь іоносферу, і назад вертається дуже слабкий шумоподібний сигнал, розсіяний на теплових флуктуаціях щільності плазми. Необхідність вимірювати такі слабкі сигнали визначає великі розміри радарів і високу імпульсну потужність передавачів. З цієї ж причини при реєстрації й обробки сигналів НР застосовуються досить складні методики обробки, у яких використовується тривале статистичне накопичення енергетичних характеристик сигналів НР (спектру потужності, кореляційної функції). Ме-

тод НР надає інформацію про висотний розподіл таких параметрів іоносферної плазми, як електронна концентрація n_e , електронна T_e і іонна T_i температури, іонний склад, швидкість дрейфу V_d плазми й інше. На підставі цих "базових" параметрів з використанням сучасних моделей газового складу верхньої атмосфери можуть бути отримані інші характеристики середовища: температура нейтрального компонента, склад важких іонів, частоти зіткнень часток і інше. Сучасні дослідження структури іоносфери та процесів що протікають у ній багато в чому засновані на даних, отриманих радаром НР.

Хоча метод НР є одним з найдорожчих у дослідженнях іоносфери (порівнянним з ракетними й супутниковими експериментами), проте, він активно використовується науковими групами розвинених країн через важливість одержуваних геофізичних результатів.

Радари НР – досить складне й дороге устаткування, світова мережа нараховує лише 9 таких інструментів. Під егідою Міжнародного Радіосоюзу за допомогою них ведуться регулярні координовані спостереження за Програмою Світових Днів [5]. Отримані при цьому експериментальні дані складають основу для широкого спектра досліджень щодо сонячно-земної фізики, у тому числі для найважливіших міжнародних проектів Global Change, CEDAR, STEP і інше (рис. 1, табл. 1).

Таблиця 1

Стан засобів дослідження іоносфери

Місце дислокації	Експлуатуюча організація	Антенна система	Рв, (МВт)
Сондестрем, Гренландія	Національний науковий фонд, США	Повноповоротня параболічна, D=32 м	5
Джикамарка, Перу	НДЛ ESSA, США	Синфазна решітка 290 x 290 м	4
Аресібо, Пуерто-Ріко	Корнельський університет, США	Нерухомий сфероїд, 300 м, зі скануючою ДС	2.5
Хайстек, Бостон	Масачусетський інститут технологій, США	Зенітна параболічна, D=68 м. Повноповоротня параболічна, D=46 м	3 3
EISCAT, Північна Скандинавія	Європейська асоціація НР	Керований параболічний циліндр 120x40 м (Тромсе) Повноповоротня параболічна, 32 м (Тромсе); Дві приймальні антени (Кируна й Соданкюля)	5 2
Свалбард, о.Шпіцберген	Європейський союз	Повноповоротня параболічна, 32 м	2
Радар ІСЗФ, Іркутськ	Інститут сонячно-земної фізики СВ РАН, Росія	Секторіальний рупор, що опромінюється двома хвилеводно-щілинними антенами	2.8
МУ, Шигаракі	Університет Кіото, Японія	Нерухома синфазна решітка, 103 м	1
Радар Інституту іоносфери, Харків	МОН і НАН України	Зенітна двозеркальна параболічна, 100 м; Повноповоротня параболічна, 25 м	2.4-3.6



Рис. 1. Світова мережа НР радарів

Українські засоби дослідження іоносфери

В Україні існує Іоносферна обсерваторія Інституту іоносфери НАН і МОН (рис. 2), яка розташована у 50 км до південно-сходу від м. Харкова (м. Змієв). До складу обсерваторії входять:

- радар некогерентного розсіювання метрового діапазону з нерухомою антеною вертикального випромінювання діаметром 100 м;

- радар некогерентного розсіювання метрового діапазону з повноповоротною антеною діаметром 25 м;

- нагрівальний стенд декаметрового діапазону 300x300 м;

- іонозонди вертикального й нахиленого зондування.



Рис. 2. Іоносферна обсерваторія Інституту іоносфери НАН і МОН України

Харківський радар НР є єдиним і найбільш інформативним джерелом інформації про поведінку основних параметрів іоносферної плазми в середніх широтах центральноєвропейського регіону. Радар НР залежно від режимів роботи дозволяє одержувати наступні параметри іоносфери: концентрацію електронів, температури електронів і іонів, вертикальну складову швидкості переносу плазми, а також відомості про відносний іонний склад. Діапазон досліджуваних висот становить 100 – 1500 км.

Досвід використання РЛС «Дніпро» в іоносферних дослідженнях в Росії – Інститут сонячно-земної фізики сибірського відділення російської академії наук. Один з об'єктів інституту – іркутський радар некогерентного розсіювання розташований в 120 км

на північний схід від Іркутська.

Іркутський радар некогерентного розсіювання створений на базі РЛС «Дніпро» [6]. Ця пристрій має повний комплект технологічного устаткування, спорудження, комунікації і являє собою складний інженерно-технічний комплекс. Проведена модернізація системи управління, реєстрації й обробки сигналів на базі сучасної елементної бази дозволяє ефективно використовувати радар для дослідження верхньої атмосфери методом некогерентного розсіювання. Радар має рупорну антену з розмірами апертури 246 м на 12,2 м, і частотним скануванням діаграми спрямованості.

