

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО АВТОМАТИКИ»

НОМИНАЦИЯ

«Лучший инновационный проект»

Название конкурсной работы: **«Инновационный подход к разработке конструкции и методу изготовления сверхширокополосной спиральной антенны»**

**1. Цель работы**

Разработка сверхширокополосной полусферической спиральной антенны сантиметрового диапазона длин волн с увеличенным коэффициентом усиления (КУ) в нижней части рабочего диапазона частот.

**2. Описание**

Одним из основных элементов аппаратуры, разрабатываемой АО «ЦКБА», являются широкополосные антенные устройства, которые представляют собой антенные решетки, состоящие из отдельных спиральных антенн, размещенных на общем основании.

Повысить чувствительность и точность широкополосных антенных устройств возможно улучшением радиотехнических характеристик самих спиральных антенн (коэффициента усиления, коэффициента стоячей волны по напряжению, коэффициента эллиптичности, диаграмм направленности и др.).

Основной деталью сверхширокополосной спиральной антенны является полусферический профилированный диэлектрический корпус, от диэлектрической проницаемости которого зависит широкополосность и способность обеспечивать радиотехнические характеристики в условиях эксплуатации.

Обычно для антенн, работающих в широкой полосе частот, используют материалы с низкой диэлектрической проницаемостью. Так, в настоящее время на предприятии полусферический диэлектрический корпус изготавливается из пресс-материала с диэлектрической проницаемостью 4,2-4,45. Однако в нижней части рабочего диапазона частот коэффициент усиления спиральных антенн с указанным корпусом недостаточно высокий по сравнению с областью более высоких частот. Поэтому были рассмотрены различные варианты повышения коэффициента усиления (КУ) в нижней части рабочего диапазона частот без увеличения габаритных и весовых характеристик антенны.

Наиболее оптимальным вариантом оказалась модификация корпуса антенны, а именно, изготовление корпуса антенны в виде плоских кольцевых слоев из материалов с различной диэлектрической проницаемостью. Таким образом, предполагалось увеличить КУ за счет плавного увеличения диэлектрической проницаемости материала корпуса по мере приближения от вершины антенны (от плоской спирали) к основанию антенны (к нижнему радиопоглощающему кольцу и к рефлектору полусферической спирали).

Для подтверждения данной гипотезы проведены расчеты антенны в среде электродинамического моделирования в ANSYS HFSS, рассмотрены различные варианты конструкции корпусов. Изменялось число слоев (от 1 до 4), варьировались значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) материалов слоев. Изменялась толщина слоев и их конструкция. Из всех прототипированных вариантов оценивалось оптимальное соотношение параметров.

Расчеты показали, что использование материалов с большой диэлектрической проницаемостью приводит к увеличению КУ в нижнем диапазоне частот антенны. Определена оптимальная конструкция антенны (рис.1)

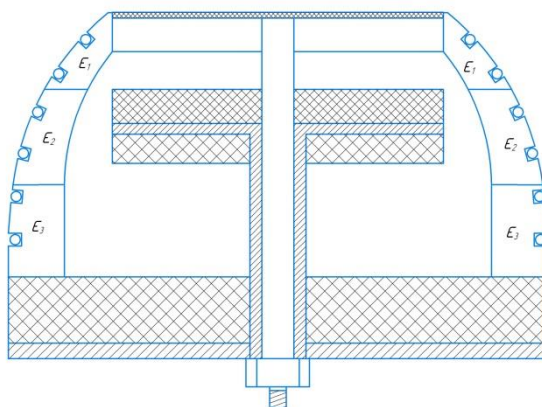


Рис.1 Конструкция антенны с трехслойным диэлектрическим корпусом

Далее производился поиск подходящего диэлектрического материала для изготовления полусферического корпуса.

Основная сложность в поиске материала для изготовления антенного элемента состояла в том, что практически все известные материалы со значением  $\epsilon$  более 7 - это керамические материалы. А они имеют ряд недостатков: хрупкость, трудоемкий многостадийный процесс изготовления, сложность механической обработки, и, конечно, стоимость, которая исчисляется сотнями тысяч руб. за малогабаритную деталь.

Принимая во внимание технические требования, удалось разработать композиционный диэлектрический материал (КДМ) с  $\epsilon$  в диапазоне от 4 до 15. В качестве наполнителя использован титанат бария.

Данный КДМ обладает следующими уникальными характеристиками:

- позволяет изготавливать детали конструкционного назначения в диапазоне  $\epsilon$  от 4 до 15;
  - обеспечивает широкий интервал рабочих температур от  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  +  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  - обладает хорошими механическими свойствами, низкими водопоглощением и усадкой;
  - позволяет получать конструкционно сложные детали методом заливки в форму;
  - детали из данного КДМ легко подвергаются механической обработке.
- Следует отметить, что в состав нового КДМ входят только доступные отечественные материалы - эпоксидная смола, титанат бария.

