

Электродинамика, микроволновая техника, антенны

УДК 621.396.677.75

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2020-23-2-38-45>

## Сверхширокополосная диэлектрическая стержневая антенна

И. Д. Павлов<sup>1✉</sup>, Я. В. Караев<sup>1</sup>, М. А. Кот<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО "Центральное конструкторское бюро автоматики", Омск, Россия

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, Омск, Россия

✉ s-glok9@mail.ru

### Аннотация

**Введение.** Пространство, выделяемое для размещения антенны, в различных устройствах может характеризоваться неудобной для этого формой. В частности, на борту летательного аппарата длина и высота зоны размещения антенны соотносятся приблизительно как 5:1. Задача размещения антенны в этом пространстве предполагает разработку диэлектрической стержневой антенны со сходным соотношением габаритных размеров и возможностью удобного крепления на плоской проводящей поверхности.

Широкополосность антенны характеризуется отношением верхней ( $f_{\text{в}}$ ) и нижней ( $f_{\text{н}}$ ) граничных частот рабочего диапазона. В авиационной технике целесообразно применение сверхширокополосных антенн, имеющих отношение  $f_{\text{в}} / f_{\text{н}} = 9 : 1$ . При этом коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) не должен превышать 3, коэффициент усиления (КУ) должен быть не менее 1 дБи, диаграмма направленности должна быть осесимметричной с уровнем боковых лепестков, не превышающим 25 %.

**Цель работы.** Разработка и исследование характеристик сверхширокополосной диэлектрической стержневой антенны.

**Материалы и методы.** Конструирование и определение параметров антенн выполнены электродинамическим моделированием в среде Ansoft HFSS. Предложены два различающихся конструктивно варианта сверхширокополосной диэлектрической стержневой антенны.

**Результаты.** В результате проведенного моделирования получены антенны со следующими параметрами в требуемом диапазоне частот:

- для первого варианта: КСВН не превышает 3.25, КУ изменяется от 6 до 12 дБи, диаграмма направленности осесимметричная с уровнем боковых лепестков, не превышающим 30 %;
- для второго варианта: КСВН не превышает 2.75, КУ изменяется от 5 до 11 дБи, диаграмма направленности осесимметричная с уровнем боковых лепестков, не превышающим 20 %.

Конструктивные особенности второго варианта позволяют удобно закрепить его на плоской проводящей поверхности.

**Заключение.** Сравнение полученных результатов с требованиями, предъявляемыми к рассматриваемой антенне, показывает, что второй вариант, в отличие от первого, обладает допустимым уровнем согласования ( $\text{КСВН} \leq 2.75$ ) и бокового излучения диаграммы направленности (20 %) и может быть рекомендован для предполагаемого применения.

**Ключевые слова:** широкополосная антенна, диэлектрическая стержневая антенна, широкополосное согласование

**Для цитирования:** Павлов И. Д., Караев Я. В., Кот М. А. Сверхширокополосная диэлектрическая стержневая антенна // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т. 23, № 2. С. 38–45. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-2-38-45

---

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 28.10.2019; принята к публикации после рецензирования 04.01.2020; опубликована онлайн 29.04.2020

---

© Павлов И. Д., Караев Я. В., Кот М. А., 2020



## Ultra Wide Band Dielectric Rod Antenna

Ivan D. Pavlov<sup>1</sup>✉, Yaroslav V. Karaev<sup>1</sup>, Mark A. Kot<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSC "Central design bureau of automatics", Omsk, Russia

<sup>2</sup>Omsk State Technical University, Omsk, Russia

✉ s-glok9@mail.ru

### Abstract

**Introduction.** Often, the space allocated for placement of an antenna has an inconvenient shape for this. The inconvenience is that its overall dimensions, namely the length and height, relate to each other approximately as 5:1. The task of placing the antenna in the space, in the absence of ready-made solutions, involves the development of an antenna with a similar ratio (5:1) of overall dimensions and with the possibility of convenient mounting on a flat conductive surface.

Also, in the 9:1 frequency band, the antenna should have the following radio technical characteristics: voltage standing wave coefficient (VSWR) of not more than 3, gain of at least 1 dBi, radiation patterns should be axisymmetric with side lobe level not exceeding 25 %.

**Aim.** Development and study of the characteristics of an ultra-wideband dielectric rod antenna.

**Materials and methods.** Two structurally different versions of an ultra-wideband dielectric rod antenna were proposed. The main radio technical characteristics of both options were obtained through electrodynamic modeling in Ansoft HFSS.

**Results.** As a result of the simulation, the following radio characteristics were obtained:

- for the first option, the VSWR does not exceed 3.25 in the required frequency range, the gain varies from 6 to 12 dBi, the axisymmetric radiation patterns with the level of the side lobes not exceeding 30 %;
- for the second option, the VSWR does not exceed 2.75 in the required frequency range, the gain varies from 5 to 11 dBi, the axisymmetric radiation patterns with the level of the side lobes not exceeding 20 %.