Іркутський радар входить у світову мережу радарів НР, що складається з 9 пристроїв, кожен з

яких є унікальним науковим інструментом. За своїми основними параметрами він близький до закордонних аналогів. Крім технічних характеристик унікальність радарів НР визначається і їх географічним положенням, тому що особливо важливі дані координованих спостережень про глобальні розподіли параметрів іоносфери. Іркутський радар НР заповнює істотну пустоту у ланцюжку радарів США, Європи і Японії.

Засоби такого типу є унікальними. Так іркутський радар є єдиним у Росії й включений до "Переліку унікальних експериментальних пристроїв національної значимості, що вимагають додаткової державної підтримки" РФ.

Основні результати робіт модифікованої РЛС «Дніпро» у рамках дослідження іоносферного шару Землі

З 1993 р. ведуться регулярні спостереження за міжнародною програмою Світових Днів мережі радарів НР (20 – 30 діб в рік) у діапазоні висот 200 – 500 км. На підставі даних спостережень методом НР досліджуються особливості варіацій електронної й іонної температур, швидкості, концентрації іоносферної плазми в різних геліо-геофізичних умовах. Розвиваються методи діагностики навколосемного простору, при цьому, у якості перспективного, розробляється питання про зондування нейтральної атмосфери (мезосфери й стратосфери). У результаті, уперше для Східно-Сибірського регіону отриманий представницький ряд даних НР про поведінку параметрів F-області іоносфери у різних геліо-геофізичних умовах (години доби, сезон, рівень сонячної й магнітної активності). Отримані експериментальні дані про тимчасові й амплітудні характеристики варіацій іоносферних параметрів під час таких збурювань, як сонячне затемнення, іоносферні бурі, потужні наземні вибухи. Проведені пробні експерименти щодо двогодинного впливу на іоносферу потужних СВЧ радіохвиль, які довели існування ефекту її модифікації.

У цей час почали активно розвиватися кооперативні міжнародні дослідження, перспективною метою яких є вивчення довготривалих закономірностей великомасштабних процесів (іоносферних бур, гравітаційних хвиль і інше) в іоносфері й верхній атмосфері на підставі даних світової мережі. Ці роботи ведуться в рамках спільного із групою Атмосферних досліджень із Массачусетського Технологічного Інституту (США) проекту, який одержав грант RG1-199 Американського фонду цивільних досліджень і розробок (CRDF).

Аналіз можливості створення експериментального радара некогерентного розсіювання на базі РЛС «Дніпро». Оскільки існуючі в Україні радіолокаційні станції "Дніпро", (на відмінну від іркутського радара) не призначені для проведення вимірів методом НР, то це буде потребувати додаткових певних зусиль для

їхньої модернізації з метою проведення іоносферних спостережень. Тут слід виділити чотири основні напрямки створення експериментальної бази радара:

- модернізація приймально-передавальної системи радара;
- розробка засобів первинної обробки й контролю вимірів;
- розробка методів визначення іоносферних параметрів за експериментальними даними радара НР;
- розміщення на базі радара НР інших засобів діагностики, що дозволяють поліпшити якість одержуваних даних.

Крім того, відмінність радарів полягає в конструкції антен. В іркутському radarі антена спрямована вертикально догори, а в ОРТВ під кутом близько 20°.

За попередніми оцінками, реалізація на РЛС методів дослідження іоносфери й навколишнього середовища є можливою. Впровадження методу дозволить здійснювати моніторинг іоносфери з метою:

- контролю за прихованим впливом на середовище;
- виявлення прихованих випробувань ядерної зброї;
- контролю факту запуску ракет;
- контролю впливу геофізичної зброї;
- виявлення провісників землетрусів;
- виявлення штучних потужних радіовипромінювань;
- включення в мережу міжнародних РЛС спостереження за іоносферою.

Потенційними споживачами інформації з Національна Академія наук, служби геофізичного контролю й радіозв'язку.

Роботи за цими напрямками потребують модернізації приймального тракту, з метою проведення кореляційних вимірів складним імпульсом і реєстрації водневої лінії спектра НР. Крім того виникає необхідність розробки системи формування складних зондувальних імпульсів і системи контролю й управління потужністю передавачів і контролю фази зондувальних сигналів.

Функціонування подібної системи вимагає підключення локальної мережі радара до Internet і організації оперативної передачі інформації. Важливою складовою створення експериментальної бази є оснащення її додатковими діагностичними засобами.

Слід зазначити, що у місці розташування ОРТВ (Севастополь) є досить розвинена інфраструктура (приміщення, електричні мережі, комунікації для кожного із сучасних радіофізичних, радіотехнічних, оптико-електронних інструментів). Тобто, обсерваторія радара НР може стати одним з дослідних центрів із проблем навколосемного космічного простору.

