

УДК 550.388.1:621.396

Л. Я. ЕМЕЛЬЯНОВ, Я. Н. ЧЕПУРНЫЙ**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕЖИМА ОДНОВРЕМЕННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ВЕРТИКАЛЬНОМ И НАКЛОННОМ НАПРАВЛЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ РАДАРОВ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ**

Розглянуто апаратно-методичні особливості режиму роботи радарів некогерентного розсіяння при одночасному зондуванні іоносфери в вертикальному та похилому напрямках. Наведено характеристики антен іоносферної обсерваторії Інституту іоносфери (Україна, Харків), структурну схему радарів в режимі зондування іоносфери двома антенами та експериментальні результати.

Ключові слова: радар некогерентного розсіяння, параметри іоносфери, радіолокаційні антени, динамічні та хвильові процеси в іоносфері.

Рассмотрены аппаратно-методические особенности режима работы радаров некогерентного рассеяния при одновременном зондировании ионосферы в вертикальном и наклонном направлениях. Приведены характеристики антен ионосферной обсерватории Института ионосферы (Украина, Харьков), структурная схема радаров в режиме зондирования ионосферы двумя антеннами и экспериментальные результаты.

Ключевые слова: радар некогерентного рассеяния, параметры ионосферы, радиолокационные антенны, динамические и волновые процессы в ионосфере.

Instrumental and methodological features of the incoherent scatter radars operating mode of simultaneously sounding the ionosphere in vertical and oblique directions are considered. The characteristics of the antennas of Ionospheric Observatory of Institute of Ionosphere (Ukraine, Kharkiv), the radar block diagram for the mode of ionosphere sounding by two antennas and experimental results are presented.

Keywords: incoherent scatter radar, ionospheric parameters, radar antennas, dynamic and wave processes in the ionosphere.

Введение. Проведение экспериментов с одновременным зондированием в вертикальном и наклонном направлениях значительно повышает возможности исследования ионосферы и, в частности, динамических процессов в ионосфере методом некогерентного рассеяния (НР). Это, прежде всего, даёт возможность не только определять полный вектор скорости движения ионосферной плазмы, но и, регистрируя волновые возмущения, определять направление распространения волн или, зная координаты источника волновых возмущений (нагревного стэнда, места старта ракеты, землетрясения и т.п.), регистрировать возмущения, вызванные именно этим источником, а также определять скорость их распространения.

Целью данной работы является представление особенностей реализации и оценка возможности одновременного использования двух антенн для исследования временных и пространственных вариаций ионосферных параметров, динамических и волновых процессов в ионосфере.

Аппаратно-методическая реализация одновременных измерений параметров ионосферы при зондировании ионосферы в двух направлениях. В составе ионосферной обсерватории Института ионосферы имеются радары с зенитной и полноповоротной антеннами [1].

Зенитная антенна НДА-100 представляет собой двухзеркальную параболическую антенну с диаметром большого зеркала 100 м и в настоящее время является одной из наибольших антенн в мире. Рупор пирамидальной формы возбуждается двумя ортогонально расположенными штырями, благодаря чему обеспечивается возможность работы радара НР с сигналами с круговой поляризацией (для исключения искажений высотного профиля мощности НР сигнала в результате влияния эффекта Фарадея) или двумя

сигналами с линейной поляризацией (для измерения концентрации электронов с применением эффекта Фарадея [2–4]). Полноповоротная антенна ППА-25 является однозеркальной параболической антенной с диаметром зеркала 25 м. Рупорный излучатель также возбуждается двумя ортогонально расположенными штырями.

Основные параметры антенн представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры зенитной НДА-100 и полноповоротной ППА-25 антенн

	НДА-100	ППА-25
Эффективная площадь, м ²	3700	290
Коэффициент усиления, дБи	41.1	30.1
Ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности, град	1.2	5.1
Уровень 1-го бокового лепестка, дБ	-14.6	-19.6
Коэффициент использования поверхности апертуры (КИП)	0.45	0.6

Затенение центральной части раскрыва антенны НДА-100 малым зеркалом ведет к некоторому снижению КИП и повышению уровней боковых лепестков.

На рис. 1 приведены нормированные диаграммы направленности антенн, полученные в результате численного компьютерного моделирования.