In addition, the structural differences of the second option make it convenient to fix it on a flat conductive surface.

**Conclusion.** Comparison of the obtained results with the requirements for the antenna under consideration shows that, unlike the first, the second option has an acceptable level of matching (VSWR 2.75) and of side radiation of radiation patterns (20 %). Based on this, it can be concluded that only the second option is suitable for the intended application.

**Keywords:** wideband antenna, dielectric rod antenna, wideband matching

**For citation:** Pavlov I. D., Karaev Ya. V., Kot M. A. Ultra Wide Band Dielectric Rod Antenna. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2020, vol. 23, no. 2, pp. 38–45. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-2-38-45

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.

Submitted 28.10.2019; accepted 04.01.2020; published online 29.04.2020

**Введение.** Разработка различных авиационных систем предполагает размещение антенн, работающих в сверхширокой полосе частот, в малом полезном объеме сложной формы.

Сложность формы полезного пространства заключается в том, что его длина и высота относятся друг к другу приблизительно как 5:1. Размещение антенных элементов в данном объеме требует от них сходного соотношения габаритных размеров. Кроме того, конструкция антенн долж-

на позволять удобно закрепить их на плоской проводящей поверхности.

Рабочая полоса таких антенн должна характеризоваться отношением верхней ( $f_B$ ) и нижней ( $f_H$ ) частот примерно  $f_B/f_H = 9:1$ . В этой полосе они должны обеспечивать следующие параметры:

- коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) не более 3;
- коэффициент усиления (КУ) не менее 1 дБи;

– диаграмма направленности (ДН) должна быть осесимметричной с уровнем боковых лепестков, не превышающим 25 %.

Подключаться к фидерной линии антенна должна через коаксиальный разъем.

В целом указанным требованиям удовлетворяет класс сверхширокополосных антенн. Среди них наиболее подходящими можно считать логопериодические с конфигурацией, описанной в [1], и рупорные, например [2]. Однако проектирование антенн указанных типов характеризуется рядом сложностей. В частности, проектирование и последующая настройка логопериодической структуры [1] представляются достаточно трудоемкими из-за необходимости определения параметров замедляющей структуры, имеющей достаточно сложную форму. Использование рупорных антенн также затруднительно по причине их высокой металлоемкости и, как следствие, значительной массы.

Еще один тип антенн, удовлетворяющих предъявленным требованиям, – диэлектрические стержневые антенны [3–9]. К преимуществам данного типа антенн можно отнести относительную простоту диэлектрической замедляющей структуры (ДЗС), а также меньшую по сравнению с рупорными антеннами массу.

В настоящей статье представлены разработка и исследование характеристик двух вариантов диэлектрических стержневых антенн. Характеристики получены электродинамическим моделированием методом конечных элементов в среде Ansoft HFSS. Характеристики второго варианта антенны представляют особый интерес, поскольку предложенная для этого варианта конструкция не описана в проработанных источниках.

**Методы.** Моделирование в среде Ansoft HFSS осуществлялось методом конечных элементов. Расчет выполнялся с шагом по оси частот  $f_H/4$ . Пространство решения разбивалось на элементы с размером ребра  $\lambda_B/3$ , где  $\lambda_B$  – длина волны на верхней частоте рабочего диапазона.

Перед проведением моделирования разработаны конструкции антенн, на основании которых сформированы модели. Разработка включала три этапа.

**Конструкция первого варианта антенны.** На первом этапе была принята форма ДЗС, описанная в [3], [4] (рис. 1). Исходные соотношения для расчета параметров диэлектрического конуса  $I$  приведены в [4].

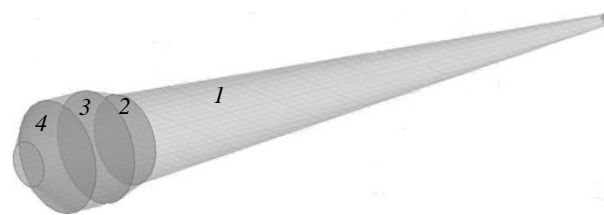


Рис. 1. Диэлектрическая замедляющая структура первого варианта антенны: 1 – продолговатый конус; 2 – переходная часть; 3 – диэлектрический стержень; 4 – диаграммообразующий конус

Fig. 1. Dielectric slowdown structure of the first embodiment of the antenna: 1 – oblong cone; 2 – transition part; 3 – dielectric rod; 4 – diagram-forming cone

Площадь его поперечного сечения выбирается из промежутка значений, верхняя и нижняя границы которого получаются из соотношений

$$S_{\max} = \frac{\lambda_H^2}{4(\epsilon_r - 1)}; S_{\min} = \frac{\lambda_H^2}{10(\epsilon_r - 1)},$$

где  $\lambda_H$  – длина волны на нижней частоте диапазона;  $\epsilon_r$  – диэлектрическая проницаемость материала.