Застосування ОРТВ Севастополь для повітряного моніторингу чорноморського регіону

Засоби повітряного моніторингу України, які перебувають тепер в експлуатації здатні виявляти аеродинамічні об'єкти (літаки) і надводні об'єкти (кораблі) у межах прямої видимості на відстані (залежно від висоти об'єкта) 80÷150 км. При цьому виявлення на більшій відстані неможливе через те, що об'єкти перебувають за лінією обрїю.

Незважаючи на те, що ОРТВ є станцією надгоризонтного виявлення, існують думки про можливість виявлення об'єктів нижче лінії обрїю за рахунок впливу рефракції, понадрефракції й нижніх петельок діаграми спрямованості.

Так у жовтні 1990 року на РЛС проводився експеримент щодо супроводу аеродинамічних цілей. Для цього вносилися зміни у програму управління, які відключають скидання із супроводу малорухомих цілей і включення режекторних фільтрів. Результатом досліджень стало припущення про можливість супроводу аеродинамічних цілей на відстані 200÷500 м до 6÷10 км. Неоднозначність таких висновків викликана низькою точністю визначення висоти польоту (кут місця) цілей. Крім того, були отримані оцінки від малорухомих об'єктів, які, за результатами аналізу, були ототожені з надводними цілями.

У Росії на аналогічних ОРТВ вже застосовуються програмно-апаратні засоби, які паралельно з основною роботою РЛС, аналізують інформацію режиму виявлення; виявляють траєкторії аеродинамічних об'єктів і видають інформацію з них на засоби контролю повітряного простору Росії.

Висновки

Таким чином, застосування ОРТВ для дослідження іоносфери можливо, але дані перспективи обмежені наступними технічними й організаційними особливостями:

- напрямок антени ОРТВ під кутом 20° щодо обрїю, погіршує точність вимірів в іоносфері, що частково компенсується вигідним географічним положенням;

- через додаткову особливість антени, у ОРТВ неможливе застосування перспективного методу

дослідження, який використовується в іркутському радарі: вивчення взаємодії в іоносферній плазмі двох потужних пучків УКХ радіохвиль, з різницею частоти, рівній плазмовій частоті області іоносфери (у межах 1 – 8 МГц). При цьому інші методи досліджень будуть доступні;

- використання аналогічного іркутського радара тільки для дослідження іоносфери, дозволило модернізувати й замінити приймально-передавальну апаратуру, що значно підвищило точність вимірів досліджуваних параметрів. Для ОРТВ основним завданням залишається контроль космічного простору, а завдання дослідження іоносфери носить періодичний характер. Це обмежує можливості щодо модернізації апаратури РЛС з метою підвищення якості іоносферних досліджень, однак не знижує її значення.

Проведений авторами аналіз можливих напрямків застосування ОРТВ дозволяє зробити припущення про доцільність проведення дослідницьких робіт на предмет повітряного моніторингу Чорноморського регіону з метою виявлення аеродинамічних і аеробалістичних повітряних цілей і кораблів.

Список літератури

1. Радиотомография ионосферы, в кн. Проблемы геотомографии / В.Е. Куницын, Е.Д. Терещенко, Е.С. Андреева, Б.З. Худукон. – М.: Наука, 1997. – 188 с.
2. Эванс Дж.В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / Дж.В. Эванс // ТИИЭР. – 1969. – Т. 57, №4. – С. 139.
3. Рогожкин Е.В. Измерение параметров ионосферной плазмы по корреляционной функции сигнала некогерентного рассеяния / Е.В. Рогожкин // Ионосферные исследования – М.: Сов. радио, 1979. – № 27. – С. 46-59.
4. Некогерентное рассеяние радиоволн в высокоширотной ионосфере, Апатиты / А.Л. Суни, В.Д. Терещенко и др. – 1989. – 182 с.
5. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: www.jst-ru.livejournal.com.
6. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ru.iszf.irk.ru/>.

Надійшла до редколегії 27.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА ЗАДАЧ ОТДЕЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УЗЛОВ

А.А. Моргун, А.Л. Поляков, С.Е. Ломоносов

В статье рассмотрена возможность применения отдельных радиотехнических узлов (ОРТУ) для решения задач не связанных с контролем космического пространства. Авторами разработан ряд предложений по модернизации и использованию РЛС «Днепр» для научно-исследовательских и практических работ в области исследования ионосферы, а также выявление аэродинамических и надводных объектов.

Ключевые слова: отдельные радиотехнические узлы, система контроля и анализа космической обстановки.

ANALYSIS PERMITTING A WIDER RANGE OBJECTIVES OF INDIVIDUAL RADIO-TECHNICAL NODES

O.A. Morgun, O.L. Pol'akov, S.E. Lomonosov

The possibilities of application of individual radio units (Horta) to solve problems not related to the control of space. Have developed a number of proposals to modernize and use the radar "Dnepr" for research and practical work in the field of research on the ionosphere, as well as the identification of aero dynamical and sea targets.

Keywords: single radio nodes, monitoring and analysis of space-permutation, modernization measure.