

**МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ УГЛЕНАПОЛНЕННОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЯЗУЮЩЕГО РАСТВОРА
С КОМПОНЕНТАМИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

*канд. техн. наук, доц. Е. С. БЕЛОУСОВА, канд. техн. наук, доц. О. В. БОЙПРАВ,
магистр техн. наук С. Э. САВАНОВИЧ, д-р техн. наук, проф. Л. М. ЛЫНЬКОВ
(Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, г. Минск)*

***Аннотация.** В данной работе представлены результаты разработки модели и методики изготовления угленаполненного поглотителя электромагнитного излучения на основе реализованных ранее исследований, проведенных в рамках научно-исследовательских работ. Предлагаются способы совершенствования гибкого углеродосодержащего поглотителя, а именно изменение состава связующего раствора, использование дополнительного слоя герметизации и др.*

***Ключевые слова:** поглотители электромагнитного излучения, березовый уголь, древесный уголь, активированный уголь, поверхностно-активные вещества.*

На протяжении нескольких лет ведутся исследования в области создания гибких углеродосодержащих поглотителей электромагнитного излучения, обладающих легкостью, небольшой толщиной, невысокой стоимостью, значениями коэффициентов передачи и отражения менее -10 дБ в диапазоне частот $0,7-17$ ГГц. В работах [1–4] представлено обоснование выбора материала для инкорпорирования частиц углерода, выбора порошкообразного углеродосодержащего материала, выбора связующего состава на основе клеевых компонентов, использования термопресса для закрепления частиц технического углерода в синтетическом нетканом материале. На основе проведенных исследований была разработана методика создания поглотителей электромагнитного излучения из синтетического волокнистого материала с нанесением на его поверхность нанокомпозита на основе смеси поверхностно-активного вещества и технического углерода. Такой поглотитель характеризуется частотными зависимостями коэффициентов передачи порядка -18 дБ и коэффициентов отражения -12 дБ в диапазоне частот $7,0-13,0$ ГГц. Продолжением данных исследований является выполнение НИОК(Т)Р «Разработка поглотителей электромагнитного излучения на основе углеродосодержащих и фольгированных материалов для систем информационной и экологической безопасности. Разработка устройств для подавления помех в цепях радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры». В рамках данной работы планируется исследование процессов инкорпорирования частиц угля в синтетический

нетканый материал, совершенствование способа их закрепления в структуре материала, а также разработка мер по герметизации угленаполненного поглотителя электромагнитного излучения.

На основе исследований выполненных в работе [1] для инкорпорирования был выбран синтетический нетканый материал, результаты, представленные в [2], показали эффективность использования нанокompозита на основе смеси поверхностно-активного вещества, в состав которого планируется добавление угля. Исходя из полученных результатов в работе [5], для инкорпорирования были выбраны активированный березовый уголь и древесный уголь. Для дополнительной герметизации поглотителя было предложено использовать полусинтетическое нетканый материал на основе проклеенных целлюлозных волокон. Для уменьшения значения коэффициента передачи предложено использовать в структуре поглотителя электромагнитного излучения фольгированную полимерную пленку. Для закрепления полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон, уменьшения толщины поглотителя, а также для дополнительного закрепления частиц угля в волокнистой структуре синтетического нетканого материала предложено использовать термопресс.

На основе полученных ранее результатов и предложений по совершенствованию гибкого поглотителя электромагнитного излучения была предложена модель угленаполненного поглотителя электромагнитного излучения со слоистой структурой. Каждый слой такого поглотителя должен располагаться в следующей последовательности:

1. Слой полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон.
2. Слой фольгированной полимерной пленки.
3. Слой синтетического нетканого материала с нанесенным на его поверхность смесью раствора поверхностно-активных компонентов и угля (активированного березового или древесного угля) в объемном соотношении 1:1.
4. Слой синтетического нетканого материала.
5. Слой полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон.

На основе разработанной модели угленаполненного поглотителя электромагнитного излучения составлена методика его изготовления, которая включает следующие этапы:

1. Раскрой двух фрагментов полотна нетканого синтетического материала, форма и размер которых определяются требованиями к изготавливаемому поглотителю.
2. Раскрой фрагмента фольгированной полимерной пленки, форма и размер которого определяются требованиями к изготавливаемому поглотителю.

