

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 621.396.67

## СПИРАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДМ-ДИАПАЗОНА ВОЛН

В.Д. Двуреченский, П.П. Телепнев, А.Ю. Федотов

Представлены результаты сравнительного анализа вибраторных антенн с эллиптической поляризацией и конических спиральных антенн с учётом возможности их использования в радиотехнических системах космических аппаратов ДМ-диапазона волн. Анализ проводился с помощью пакета программ электродинамического моделирования, созданных на базе метода конечных элементов. Установлено, что при сравнимых электрических характеристиках и габаритных параметрах полоса рабочих частот у спиральной антенны (десятки процентов) значительно больше полосы рабочих частот у вибраторных антенн с круговой поляризацией (единицы процентов). Этот факт обуславливает возможность использовать спиральные антенны одной модификации (в отличие от вибраторных антенн) для нескольких рабочих частотных поддиапазонов спутниковых радиосистем ДМ-диапазона волн. Предложена конструкция спиральной антенны, состоящая из усечённой конической двухзаходной спирали, которая обеспечивает требуемые электрические характеристики антенны, и плоской двухзаходной спирали, которая позволяет использовать известное симметрирующее и согласующее коаксиально-щелевое устройство, расположенное на оси симметрии антенны. Представлены расчётные ненормированные диаграммы направленности, коэффициента эллиптичности от угла места на частоте 2 ГГц и частотная зависимость коэффициента стоячей волны.

**Ключевые слова:** вибраторная антенна, спиральная антенна, эллиптическая поляризация.

В настоящее время в радиолиниях, предназначенных для работы в ДМ-диапазоне волн с космических аппаратов (КА) типа «Метеор-М» и «Канопус», используются вибраторные антенны с эллиптической поляризацией излучаемых электромагнитных волн [1]. Основным недостатком этих

антенн является узкая относительная полоса рабочих частот (несколько процентов).

В статье с помощью методов электродинамического моделирования (на основе использования метода конечных элементов) проведён сравнительный анализ двухзаходных конических спиральных