Размеры других элементов ДЗС (рис. 1, 2–4) были получены путем масштабирования размеров, приведенных в [3], под требуемый частотный диапазон.

В [4] указано, что с ростом диэлектрической проницаемости материала, из которого изготавливаются диэлектрические элементы, рабочий частотный диапазон антенны сужается. В качестве материала для рассматриваемой антенны был выбран полиметилметакрилат (органическое стекло) с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 3.4$ .

После определения формы ДЗС необходимо выбрать способ возбуждения электромагнитных колебаний в ней. Способы, описанные в [4], [5], не подходят для рассматриваемой антенны, так как цилиндрический волновод и переход от коаксиальной линии к цилиндрическому волноводу не обеспечивают требуемого уровня согласования в широкой (9:1) полосе частот.

Анализ источников [3], [6–8], [11], [12] позволяет сделать вывод о том, что требуемой широкополосности (9:1) позволяет достичь описанный в них способ возбуждения. В указанных работах рассмотрены различные варианты направляющей структуры, состоящей из двух расширяющихся металлических пластин, размещенных на диэлектрическом основании конической или пирамидальной формы. Возбуждаются эти пластины двухпроводной линией, так как распределение токов подобной структуры в точках возбуждения близко к распределению токов в ней. Подробно

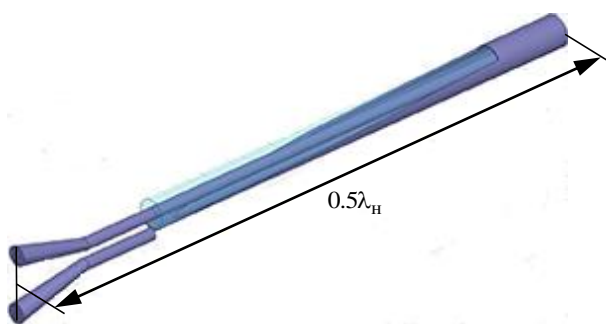


Рис. 2. Сверхширокополосный коаксиальный кососрезанный трансформатор

Fig. 2. Ultra-wideband coaxial oblique transformer

на антенна, общий вид которой представлен на рис. 3. Металлические пластины 2 возбуждают в ДЗС 1 электромагнитные колебания. Коаксиальный кососрезанный трансформатор 3 обеспечивает широкополосное согласование волновых сопротивлений двухпроводной линии 2 и коаксиального входа антенны.

**Параметры первого варианта антенны.** Частотные зависимости КСВН антенн представлены на рис. 4. Рис. 5 показывает частотные зависимости КУ ( $Q$ ) антенн. Рис. 6 представляет ДН

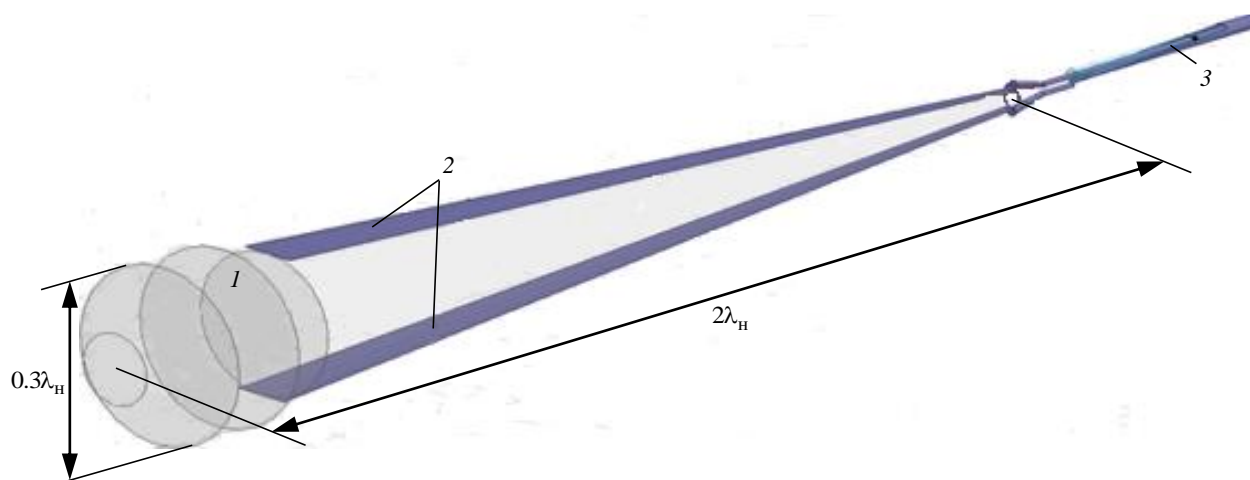


Рис. 3. Общий вид первого варианта антенны: 1 – диэлектрическая четырехсекционная структура; 2 – металлические пластины; 3 – коаксиальный кососрезанный трансформатор

Fig. 3. General view of the first version of the antenna: 1 – dielectric four section structure; 2 – metal plates; 3 – coaxial oblique transformer

распределение токов в расширяющихся проводящих пластинах и расчет волнового сопротивления рассмотрены в [8].