Для реализации работы радаров с одновременным использованием зенитной и полноповоротной антенн необходимо было решить следующие задачи:

– обеспечить синхронную работу всех устройств радарной установки;

© Л. Я. Емельянов, Я. Н. Чепурный, 2017

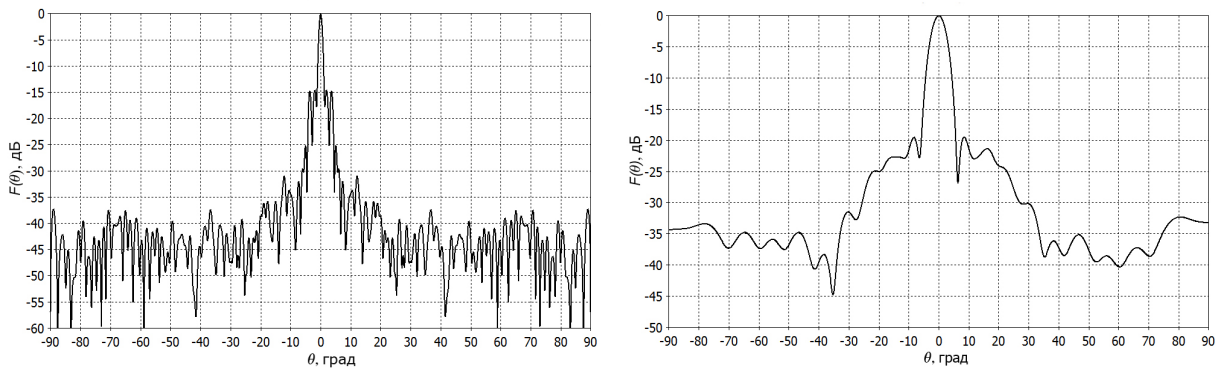


Рис. 1 – Нормированные диаграммы направленности зенитной (НДА-100) и полноворотной (ППА-25) антенн

– обеспечить электромагнитную совместимость при синхронной работе радаров;

– обеспечить измерение корреляционной функции сигнала НР на низкой частоте (обеспечить в каждом радаре перенос спектра НР сигнала на нулевую частоту с точностью до доплеровского сдвига, обусловленного движением плазмы вдоль луча радара, и выделение квадратурных сигналов для корреляционной обработки сигналов на низкой частоте с возможностью определения скорости движения плазмы).

Первая задача решена благодаря использованию общего для обоих радаров синхронизатора, формирующего следующие сигналы: сигналы запуска передатчиков; сигналы стробирования для выделения зондирующих импульсов; бланкирующие импульсы, предназначенные для запираания радиоприемных устройств (РПрУ) во время зондирования, и сигнал начала периода посылок (начала радиолокационной развёртки), подаваемый на цифровые устройства обработки.

Электромагнитная совместимость радаров с зенитной и полноворотной антеннами достигается

использованием сигналов с круговой поляризацией с противоположными направлениями вращения вектора электрического поля, применения буферных каскадов на выходах гетеродинов приемников и экранированием отдельных узлов аппаратуры.

Когерентность работы радаров обеспечивается синтезом зондирующих сигналов и сигналов гетеродинов РПрУ из сигналов задающей системы радара НР. Это, в частности, дает возможность измерять малые (по сравнению с шириной спектра НР сигнала) доплеровские сдвиги спектра, которые используются для определения радиальной скорости движения ионосферной плазмы.

Для обеспечения экспериментов, предоставляющих возможность определения параметров ионосферы одновременно в двух направлениях, радио- и вычислительное оборудование ионосферной обсерватории было модернизировано. Структурная схема радаров НР в режиме зондирования ионосферы одновременно двумя антеннами представлена на рис. 2.