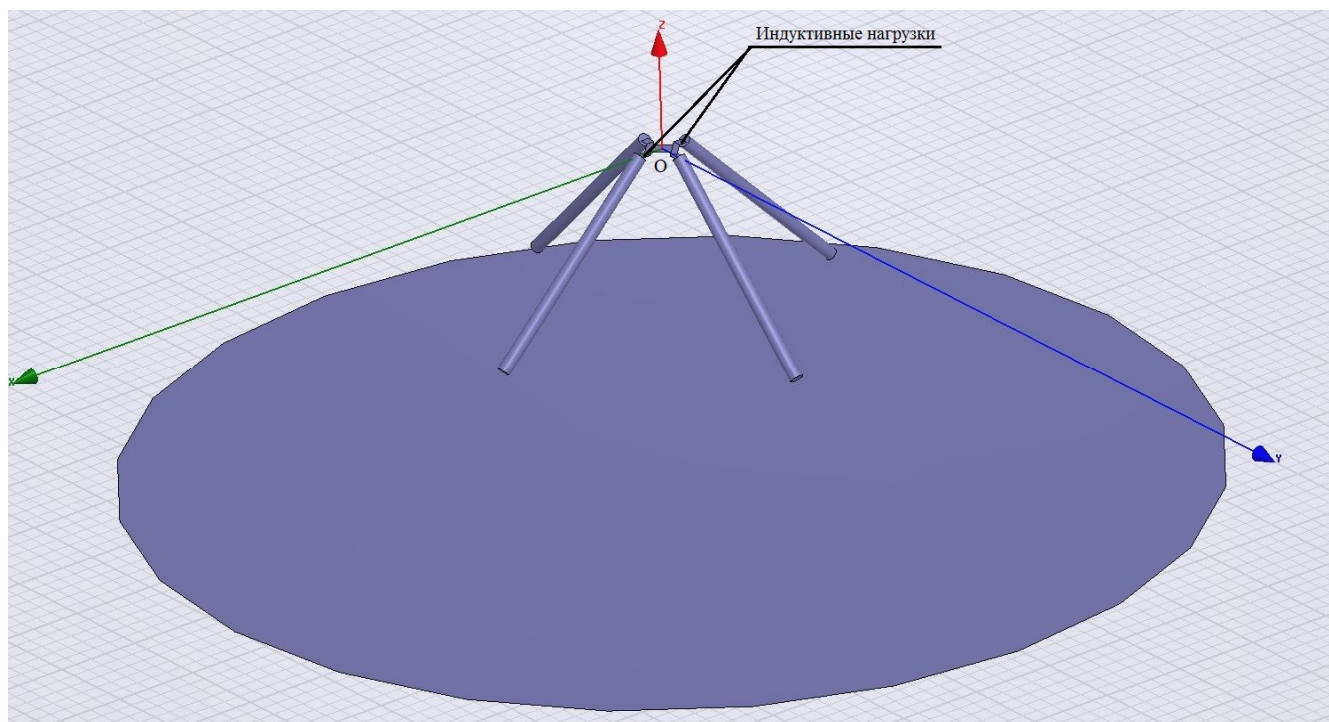


Рис. 1. Электродинамическая модель вибраторной антенны

антенн, которые излучают эллиптически поляризованную электромагнитную волну в широкой полосе частот, и вибраторных антенн эллиптической поляризации с учётом тактико-технических требований, предъявляемых радиолиниям приёма-передачи информации КА.

Вибраторная антенна [1] (рис. 1) представляет собой два расположенных над металлическим дис-

ком перпендикулярно друг к другу симметричных вибратора, плечи которых наклонены к диску на  $45^\circ$ , а их длина и диаметр выбраны таким образом, что входное сопротивление вибраторов  $Z=R-jX$ . При этом  $R=X$ . В плечи одного из вибраторов последовательно включены индуктивности  $L$ , выбранные из условия  $\omega L=X$ , где  $\omega=2\pi f$ ,  $f$  – рабочая частота. На рис. 2 представлена ненормированная диаграмма

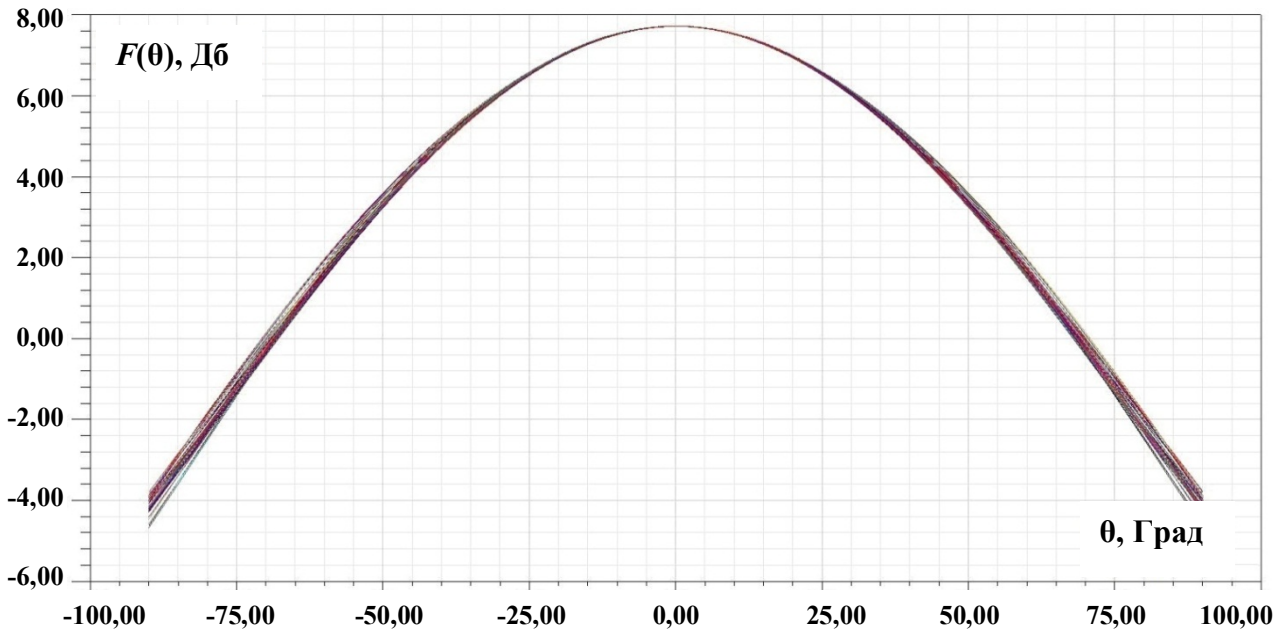


Рис. 2. Ненормированная диаграмма направленности  $F(\theta)$  вибраторной антенны

