

*Вищукаев А.В., Павлович О.В., Царькова Ю.М.,  
Масленникова А.А.  
АО «НИИП им. В.В. Тихомирова»*

## **Принцип выбора материала для антенны типа «волновой канал», напечатанной с помощью 3D-принтера**

*Представлена методика выбора уникального состава для синтеза токопроводящего материала для 3D-печати антенн, исходя из требуемого коэффициента усиления и температурного режима.*

**Ключевые слова:** 3D-печать, антенна, токопроводящий материал.

В эпоху развития авиационной промышленности и роста потребностей в снижении массогабаритных характеристик антенного модуля, появилась задача создать антенну, напечатанную посредством аддитивных технологий. Преимущества такого решения изложены в работе [1].

Исходя из этого была проделана работа по изготовлению антенных элементов, предназначенных для расположения на борту летательных аппаратов малой авиации. Новизна данного подхода - в использовании 3D-принтера для печати антенных излучателей. Это позволяет не только удешевить процесс производства антенных элементов, но и добавляет возможность наносить излучатели вместе с подводящими дорожками на корпусные элементы ЛА.

На рис. 1 представлен внешний вид печатной квази-Уда-Яги антенны. Она выполнена по типу «волновой канал» и содержит полностью напечатанные на 3D-принтере элементы: директор, симметричный вибратор и согласующий трансформатор – балун. Также имеются смонтированный SMA-разъем и отверстия для закрепления SMA-разъема. Напечатанная антенна имеет следующие габариты - 84x60x4,175 мм и рассчитана на работу в L-диапазоне. Отсутствие рефлектора успешно компенсируется наличием усеченной плоскости на обратной стороне антенны [2], отсюда и приставка "квази". Проводящие элементы, в том числе усеченная плоскость напечатаны пластиком темного цвета, диэлектрическая подложка – светлого.

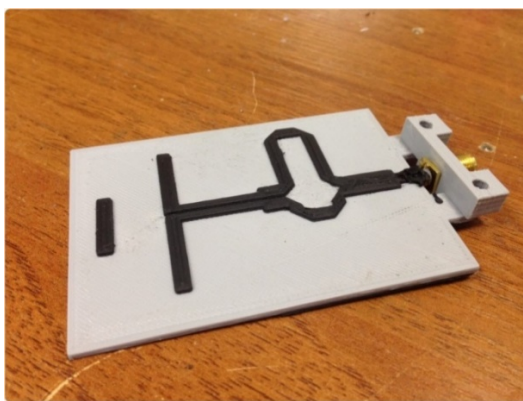


Рис. 1. Снимок антенны, изготовленной с помощью 3D-печати

В процессе изготовления 3D-печатных излучателей авторы столкнулись с проблемой отсутствия подходящих токопроводящих материалов на отечественном рынке. Диэлектрическая подложка была напечатана непроводящим PLA-пластиком. Отсюда появилась задача синтеза порошков, пригодных для 3D-печати излучающих элементов. Возможная методология выбора таких материалов и изложена в настоящей работе.

Широко известно, что излучающие свойства антенны определяются через ее коэффициент усиления [3]. Отсюда при выборе материала следует опираться на зависимость между его электропроводностью и требуемым усилением. Основываясь на данном утверждении, было выполнено моделирование антенного излучателя квази-Уда-Яги (рис.2) при помощи специализированного программного обеспечения CST Microwave Studio [4].

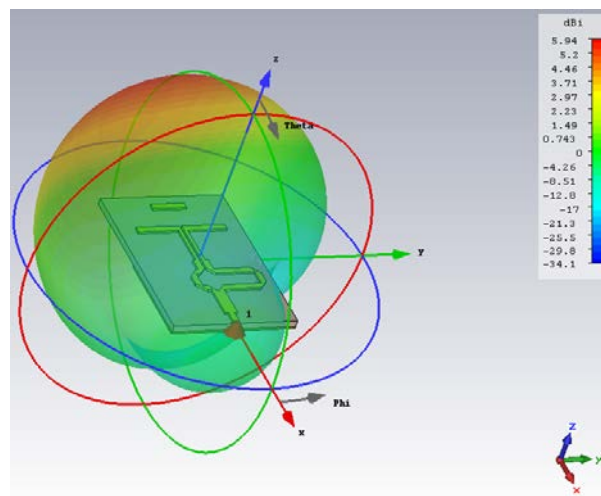


Рис. 2. Моделирование излучателя в CST Microwave Studio

Путем применения различных проводящих материалов в качестве токопроводящих элементов, была составлена зависимость между электропроводностью материала и коэффициентом усиления излучателя (рис. 3). Здесь и далее кружочками показаны характерные значения материалов, приведенных в табл. 1.

