

УДК 621.396.677.45

**Я.Н. ЧЕПУРНЫЙ**, зав. сектором, Институт ионосферы, Харьков  
**И.Б. СКЛЯРОВ**, гл. инж., Институт ионосферы, Харьков

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКИХ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН ДЛЯ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ “БАЗИС”**

Предложено использование двухзаходных конических логарифмических спиральных антенн в качестве приемо-передающих антенн ионозонда. Показано, что предложенные антенны позволяют осуществить разделение обыкновенной и необыкновенной компонент отраженных от ионосферы сигналов при одноканальном построении приемо-передающей аппаратуры станции. Проведено компьютерное моделирование, позволившее получить основные технические характеристики антенн.

Запропоновано використання двохзахідних конічних логарифмічних спіральних антен у якості приймально-передавальних антен іонозонда. Показано, що запропоновані антени дозволяють здійснити розділення звичайної та незвичайної компонент відбитих від іоносфери сигналів при одноканальній побудові приймально-передавальної апаратури станції. Проведене комп'ютерне моделювання дозволило отримати основні технічні характеристики антен.

The application of double-helix conical logarithmic antennas as receiving and transmitting ones of an ionosonde was proposed. It was shown that the proposed antennas allowed separating the ordinary and extraordinary components of the signals reflected from the ionosphere if the single-channel structure of ionosonde transceiver equipment is used. The computer simulation, which provided the main technical characteristics of the antennas, has been performed.

**Введение.** Станция вертикального зондирования ионосферы “Базис” [1], входящая в состав радара НР Института ионосферы, используется для исследования ионосферных параметров на высотах ниже максимума ионизации.

Интерпретация результатов зондирования усложняется рядом факторов, связанных с тем, что приемо-передающая аппаратура выполнена по одноканальной схеме и работа ведется с линейно-поляризованными сигналами. Известно, что под влиянием магнитного поля Земли линейно-поляризованная волна в ионосфере распадается на обыкновенную и необыкновенную компоненты, существенно отличающихся по особенностям распространения. Получаемые станцией “Базис” ионограммы [1] содержат обе компоненты, ветви которых накладываются друг на друга и разделяются только вблизи критической частоты ионосферы. Разделить обыкновенную и необыкновенную компоненты можно при использовании зондирующих сигналов круговой поляризации. Такие сигналы используются в современных цифровых ионозондах [2], выполненных по двухканальной схеме. В этих установках между сигналами каналов поддерживается фазовый сдвиг  $90^\circ$ , что позволяет использовать для излучения и приема волн круговой поляризации простые антенны турникетного типа. Одноканальная схема передающего устройства станции “Базис” не позволяет использовать

антенны турникетного типа и вынуждает искать другие пути формирования сигналов круговой поляризации.

**Анализ литературы.** Одним из вариантов является использование спиральных передающих и приемных антенн. Особенно перспективными представляются двухзаходные эквиугольные (логарифмические) конические спиральные антенны с двумя входами (с вершины и с основания спирали) [3]. Внешний вид такой антенны показан на рис. 1.

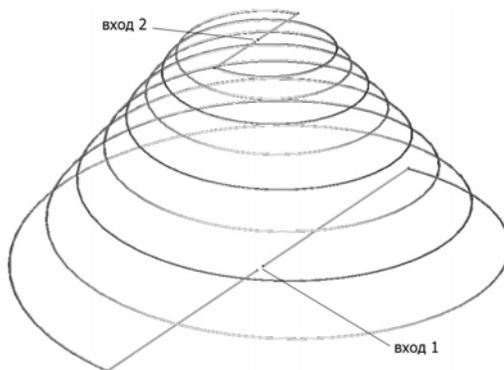


Рис. 1 – Внешний вид двухзаходной конической логарифмической спиральной антенны

Сигналы, подаваемые на один либо другой вход, формируют волны круговой поляризации с противоположными направлениями вращения вектора электрического поля. Таким образом, запитывая с основания указанную антенну, можно сформировать, например, зондирующий сигнал левой круговой поляризации (соответствующий обыкновенной компоненте в ионосфере). Отраженный от ионосферы сигнал будет иметь противоположное направление вращения (соответственно, правое) и после приема антенной выделится на её выходе у вершины спирали. Для перехода с обыкновенной на необыкновенную компоненту, достаточно поменять местами передающий и приёмный входы-выходы антенны.

Спиральные антенны широко используются в дециметровом и сантиметровом диапазонах волн, применение же их на частотах 2 – 15 МГц, требуемых для вертикального зондирования, в литературе не встречается. При их разработке возникает ряд специфических вопросов, связанных с большой длиной волны. Так, не представляется возможным реализовать оптимальный угол подъема спирали 28 – 30°, поскольку высота антенны достигала бы 200 м. Также неприемлемыми являются рекомендации [3] относительно выбора диаметра провода для намотки спирали, равного 0.05 –

0.2 от диаметра витка (максимальный диаметр провода при этом достигал бы 2.5 м).