В качестве устройства, обеспечивающего широкополосное согласование волновых сопротивлений двухпроводной линии и коаксиального входа антенны, принят сверхширокополосный коаксиальный согласующий и симметрирующий трансформатор (рис. 2) [10]. В результате получе-

антенн  $D(\theta) = P(\theta)/P_{\max}$  в азимутальной плоскости на нижней границе частотного диапазона (а), посередине (б) и на верхней границе (в). Здесь  $P(\theta)$  – мощность излучения антенны по азимуту  $\theta$ ;  $P_{\max} = P(0)$  – мощность излучения по продольной оси антенны. На рис. 4–6 зависимости для первого варианта антенны отмечены номером 1.

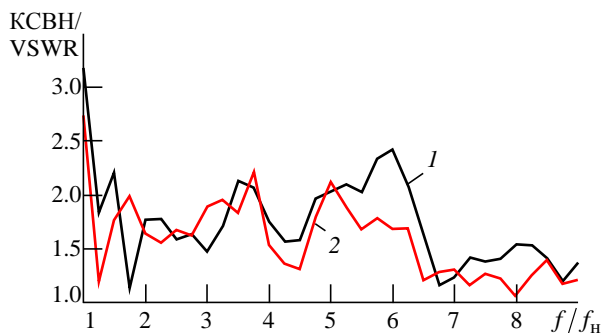


Рис. 4. Зависимость КСВН антенн от частоты: 1 – вариант 1; 2 – вариант 2

Fig. 4. Dependence of the VSWR on frequency: 1 – variant 1; 2 – variant 2

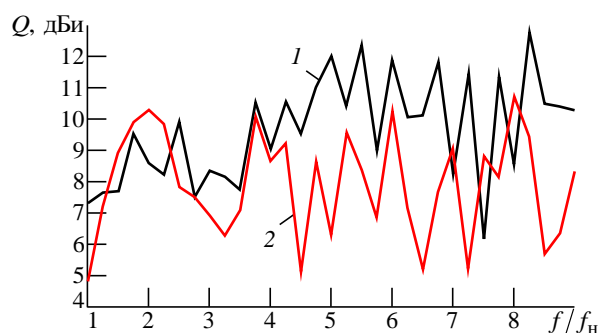


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления антенн от частоты: 1 – вариант 1; 2 – вариант 2

Fig. 5. Dependence of the antenna gain on frequency: 1 – variant 1; 2 – variant 2

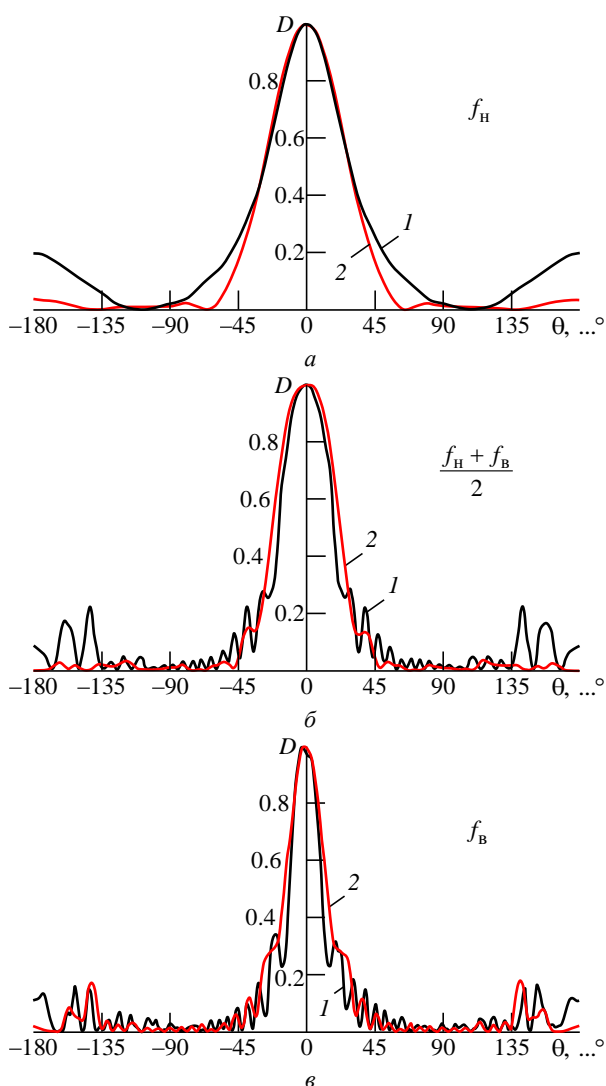


Рис. 6. Диаграммы направленности антенн в азимутальной плоскости на нижней границе частотного диапазона (а), посередине (б) и на верхней границе диапазона (в): 1 – вариант 1; 2 – вариант 2