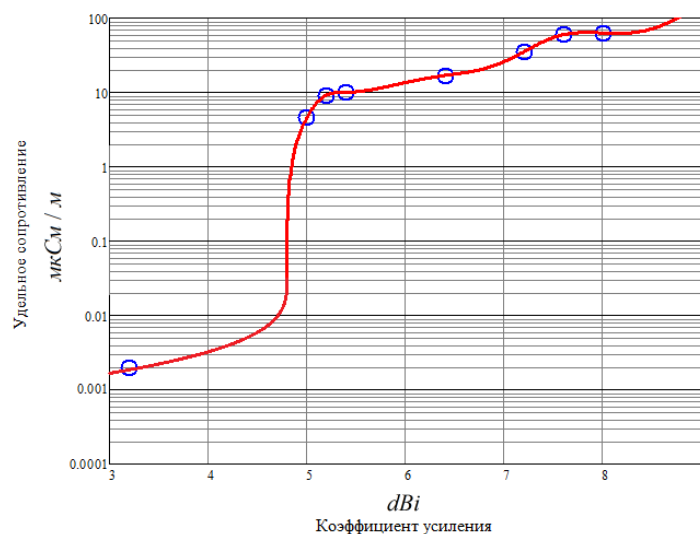


Рис. 3. Зависимость электропроводности материалов от коэффициента усиления 3D-печатной антенны

Из рис. 3 следует, что чем больше электропроводность материала, тем выше значение коэффициента усиления.

Известно, что при нагревании металлов увеличивается скорость движения атомов, следовательно, растет удельное сопротивление материала. Удельное сопротивление углерода с ростом температуры, наоборот, уменьшается, т.к. у этого элемента, кроме увеличения скорости движения атомов и молекул, возрастает число свободных электронов и ионов в единице объема [5]. Таким образом следует учитывать и температурный режим (рис. 4).

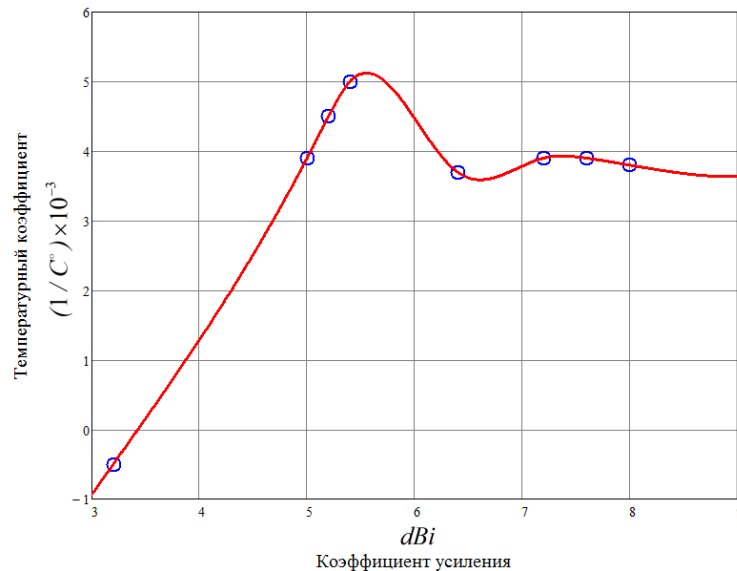


Рис. 4. Зависимость температурного коэффициента от коэффициента усиления 3D-печатной антенны.

Далее приводится практическое применение сформированного принципа, исходя из сделанных ранее утверждений. Предположим, возникает задача изготовить на 3D-принтере излучатель с требуемым коэффициентом усиления. Например, такая необходимость может возникнуть при проектировании малогабаритной РЛС, предназначенной для размещения на борту беспилотного летательного аппарата. Дальность действия такой станции определяем из упрощенного основного уравнения радиолокации [6] без учета шумов приемного устройства и типа сигнала:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{прд}} G_A^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 P_{\text{мин}}}}$$

где  $P_{\text{прд}} = 5$  Вт - мощность передатчика,

$G_A$  - коэффициент усиления антенны,

$\lambda = 0,2$  м - длина волны,

$\sigma_{\text{ц}} = 1 \text{ м}^2$  - эффективная площадь рассеяния,

$P_{\text{мин}} = 10^{-15}$  Вт - чувствительность приемника.