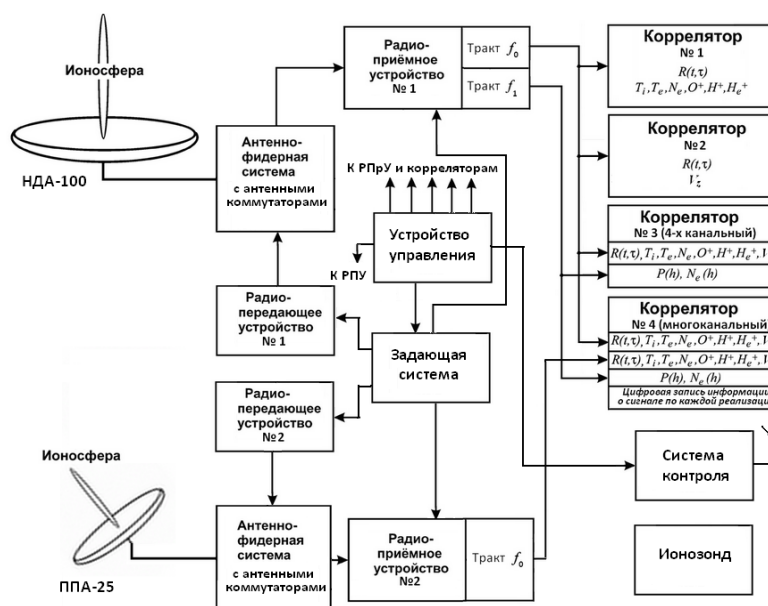


Рис. 2 – Структурная схема радаров НР в режиме зондирования ионосферы двумя антеннами

Сформированные задающей системой составные радиоимпульсные сигналы подаются на радиопередающие устройства (РПУ), усиливаются и поступают по фидерным трактам через антенные коммутаторы на антенны НДА-100 и ППА-25. Антеннами излучаются сигналы соответственно в вертикальном и выбранном наклонном направлениях. Каждый из них представляет собой составной радиоимпульсный двухчастотный сигнал, один из элементов которого имеет длительность 650 мкс и несущую частоту $f_0 = 158$ МГц, а второй – длительность 135 мкс и частоту $f_1 = f_0 + 0,1$ МГц.

Рассеянные ионосферой сигналы принимаются этими же антеннами и через антенные коммутаторы антенно-фидерного тракта подаются на входы соответствующих РПрУ. В РПрУ осуществляется усиление принятых сигналов, их селекция в трактах « f_0 » и « f_1 », фильтрация, перенос спектра в область низких частот и выделение квадратурных сигналов для каждого из элементов с помощью синхронного детектирования для дальнейшей корреляционной обработки.

В результате приёма и обработки рассеянного ионосферой сигнала от первого элемента определяются электронная концентрация N_e , температуры ионов T_i и электронов T_e , вертикальная скорость движения плазмы V_z и ионный состав для ряда высот вблизи и выше максимума ионизации с разрешением по высоте около 100 км. Отклик от второго элемента используется для определения мощности НР сигнала, рассеянного плазмой в диапазоне высот 100–550 км, с разрешением по высоте 20 км и коррекции высотного профиля концентрации электронов. Определяемые с помощью корреляторов параметры ионосферы приведены на рис. 2.

Устройство управления формирует управляющие импульсные сигналы на все системы радаров.

Система контроля формирует сигналы (белый шум, узкополосные радиоимпульсные шумовые сигналы с известными спектрами, соответствующими спектрам некогерентного рассеяния, гармонический сигнал). Эти сигналы подаются через контрольные антенны по эфиру на антенны НДА-100 и ППА-25 или непосредственно на вход РПрУ для контроля антенно-фидерных устройств и приемно-обрабатывающих систем. Также осуществляется контроль радиопередающих устройств.

Ионозонд «Базис» используется в составе радаров НР для калибровки измерений концентрации электронов путём привязки измеряемой критической частоты к максимуму относительного высотного профиля концентрации электронов, а также получения дополнительной информации об ионосфере из ионограмм.

В течение ряда лет был проведен большой комплекс ремонтно-профилактических работ с антенной ППА-25, а также работ по повышению стабильности и точности настройки приемно-передающих трактов радара.

Статистическая погрешность определения ионосферных параметров (в том числе параметров, характеризующих динамические процессы в ионосфере) тем меньше, чем больше отношение сигнал/шум. Если сравнить возможности радаров с антеннами НДА-100 и ППА-25, установленной в вертикальном направлении зондирования, мощности НР сигнала на входах РПрУ должны отличаться в 12,8 раз в соответствии с выражением (1) [2], что связано с отличием площадей их эффективных поверхностей при прочих равных условиях.

$$P_c(h) = \frac{0,76 P_n \eta c t_n A \sigma N_e(h)}{16\pi h^2}, \quad (1)$$

где $P_c(h)$ – мощность сигнала, некогерентно рассеянного на высотном участке с центром на высоте h , Вт;

P_n – импульсная мощность передатчика, Вт;

η – к.п.д. антенно-фидерного тракта;

c – скорость света;

A – эффективная площадь поверхности антенны, м²;

σ – эффективное сечение рассеяния электрона, м².