Традиционной технологией изготовления корпусных элементов является литьевое прессование из пресс-материалов, используемое на нашем предприятии. Так как одним из приоритетных направлений развития технологий АО «ЦКБА» является внедрение энергоэффективных, ресурсосберегающих и инновационных технологий, к которым и относятся аддитивные технологии, предложено для изготовления корпуса применить метод послойной заливки в форму.

Заливочная форма также спроектирована и изготовлена не по традиционной технологии - из металла, а с помощью аддитивных технологий - методом послойного синтеза по FDM-технологии.

Форма представляет собой клиновую конструкцию, состоящую из обоймы, двух полуматриц, знака и комплекта пуансонов, обеспечивающих послойную заливку деталей (рис.2).

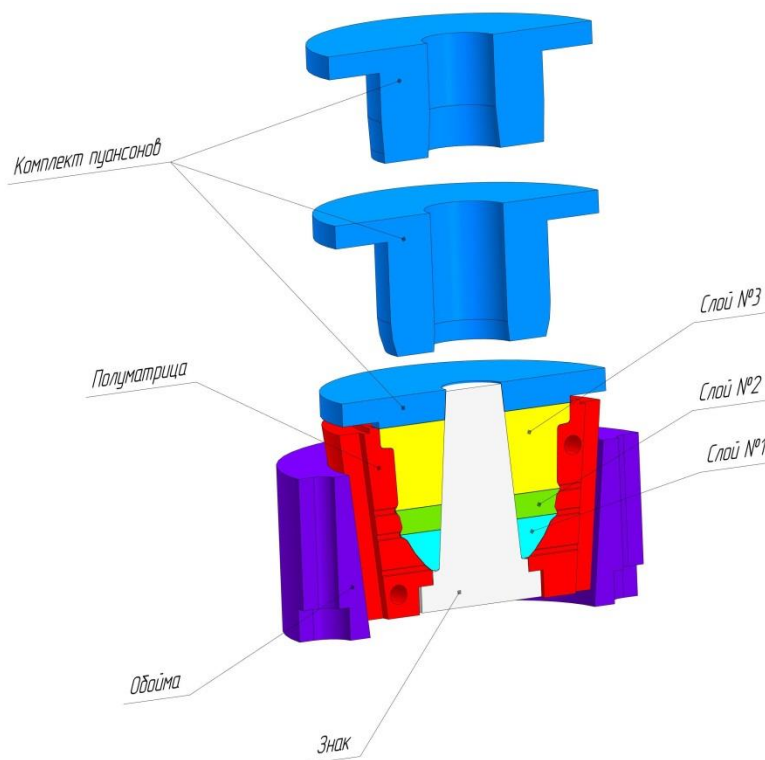


Рис. 2 Форма для заливки антенного элемента

Следует отметить, что технология прототипирования технологической оснастки существенно позволила повысить эффективность конструкторско-технологической подготовки производства и сократить затраты на производство деталей при проведении научно-исследовательской работы.

### 3. Текущий статус – достигнутые результаты

Были изготовлены антенные элементы методом заливки из нового композиционного материала (рис. 3). Толщина слоев корпусов и измеренная на контрольных образцах диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  представлены в таблице 1.

Таблица 1

Толщина и диэлектрическая проницаемость составных корпусов

Корпус		№1	№2	№3
$t_1 = 8,8$ мм	$\epsilon_1$	13	13	15
$t_2 = 7,5$ мм	$\epsilon_2$	6,4	6,4	6,4
$t_3 = 9$ мм	$\epsilon_3$	2,5	2,5	2,5

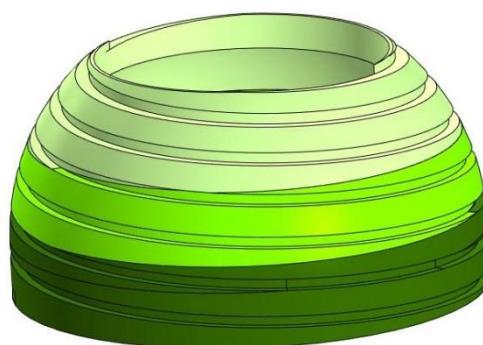


Рис. 3 . 3D- модель антенного элемента

Изготовленные корпуса последовательно устанавливались вместо корпуса из пресс-материала (условно штатного) на антенну и измерялись отличия уровней сигнала (КУ) в минимуме эллипса поляризации антенны от штатной антенны. На рис. 4 видно, что увеличение КУ антенны с составными корпусами по сравнению с КУ штатных антенн наблюдается ниже 0,9 ГГц и достигает 4,65 дБ на частоте 0,8 ГГц.