На рис. 5 приведена зависимость дальности действия РЛС в зависимости от коэффициента усиления антенны.

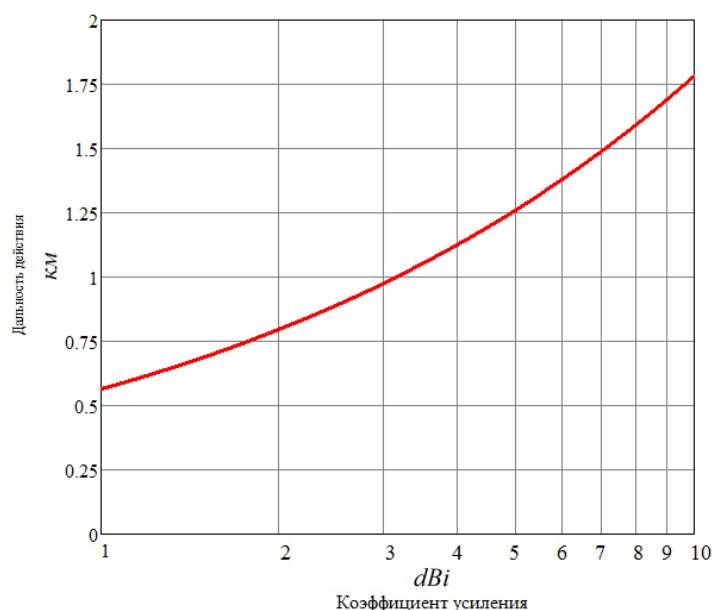


Рис. 5. Зависимость дальности действия РЛС от коэффициента усиления 3D-печатной антенны

В нашем случае для удовлетворения условиям работы на расстоянии 1 км достаточно коэффициента усиления 3D-печатной антенны квази-Уда-Яги порядка 3 dBi. Из рис. 2 была определена нужная электропроводность материала, которая составила  $2 \cdot 10^3$  См/м, что соответствует углероду (табл. 1). Температурный коэффициент углерода –  $0,5 \text{ } 1/^{\circ}\text{C} \cdot 10^{-3}$ , что позволяет применить данный материал в качестве основного проводящего материала в конструкции антенны.

Таблица 1. Электропроводность материалов, применяемых для 3D-печати

Материал	Удельная электропроводность (См/м) при 20°С	Температурный коэффициент $(1/^{\circ}\text{C}) \cdot 10^{-3}$
Серебро	$6.30 \cdot 10^7$	3.8
Медь	$5.96 \cdot 10^7$	3.9
Алюминий	$3.5 \cdot 10^7$	3.9
Цинк	$1.69 \cdot 10^7$	3.7
Железо	$1.00 \cdot 10^7$	5
Олово	$9.17 \cdot 10^6$	4.5
Свинец	$4.55 \cdot 10^6$	3.9
Углерод	$2 \cdot 10^3$	-0.5

При изготовлении 3D-печатной антенны квази-Уда-Яги в качестве проводящего пластика использовалась токопроводящая графеновая нить, в состав которой входит углерод. Поэтому полученные численные значения близки к реальным.

Дальнейшие действия связаны непосредственно с этапами получения токопроводящей нити с уникальным составом для 3D-принтера. В перспективе с помощью данного метода можно смешивать порошки различных материалов для получения нужных характеристик 3D-печатных антенн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (Договор №10927 ГУ2/2016) от 10 февраля 2017г.

#### Библиографический список

1. Павлович О.В., Вищукаев А.В, Царькова Ю.М., Зайченко И.И. Обзор преимуществ аддитивных технологий применительно к авиатехнике // Сборник статей по материалам XXXIX международной заочной научно-практической конференции «Научная дискуссия: инновации в современном мире», М.: Интернаука, 2015г.
2. Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda and T. Itoh, A Novel Yagi-Uda Dipole Array Fed by A Microstrip-To-CPS Transition, 1997 Asia Pacific Microwave Conf. Dig. Dec.1997.
3. Ю.Т. Зырянов, П.А. Федюнин, О.А. Белоусов, А.В. Рябов, Е.В. Головченко, Антенны: учеб. пособие, Санкт-Петербург : Лань, 2016.
4. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio, М.: МЭИ, 2011.
5. В. С. Чиркин. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. Издательство: "Атомиздат", 1968.
6. А.И. Баскаков, Т.С. Жутяева, Ю. И. Лукашенко. Локационные методы исследования объектов и сред.: учеб- ник для студ. учреждений высш. проф. образования /— М. : Издательский центр «Академия», 2011.