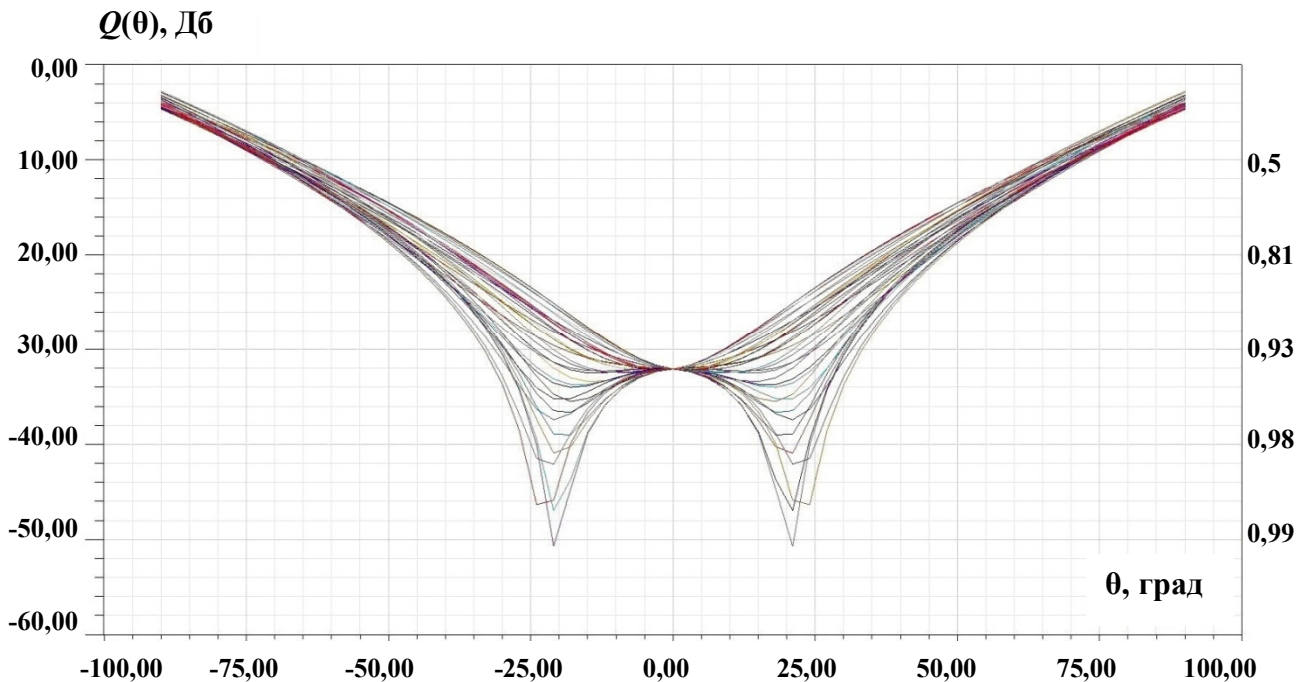


Рис. 3. Значения отношения уровня электрической составляющей электромагнитной волны с паразитной эллиптической поляризацией к уровню электрической составляющей электромагнитной волны с полезной эллиптической поляризацией

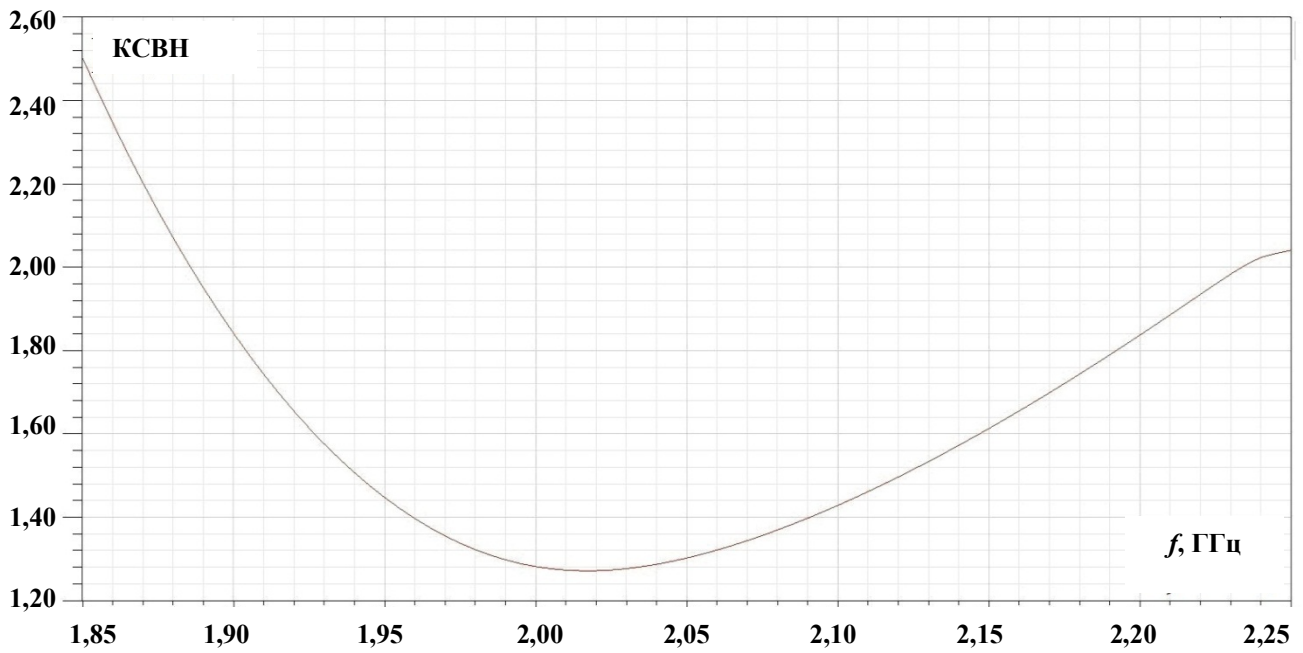


Рис. 4. График частотной зависимости коэффициента стоячей волны КСВН в вибраторной антенне

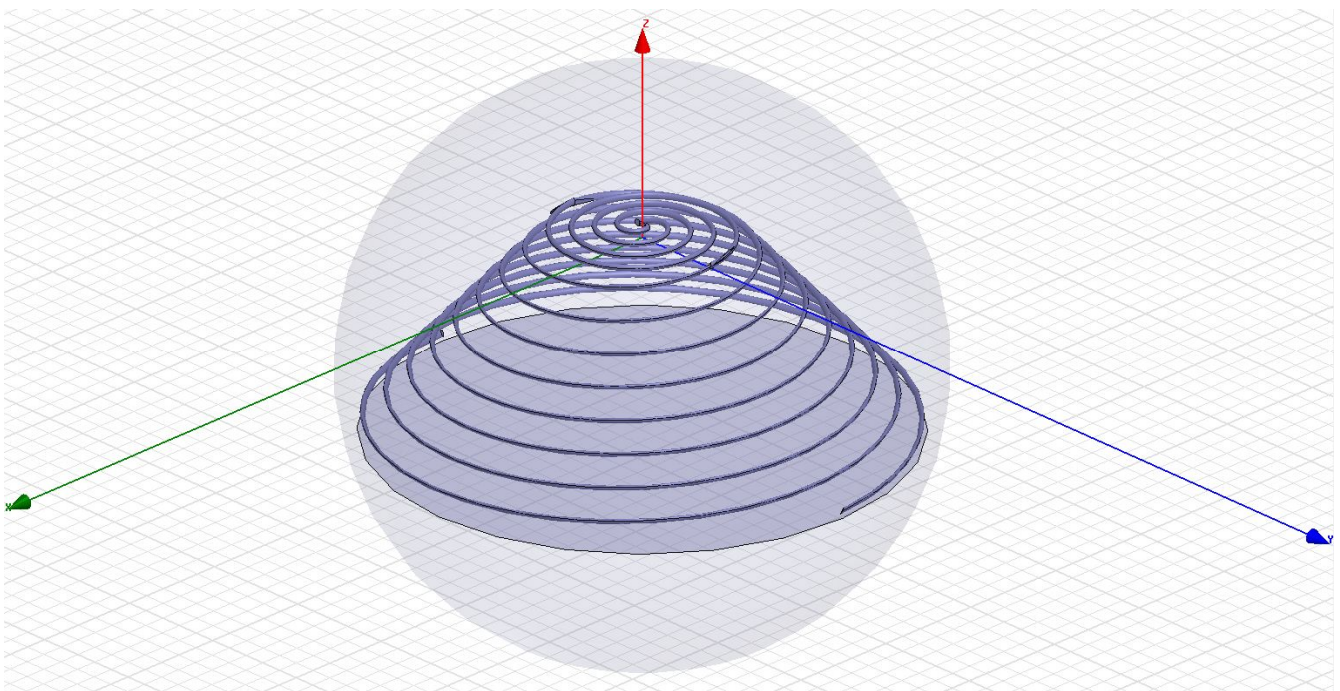


Рис. 5. Электродинамическая модель комбинированной спиральной антенны

направленности  $F(\theta)$  (где угол  $\theta$  отсчитывается от оси  $OZ$ ) вибраторной антенны на частоте  $f=2$  ГГц, в разных вертикальных плоскостях, а на рис. 3 представлены значения отношения уровня электрической составляющей электромагнитной волны с паразитной эллиптической поляризацией к уровню

электрической составляющей электромагнитной волны с полезной эллиптической поляризацией  $Q(\theta)$  (дБ) в плоскостях  $\varphi=n \cdot 10^\circ$ , где  $n=0 \div 17$ ,  $\theta$  – угол, отсчитываемый от нормали к диску. Величина  $Q$  связана с коэффициентом поляризации  $v$  следующим образом:  $v=th(-0,0576Q)$ . Расчёты прово-

дидились с использованием пакета программ электродинамического моделирования антенно-фидерных устройств для следующих конструктивных параметров антенны: диаметр диска  $D=120$  мм, высота подвеса вибраторов  $H_v=38,5$  мм, длина плеч вибраторов  $l=27,5$  мм, диаметр плеч вибраторов  $2a=1,5$  мм, сосредоточенная нагрузка  $L=3,1$  нГн. На рис. 4 приведён график частотной зависимости коэффициента стоячей волны КСВН в 50-омном кабеле возбуждения.

Из представленных на рис. 2–4 графиков следует, что вибраторные антенны с эллиптической поляризацией волн КА обеспечивают в секторе углов  $\theta$  ( $-70^\circ$ ,  $+70^\circ$ ), коэффициент направленного действия  $G$  от 7,8 дБ при  $\theta=0$  до  $-0,5$  дБ при  $\theta=\pm 70^\circ$ , и изменение коэффициента эллиптичности  $v(\theta)$  от 0,93 при  $\theta=0^\circ$  до 0,45 при  $\theta=\pm 70^\circ$  на центральной частоте, а КСВН  $\leq 2$  в полосе частот 30 %. Однако частотная чувствительность коэффициента эллиптичности  $v(\theta)$  более сильная, чем коэффициента направленного действия  $f$ . Так при изменении частоты на  $\pm 2,5\%$  ( $f=2\pm 0,05$  ГГц)  $v(0)=0,72$ ,  $v(\pm 70) = 0,35$ , т. е. такая антенна является узкополосным излучателем эллиптически поляризованной электромагнитной волны.

Известны [2] сверхширокополосные конические двухзаходные спиральные антенны, рабочий диапазон частот которых определяется соотношением

верхнего и нижнего диаметров, а также шагом намотки спирали. Они обладают однонаправленным излучением с эллиптической поляризацией. На заданной частоте излучение обеспечивается токами в области антенны, где периметр спирали близкий к длине волны. Для увеличения полосы рабочих частот антенн КА с вращающейся поляризацией до десятков процентов анализировалась комбинированная спиральная антенна рис. 5, состоящая из усечённой конической двухзаходной спирали, которая обеспечивает излучение в требуемой полосе частот и плоской двухзаходной архимедовой спирали, позволяющей сохранить способ возбуждения антенны. Антенна состоит из плоской спирали диаметром  $d$  в виде двух  $n$ -витковых архимедовых спиралей из металлических лент и конической  $m$ -витковой двухзаходной спирали, расположенной на поверхности усечённого конуса с диаметром верхнего основания  $d$ , диаметром нижнего основания  $D$  и высотой  $H$ . Спирали выполнены из металлических лент шириной  $\Delta$ . На нижепредставленных рисунках изображены характеристики спиральной антенны, рассчитанные методами электродинамического моделирования для следующих конструктивных параметров антенны:  $d=43$  мм,  $D=120$  мм,  $H=48,5$  мм,  $m=6$ , ширина полосков спирали 1 мм, толщина полосков спирали 1 мм. На рис. 6 показаны рассчитанные на частоте  $f=2$  ГГц ненормированные

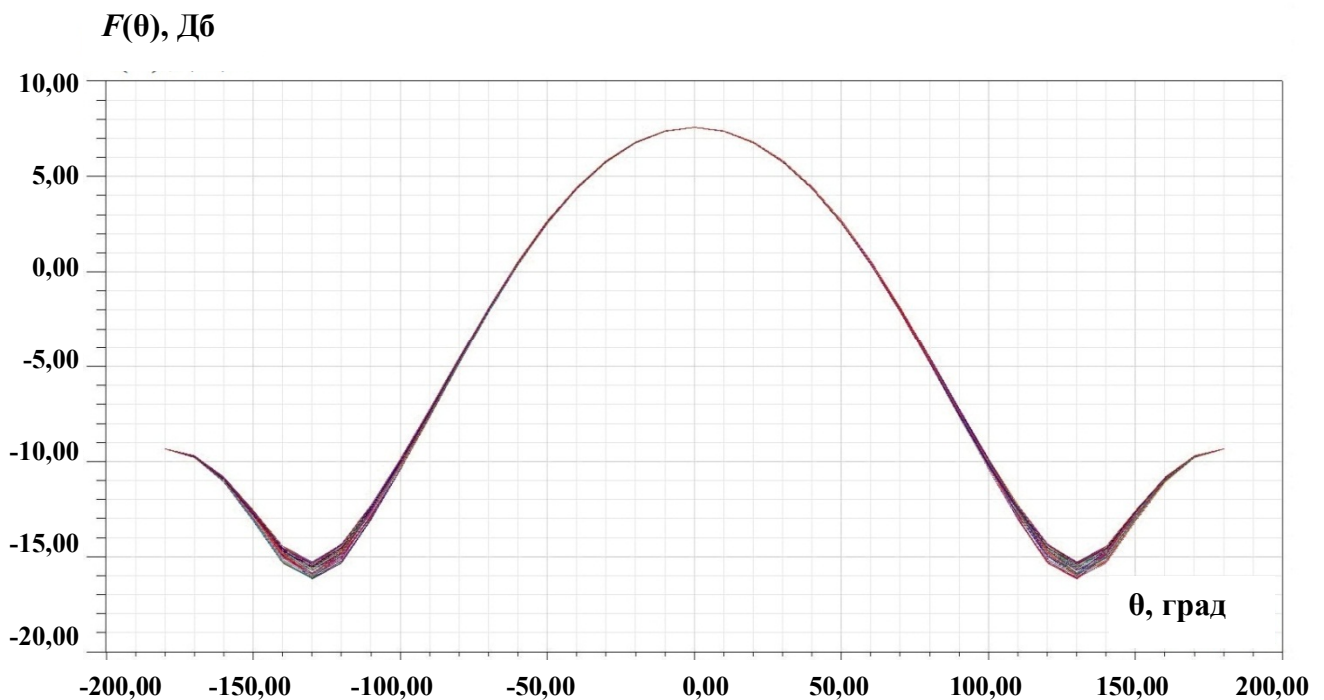


Рис. 6. Ненормированные диаграммы направленности  $F(\theta)$  спиральной антенны для различных азимутальных углов  $\varphi$  на частоте  $f=2$  ГГц