Fig. 6. The directional patterns of the antennas in the azimuthal plane at the lower boundary of the frequency range (a), in the middle (б) and at the upper boundary of the range (в): 1 – variant 1; 2 – variant 2

Из представленных зависимостей следует, что в требуемом диапазоне частот максимальное значение КСВН первого варианта не превышает 3.25, его КУ изменяется от 6 до 12 дБи.

Все представленные ДН осесимметричны. Уровень боковых лепестков на нижней границе для варианта 1 не превышает 20 %. В середине частотного диапазона уровни боковых лепестков этого варианта не превосходят 25 %, на верхней границе диапазона – не превосходят 35 %.

Анализ приведенных зависимостей показывает, что поставленным требованиям первый вариант удовлетворяет лишь частично. Так, значения

КСВН (см. рис. 4, 1) несколько превышают требуемые. Значения КУ в рабочем диапазоне частот (см. рис. 5, 1) требованиям удовлетворяют. Уровни боковых лепестков ДН на нижней границе (рис. 6, а, 1) и в середине частотного диапазона (рис. 6, б, 1) соответствуют требованиям, однако на верхней границе диапазона (рис. 6, в, 1) несколько превышают заявленное значение.

**Конструкция второго варианта антенны.** В связи с тем что характеристики разработанного варианта антенны не полностью удовлетворяют поставленной задаче, был предложен второй вариант ДЗС (рис. 7) со следующими конструктивными отличиями:

- изменение формы ДЗС. Размер переходной части 2 между основанием конуса 1 и диэлектрическим стержнем 3 по продольной оси структуры увеличен по сравнению с первым вариантом. Это сделало переход между элементами 2 и 3 более плавным;

- поперечные сечения всех элементов ДЗС представляют собой полуокружности, что облегчает размещение структуры на плоской проводящей поверхности и снижает вертикальный габаритный размер.



Рис. 7. Диэлектрическая замедляющая структура второго варианта антенны: 1 – продолговатый конус; 2 – переходная часть; 3 – диэлектрический стержень

Fig. 7. Dielectric slowdown structure of the second embodiment of the antenna: 1 – oblong cone; 2 – transition part; 3 – dielectric rod

С применением описанного варианта ДЗС разработан второй вариант антенны (рис. 8). В дополнение изменениям ДЗС в этом варианте антенны изменена форма проводящих пластин, возбуждающих в ней электромагнитные колебания. Одна из проводящих пластин заменена плоской стенкой отсека 4, в котором размещается антенна. Форма второй пластины 2 изменена с линейно расширяющейся на экспоненциальную, поскольку применение пластин, расширяющихся по экспоненциальному закону, позволяет увеличить полосу согласования [13], [14]. Пластина крепится к основанию с помощью диэлектрических стоек 5.

Согласующий и симметрирующий трансформатор оставлен без изменений. Излучающая структу-

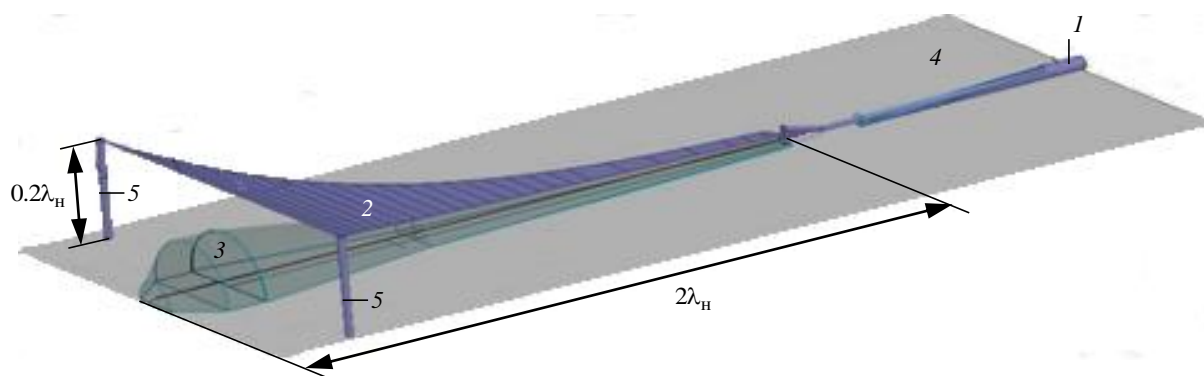


Рис. 8. Общий вид второго варианта антенны: 1 – коаксиальный кососрезанный трансформатор; 2 – металлическая пластина; 3 – диэлектрическая замедляющая структура; 4 – основание – проводящая пластина; 5 – диэлектрические стойки

Fig. 8. General view of the second version of the antenna: 1 – coaxial oblique transformer; 2 – metal plate; 3 – dielectric slowdown structure; 4 – base – conductive plate; 5 – dielectric racks

ра, как и в первом варианте, возбуждается с помощью коаксиального кососрезанного трансформатора 1.

**Параметры второго варианта антенны** представлены зависимостями 2 на рис. 4–6. Частотные зависимости КСВН показывают, что в требуемом диапазоне частот максимальное значение КСВН второго варианта не превышает 2.75 (рис. 4, 2). В требуемом диапазоне частот КУ второго варианта изменяется от 5 до 11 дБи (рис. 5, 2).

Второй вариант антенны также имеет осесимметричные ДН в азимутальной плоскости во всем диапазоне частот. При этом уровни боковых лепестков на нижней границе не превышают 5 % (рис. 6, а, 2), в середине частотного диапазона не превосходят 17 % (рис. 6, б, 2), а на верхней границе диапазона – 20 % (рис. 6, в, 2). Таким образом, второй вариант антенны обладает характеристиками, полностью удовлетворяющими поставленному заданию.

**Выводы.** В результате проведенного электродинамического моделирования получены основные радиотехнические характеристики двух вариантов диэлектрических стержневых антенн.

Достигнутые значения КСВН (см. рис. 4) показывают, что поставленным техническим требованиям по этому параметру удовлетворяет лишь второй вариант антенны.

По значениям КУ в рабочем диапазоне частот (см. рис. 5) заданным значениям удовлетворяют оба варианта. К улучшению согласования привели изменения, внесенные в конструкцию варианта 2, коснувшиеся соотношения размеров частей диэлектрической структуры, вида и размещения проводящих пластин. Необходимо также отметить, что изменение формы сечения диэлектрической замедляющей структуры и связанное с ним

уменьшение вертикального габаритного размера варианта 2 привели к снижению усиления относительно варианта 1. Наряду с этим конструкция варианта 2 существенно лучше приспособлена для размещения на носителе.

По уровню боковых лепестков ДН оба варианта соответствуют требованиям на нижней границе и в середине частотного диапазона, однако на его верхней границе уровень боковых лепестков варианта 1 оказывается выше заявленного значения, в то время как вариант 2 продолжает удовлетворять требованиям технического задания (рис. 6).

В целом сравнение основных радиотехнических характеристик разработанных вариантов диэлектрических стержневых антенн показывает, что совокупности предъявляемых требований соответствует только вариант 2.

**Заключение.** Для размещения в ограниченном полезном объеме сложной формы предложены два варианта сверхширокополосной диэлектрической стержневой антенны. Для обоих вариантов проведено электродинамическое моделирование в среде Ansoft HFSS.

Получены следующие результаты:

- Для варианта 1:
  - КСВН не более 3.25 в диапазоне 9:1;
  - КУ изменяется от 6 до 12 дБи в диапазоне 9:1;
  - диаграммы направленности, приведенные на рис. 6 (кривые 1), осесимметричны с уровнем боковых лепестков 20, 25 и 35 % на нижней границе, посередине и верхней границе частотного диапазона соответственно.
- Для варианта 2:
  - КСВН не более 2.75 в диапазоне 9:1;
  - КУ изменяется от 5 до 11 дБи в диапазоне 9:1;
  - диаграммы направленности, приведенные на рис. 6, осесимметричны с уровнем боковых

лепестков 5, 17 и 20 % на нижней границе, посередине и верхней границе частотного диапазона соответственно.

Сравнение полученных параметров со значениями, которые должна обеспечивать разрабатываемая антенна, позволяет сделать вывод о том, что первый вариант не соответствует предъявляемым требованиям в части максимального значения КСВН (3.25 при 3 допустимых) и максимально-

го уровня боковых лепестков диаграмм направленности (25 и 30 % при 25 % допустимых).

Второй вариант указанным требованиям соответствует, поэтому может быть рекомендован для предполагаемого применения.

Необходимо отметить, что конфигурация конструктивных элементов второго варианта антенны лучше согласуется с конструкцией летательного аппарата в зоне ее размещения. Эта конфигурация ранее в литературе не описана.

### Список литературы

1. Lippincott W. L. Design of a Broadband Zig-Zag Pyramidal Log-Periodic Antenna // 2009 IEEE Anten. and Prop. Society Intern. Symp. Charleston, SC, USA, 1–5 June, 2009. doi: 10.1109/APS.2009.5172290
2. Пат. 2427060, МПК H01Q13/02. Сверхширокополосная рупорная антенна / Г. В. Коробейников, Д. Д. Кохнюк, А. Р. Григорьев; опубл. 20.08.2011. Бюл. № 23.
3. Abumushar A. J., Sertel K. 5:1 Bandwidth Dielectric Rod Antenna using a Novel Feed Structure // IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2017. Vol. 65, iss. 5. P. 2208–2214. doi: 10.1109/TAP.2017.2677379.
4. Kumar V. S., Kurup D. G. Design of Dielectric Rod Antenna for Ground Station Applications // 2017 IEEE Intern. Conf. on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM). Bangalore, India, 24–26 Nov. 2017. doi: 10.1109/IAIM.2017.8402629
5. Qiu Jing-hui, Wang Nan-nan. Optimized Dielectric Rod Antenna for Millimeter Wave FPA Imaging System // 2009 IEEE Intern. Workshop on Imaging Systems and Techniques. Shenzhen, China, 11–12 May 2009. doi: 10.1109/IST.2009.5071621
6. The Dielectric Wedge Antenna / A. G. Yarovoy, A. D. Schukin, I. V. Kaploun, L. P. Ligthart // IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2002. Vol. 50, iss. 10. P. 1460–1472. doi: 10.1109/TAP.2002.803968
7. Chung J. Y. Ultra wideband dielectric loaded horn antenna with dual linear polarization capability // Progress In Electromagnetics Research. 2010. Vol. 102. P. 397–411. doi: 10.2528/PIER10022703
8. Wittemen N. R. Ultra Wideband Dielectric Rod Antenna Advancements through Additive Manufacturing // 2018 IEEE Intern. Symp. on Anten. and Prop. & USNC/URSI National Radio Science Meeting. Boston, Massachusetts, 8–13 July, 2018. doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8608445
9. Lee K.-H., Chen C.-C., Lee R. UWB Dual-Linear Polarization Dielectric Horn Antennas as Reflector Feeds // IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2007. Vol. 55, iss. 3. P. 798–804. doi: 10.1109/TAP.2007.891804
10. Duncan J. W., Minerva V. P. 100:1 Bandwidth Balun transformer // Proc. of the IRE. 1960. Vol. 48, iss. 2. P. 156–164. doi: 10.1109/JRPROC.1960.287459
11. Numerical Modeling of Ultra Wideband Dielectric Horn Antennas Using FDTD / N. V. Venkatarayalu, C.-C. Chen, F. L. Teixeira, R. Lee // IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2004. Vol. 52, iss. 5. P. 1318–1323. doi: 10.1109/TAP.2004.827510
12. Lai A. K. Y., Sinopoli A. L., Burnside W. D. A Novel Antenna for Ultra Wideband Applications // IEEE Trans. on Anten. and Prop. 1992. Vol. 40, iss. 7. P. 755–760. doi: 10.1109/8.155739
13. Turk A. S., Keskin A. K., Senturk M. D. Dielectric Loaded TEM Horn-Fed Ridged Horn Antenna Design for Ultra Wideband Ground-Penetrating Impulse Radar // Turkish J. of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2015. Vol. 23. P. 1479–1488. doi: 10.3906/elk-1303-48
14. Chung K., Pyun S., Choi J. Design of an Ultra wideband TEM Horn Antenna With a Microstrip-Type Balun // IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2005. Vol. 53, iss. 10. P. 3410–3413. doi: 10.1109/TAP.2005.856396

### Информация об авторах

**Павлов Иван Дмитриевич** – магистр по направлению "Радиотехника" (2017). Инженер-конструктор 3-й категории АО "Центральное конструкторское бюро автоматики" (Омск). Автор двух научных публикаций. Сфера научных интересов – электродинамика и антенно-фидерные устройства.

Адрес: АО "Центральное конструкторское бюро автоматики", Космический пр., д. 24а, Омск, 644027, Россия

E-mail: s-glok9@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0204-327X>

**Караев Ярослав Вячеславович** – бакалавр по направлению "Радиотехника" (2018). Инженер-конструктор АО "Центральное конструкторское бюро автоматики" (Омск). Сфера научных интересов – электродинамика и антенно-фидерные устройства.

Адрес: АО "Центральное конструкторское бюро автоматики", Космический пр., д. 24а, Омск, 644027, Россия

E-mail: yaroslav.karaev@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6889-597X>

**Кот Марк Альбертович** – дипломированный инженер по специальности "Системы движения поездов" (2017, Омский государственный университет путей сообщения). Аспирант Омского государственного технического университета по специальности "Радиотехника". Автор одной научной публикации. Сфера научных интересов – электродинамика и антенно-фидерные устройства.

