

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ



Национальный исследовательский  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Т Р У Д Ы**  
**ПЯТНАДЦАТОЙ**  
**ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
**СТУДЕНЧЕСКИХ**  
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ**  
**ИНКУБАТОРОВ**

**Томск, 17–19 мая 2018 г.**



ТОМСК  
«Издательство НТЛ»  
2018

# Экранирующие свойства радиокompозита на основе углеродосодержащего пластика в СВЧ-диапазоне<sup>1</sup>

К.В. Билинский, К.В. Дорожкин, Г.Е. Кулешов

*Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

С конца прошлого столетия все более широко используется СВЧ-диапазон во многих отраслях промышленности и жизнедеятельности, что приводит к созданию новых радиоматериалов и композитов с уникальными свойствами, недоступными ранее [1]. Композиты на основе микропроводов и их аналогов активно применяются в военной промышленности [2], в средствах радиоэлектронной борьбы и защиты [3], для защиты биологических объектов от СВЧ-излучения [4]. На данный момент синтез новых радиокompозитов на основе микропроводов и их аналогов становится все более перспективным, ведутся исследования по разработке новых видов микропроводов и композитов на их основе, растет число публикаций по данной тематике [5].

## Основная часть

Для проведения измерений электромагнитного отклика были созданы два образца композиционного материала. Изготовление образцов проходит в два этапа. Сначала проводится моделирование образца в натуральную величину посредством инженерной программы [6]. Образцы композиционной структуры состоят из диэлектрической подложки в форме плоского диска, с нанесенной сверху решеткой из протяженных проводящих отрезков (рис. 1). Затем полученная модель распечатывается на 3D-принтере [7].

При печати применяется три вида пластика (таблица): диэлектрический ( $\epsilon \sim 2$ ) для подложки; углеродосодержащий, обладающий проводящими свойствами (действительная и мнимая части относительной диэлектрической проницаемости –  $\epsilon' = 8-11$  отн.ед. и  $\epsilon'' = 1-4$  отн.ед. соответственно); пластик, с углеродными нанотрубками (2,5 % по массе).

Исследование композитов на основе проводящего пластика было проведено на квазиоптическом субтерагерцовом ЛОВ-спектрометре (СТД-21) [11] в диапазоне 34–56 ГГц. Применялась схема измерений

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00810.

«на проход» [12], измерялся модуль коэффициента прохождения ( $T$ ). Коэффициент прохождения  $T$  рассчитывается как отношение спектров интенсивности сигнала с образцом в измерительном тракте и без образца.

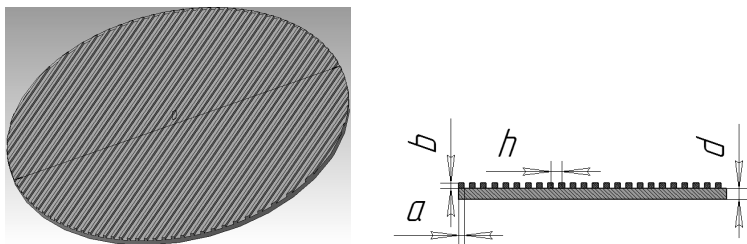


Рис. 1. Композит с протяженными отрезками

### Параметры компонентов композиционных структур

№ образца	1	2
Материал проводящих отрезков	Проводящий ABS-пластик [8]	ABS-пластик с углеродными нанотрубкам [9]
Материал подложки	Hips-пластик [10]	
Сечение проводящего отрезка ( $a \times b$ ), мм <sup>2</sup>	0,8×0,8	1×1
Толщина подложки ( $d$ ), мм	2	4
Расстояние между центрами соседних отрезков ( $T$ ), мм	1,5	2
Диаметр образца ( $D$ ), мм	48	48

Измерялся спектр коэффициента прохождения в зависимости от взаимной ориентации оси симметрии образца и поляризации падающего излучения  $T(\varphi)$ , где  $\varphi$  – угол между осью симметрии образца и плоскостью поляризации электромагнитной волны. В связи с этим, спектрометр был дополнен поворотным механизмом для вращения плоскости образца относительно поляризации падающего излучения.

Были сняты спектры модуля коэффициента прохождения  $T$  для образцов композиционного радиоматериала и зависимость  $T(\varphi)$  (рис. 2 и 3). Для образца №1 значительное взаимодействие с падающим излучением появляется на частотах свыше 50 ГГц (рис. 2, а). Величина  $T$  меняется в зависимости от взаимной ориентации оси симметрии образца и плоскости поляризации электромагнитной волны (рис. 2, б). Коэффициент прохождения максимален, когда ось симметрии образца и плос-

кость поляризации волны сонаправлены, и минимален, когда они ортогональны. При ортогональном размещении образца  $T$  снижается до 50 % на частотах свыше 50 ГГц. Зависимость  $T(\varphi)$  для разных частот принимает вид эллипсов, причем с ростом частоты эллипс стремится выродиться в окружность.