Полезный сигнал принимается на фоне космического и аппаратного шума, мощность которого, приведенная к входу РПрУ, равна

$$P_{ш} = k T_c \Delta F, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана;

T_c – температура системы;

ΔF – эффективная ширина полосы пропускания приемника.

Для повышения отношения сигнал/шум ($q = P_c/P_{ш}$) необходимо уменьшать ΔF , учитывая при этом характеристики НР сигнала, которые зависят от исследуемой высоты, времени суток, сезона, солнечной и геомагнитной активностей и др. [5]. В связи с этим в выходных трактах РПрУ (трактах выделения квадратурных сигналов) используются ФНЧ, наиболее приемлемые для условий экспериментов: в тракте « f_0 » РПрУ антенны НДА-100 – фильтры Кауэра 7-го порядка с формой АЧХ, близкой к прямоугольной, и шириной полосы пропускания по уровню половинной мощности, равной 9,5 кГц (для определения параметров ионосферы на высотах 200–1500 км); в тракте « f_1 » РПрУ антенны НДА-100 – фильтры Чебышева 3-го порядка с шириной полосы пропускания 6,0 кГц (для определения мощности НР сигнала на высотах в районе и ниже максимума ионизации); в РПрУ антенны ППА-25 – фильтры Кауэра 7-го порядка с формой АЧХ, близкой к прямоугольной, и шириной полосы пропускания по уровню половинной мощности, равной 5,5 кГц (для определения параметров ионосферы на высотах вблизи максимума и ниже, где присутствуют электроны и ионы атомарного кислорода).

Отличие в отношении сигнал/шум для радаров с антеннами, диаграммы направленности которых неодинаковы, имеет место даже при одном

направлении зондирования из-за различия мощности принимаемого космического шума. Это связано с различием шумовой температуры участка неба, попадающего в диаграмму направленности антенны (в выражении (2) температура системы T_c включает в себя температуру неба как составную часть).

Эксперимент с двумя антеннами показал, что при вертикальном направлении зондирования обеими антеннами, одинаковой импульсной мощности передаваемого сигнала (около 2 МВт) отношение сигнал/шум в тракте антенны НДА-100 в 11 раз больше, чем в тракте антенны ППА-25.

Для обеспечения режима работы с двумя антеннами и использования максимума возможностей радара НР задействован новый многоканальный коррелятор, выполненный на основе быстродействующего аналого-цифрового преобразователя E20-10 и персонального компьютера с высоким быстродействием [6]. Он используется для одновременной корреляционной обработки сигналов, выделенных радиоприёмной системой по трём парам квадратурных каналов: тракта зенитной антенны НДА-100 с несущей частотой f_0 , тракта антенны НДА-100 с несущей частотой f_1 и тракта полноповоротной антенны ППА-25 с несущей частотой f_0 .

Был проведен ряд экспериментов с одновременным зондированием ионосферы в вертикальном и наклонном направлениях.

Отмечено, что при изменении направления антенны ППА-25 изменяется мощность шума и, следовательно, отношение сигнал/шум, что связано с различием шумовой температуры участка неба, попадающего в диаграмму направленности антенны.

Кроме этого, выяснено, что наибольшее количество отражений от летательных объектов и космического мусора имеет место при вертикальном направлении зондирования антенной ППА-25. Оно значительно превышает количество помех в тракте с антенной НДА-100. Это объясняется тем, что вероятность попадания объектов в зону действия антенны ППА-25 больше, чем НДА-100 из-за более широкого главного лепестка диаграммы направленности, а также меньшим ослаблением помех при приеме боковыми лепестками. При наклоне антенны ППА-25 часть её боковых лепестков направлена в землю и не участвует в приеме помех. Анализ показал, что наибольшее количество помех попадает в диаграмму направленности с восточного и северо-восточного направлений в виде отражений от самолетов, находящихся на высотах около 10 км и дальностях от радара НР 100–400 км [7].

Принцип одновременного вертикального и наклонного зондирования ясен из диаграммы, приведенной на рис. 3.

Здесь R – радиус Земли, D – дальность до середины рассеивающего радиоволну объемного участка ионосферы, h – высота этого участка над поверхностью земли, Δh – величина, характеризующая разрешающую способность по высоте (при

вертикальном зондировании пропорциональна длительности зондирующего импульса, а при наклонном зондировании определяется длительностью импульса и шириной диаграммы направленности основного лепестка антенны в степени, зависящей от угла наклона).