Адрес: Омский государственный технический университет, пр. Мира, д. 11, Омск, 644050, Россия

E-mail: kotmark93@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6918-5117>

## References

1. Lippincott W. L. Design of a Broadband Zig-Zag Pyramidal Log-Periodic Antenna. 2009 IEEE Anten. and Prop. Society Intern. Symp. Charleston, SC, USA, 1–5 June, 2009. doi: 10.1109/APS.2009.5172290
2. Korobeinikov G. V., Kokhnyuk D. D., Grigor'ev A. R. Pat. RF 2427060. Ultra Wide Band Horn Antenna. Publ. 20.08.2011.
3. Abumushar A. J., Sertel K. 5:1 Bandwidth Dielectric Rod Antenna using a Novel Feed Structure. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2017, vol. 65, iss. 5, pp. 2208–2214. doi: 10.1109/TAP.2017.2677379
4. Kumar V. S., Kurup D. G. Design of Dielectric Rod Antenna for Ground Station Applications. 2017 IEEE Intern. Conf. on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (iAIM). Bangalore, India, 24–26 Nov. 2017. doi: 10.1109/IAIM.2017.8402629
5. Qiu Jing-hui, Wang Nan-nan. Optimized Dielectric Rod Antenna for Millimeter Wave FPA Imaging System. 2009 IEEE Intern. Workshop on Imaging Systems and Techniques. Shenzhen, China, 11–12 May 2009. doi: 10.1109/IST.2009.5071621
6. Yarovoy A. G., Schukin A. D., Kaploun I. V., Lighthart L. P. The Dielectric Wedge Antenna. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2002, vol. 50, iss. 10, pp. 1460–1472. doi: 10.1109/TAP.2002.803968
7. Chung J. Y. Ultra Wideband Dielectric Loaded Horn Antenna with Dual Linear Polarization Capability. Progress In Electromagnetics Research. 2010, vol. 102, pp. 397–411. doi: 10.2528/PIER10022703
8. Wittemen N. R. Ultra Wideband Dielectric Rod Antenna Advancements through Additive Manufacturing. 2018 IEEE Intern. Symp. on Anten. and Prop. & USNC/URSI National Radio Science Meeting. Boston, Massachusetts, 8–13 July, 2018. doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8608445
9. Lee K.-H., Chen C.-C., Lee R. UWB Dual-Linear Polarization Dielectric Horn Antennas as Reflector Feeds. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2007, vol. 55, iss. 3, pp. 798–804. doi: 10.1109/TAP.2007.891804
10. Duncan J. W., Minerva V. P. 100:1 Bandwidth Balun transformer. Proc. of the IRE. 1960, vol. 48, iss. 2, pp. 156–164. doi: 10.1109/JRPROC.1960.287459
11. Venkatarayalu N. V., Chen C.-C., Teixeira F. L., Lee R. Numerical Modeling of Ultra Wideband Dielectric Horn Antennas Using FDTD. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2004, vol. 52, iss. 5, pp. 1318–1323. doi: 10.1109/TAP.2004.827510
12. Lai A. K. Y., Sinopoli A. L., Burnside W. D. A Novel Antenna for Ultra Wideband Applications. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 1992, vol. 40, iss. 7, pp. 755–760. doi: 10.1109/8.155739
13. Turk A. S., Keskin A. K., Senturk M. D. Dielectric Loaded TEM Horn-Fed Ridged Horn Antenna Design for Ultra Wideband Ground-Penetrating Impulse Radar. Turkish J. of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2015, vol. 23, pp. 1479–1488. doi: 10.3906/elk-1303-48
14. Chung K., Pyun S., Choi J. Design of an Ultra wideband TEM Horn Antenna With a Microstrip-Type Balun. IEEE Trans. on Anten. and Prop. 2005, vol. 53, iss. 10, pp. 3410–3413. doi: 10.1109/TAP.2005.856396

## Information about the authors

**Ivan D. Pavlov**, Master in Radio Engineering (2017), Design Engineer in JSC "Central Design Bureau Of Automatics" (Omsk). The author of 2 scientific publications. Area expertise: electrodynamic and antenna feeder devices.

Address: JSC "Central Design Bureau Of Automatics", 24a Cosmic Ave., Omsk 644027, Russia

E-mail: s-glok9@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0204-327X>

**Yaroslav V. Karaev**, Bachelor in Radio Engineering (2018). Design Engineer in JSC "Central Design Bureau Of Automatics" (Omsk). Area expertise: electrodynamic and antenna feeder devices.

Address: JSC "Central Design Bureau Of Automatics", 24a Cosmic Ave., Omsk 644027, Russia

E-mail: yaroslav.karaev@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6889-597X>

**Mark A. Kot**, Certified Engineer in "Train Traffic Systems" (2017, Omsk State Transport University). Post-graduate student of Omsk State Technical University. The author of 1 scientific publications. Area expertise: electrodynamic and antenna feeder devices.

Address: Omsk State Technical University, 11 Mira Ave., Omsk 644050, Russia

E-mail: kotmark93@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6918-5117>