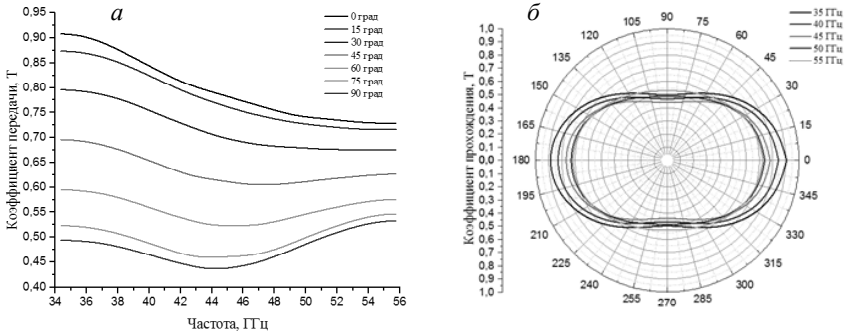


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента прохождения  $T$  (а), круговая диаграмма  $T(\varphi)$  для нескольких частот (б)

Результаты измерений композита № 2 показывают, что спектр  $T$  слабо зависит от частоты, но имеет выраженную зависимость от угла ( $\varphi$ ) (рис. 3, а). Наблюдается увеличение  $T$  с 55 до 87 % при изменении  $\varphi$  от 0 до 90°. Зависимость  $T(\varphi)$  практически совпадает для различных частот и принимает вид эллипса (рис. 3, б).

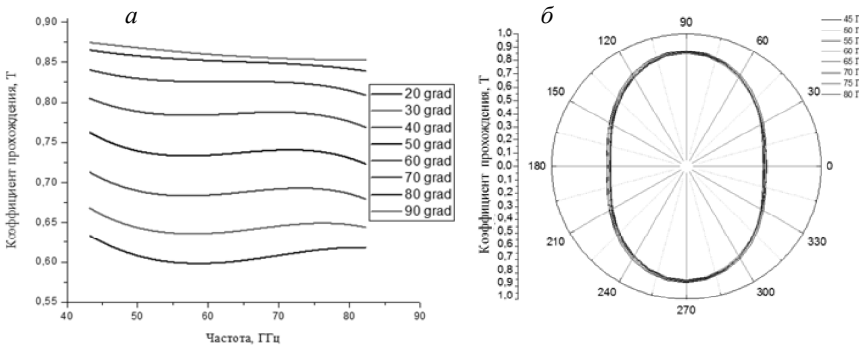


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента прохождения  $T$  (а), круговая диаграмма  $T(\varphi)$  для нескольких частот (б)

Полученные результаты для образцов № 1 и 2 позволяют судить о наличии поляризационных свойств, так как образцам присуще положение с максимумом и минимумом пропускания, разница между ними порядка 40 %. Данные свойства композитов можно использовать при создании поляризаторов, а также для снижения уровня электромагнитного излучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Латыпова А.Ф., Калинин Ю.Е.* Анализ перспективных радиопоглощающих материалов // Вестник Воронежского государственного технического университета. Физика. 2012. Т. 8. № 6. С. 70–76.
2. *Нанотехнологии* для обороны. URL: [http://www.army-guide.com/rus/article/article\\_2322.html](http://www.army-guide.com/rus/article/article_2322.html)
3. *Быстров Р.П., Дмитриев В.Г., Земский Ю.А. и др.* Особенности развития радиотехнических систем радиоэлектронной борьбы // Успехи современной радиоэлектроники. 2012. № 8. С. 3–28.
4. *Баранов С.А.* Использование микропровода с естественным ферромагнитным резонансом для радиопоглощающих материалов // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. № 14. С. 21–23.
5. *Scopus* – международная база данных. URL: <https://www.scopus.com>
6. *Компас 3d.* Официальный сайт. URL: <http://kompas.ru/kompas-3d-1t/about/>
7. *Что* такое 3D-печать и как работает 3D-принтер. URL: <https://make-3d.ru/articles/chto-takoe-3d-pechat/>
8. *Токпроводящий (Conductive) ABS-пластик.* URL: <http://rusabs.ru/blogs/blog/tokoprovodyaschiy-conductive-abs-plastik>
9. *Новые* волокна для 3D-принтеров: АБС-пластик с графитом и нанотрубками, ХТ-полиэфир. URL: <https://xaker.ru/2014/09/05/3d-new-filaments/>
10. *Полистирол (HIPS)* для 3D-печати. URL: <http://3dtoday.ru/wiki/polystyrol/>
11. *Квазиоптический* субтерагерцовый ЛОБ-спектрометр (КДП) URL: [http://ckprf.ru/ckprf/equipped/?SECTION\\_ID = 3323&ELEMENT\\_ID = 248356](http://ckprf.ru/ckprf/equipped/?SECTION_ID = 3323&ELEMENT_ID = 248356)
12. *Астафьев М.А.* Разработка квазиоптических селективных элементов для радиометрических систем миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов: квалификационная работа на соискание степени магистра. 2013. С. 12–16.

---

**Билинский** Кирилл Владимирович, студент; [kvb9kvb9@gmail.com](mailto:kvb9kvb9@gmail.com);

**Дорожкин** Кирилл Валерьевич, инженер-исследователь; [Radioph@outlook.com](mailto:Radioph@outlook.com);

**Кулешов** Григорий Евгеньевич, к.ф.-м.н., доцент; [grigorij-kge@sibmail.com](mailto:grigorij-kge@sibmail.com)