

11;13

Антенно-волноводные СВЧ-устройства из углекомпозиционных материалов

© Н.А. Дугин¹, Т.М. Заборонкова^{1,2}, Е.Н. Мясников³

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ФГБНУ НИРФИ), Нижний Новгород

² Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород

³ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород

E-mail: ndugin@yandex.ru

Поступило в Редакцию 1 февраля 2016 г.

Показана принципиальная возможность создания СВЧ-антенн из углекомпозиционного материала. В лабораторных условиях изготовлен модельный образец рупорной антенны на диапазон 5 GHz из углекомпозиционного материала с графеносодержащим связующим веществом. Исследованы электродинамические характеристики антенны, проведено их сравнение с характеристиками металлической антенны с аналогичными геометрическими параметрами. Получено, что углекомпозиционная антенна практически идентична металлическому аналогу, превосходя его по механическим параметрам.

Углекомпозиционные материалы широко используются в аэрокосмической, кораблестроительной, автомобильной и других областях техники и признаны в мире как высокоэффективные в технологическом и экономическом плане. В радиотехнической области углекомпозиции применяются в настоящее время для изготовления отдельных узлов фидерных линий [1,2], в качестве радиопоглощающих покрытий поверхности рупорных антенн [3], а также как составные части высоконагруженных конструкций [4].

Проведенные авторами данной работы исследования свойств углекомпозиционных материалов (УКМ) показали принципиальную возможность создания нового поколения антенно-фидерных систем. Основными преимуществами применения углеродного волокна в антенной технике являются: высокая предельная прочность на разрыв, малый удельный вес, практическое отсутствие коэффициента температурного расши-

рения, большой диапазон значений проводимости, долговечность [4]. Ранее авторами работы был создан модельный образец волноводной части СВЧ рупорной антенны из графеносодержащего углекомпонитного материала на частотный диапазон 1.6 GHz [5,6], на котором была показана эффективность применения УКМ для изготовления СВЧ-волноводов. В настоящей статье рассматривается способ изготовления рупорной СВЧ-антенны диапазона 5 GHz, исследуются основные электродинамические характеристики антенны, такие как коэффициент стоячей волны (КСВН), диаграмма направленности, коэффициент усиления, а также проводится их сравнение с соответствующими характеристиками металлической антенны, обладающей аналогичными геометрическими параметрами.

Проводимость углекомпонитных материалов, содержащих графеноподобные структуры, в сантиметровом диапазоне длин волн может достигать величин порядка 10^5 S/m [7]. Для сравнения, проводимость металлов лежит в пределах 10^3 – 10^6 S/m. Были исследованы анизотропные свойства графеносодержащего углекомпонитного материала (в виде тонкой пластины) на частоте 10 GHz в зависимости от концентрации графеноподобных структур. Получено, что в зависимости от концентрации графеновых структур в пластине амплитуда отраженного (или прошедшего) сигнала при повороте пластины на 90° изменялась на 20–30% [8].

В качестве металлического аналога была выбрана рупорная антенна на основе круглого волновода. При изготовлении макета антенны диапазона 5 GHz использовались углекомпонитные нити марки Zoltek Panex 35 (50K) и связующее вещество (эпоксисмола) с графеновыми добавками. Кратко опишем способ создания СВЧ рупорной антенны. Вначале изготавливается „внутренняя“ заготовка-матрица антенны, имеющая внешние размеры, точно соответствующие расчетным параметрам устройства. Затем на эту заготовку методом намотки (продольной или поперечной) наносится необходимое число слоев углекомпонитной нити [5,6]. На подготовленное таким образом изделие надевается „внешняя“ часть заготовки-матрицы, имеющая внутренние размеры, определяемые необходимой толщиной стенок устройства. Уменьшение шероховатости поверхности антенны и обеспечение необходимой прочности устройства достигается в результате нагрева изделия методом вакуумного формования. Далее отделяются „внешняя“ и „внутренняя“ матрицы и получается требуемое СВЧ-устройство. Поскольку нить

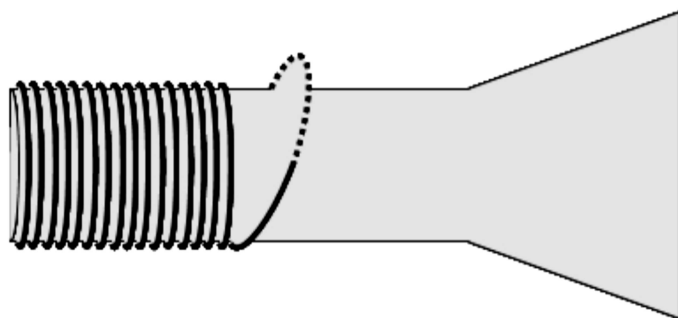


Рис. 1. Радиальная намотка углекомпозитного волокна на „внутреннюю“ заготовку-матрицу макета антенны.

