

Я.Н. ЧЕПУРНЫЙ, гл. инж., Институт ионосферы, Харьков;
Л.Я. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. физ.-мат. наук, зав. отделом, Институт
ионосферы, Харьков;
Д.А. ИСКРА, вед. инж.-электроник, Институт ионосферы, Харьков

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НДА-100 ПО ОТРАЖЕНИЯМ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Предложена методика измерения диаграммы направленности неподвижной антенны радара некогерентного рассеяния по отражениям от каталогизированных техногенных космических объектов. Преимуществом предлагаемой методики является возможность измерения различных сечений трёхмерной диаграммы направленности. Приведены полученные экспериментальные результаты.

Ключевые слова: радар некогерентного рассеяния, методики измерения диаграммы направленности антенны, отражения от каталогизированных техногенных космических объектов.

Запропоновано методику вимірювання діаграми спрямованості нерухомої антени радара некогерентного розсіяння за відбиттями від каталогізованих техногенних космічних об'єктів. Перевагою запропонованої методики є можливість вимірювання різних перетинів тривимірної діаграми спрямованості. Наведено отримані експериментальні результати.

Ключові слова: радар некогерентного розсіяння, методики вимірювання діаграми спрямованості антени, відбиття від каталогізованих техногенних космічних об'єктів.

The technique of measurement of the incoherent scatter radar fixed antenna pattern using reflections from the cataloged man-made space objects is proposed. The advantage of the proposed technique is the ability to measure different cross sections of the three-dimensional antenna pattern. The experimental results are presented.

Keywords: incoherent scatter radar, techniques of antenna pattern measurement, reflections from the cataloged man-made space objects.

Введение. Антенны радаров некогерентного рассеяния (НР) характеризуются высокой направленностью, большой эффективной площадью и, как правило, значительными габаритами. В метровом диапазоне радиоволн диаметр рефлектора зеркальных антенн составляет от 25 до 100 метров и более. Измерение экспериментальных характеристик таких антенн является сложной задачей, если антенна неподвижна и конструкцией не предусмотрена возможность отклонения её диаграммы направленности (ДН). В этом случае используется либо очень дорогостоящий метод облёта ДН специально оборудованным самолетом, либо радиоастрономический метод, основанный на наблюдении прохождения через ДН антенны внеземных радиисточников (Кассиопея А, Лебедь А и др.). В последнем

© Я.Н. Чепурный, Л.Я. Емельянов, Д.А. Искра, 2013

случае может быть получено одно сечение ДН – в плоскости географической параллели.

Используется также косвенный метод определения ДН – по измеренным токам на поверхности зеркала [1]. Метод измерения ДН на уменьшенных масштабных моделях применяется, как правило, на этапе разработки антенны и не учитывает технического состояния реальной антенны.

Известны случаи, когда неподвижные антенны радаров НР специально проектировались с наклонным расположением ДН – в направлении, соответствующем прохождению определенного радиоисточника через географический меридиан в месте расположения антенны. Так, первая антенна Харьковского радара НР НПА-30 имела отклонение ДН от зенита на 9° к северу (направление на Кассиопею А). Известная 67-метровая антенна радара НР в Миллстон-Хилле имеет отклонение ДН от зенита на 2° . Учитывая географическую широту расположения радара, легко определить, что она направлена на радиоисточник Лебедь А.

Антенна харьковского радара НР НДА-100 является неподвижной двухзеркальной антенной с ДН, ориентированной в зенит. Диаметр её главного зеркала составляет 100 м и при рабочей длине волны 1.9 м расстояние дальней зоны (минимальная высота самолета при облёте) составляет более 10 км. При строительстве НДА-100 планировалось измерение её ДН с помощью облёта, однако по различным причинам это сделано не было. В настоящее время применение метода облёта ДН является экономически неоправданным.

Применение радиоастрономического метода в данном случае также затруднено. Наиболее близким к зениту (на географической широте радара) является радиоисточник 147^b по Третьему Кембриджскому каталогу [2]. Отклонение радиоисточника от зенита составляет 0.15° , что является заметным при ширине ДН антенны около 1° . Кроме того, этот источник на два порядка слабее, чем Кассиопея А или Лебедь А, что не позволяет оценить уровень боковых лепестков ДН.

Между тем, в процессе проведения измерений ионосферных параметров на радаре НР периодически наблюдаются отражения от объектов космического мусора и действующих искусственных спутников Земли, находящихся на низких околоземных орбитах (НОО). Часть из них каталогизирована, и для таких космических объектов (КО) заранее могут быть определены время и направление пересечения ДН антенны радара НР, в том числе, через максимум её главного лепестка.

Цель статьи – оценка возможности использования отражений от техногенных космических объектов для измерения ДН антенны радара НР и определения её основных технических характеристик.

Методика проведения измерений ДН по отражениям от КО.

Возможность реализации рассматриваемой методики появилась после внедрения на радаре НР оцифровки принятых сигналов на протяжении множества радиолокационных развёрток дальности в режиме реального времени с последующей записью. При частоте повторения зондирующих импульсов 24.4 Гц за время пролета объекта, в зависимости от высоты его орбиты, фиксируется от 70 до 800 отсчетов напряжения отражённого сигнала, что обеспечивает достаточную угловую точность определения ДН.

Для радара НР с ориентированной в зенит антенной НДА-100 предлагаемая методика включает в себя следующую последовательность действий:

- 1) определение точных географических координат антенны;
- 2) определение по каталогу космических объектов, проходящих за период проведения ионосферных измерений через зенит относительно центра антенны;
- 3) определение по каталогу точного расстояния до объекта в момент прохождения зенита;
- 4) наблюдение и запись прохождения КО через ДН антенны или анализ сеансов ионосферных измерений за дату и время, соответствующие расчётному времени отражения от объекта;
- 5) пересчёт времени наблюдения отражений от конкретного КО в угловые характеристики ДН;
- 6) построение измеренного сечения ДН в плоскости орбиты КО.

Определение географических координат антенны может быть проведено на основе общедоступных карт и космических снимков местности с точностью не хуже 0.00001° .

В настоящее время существуют достаточно подробные каталоги КО, позволяющие определить с точностью до секунды время их прохождения через ДН, направление движения и дальность до объекта в момент пролета над антенной [3]. По каталогу выбираются объекты, пересекающие ДН антенны через максимум её главного лепестка. При этом известными являются время пролета и высота орбиты h объекта в момент пересечения ДН. Зная высоту орбиты, можно определить скорость объекта V и период его обращения T вокруг Земли в предположении невозмущенной круговой орбиты [4]:

$$V = \sqrt{\frac{\mu_0}{R}}, \quad (1)$$

$$T = 2\pi R/V, \quad (2)$$

где $\mu_0 = 3.98602 \times 10^{14} \text{ м}^3/\text{с}^2$ – гравитационный параметр Земли, R – радиус орбиты объекта, отсчитываемый от центра Земли.

Далее из соотношения наблюдаемого времени пролета объекта $t_{\text{пр}}$ через

ДН и периода обращения T можно определить центральный угол α , показанный на рис. 1

$$\alpha = \frac{t_{\text{пр}}}{T} 360^\circ. \quad (3)$$

Из геометрических соотношений (см. рис. 1) можно найти угол ДН 2θ ($\angle BAC$), связанный с центральным углом α

$$2\theta = 2\text{arctg}\left(\frac{R_3 + h}{h} \text{tg} \frac{\alpha}{2}\right), \quad (4)$$

где: $h = AM$ – высота орбиты космического объекта над поверхностью Земли,
 $R_3 = 6371$ км – радиус Земли.

Указанным способом время наблюдения пересчитывается в угол ДН.

Экспериментальные результаты. На рис. 2 схематически представлена ориентация конструкции антенны НДА-100 относительно географических параллели и меридиана, а также нанесены траектории нескольких объектов, пересекавших ДН антенны в период ионосферных измерений 18 декабря 2012 г. и 20 марта 2013 г.

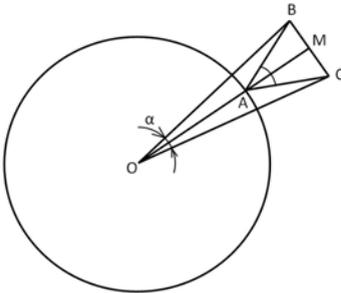


Рис. 1 – К определению центрального угла α



Рис. 2 – Ориентация антенны НДА-100 и траектории некоторых космических объектов

Сигналы отражений от КО проходят через антенно-фидерный тракт дважды – первый раз на передачу, второй – на приём. Поэтому, приведенные на рис. 3–6 зависимости соответствуют ДН антенны по мощности.

На рис. 3 приведена ДН в области главного и первого боковых лепестков, полученная по отражениям от спутника “Космос-1151”. Поскольку мощность отражений от КО превышает мощность НР-сигнала на порядок и более, в большинстве случаев происходит его ограничение аналого-цифровым преобразователем (АЦП) аппаратуры обработки. Для

исключения ограничения в специально выделенный канал радиоприёмного устройства был введен дополнительный аттенюатор. Боковые лепестки ДН хорошо прослеживаются по основному каналу, работающему без аттенюатора. Результаты их наблюдения представлены на рис. 4.

Ширина главного лепестка ДН по уровню -3 дБ составила 1.3° , по нулевому уровню -3.2° , максимальный уровень 1-го бокового лепестка равен -13.1 дБ.

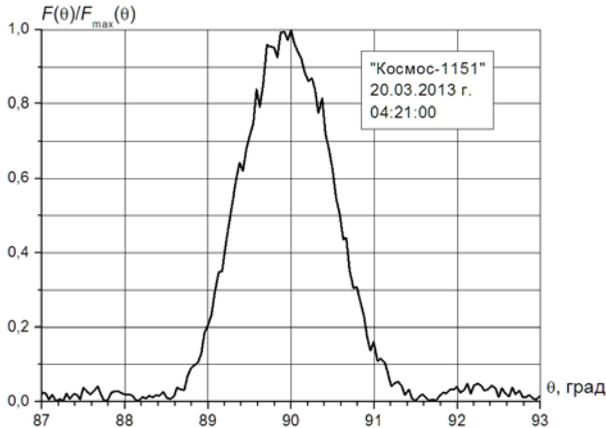


Рис. 3 – Сечение ДН антенны НДА-100 плоскостью $\varphi = 352^\circ$, измеренное по отражениям от спутника “Космос-1151” (канал с аттенюатором)

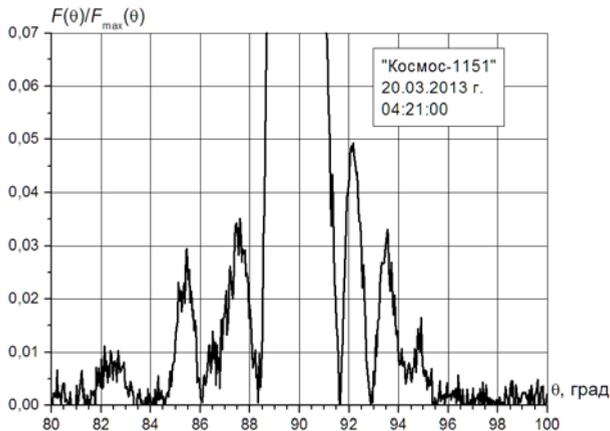


Рис. 4 – Сечение ДН антенны НДА-100 плоскостью $\varphi = 352^\circ$, измеренное по отражениям от спутника “Космос-1151” (канал без аттенюатора)

На рис. 5 и 6 приведены результаты наблюдения пролета ракеты-носителя (РН) спутника “Космос-457” через ДН антенны НДА-100.