3. Раскрой двух фрагментов полотна полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон, форма которых определяется требованиями к изготавливаемому поглотителю, длина и ширина фрагментов должны превышать на 3,0–5,0 см длину и ширину фрагментов полотна нетканого синтетического материала.

4. Смешивание частиц угля со связующим раствором поверхностно-активных компонентов в объемном соотношении 1:1.

5. Нанесение слоя смеси частиц угля и связующего раствора толщиной 0,3 см на один из фрагментов полотна нетканого синтетического материала.

6. Сушка фрагмента полотна нетканого синтетического материала с нанесенным слоем смеси частиц активированного угля и связующего раствора в лабораторной муфельной печи при температуре 50 °С в течение 1 ч.

7. Размещение фрагмента фольгированной полимерной пленки поверх фрагмента полотна полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон. Границы фрагментов должны быть параллельны.

8. Размещение фрагмента полотна нетканого синтетического материала с нанесенным слоем смеси частиц активированного угля и связующего раствора поверх фрагментов фольгированной полимерной пленки и фрагмента полотна полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон. Границы фрагментов должны совпадать.

9. Размещение второго фрагмента полотна нетканого синтетического материала поверх фрагмента полотна с нанесенным слоем смеси частиц активированного угля и связующего раствора. Границы фрагментов должны совпадать.

10. Размещение второго фрагмента полотна полусинтетического нетканого материала на основе проклеенных целлюлозных волокон поверх второго фрагмента полотна нетканого синтетического материала. Границы фрагментов должны быть параллельны.

11. Помещение в термопресс на 10 мин при температуре 150 °С полученной слоистой структуры поглотителя.

На основе представленной методики изготовления угленаполненного поглотителя электромагнитного излучения планируется изготовление образцов поглотителя с использованием связующего раствора с компонентами поверхностно-активных веществ и добавлением активированного березового угля или древесного угля. Последующие измерения коэффициентов отражения и передачи, а также электронно-микроскопический анализ внутренней структуры поглотителя позволят оценить эффективность реализованной модели угленаполненного поглотителя электромагнитного излучения и методики его изготовления.

Исследования выполнены в рамках НИОК(Т)Р «Разработка поглотителей электромагнитного излучения на основе углесодержащих и фольгированных

материалов для систем информационной и экологической безопасности. Разработка устройств для подавления помех в цепях радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры» по мероприятию 32 «Разработать новые материалы, покрытия и системы для защиты радиоэлектронного, оптоэлектронного и информационного оборудования, биологических объектов от внешних энергетических воздействий, обеспечения их экологической и информационной безопасности, высокой функциональной надежности и работоспособности» подпрограммы 2 «Освоение в производстве новых и высоких технологий» Государственной программы «Научные технологии и техника» на 2021–2025 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусова, Е. С. Гибкие углеродосодержащие поглотители электромагнитного излучения на основе волокнистых материалов / Е. С. Белоусова, А. М. А. Мохамед, Я. Т. А. Аль-Адеми // Доклады БГУИР. – 2017. – № 2 (104). – С. 63–68.
2. Белоусова, Е. С. Экспериментальное обоснование способа получения гибких экранов электромагнитного излучения, основанного на инкорпорировании углерода аллотропных форм в волокнистые матрицы / Е. С. Белоусова, М. С. Х. Аль-Махдави, О. В. Бойправ // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундаментальные науки. – 2019. – № 12. – С. 15–20.
3. Belousova, E. S. Justification of binder material selection for carbon particles incorporation into fibrous electromagnetic radiation absorber / E. S. Belousova, B. I. Dumchev, M. S. Kh. Al-Mahdawi // Доклады БГУИР. – 2020. – № 18 (6). – С. 83–93.
4. Белоусова, Е. С. Применение термотрансферной технологии для создания углеродосодержащих поглотителей электромагнитного излучения / Е. С. Белоусова, О. В. Бойправ, Л. М. Лыньков // Комплексная защита информации : материалы XXVI науч.-практ. конф., 25–27 мая 2021 г. – Минск : Издатель Владимир Сивчиков, 2021. – С. 104–106.
5. Гибкие конструкции защитных экранов электромагнитного излучения на основе углеродосодержащих порошковых наполнителей / Т. А. Пулко [и др.] // Доклады БГУИР. – 2016. – № 7 (101). – С. 132–135.