**Цель статьи** – оценка возможности создания двухзаходных конических логарифмических спиральных антенн диапазона 2 – 15 МГц, обеспечивающих поляризационное разделение обыкновенной и необыкновенной компонент отраженных от ионосферы сигналов.

На основании приведенных в [3] положений был проведен расчет нескольких вариантов однозаходных и двухзаходных антенн с приемлемыми геометрическими размерами и проведено их компьютерное моделирование.

В результате, было установлено, что оптимальными, с точки зрения применения в составе станции “Базис”, характеристиками обладают двухзаходные конические логарифмические спиральные антенны с числом витков – четыре. Наилучшие поляризационные характеристики имеют спирали с целым числом витков. При приемлемых конструктивных параметрах угол подъема спирали составляет  $3.5^\circ - 8^\circ$ . Коэффициент перекрытия диапазона  $K_n$  при этом достигает трех, но со значительным ухудшением параметров на краях. Предпочтительнее выбирать  $K_n = 2.7 - 2.8$ .

С учетом вышеизложенного, диапазон 2 – 15 МГц предложено перекрывать двумя антеннами: первая: 2 – 5.5 МГц, вторая: 5.5 – 15 МГц.

В прямоугольной системе координат форма спирали (одна ветвь) антенны диапазона 2 – 5.5 МГц описывается следующими выражениями:

$$\begin{aligned}x &= 6.8e^{0.0518\varphi} \cos \varphi, \\y &= 6.8e^{0.0518\varphi} \sin \varphi, \\z &= 32.967 - 8.967e^{0.0518\varphi},\end{aligned}$$

где угол  $\varphi$  изменяется от 0 до  $8\pi$  (спираль содержит 4 витка).

Соответствующие выражения для антенны диапазона 5.5 – 15 МГц имеют вид:

$$\begin{aligned}x &= 2.48e^{0.0522\varphi} \cos \varphi, \\y &= 2.48e^{0.0522\varphi} \sin \varphi, \\z &= 10.948 - 2.948e^{0.0522\varphi},\end{aligned}$$

где угол  $\varphi$  также изменяется от 0 до  $8\pi$ .

Внешний вид антенн соответствует рис. 1. Высота антенны диапазона 2 – 5.5 МГц составляет 24 м, угол подъема спирали равен  $3.9^\circ$ , максимальный радиус витка (у основания) – 25 м, минимальный (у вершины) – 6.8 м, высота входа 1 над поверхностью земли – 3 м, диаметр провода – 200 мм. Высота антенны диапазона 5.5 – 15 МГц составляет 8 м, угол подъема спирали равен  $3.9^\circ$ , максимальный радиус витка (у основания) – 9.2 м, минимальный (у вершины) – 2.48 м, высота входа 1 над поверхностью земли – 1 м, диаметр провода – 80 мм.

Обе антенны имеют сходные технические характеристики, поскольку являются почти полными масштабными копиями. На рис. 2 представлены частотные зависимости КСВН антенн со входов 1 и 2. В целом, согласование антенн удовлетворительное, выбросы КСВН до 2.6 – 3 наблюдаются только вблизи нижнего края диапазона каждой из антенн.

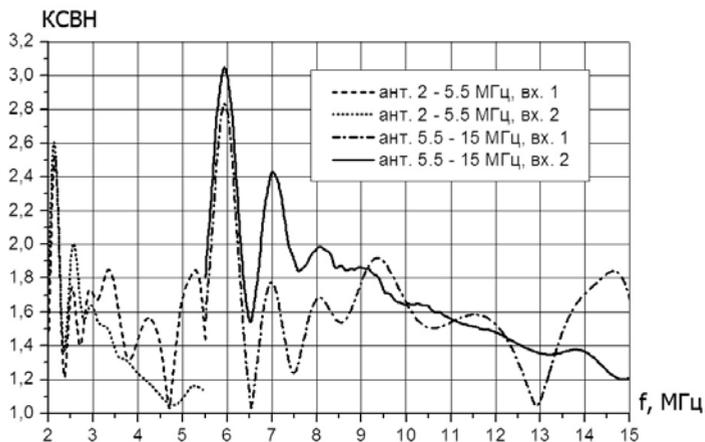


Рис. 2 – Частотные зависимости КСВН антенн со входов 1 и 2

На рис. 3 приведены диаграммы направленности (ДН) антенн со входов 1 и 2 на крайних частотах диапазона – 2 и 15 МГц. Видно, что максимум излучения ориентирован, практически, вертикально. ДН мало изменяется в широкой полосе частот, что является достоинством логарифмической спирали.