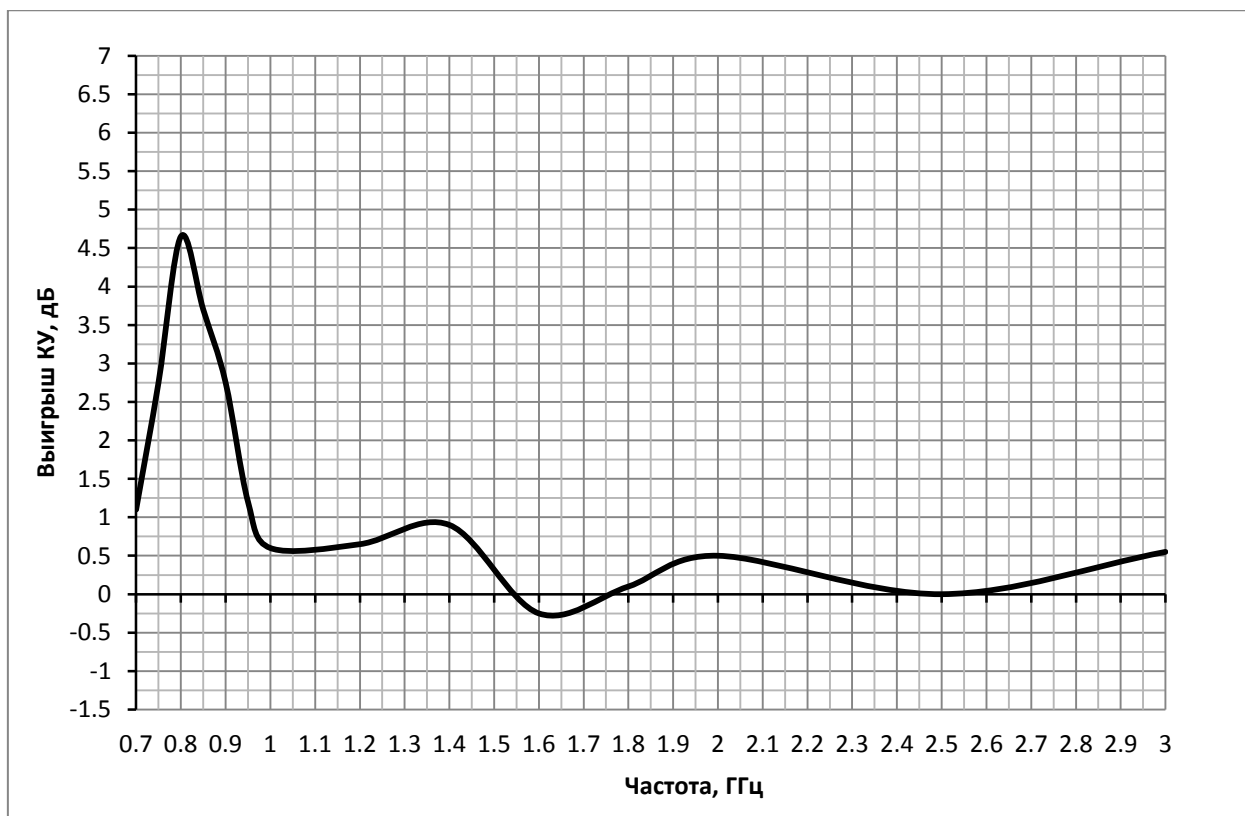


Рис 4. Выигрыш КУ антенны с составным корпусом из КДМ в нижней части рабочего диапазона частот

КСВН экспериментальной и штатной антенн в рабочем диапазоне частот не более 2,5.

Стоит отметить, что данный подход к разработке сверхширокополосной спиральной антенны не только привел к увеличению КУ в области нижних частот, но и расширил вниз рабочий диапазон антенны на 200 МГц. Коэффициент перекрытия рабочего диапазона частот экспериментальных антенн 22,5 при габаритном диаметре  $0,13\lambda_n$ .

#### 4. Заключение

В работе применено несколько инновационных подходов к решению повышения коэффициента усиления сверхширокополосных спиральных антенн — это сам вариант по модификации материала корпуса с изменением диэлектрической проницаемости, использование для этого методов электродинамического моделирования, заливки в форму, разработка нового композиционного материала с наполнителем титанат бария, который в основном применяется для изготовления керамики, а также изготовление заливочной формы по FDM-технологии.

По результатам работы оформлены заявки на служебное изобретение «Малогабаритная сверхширокополосная спиральная антенна» и «Композиционный диэлектрический материал и конструкционный элемент из этого материала».

Полученные результаты позволяют расширить рабочий диапазон частот антенных устройств, выпускаемых АО «ЦКБА», а также увеличить их чувствительность при ограничении массогабаритных характеристик.

## **5. Команда проекта**

Филатова Т.Н., начальник СНМиТ АО «ЦКБА»

Боровик И.А., начальник сектора АО «ЦКБА»

Тищенко Н.М., ведущий инженер-технолог АО «ЦКБА»

Кохнюк Д.Д., ведущий инженер АО «ЦКБА»

Кукушина К.Г., инженер-технолог I кат. АО «ЦКБА»

Селиванова Г.Н., инженер-конструктор I кат. АО «ЦКБА»

Шуин К.А., инженер-конструктор II кат. АО «ЦКБА»