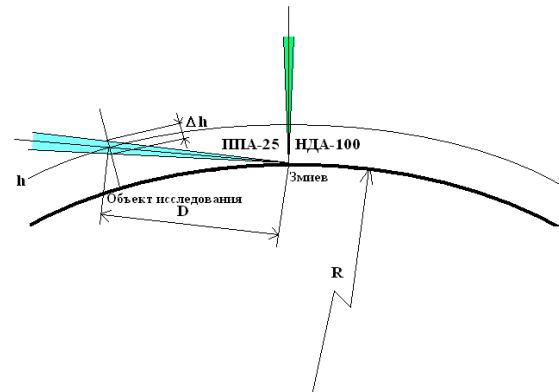


Рис. 3 – Диаграмма одновременного вертикального и наклонного зондирования

Разработана программа для расчета дальности D , высотного разрешения Δh и зенитного угла по известным радиусу Земли R , координатам объекта и харьковского радара НР и задаваемым высотам h центра рассеивающего объема плазмы над объектом. Пример такого расчета приведен на рис. 4.

Чернобыль
Введенные координаты объекта [в градусах]:
Широта=51.4039 Долгота=30.0694

Расстояние до объекта по поверхности Земли [км] = 721
Угол азимута [градусы] = -74.5

h [км]	D [км]	dh [км]	Зенит. угол [градусы]
80	730	65	87.0
90	732	65	86.2
100	733	65	85.5
110	735	66	84.7
120	737	66	83.9
130	740	66	83.2
140	742	67	82.4
150	745	67	81.7
160	747	68	80.9
170	750	68	80.2
180	753	69	79.5
190	756	69	78.7
200	759	70	78.0
210	762	70	77.3
220	766	71	76.6
230	769	72	75.9
240	773	72	75.2
250	776	73	74.5
260	780	74	73.8
270	784	75	73.2
280	788	75	72.5
290	792	76	71.8
300	796	77	71.2
310	801	78	70.5
320	805	79	69.9
330	810	79	69.3
340	814	80	68.6
350	819	81	68.0
360	824	82	67.4
370	829	83	66.8
380	834	84	66.2
390	839	85	65.6
400	844	86	65.0
410	849	87	64.5
420	855	89	63.9
430	860	90	63.3
440	866	91	62.8
450	871	92	62.2

Рис. 4 – Пример расчета ориентации антенны и параметров зондируемого объема ионосферной плазмы

Эксперименты по исследованию ионосферы при одновременном ее зондировании радарными с зенитной и полноповоротной антеннами проводились на радаре НР эпизодически, поскольку они требуют

значительного энергопотребления.

В качестве примера на рис. 5 приведены экспериментальные зависимости параметров НР сигнала и ионосферы от высоты (для НДА-100) и дальности (для ППА-25), полученные в полдень

22 декабря 2011 г. Полноповоротная антенна была направлена на запад под зенитным углом 39°. Длительность сеанса измерений 15 мин. Критическая частота слоя F2 ионосферы была равна 8,3 МГц.

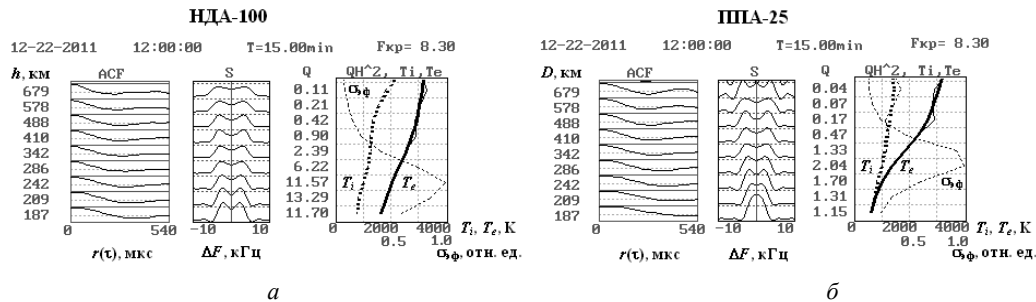


Рис. 5 – Зависимости корреляционных функций и спектров НР сигнала, отношений сигнал/шум q (числовые значения), нормированных значений эффективного сечения рассеяния $\sigma_{\text{эф. норм.}} = qh^2 / (qh^2)_{\text{max}}$, температур ионов T_i и электронов T_e от высоты, измеренные радаром НР с зенитной антенной (а), и от дальности, измеренные радаром с полноповоротной антенной, направленной на запад под зенитным углом 39° (б)