из УКМ имеет более высокую проводимость вдоль волокон, то для эффективного излучения поперечной волны H_{11} , распространяющейся в волноводе кругового сечения (или H_{10} в прямоугольном волноводе) [9], при изготовлении волноводной части рупорной антенны использовался метод радиальной намотки нити из УКМ (рис. 1). В центре на рис. 2 представлена металлическая антенна-аналог, рядом макеты антенн из УКМ, слева — УКМ-антенна с возбуждающим устройством из двух ортогональных диполей, которое использовалось при всех измерениях.

Исследования работоспособности антенны проводились в лабораторных условиях без использования безэховой камеры. Измерялись следующие параметры рупорных антенн: КСВН, коэффициент усиления (в данном случае — амплитудно-частотные характеристики (АЧХ)), диаграмма направленности. Сравнение соответствующих характеристик металлической антенны-аналога и УКМ-антенны проводилось для частотного диапазона с центральной частотой 5 GHz.

Измерения показали, что зависимость КСВН от частоты для УКМ-антенны более сглажена по сравнению с металлической, у металлической антенны-аналога четко прослеживается резонансный характер, при этом величины КСВН в минимумах и максимумах для двух антенн примерно одинаковы (1.2 и 1.5).

Наиболее важным параметром исследуемых антенн считается коэффициент усиления (КУ), фактически характеризующий КПД, т.е. омические потери и потери на излучение. Абсолютные значения КУ не

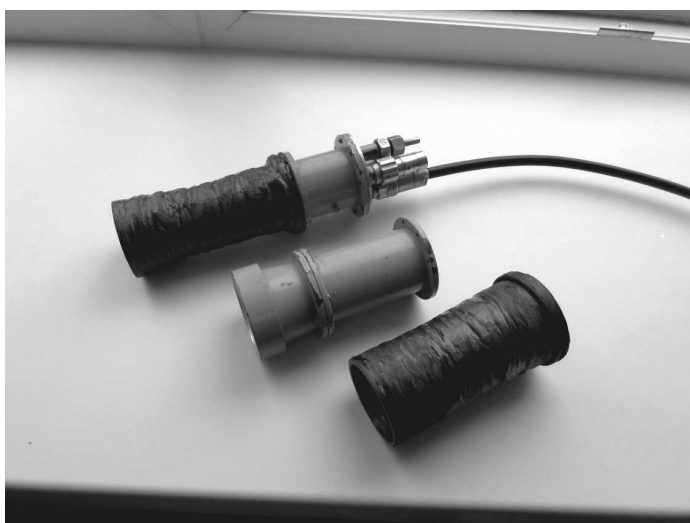


Рис. 2. Металлическая рупорная антенна-аналог (в центре), УКМ-антенна с возбуждающим устройством (слева).

измерялись, вместо этого проводилось сравнение выходных сигналов от всех антенн в определенной частотной области (АЧХ), что достаточно для оценки эффективности работы антенн. На рис. 3, *a* показаны АЧХ, измеренные для вертикальной поляризации падающей плоской электромагнитной волны. Качественно графики УКМ-антенны и металлической антенны хорошо совпадают, „изрезанность“ кривых, представленных на рис. 3, *a*, определяется как особенностями системы возбуждения волноводов, так и параметрами излучающей антенны. Видно, что в нижней части диапазона КУ композитной антенны несколько выше, в высокочастотной области — наоборот. Рабочую зону можно ограничить диапазоном 4.6–5 GHz.

На рис. 3, *b* показаны диаграммы направленности (главные максимумы) антенн на частоте 5 GHz для вертикальной поляризации электрического поля. Данные измерений диаграмм направленности аппроксимировались функцией Гаусса. Отметим, что в пределах ошибок измерений диаграммы направленности антенн (металлической и из УКМ), измеренные на частотах 4.75 и 5 GHz, совпадают.

