

**Щербаков А.Е.<sup>1,2</sup>, Леухин С.А.<sup>1,2</sup>, Черкашин А.В.<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ»

<sup>2</sup>ОАО «Завод Магнетон»

## **Радиопоглощающее покрытие с использованием метода 3D прототипирования**

*В работе проведен анализ основных радиопоглощающих покрытий и используемых материалов. На основе полученных данных предложен метод получения радиопоглощающих покрытий с использованием метода 3D прототипирования. Получены образцы изделий, измерены их радиофизические свойства.*

**Ключевые слова:** Радиопоглощающие материалы, радиопоглощающие покрытия, поглотители электромагнитных волн, композиционные материалы, 3D-технологии, широкополосные поглотители.

Развитие и увеличение мощности устройств СВЧ-радиоэлектроники приводят к тому, что возникающее при их работе электромагнитное излучение на частотах высших типов гармоник создает значительные помехи радиоэлектронной аппаратуре, и спутниковой связи. Воздействие электромагнитного излучения различной природы на технические и биологические объекты является существенным фактором, влияющим на их нормальное функционирование. Поэтому разработка новых высокоэффективных широкополосных радиопоглощающих материалов и изделий становится весьма актуальной для решения проблемы уменьшения помех и электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств [1].

Наибольшее распространение в качестве радиопоглощающих покрытий получили листовые поглотители электромагнитных волн. Их важным преимуществом является возможность совместного использования нескольких слоев листовых поглотителей с различными характеристиками диэлектрической и магнитной проницаемости, а также разными значениями прохождения и поглощения электромагнитной волны для создания эффекта межслоевого переотражения. Кроме того, используются ферритовые объёмные поглотители, которые благодаря геометрии их построения, обеспечивают максимальное взаимодействие электромагнитных волн с поглощающим слоем за счет переотражения и дифракции на периодических поглощающих структурах. Оба способа показывают существенные характеристики поглощения электромагнитных волн радиодиапазона [2].

Однако существующие технологии не могут удовлетворить всем требованиям промышленности для многокомпонентных изделий и изделий сложной конфигурации. Целью настоящей работы является расширение ассортимента и повышение характеристик поглотителей электромагнитных волн за счёт возможностей технологий 3D прототипирования (3D-печати). В задачи работы входило получение прототипов композиционных радиопоглощающих покрытий, сформированных послойно с помощью технологии пространственной печати.

Процесс получения изделия включает в себя несколько этапов. Основным этапом следует выделить смешение функционального радиопоглощающего наполнителя и полимерного связующего. Полученная композиция используется в качестве основного

материала для 3D-печати наполненных радиопоглощающих изделий и пустотелых поглощающих матриц, основной объём которых, в последствии заполняется функциональным поглощающим наполнителем. В качестве поглощающего наполнителя может быть использованы смесь порошкообразных ферритов и карбонильное железо различных фракций, также материал дополнительно может содержать углерод различных аллотропных и технических модификаций.

Следующим этапом является формирование отдельных элементов наполненных изделий и поглощающих матриц, а также разносоставных радиопоглощающих композиции создаваемых методом экструзии используемых для 3D печати, благодаря чему возможно создание многокомпонентных изделий с различными магнитными и диэлектрическими характеристиками.

Кроме того, для повышения поглощающих характеристик покрытия должны соответствовать следующим параметрам [3]:

- 1) наличие в полимерной матрице, развитой электропроводящей наносети;
- 2) присутствие изолированных друг от друга наночастиц магнитного вещества;
- 3) обеспечение дополнительного ослабления электромагнитного излучения за счет диэлектрических потерь;
- 4) наличие структурных элементов, способствующих образованию релеевских рассеивающих структур и зон, где происходит сложение волн в противофазе;
- 5) достижение минимальной разности волновых сопротивлений на границе радиопоглощающий материал/воздух.

В качестве примера характеристик таких изделий можно представить слабонаполненные полимерные матрицы высотой 30 мм. Проведенные экспериментальные исследования спектров магнитной и диэлектрической проницаемостей и поглощающих свойств композитов показали, что композиционные материалы на основе карбонильного железа обладают хорошими поглощающими свойствами в диапазоне частот от  $\sim 3$  до 37 ГГц и выше при малых толщинах слоев. Они могут быть использованы как в качестве маскирующих покрытий, расположенных на металлической поверхности, так и в качестве защитных неотражающих покрытий с малыми коэффициентами отражения и прохождения. Наличие минимума коэффициента отражения от двухслойной структуры на частотах выше 37 ГГц открывает возможность создавать радиопоглощающие материалы и на более высокие частоты, при соответствующем выборе толщины слоев, поэтому в качестве наполнителя для поглощающей матрицы было решено использовать карбонильное железо Р-20 [4].

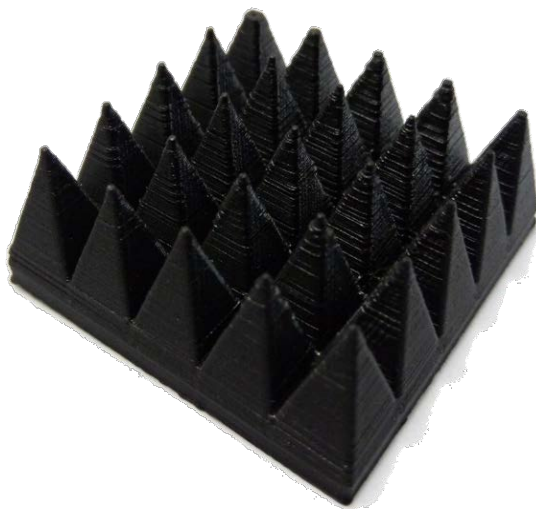


Рис. 1. Пример радиопоглощающего изделия.

Для измерения коэффициента отражения используется панорамный измеритель коэффициента стоячей волны по напряжению P2-65 8 мм диапазона длин волн. Структурная схема прибора представлена на Рис. 2.

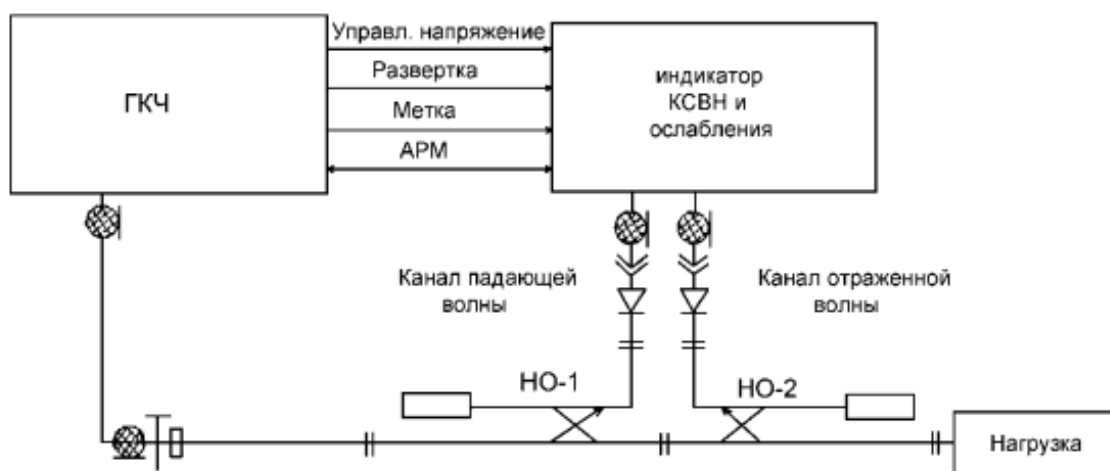


Рис. 2. Измеритель P2-65

Работа данного прибора основана на принципе разделения сигналов падающей и отраженной волны, их детектировании и расчете соотношения [5].

Результаты характеристик поглощения полученного образца (3D) приведены на Рис.3 в сопоставлении с аналогичной по геометрическим размерам и способу поглощения разработки компании SIEPEL изделия АРМ 3.