Видно, что в данном эксперименте отношение сигнал/шум в районе максимума профиля $\sigma_{\text{эф. норм.}}$ (близкого по высоте к максимуму слоя F2 ионосферы) в тракте с антенной НДА-100 приблизительно в 6 раз больше, чем в тракте с антенной ППА-25. В связи с наклоном антенны ППА-25, высота максимума профиля $\sigma_{\text{эф. норм.}}$ радара с НДА-100 меньше дальности максимума профиля $\sigma_{\text{эф. норм.}}$ радара с ППА-25. Все параметры, приведенные на рис. 5, б, соответствуют высотам, меньшим значений дальности D , показанных

слева от графика. Отличие профилей температур ионов и электронов (их сближение в диапазоне дальностей 187–340 км по результатам измерений с ППА-25) объясняется тем, что они фактически измерены с высот 145–280 км. Следует отметить, что с увеличением наклона антенны ППА-25 относительно зенита появляется возможность исследовать динамические и волновые процессы в ионосфере на высотах нижней ионосферы. При этом разрешающая способность по высоте улучшается.

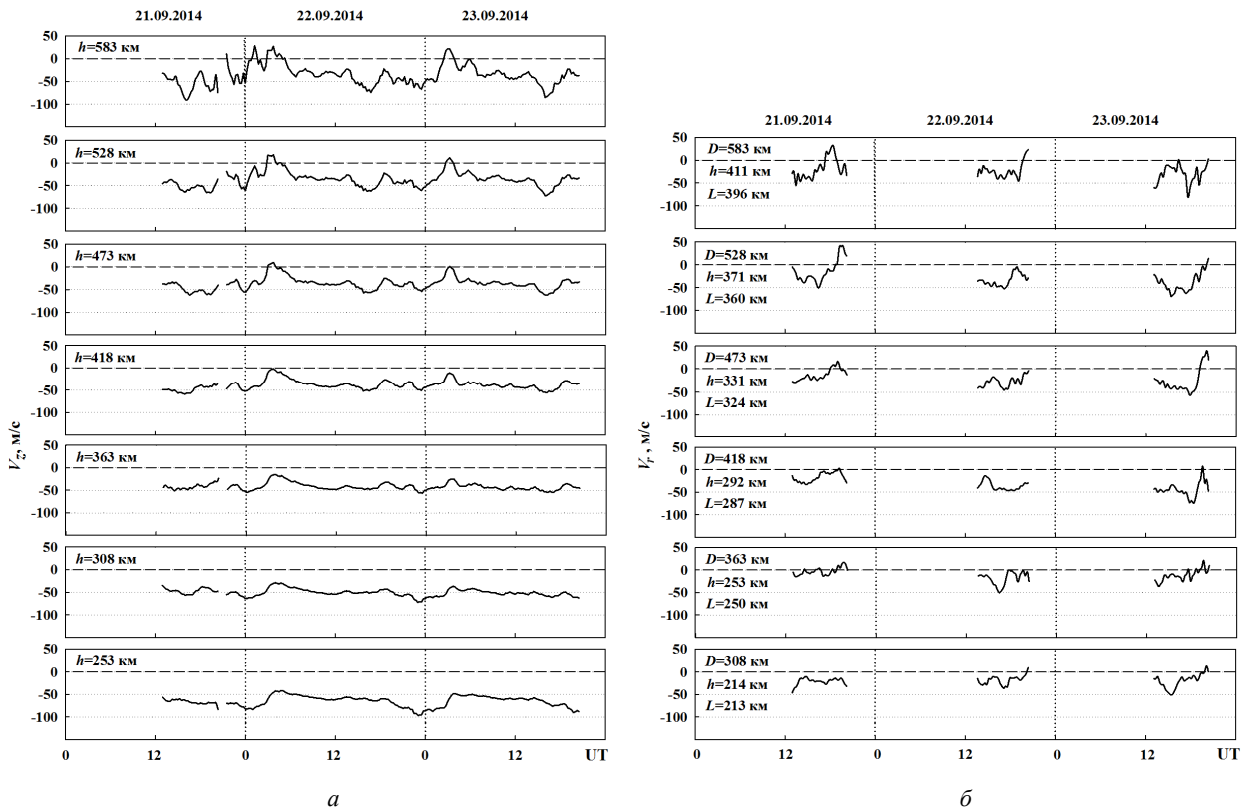


Рис. 6 – Временные вариации радиальной скорости движения ионосферной плазмы при одновременном зондировании антенной НДА-100 в зенит (а) и полноповоротной антенной ППА-25 (б) в направлении: азимут 50°, зенитный угол 47°