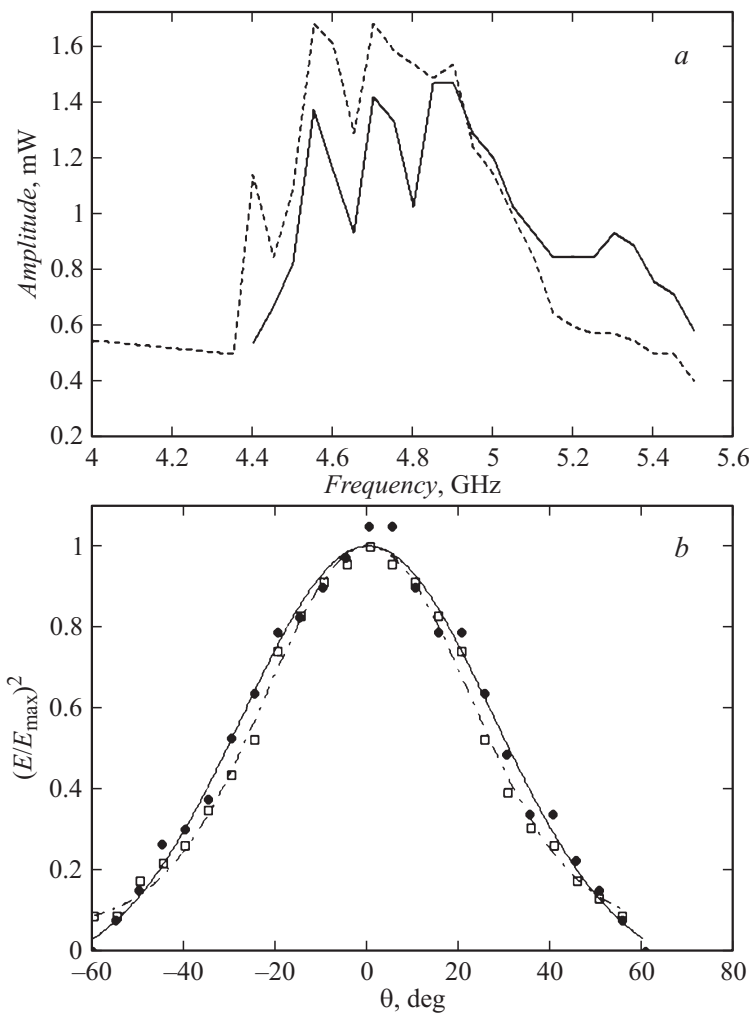


Рис. 3. *a* — амплитудно-частотная характеристика УКМ-антенны (пунктирная линия) и антенны-аналога (сплошная линия). *b* — диаграмма направленности УКМ-антенны (квадраты) и антенны-аналога (кружки). Диаграммы направленности, аппроксимированные функцией Гаусса: УКМ-антенны (штрихпунктирная линия), антенны-аналога (сплошная линия).

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что параметры УКМ-антенны близки к характеристикам металлической антенны-аналога. Повышение эффективности сверхвысокочастотных антенн из УКМ будет достигаться более совершенной технологией изготовления проводящей поверхности устройства.

Авторы выражают благодарность В.В. Чугурину — одному из инициаторов работ по данной тематике. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-12-00510).

Список литературы

- [1] Вендик И.Б., Вендик О.Г. // ЖТФ. 2013. Т. 83. В. 1. С. 3–28.
- [2] Zhigang Xiao, Huiliang Xu // J. Infrared Millimeter Terahertz Waves. 2009. V. 30. N 2. P. 225–232.
- [3] Бычков И.В., Зотов И.С., Федий А.А. // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 14. С. 90–94.
- [4] Рыбин В.В., Кузнецов П.А., Улин И.В., Фармаковский Б.В., Бахарева В.Е. // Вопросы материаловедения. 2006. № 1 (45). С. 169–178.
- [5] Дугин Н.А., Заборонкова Т.М., Мясников Е.Н., Чугурин В.В. Антенно-фи-дерное СВЧ-устройство из углекомпозитного материала и способ его изготовления / Патент на изобретение № 2577918 (RU 2 577 918 C1) от 20.03.2016 (заявка № 2014136727/28, 09.09.2014), опубл. 20.03.2016.
- [6] Zaboronkova T.M., Dugin N.A., Myasnikov E.N. // Proc. of the 9th European Conference on Antennas and Propagation. Lisbon, 2015. P. 7 228 220(1–2).
- [7] Giboney, Kirk S. Gap-mode waveguide / WO2012128866 (A1)– 2012–09–27.
- [8] Dugin N.A., Zaboronkova T.M., Chugurin V.V., Myasnikov E.N. // The 21 Annual International Conference on Advanced Laser Technologies ALT. 2013. P. 192.
- [9] Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 2010. 480 с.