



УДК 621.396.674.35

**Н.А. Дугин**, д.ф.-м.н., зав. отделом «НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского»  
профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Г.Р. Беляев**, аспирант, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН ИЗ УГЛЕКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Ключевые слова: дипольные антенны, графеносодержащие структуры, углекомпозиционные материалы*

*В данной статье представлены результаты исследований по созданию дипольных антенн с рефлекторами из углекомпозиционных материалов, сравнение характеристик таких антенн с характеристиками их металлических аналогов и характеристиками, полученными в результате моделирования таких антенн, дана оценка полученных результатов.*

### Введение

В ходе данной работы были изготовлены дипольные антенны на диапазоны 530МГц и 1040МГц с рефлекторами различных конструкций из углекомпозиционного материала, измерены их характеристики в лабораторных и «полевых» условиях (коэффициент стоячей волны, коэффициент усиления, диаграмма направленности). Проведено сравнение полученных данных с характеристиками дипольных антенн, изготовленных из алюминиевого сплава традиционным способом и с результатами компьютерного моделирования таких антенн. После обработки полученной информации были сделаны выводы о влиянии технологии изготовления углекомпозиционных дипольных антенн на их характеристики, корреляции их параметров с параметрами металлических аналогов и результатами моделирования.

Новизна предлагаемых решений заключается в использовании нового поколения материалов на основе углерода для создания широкого класса антенно-фидерных устройств и систем [1]. Сегодня в антенной технике углекомпозиционные материалы широко используются как непроводящие материалы в несущих высоконагруженных конструкциях.

В данной работе ставится задача использовать композитные материалы, обладающие проводимостью. В качестве первых образцов были взяты выпускаемые промышленностью углекомпозиционные нить и ткань, которые по паспорту имеют некоторое омическое сопротивление. Необходимо было изготовить радиочастотные элементы дипольных антенн с рефлекторами из углекомпозиционного материала различными способами и провести сравнение их электродинамических характеристик с промоделированными и металлическими аналогами.

## **Обоснование актуальности предлагаемых решений**

Изделия из углеродных материалов нового поколения обладают большим сроком службы (до 30 лет), имеют высокое соотношение прочности к весу, обладают стабильностью в широком диапазоне температур (от -50 до +200 °С) и имеют широкий диапазон значений проводимости. Их проводимость уже можно сравнить с проводимостью металлов, из которых в настоящее время изготавливаются антенны и антенные системы. Введение графеноподобных структур в эпоксисвязующее вещество приводит к улучшению как конструктивных свойств углекомпозиата, так и открывает перспективу создания новых материалов с заданными электромагнитными свойствами.

При создании антенных систем ставится задача предельного уменьшения веса всей конструкции и обеспечение независимости параметров системы от внешних условий. Особенно эта задача актуальна для устройств, эксплуатирующихся в условиях атмосферного воздействия или агрессивных сред, поэтому присутствует необходимость создания легких радиочастотных проводящих элементов антенных конструкций [2].

### **Постановка задачи**

Для исследования влияния технологии изготовления диполей и рефлекторов на их электромагнитные характеристики было необходимо изготовить из углекомпозиата действующие макеты усюв дипольных антенн и рефлекторов, повторяющих геометрические размеры серийно изготовленных образцов из алюминиевого сплава, но с применением углекомпозиатных материалов и по различным технологиям, провести теоретические исследования дипольных антенн с рефлекторами аналогичной конструкции и размеров путем моделирования их диаграмм направленности. После изготовления ставилась задача провести измерения, сравнить характеристики углекомпозиатных антенн с их металлическими аналогами и результатами моделирования, сделать выводы о возможности применения предлагаемых решений.

В качестве образцов дипольных антенн были выбраны дипольные антенны диапазонов 530 и 1040 МГц с рефлекторами, изготовленные из алюминиевого сплава с перфорацией для уменьшения веса.

### **Процесс изготовления**

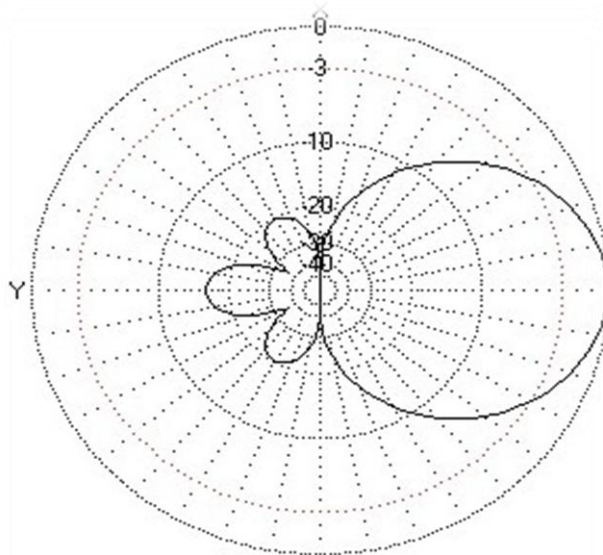
Для изготовления диполей применялась углеродная нить марки ZP35 (50K). Укладка нити осуществлялась на непроводящее основание цилиндрической формы двумя способами: применялась круговая намотка и продольная укладка. Электрический контакт с несущей конструкцией антенны осуществлялся посредством интеграции алюминиевой вставки с резьбой в углекомпозиатный диполь. Контррефлекторы были изготовлены путем наложения углеродной ткани на пластиковые основания – заготовки, повторяющие геометрические размеры рефлекторов алюминиевых антенн. Для фиксации углеродной ткани на заготовках рефлекторов, а так же нити на диполях, применялась эпоксидная смола марки ЭДП с добавлением графенового порошка. После отвердевания эпоксидной смолы была произведена сборка полученных антенн. С помощью мультиметра было проверено и подтверждено наличие электрического контакта подводящего тракта и углекомпозиатных элементов антенн.