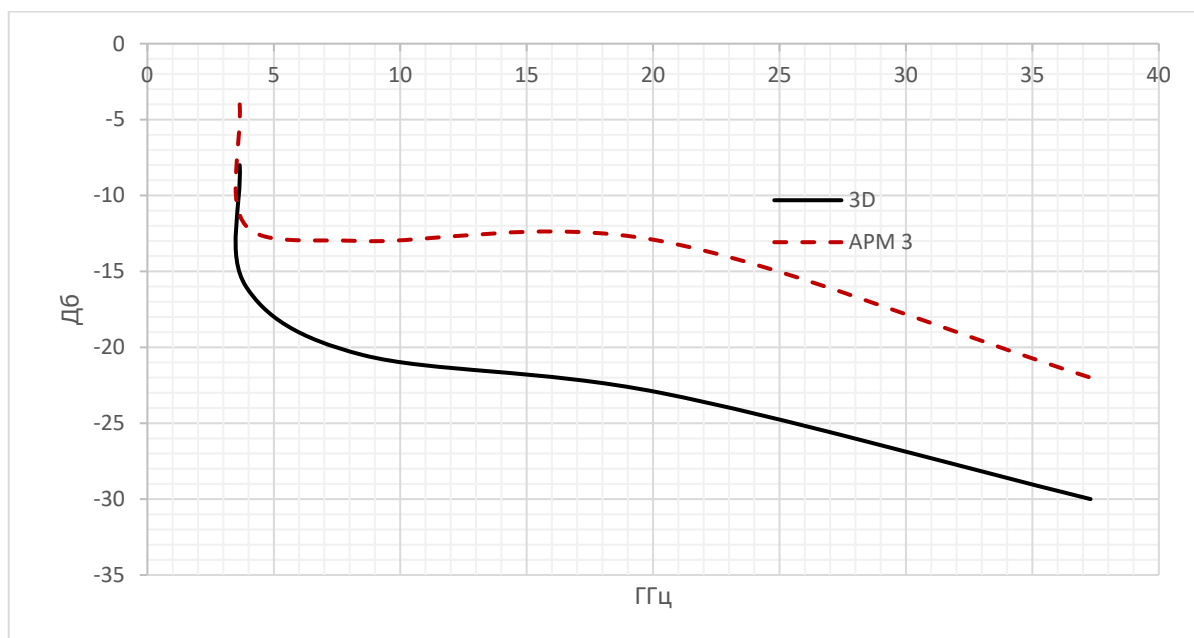


Рис. 3. Сравнительные характеристики показателя поглощения.

На основании полученных результатов, следует сделать вывод о перспективности применения данного метода для создания композиционных радиопоглощающих покрытий и изделий.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда содействия инновациям в рамках программы “Умник 17-12” договор №0039797

#### Библиографический список

1. Латыпова А. Ф., Калинин Ю. Е. Анализ перспективных радиопоглощающих материалов. Вестник ВГТУ. Воронеж 2012. №6. С. 70–76
2. В. Н. Горшенев, В. В. Колесов, А. С. Фионов, Н. С. Эрихман. Многослойные покрытия с изменяемыми электродинамическими характеристиками на основе наполненных полимерных матриц. Журнал радиотехники института радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН. 2016. №11. С. 345–354.
3. Wallace J.L. Broadband Magnetic Microwave Absorbers: Fundamental Limitations. IEEE Trans. Magn. - 1993. - 29, №6, Pt 3. - P. 4209-4214.
4. Журавлев В.А., Сусяев В.И., Коровин Е.Ю., Доценко О.А. Радиопоглощающие свойства содержащих карбонильное железо композитов на СВЧ и КВЧ. Электронный научный журнал «Исследовано в России». 2010. №35. С.404-411.
5. Шиян В.П. Радиоволновой, тепловой контроль и диагностика: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Радиоволновой, тепловой контроль и диагностика. Изд-во Томского политехнического университета. Томск 2014. – С 7-8.