На рис. 6 приведені результати одночасних вимірювань вертикальної складової швидкості руху іоносферної плазми V_z і радіальної швидкості V_r двома радаром – з зенітної НДА-100 і повноповоротної ППА-25 антенами – в період 21–23 вересня 2014 г. при спокійній геомагнітній обстановці (A_p -індекси в ці дні були рівні 7, 9, 11 відповідно). Антена ППА-25 була нахилена (зенітний кут 47°) і направлена на схід (кут азимута 50°). Радар з ППА-25 працював частину часу. Вплив перешкобок від літаючих об'єктів, що падають періодично в діаграму напрямленості антени, було усунуто в процесі обробки інформації.

Здесь представлені дані сеансів вимірювань при часовому накопленні 15 хв і додатковому усередненні значень швидкості по 5 сеансам. На рис. 6, б існують наступні позначення: D – нахилена дальність, h – висота розсіюючого об'єкта плазми над поверхнею землі, L – відстань по поверхні землі до об'єкта, над яким знаходиться розсіюючий об'єм плазми.

Из рис. 6 видно удовлетворительное согласие между результатами, полученными при зондировании в разных направлениях. Наблюдаемые различия могут быть вызваны разным разрешением по дальности, горизонтальным градиентом поля скоростей на исследуемых высотах и разным направлением основных лепестков диаграмм направленности.

Выводы. Одновременное использование зенитной и полноповоротной антенн значительно повышает возможности исследования динамических процессов в ионосфере методом НР и позволяет определять пространственные вариации параметров ионосферы центрально-европейского региона.

Список литературы

1. *Domnin, I. F.* Kharkiv Incoherent Scatter Facility / *I. F. Domnin, Ya. M. Chepurnyy, L. Ya. Emelyanov [et al.]* // Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Scientific papers. Issue: Radiophysics and ionosphere. – Kharkiv: NTU "KhPI". – 2014. – No 47 (1089). – P. 28–42.
2. *Эванс Дж. В.* Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / *Дж. В. Эванс* // ТИИЭР. – 1969. – Т. 57, № 4. – С. 139–175.
3. *Farley D. T.* Faraday rotation measurements using incoherent scatter / *D. T. Farley* // Radio Sci. – 1969. – V. 4, No 2. – P. 143–152.
4. *Головин В. И.* Наблюдения ионосферы с помощью метода некогерентного рассеяния / *В. И. Головин, Е. В. Рогожкин, В. И. Таран, Черняев С. В.* // Вестн. Харьк. политехн. ин-та: Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. – 1979. – № 155. – Вып. 1. – С. 12–22.

5. *Емельянов Л. Я.* Квазиоптимальный прием сигналов некогерентного рассеяния / *Л. Я. Емельянов, А. В. Богомаз, И. М. Касымов* // Вісн. Нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Радіофізика та іоносфера. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015, № 37 (1146). – С. 79–86.
6. *Искра Д. А.* Повышение точности определения автокорреляционных функций сигнала некогерентного рассеяния / *Д. А. Искра* // International School-Conference "Remote radio sounding of the ionosphere" (ION-2013) September, 30 – October, 4, 2013. – Maly Mayak (Big Alushta), Crimea, Ukraine. – Book of Abstracts. – 2013. – P 45.
7. *Chepurnyy Ya. M.* Estimation of clutters from aircrafts during ionospheric measurements using incoherent scatter radar with 100-meter two-mirror antenna / *Ya. M. Chepurnyy, L. Ya. Emelyanov, D. O. Iskra, M. O. Shulga* // XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT). IEEE Conference Publications. – 2017. – P. 401–405. DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972675.