### **Результаты измерений и моделирования**

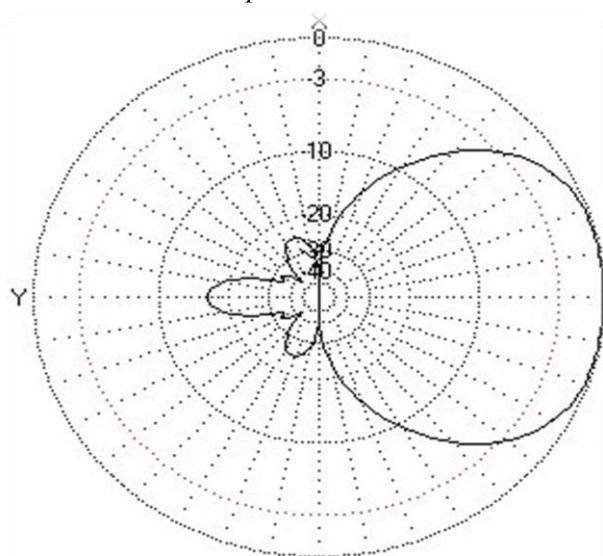
Ниже на рисунках 1 и 2 представлены диаграммы направленности антенн диапазонов 530МГц и 1040МГц, полученные в результате моделирования.

---

*Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов*



*Рис.1 Диаграмма направленности антенны диапазона 530МГц, полученная в результате моделирования*



*Рис.2 Диаграмма направленности антенны диапазона 1040МГц, полученная в результате моделирования*

Далее представлена сравнительная таблица для ширины диаграммы направленности дипольных антенн, изготовленных по различным технологиям на разные частотные диапазоны и данные, полученные в результате моделирования.

**Диаграммы направленности**

Тип антенны / Оцениваемый параметр	Металлическая антенна	Антенна углекомпозитным контррефлектором и углекомпозитными диполями с продольной укладкой нити	Антенна углекомпозитным контррефлектором и углекомпозитными диполями с круговой намоткой нити	Промоделированная антенна
Ширина диаграммы направленности антенн диапазона 530МГц, град.	78	84	86	64
Ширина диаграммы направленности антенн диапазона 1040МГц, град.	80	88	90	84

Результаты измерения относительного коэффициента усиления представлены ниже в таблице 2.

Таблица 2

**Относительный коэффициент усиления**

Тип антенны / Оцениваемый параметр	Металлическая антенна	Антенна углекомпозитным контррефлектором и углекомпозитными диполями с продольной укладкой нити	Антенна углекомпозитным контррефлектором и углекомпозитными диполями с круговой намоткой нити
Относительный коэффициент усиления антенн диапазона 530МГц	1	0,81	0,89
Относительный коэффициент усиления антенн диапазона 1040МГц	1	0,98	0,93

Результаты измерения коэффициента стоячей волны представлены в таблице 3.

Таблица 3. Коэффициент стоячей волны

<div style="text-align: center;">Тип антенны</div> <div style="text-align: center;">Оцениваемый параметр</div>	Металлическая антенна	Антенна углекомпозитным контррефлектором и углекомпозитными диполями с продольной укладкой нити	Антенна углекомпозитным контррефлектором и углекомпозитными диполями с круговой намоткой нити
Коэффициент стоячей волны антенн диапазона 530МГц (наименьший в диапазоне)	1,15	1,36	1,18
Коэффициент стоячей волны антенн диапазона 1040МГц (наименьший в диапазоне)	1,23	1,16	1,2

После проведения измерений и оценки полученных данных можно сделать вывод о работоспособности предлагаемых технических решений. Некоторые расхождения характеристик вызваны наличием некоторого омического сопротивления углекомпозитного материала, а также неровностью поверхности углекомпозитных радиочастотных элементов антенных систем из-за отсутствия высокотехнологичного оборудования при их изготовлении. Расхождение промоделированных и измеренных значений диаграмм направленности обусловлено лабораторными условиями измерений и негативным влиянием переотражений. Применение технологии вакуумного формования позволит создавать радиочастотные элементы из углекомпозитного материала с гладкой поверхностью и улучшенными радиочастотными характеристиками.

#### Список литературы:

- [1]. Tatyana Zaboronkova, Nikolai Dugin, Evgenii Myasnikov. "Microwave Horn Antenna Made of a Graphene-Containing Carbon Composite Material", International conference EuCAP'2015, Lisbon, Portugal, 12-17 April 2015. Proc.of EuCAP'2015.
- [2]. Пат. 2577918 Рос. Федерация. Антенно-фидерное СВЧ-устройство из углекомпозитного материала и способ его изготовления / Н.А. Дугин, Т.М. Заборонкова, Е.Н. Мясников, В.В. Чугурин; НИРФИ (RU); Заявл. 09.09.2014; Опубл. 20.03.2016

### THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF CARBON-COMPOSITE DIPOLE ANTENNAS CHARACTERISTICS

**N.A. Dugin**, Radiophysical Research Institute  
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod  
**G.R. Belyaev**, Volga State University of Water Transport

*Keywords: dipole antenna, graphene-containing structure, carbon-composite material.*

*This article shows results of investigations on the dipole antennas made of carbon composite materials with reflectors creation, the comparison of their radio parameters with metal analog antennas and simulated antennas parameters, and the obtained results evaluation is given.*

*Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов*