



УДК 621.396.674.35

Дугин Николай Александрович, профессор кафедры Физики

Беляев Григорий Романович, аспирант кафедры Информатики, систем управления и телекоммуникаций

Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПРОВОДИМОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВОДНЫХ АНТЕНН

*Аннотация. При разработке современной радиоэлектронной аппаратуры набирают популярность материалы на основе углерода - углекомполиты. В данной работе рассмотрены аспекты применения углекомполитных материалов для создания сверхлегких волноводных антенных устройств и положено начало изучению влияния неизотропности проводимости волноводных стенок на поляризационные характеристики устройства.*

*Ключевые слова: углекомполит, графен, волновод, антенная система, рупорная антенна.*

Для исследования влияния неизотропности проводимости стенок волновода на электромагнитные свойства антенных устройств из углекомполитных материалов были изготовлены действующие модельные образцы рупорных антенн С-диапазона (рабочая частота 5 ГГц). За основу была выбрана металлическая антенна-облучатель большого рефлектора. По её внутренним размерам была изготовлена заготовка-матрица, на которую впоследствии производилась укладка углекомполитного материала марки Рх35 фирмы Zoltek [1] различными способами. Для фиксации углекомполитного материала и придания механической прочности конструкции применялась эпоксидная смола, модифицированная графеноподобными структурами для придания проводящих свойств. Углекомполитная нить и ткань с перпендикулярным переплетением волокон наносились на заготовку методом круговой намотки с последующей пропиткой эпоксисвязующим с графеновыми добавками [2],[3]. Изначально предполагалась наилучшая проводимость вдоль нити. Дополнительно на каждую антенну были установлены поляризационные устройства для создания эллиптической поляризации излучения в рабочем частотном диапазоне. Таким образом были изготовлены два экспериментальных образца рупорных антенных устройств С-диапазона, внешний вид которых представлен ниже (Рис. 1).

Далее было проведено исследование поляризационных характеристик металлической и углекомполитных антенн для изучения влияния неизотропности проводимости стенок на радиочастотные параметры. Для этого использовалась стандартная высокочастотная рупорная антенна П6-23А в качестве излучателя, запитанная от генератора высокочастотных колебаний R&S SMB 100А. Исследуемые рупорные

антенны устанавливались на штативах с приспособлениями для вращения антенн относительно своей оси. Величина принятого сигнала фиксировалась с помощью измерителя мощности Я2М-66 с термоэлектрической головкой. По полученным, аппроксимированным функцией Гаусса, поляризационным диаграммам были построены графики зависимости коэффициента эллиптичности ( $k$ ) от частоты для первой и второй поляризаций (Рис.2 и Рис.3). Сплошной линией отображены характеристики металлической антенны, штриховой линией – характеристика углекомпонитной антенны из углекомпонитной ткани, а штрихпунктирной линией - характеристика антенны из углекомпонитной нити.



Рис.1 Внешний вид углекомпонитных рупорных антенн

Из представленных диаграмм видно, что с изменением рабочей частоты у металлической антенны происходит явное изменение коэффициента эллиптичности на первой и на второй поляризациях. Антенна из углекомпонитной ткани также демонстрирует влияние частоты на поляризационную характеристику, но с некоторым сдвигом максимумов по частоте. Для антенны из углекомпонитной нити отмечено, что при изменении частоты её коэффициент эллиптичности практически не изменяется.

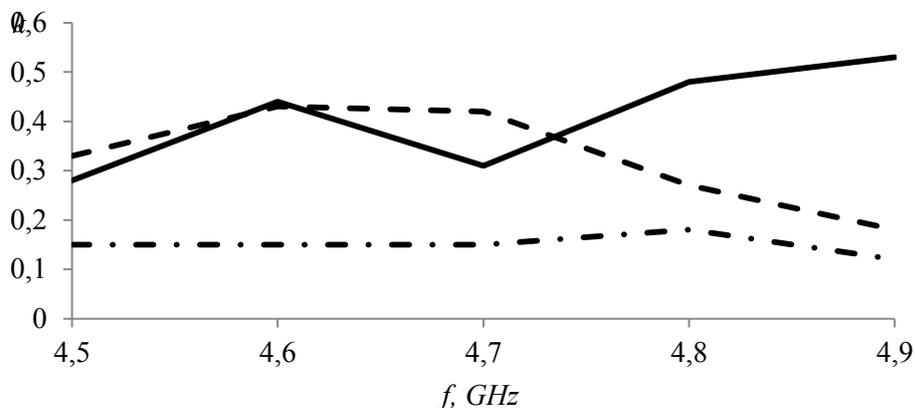


Рис.2 Коэффициент эллиптичности от частоты, поляризация 1

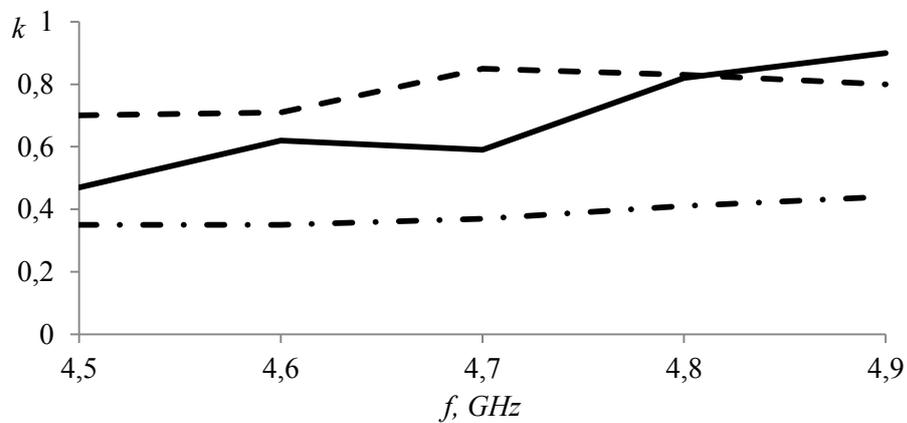


Рис.3 Коэффициент эллиптичности от частоты, поляризация 2

Предположительно, это вызвано анизотропными свойствами волноводной стенок волноводной части антенны, изготовленной из нити. Из-за недостаточного контактного сопротивления между отдельными волокнами углекомпозитной нити в составе волноводной части антенны формируется поляризационный эффект.

Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования РФ, полученным в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62020X0003. Номер соглашения 075-15-2020-529.

#### Список литературы:

1. Характеристики углекомпозитного материала Pх 35 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://zoltek.com/products/px35/> (дата обращения: 20.01.2020).
2. Антенно-фидерное СВЧ устройство из углекомпозитного материала и способ его изготовления: пат. 2577918 Российская Федерация, МПК RU 2 577 918 C1 / Дугин Н. А., Заборонкова Т. М., Мясников Е. Н., Чугурин В. В.; патентообладатель НИРФИ ННГУ — № 2014136727/28, заявл. 09.09.2014, бюлл. № 8.
3. Дугин Н. А., Заборонкова Т. М., Мясников Е. Н., Беляев Г. Р. Электродинамические характеристики рупорных СВЧ антенн из графеносодержащих углекомпозитных материалов // ЖТФ. — 2018. — Т. 88, Вып. 2. — С. 276–282.

## THE ANISOTROPIC CONDUCTIVITY INFLUENCE ON THE WAVE ANTENNA PARAMETERS RESEARCH

Dugin N.A. Belyaev G.R.

*Annotation. Carbon composite materials are gaining popularity in the modern electronic equipment development. Aspects of carbon composite materials application in ultralight waveguide antenna devices creation and the influence of the conductivity anisotropy of the waveguide walls on the device polarization characteristics investigation were considered in this paper.*

*Keywords: carbon composite, graphene, waveguide, antenna system, horn antenna.*