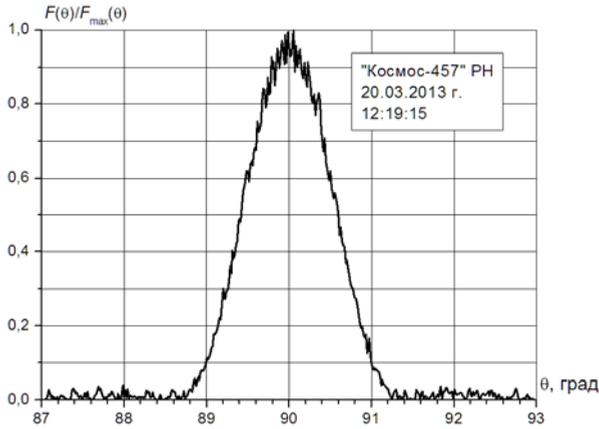


Рис. 5 – Сечение ДН антенны НДА-100 плоскостью $\varphi = 203^\circ$, измеренное по отражениям от РН спутника “Космос-457” (канал с аттенюатором)

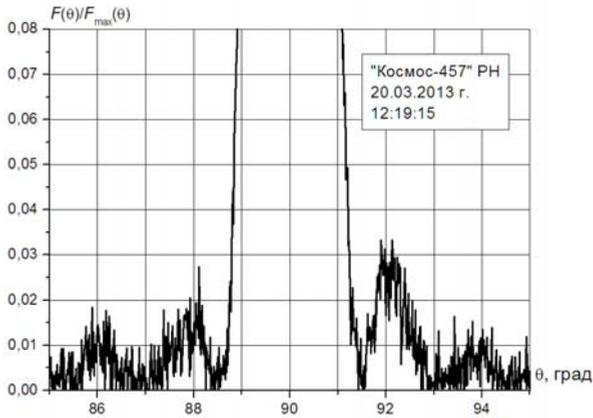


Рис. 6 – Сечение ДН антенны НДА-100 плоскостью $\varphi = 203^\circ$, измеренное по отражениям от РН спутника “Космос-457” (канал без аттенюатора)

Измеренная ширина главного лепестка ДН по уровню -3 дБ в этом случае составила 1.2° , по уровню первых нулей -3° , уровень 1-го бокового лепестка равен -14.8 дБ.

Следует отметить, что в момент пересечения ДН антенны высота спутника “Космос-1151” составляла 432 км, а РН спутника “Космос-457” –

1191 км. В последнем случае отражённый сигнал был значительно слабее и в области боковых лепестков лишь немного превышал шумы системы. Тем не менее, полученные экспериментальные результаты дают представление о форме главного и первых боковых лепестков ДН антенны НДА-100.

Выводы. Предложенная методика позволяет проводить измерения ДН антенны радара НР одновременно с определением ионосферных параметров. Достоинством предлагаемой методики является возможность измерения различных сечений трёхмерной ДН. При этом плоскость сечения ДН определяется траекторией космического объекта в момент его пролета над антенной.

Список литературы: 1. *Гукасов Ю.Г., Ивченко В.Н.* Измерение диаграмм направленности антенны НДА-100 по токам на поверхности зеркала // Вестн. Харьк. политехн. ин-та. Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. – 1979. – № 155, вып. 1. – С. 29-33. 2. *Краус Дж.Д.* Радиоастрономия. Пер. с англ. под ред. *Железнякова В.В.* – М.: Сов. радио, 1973. – 456 с. 3. The DNA Ancestry Project [Электронный ресурс] / Developed and maintained by Chris Peat, Heavens-Above GmbH. – URL: <http://www.heavens-above.com> (дата обращения: 02.04.2013). 4. Инженерный справочник по космической технике. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. *А.В. Соловьева.* – М.: Воениздат, 1977. – 430 с.

Поступила в редколлегию 02.04.2013