References (transliterated)

1. *Domnin I. F., Chepurnyy Ya. M., Emelyanov L. Ya. et al.* Kharkiv Incoherent Scatter Facility. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Scientific papers. Issue: Radiophysics and ionosphere.* Kharkiv, NTU "KhPI", 2014, no. 47 (1089), pp. 28–42.
2. *Jevans, Dzh. V.* Teoreticheskie i prakticheskie voprosy issledovaniya ionosfery metodom nekogerentnogo rassejaniya radiovoln [Theory and practice of Thompson scatter]. *TIIEr* [Proc. IEEE]. vol. 57, no. 4. pp. 139–175.
3. *Farley D. T.* Faraday rotation measurements using incoherent scatter. *Radio Sci.*, 1969, vol. 4, no 2, pp. 143–152.
4. *Golovin V. I., Rogozhkin Ye. V., Taran V. I., Chernyayev C. V.* Nablyudeniya ionosfery s pomoshch'yu metoda nekogerentnogo rasseyaniya [Observations of the ionosphere with the help of the method of incoherent scattering]. *Vestn. Khar'k. politekhn. in-ta: Issledovaniye ionosfery metodom nekogerentnogo rasseyaniya.* [Bulletin of the Kharkiv Polytechnic Institute]. Kharkiv, 1979, no. 155 (1), pp. 12–22.
5. *Emelyanov L. Ya., Bogomaz A. V., Kasymov I. M.* Kvaziopimal'nyy priem signalov nekogerentnogo rasseyaniya [Quasi-optimal reception of the incoherent scatter signals]. *Visn. Nats. tekhn. in-tu «Kharkiv's'kiy politekhnichniy institut». Zbirnyk naukovikh prats'. Seriya: Radiofizyka ta ionosfera* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Radiophysics and Ionosphere]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 37 (1146), pp. 79–86.
6. *Iskra D. A.* Povysheniye tochnosti opredeleniya avtokorrelatsionnykh funktsiy signala nekogerentnogo rasseyaniya [Increase in accuracy of determination of the incoherent scatter signal autocorrelation functions]. International School-Conference "Remote radio sounding of the ionosphere" (ION-2013) September, 30–October, 4, 2013. Maly Mayak (Big Alushta), Crimea, Ukraine. *Book of Abstracts.* 2013, p. 45.
7. *Chepurnyy Ya. M., Emelyanov L. Ya., Iskra D. O., Shulga M. O.* Estimation of clutters from aircrafts during ionospheric measurements using incoherent scatter radar with 100-meter two-mirror antenna. XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT). *IEEE Conference Publications.* 2017, pp. 401–405. DOI: 10.1109/ICATT.2017.7972675.

Поступила (received) 30.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Забезпечення режиму одночасного зондування іоносфери у вертикальному та похилому напрямках за допомогою радарів некогерентного розсіяння / Л. Я. Ємельянов, Я. М. Чепурний // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Радіофізика та іоносфера. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 47 (1268). – С. 44 – 50. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-9998.

Обеспечение режима одновременного зондирования ионосферы в вертикальном и наклонном направлениях с помощью радаров некогерентного рассеяния / Л. Я. Емельянов, Я. Н. Чепурный //

Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Радиофизика и ионосфера. – Х.: НТУ «ХПИ», 2017. – № 47 (1268). – С. 44 – 50. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2078-9998.

Providing a simultaneous ionospheric sounding mode in vertical and inclined directions using incoherent scatter radars / L. Ya. Emelyanov, Ya. M. Chepurnyy // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Radiophysics and ionosphere. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No. 47 (1268). – P. 44 – 50. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2078-9998.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ємельянов Леонід Якович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Інститут іоносфери НАН і МОН України, завідувач відділу, м. Харків; тел.: 706-22-87; e-mail: leonid.ya.emelyanov@gmail.com.

Емельянов Леонид Яковлевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Институт ионосферы НАН и МОН Украины, заведующий отделом, г. Харьков; тел.: 706-22-87; e-mail: leonid.ya.emelyanov@gmail.com.

Emelyanov Leonid Yakovlevich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Ionosphere NAS and MES of Ukraine, Head of Department, Kharkiv; tel.: 706-22-87; e-mail: leonid.ya.emelyanov@gmail.com.

Чепурний Яків Миколайович – Інститут іоносфери НАН і МОН України, головний інженер, м. Харків; тел.: (057) 707-67-69; e-mail: yakov955@gmail.com.

Чепурный Яков Николаевич – Институт ионосферы НАН и МОН Украины, главный инженер, г. Харьков; тел.: (057) 707-67-69; e-mail: yakov955@gmail.com.

Chepurnyy Yakiv Mykolayovych – Institute of Ionosphere NAS and MES of Ukraine, Chief Engineer, Kharkiv; tel.: (057) 707-67-69; e-mail: yakov955@gmail.com.