Круговая поляризация поля антенн характеризуется коэффициентами эллиптичности 0.5 – 0.95 для антенны диапазона 2 – 5.5 МГц и 0.47 – 0.98 для антенны диапазона 5.5 – 15 МГц.

На рис. 4 представлены частотные зависимости коэффициента усиления (КУ) антенн двух диапазонов. Различия в КУ со входов 1 и 2 связаны с различной шириной ДН антенн при питании с основания (вход 1, мода  $T_1$ ) и вершины спирали (вход 2, мода  $T_{-1}$ ). Кроме того, КУ антенны диапазона 2 – 5.5 МГц выше, примерно, на 1.5 дБ за счет большего диаметра провода спирали.

Для определения влияния диаметра провода, из которого выполнены спирали, на характеристики антенны была использована программа моделирования MMANA-GAL. На рис. 5 представлены полученные зависимости изменения КУ антенны диапазона 5.5 – 15 МГц от диаметра

провода на нескольких частотах диапазона. Нормирование КУ проведено относительно усиления антенны с диаметром провода спирали 80 мм.

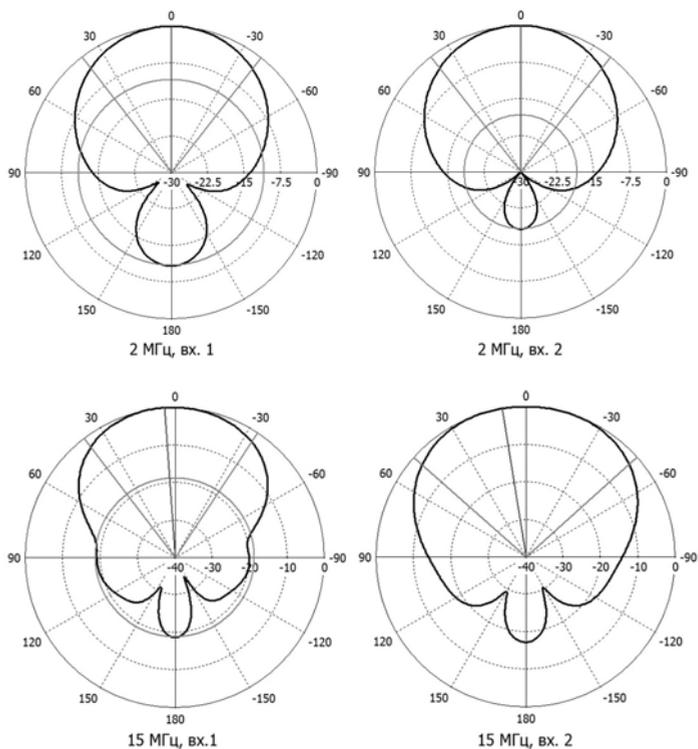


Рис. 3 – ДН антенн на крайних частотах диапазона

Видно, что при уменьшении диаметра провода наибольшие потери усиления имеют место на нижних частотах диапазона. Установлено, что уменьшение диаметра провода не приводит к заметным изменениям ДН. Работоспособность антенны сохраняется при уменьшении диаметра провода до 2 мм. Потери усиления при этом составляют от 0.5 до 2.75 дБ.

Предлагаемые антенны могут использоваться также в качестве дополнительных приемных антенны станции “Базис”. При этом в режиме передачи может использоваться существующая ромбическая антенна линейной поляризации. Спиральная антенна осуществляет приём обыкновенной и необыкновенной компонент отраженного от ионосферы сигнала. Разделение компонент происходит в самой антенне и, в зависимости от направления намотки спирали, одна компонента будет выделена на входе 1, другая – на входе 2. Так, если антенна представляет собой спираль

правосторонней намотки, то обыкновенная компонента будет выделяться на входе 1 (у основания антенны), соответственно, необыкновенная – у вершины антенны, на входе 2.