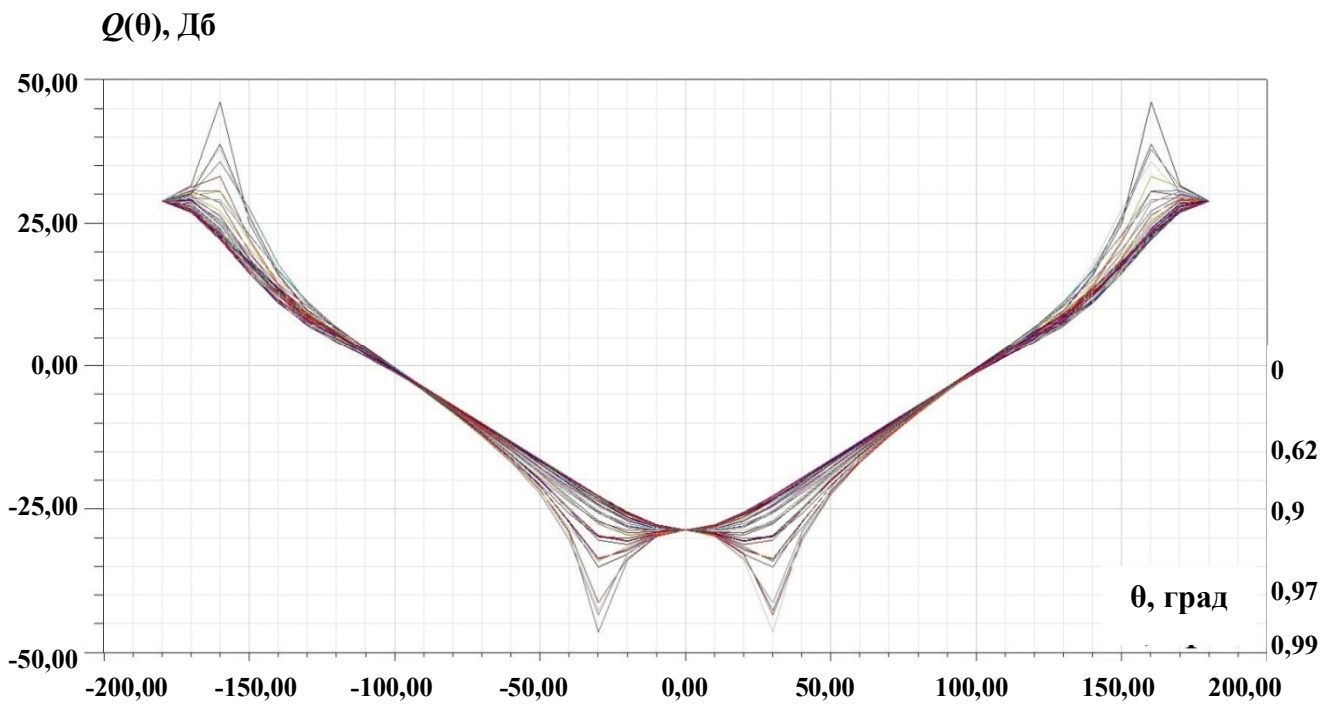


Рис. 7. Угловые зависимости  $Q(\theta)$  спиральной антенны для различных значений  $\varphi$  на частоте  $f=2$  ГГц

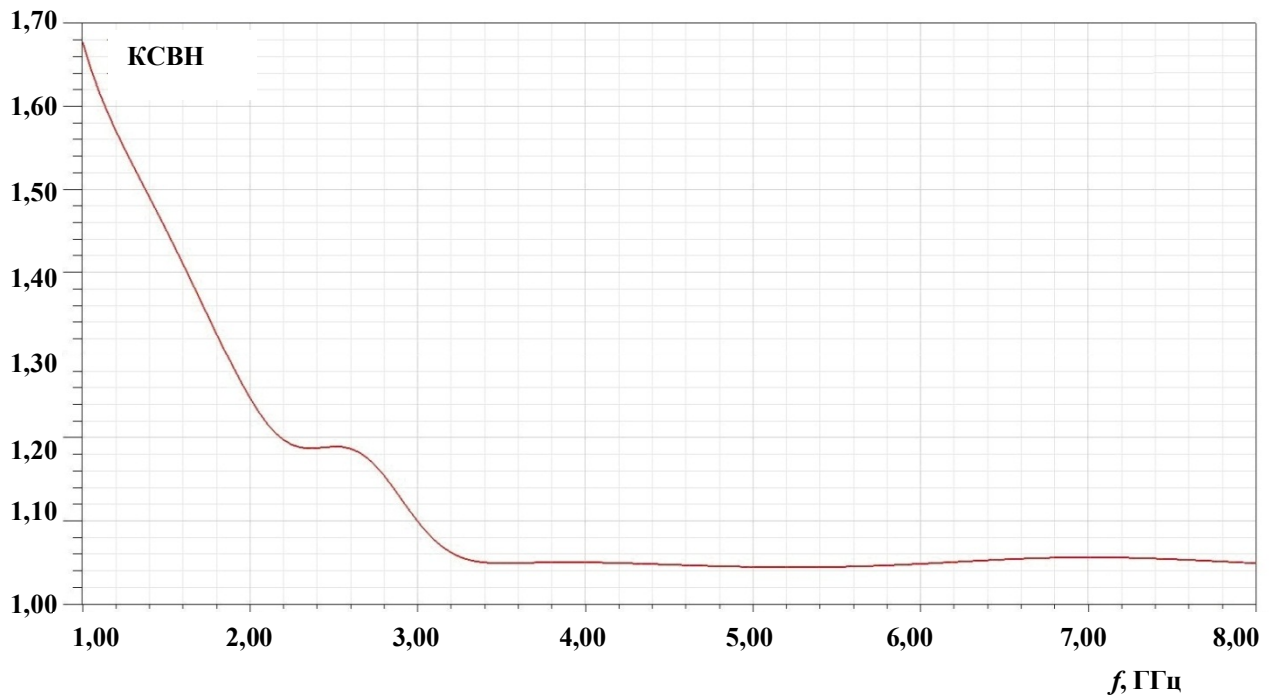


Рис. 8. График частотной зависимости КСВН спиральной антенны

мированные диаграммы направленности  $F(\theta)$  для различных азимутальных углов  $\varphi$ , из которых следует, что коэффициент направленного действия антенны изменяется от 7,5 дБ при  $\theta=0^\circ$  до  $-2$  дБ при  $\theta=70^\circ$ . На рис. 7 представлены угловые зависимости  $Q(\theta)$  для различных значений  $\varphi$  на частоте