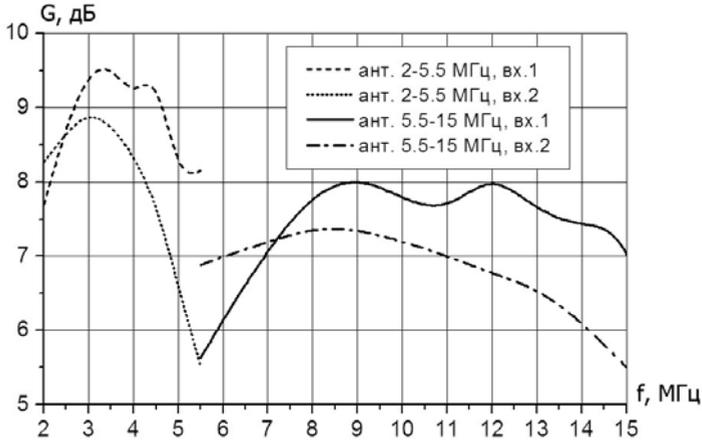


Рис. 4 – Частотные зависимости коэффициента усиления  $G$  антенн диапазонов 2 – 5.5 и 5.5 – 15 МГц

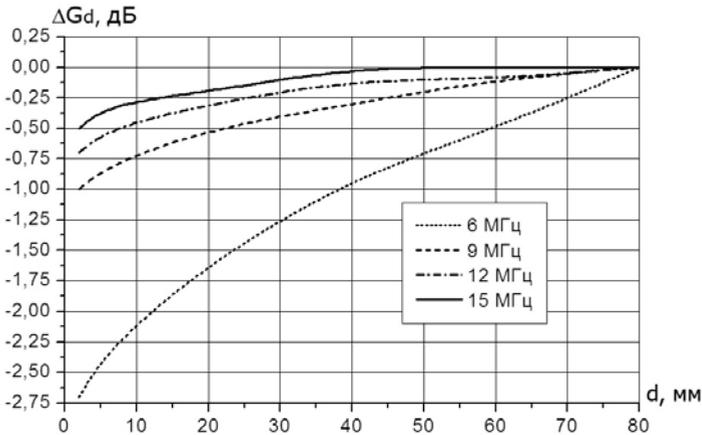


Рис. 5 – Зависимость изменения коэффициента усиления антенны диапазона 5.5 – 15 МГц от диаметра провода спирали

На рис. 6 представлены графики, характеризующие поляризационную развязку  $\Delta G_p$  предлагаемых антенн. Если антенна используется только в режиме приема, а для передачи используется антенна линейной поляризации,

то поляризационная развязка описывается кривыми, обозначенными как “вх. 1” и “вх. 2” (развязка составляет 7.5 – 33 дБ для входа 1 и 15 – 28 дБ для входа 2). Если же антенна является приёмо-передающей, то поляризационная развязка описывается суммарной кривой “вх. 1 – вх. 2” и изменяется по диапазону в пределах 25 – 60 дБ.

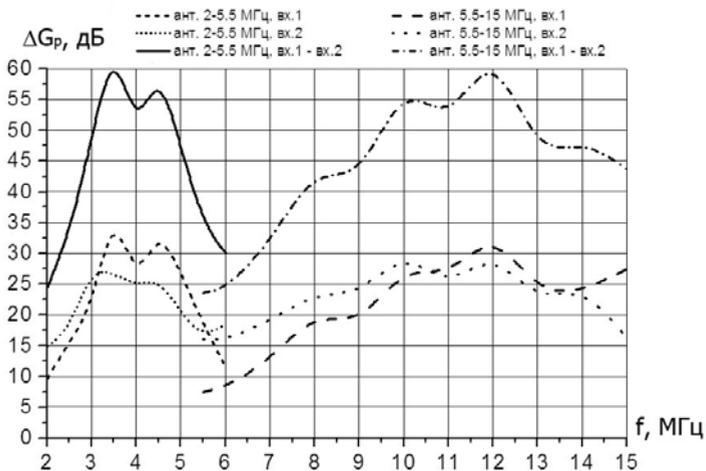


Рис. 6 – Частотные зависимости поляризационной развязки  $\Delta G_p$  антенн диапазонов 2 – 5.5 МГц и 5.5 – 15 МГц

**Выводы.** Предлагаемые двухзаходные конические логарифмические спиральные антенны диапазонов 2 – 5.5 МГц и 5.5 – 15 МГц по своим поляризационным характеристикам позволяют разделить обыкновенную и необыкновенную компоненты отраженных от ионосферы сигналов и могут быть использованы в составе станции “Базис” в качестве основных или дополнительных антенн.

**Список литературы:** 1. Барабаш В.В., Скляр И.Б. Станция вертикального зондирования Института ионосферы // Вестник НТУ “ХПИ”. Сборник научных трудов. Тематический выпуск “Автоматика и приборостроение”. – 2010. – № 23. – С. 7 – 12. 2. Ратовский К.Г., Потехин А.П., Медведев А.В., Куркин В.И. Современный цифровой ионозонд DPS-4 и его возможности. // Солнечно-земная физика. – 2004. – Т. 118, № 5. – С. 102 – 104. 3. Юрцев О.А., Рунов А.В., Казарин А.Н. Спиральные антенны. – М.: Сов. радио, 1974. – 224 с.

Поступила в редколлегию 20.09.2012