$f=2$  ГГц, из которых следует, что  $v(0)=0,95$ ,  $v(\pm 70)=0,4$ . На рис. 8 изображён график частотной зависимости КСВН спиральной антенны, из которого следует, что полоса рабочих частот по уровню КСВН=2 при питании антенны двухсотомной линией составляет не менее  $(1\div 8)$  ГГц. При этом коэффици-

ент эллиптичности  $v(\theta)$  сохраняет свои значения в широкой полосе частот, например на частоте  $f=3$  ГГц,  $v(0)=0,95$ ,  $v(\pm 70)=0,39$ .

Из сравнительного анализа представленных выше расчётных данных следует, что диаграмма направленности, угловая зависимость коэффициентов направленного действия и эллиптичности рассмотренных вибраторных и спиральных антенн с эллиптической поляризацией излучаемого электромагнитного поля практически совпадают на центральной рабочей частоте. Однако спиральные антенны значительно широкполоснее

вибраторных, что может иметь значительное преимущество при разработке многоканальных радиосистем передачи информации КА, содержащих антенны с эллиптической поляризацией.

#### Литература

1. Двуреченский В. Д., Телепнев П. П., Федотов А. Ю. Вибраторная антенна с эллиптической поляризацией радиосистем космических аппаратов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2014. – Т. 142. – № 5.
2. Фрадин А. З. Антенно-фидерные устройства: Учебн. пособие для вузов связи. – М.: Связь, 1977.

Поступила в редакцию 15.06.2015

**Виктор Дмитриевич Двуреченский,**  
д-р техн. наук, вед. научн. сотрудник,  
**Павел Петрович Телепнев,** аспирант, мл. научн. сотрудник,  
**Александр Юрьевич Федотов,** д-р техн. наук,  
начальник лаборатории.  
E-mail: vniiem@vniiem.ru, (495) 366-27-55.  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

## HELICAL-BEAM ANTENNAS for RADIO-TECHNICAL SYSTEMS of UHF-SATELLITES

V.D. Dvurechensky, P.P. Telepnev, A.Yu. Fedotov

*The article represents results of comparative analysis performed for elliptically polarized dipole antennas and conical helix antennas considering their use in radio-technical systems of UHF-Satellites. The analysis was performed using electro-dynamic modeling software created on the basis of finite-element method. It is proved that, at relatively similar electrical characteristics and overall parameters, operating frequency band of helical-beam antennas (tens of per cent) is significantly wider than operating frequency band of elliptically polarized dipole antennas (few per cent). It enables to use helical-beam antennas of one version (in contrast with dipole antennas) for operation in several operating frequency sub-bands of UHF satellite radio systems. Helical-beam antenna configuration consisting of conic bifilar helix, which provides required electric characteristics of antenna, and flat bipolar helix, which allows to use known balancing and coaxial-slot coupler placed on antenna symmetry axis, is offered for consideration. The article presents calculated un-normalized direction diagrams, diagrams of elliptic coefficient of elevation angle at a frequency of 2 GHz, as well as frequency dependence diagrams for standing wave factors.*

**Key words:** dipole antenna, helical-beam antenna, elliptic polarization.

#### List of References

1. Dvurechensky V. D., Telepnev P. P., Fedotov A. Yu. Elliptically polarized dipole for satellite radio systems // VNIIEМ scientific works. Issues of electromechanics. – 2014. – Vol. 142. – No. 5.
2. Fradin A. Z. Antenna feeder systems: Teaching guide for higher education institutions working in the sphere of communications. – Moscow: Svyaz Publ., 1977.

**Viktor Dmitriyevich Dvurechensky,**  
Doctor of Engineering Science, Senior Research Scientist.  
**Pavel Petrovich Telepnev,**  
Ph. D. Student, Junior Research Scientist.  
**Alexandr Yuryevich Fedotov,**  
Doctor of Engineering Science, Head of Laboratory.  
E-mail: vniiem@vniiem.ru, tel.: (495)366 27 55.  
(‘VNIIEМ Corporation’ JC).