

## ПЕНОСТЕКЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

*М. Р. КАЙМОНОВ<sup>1</sup>, К. В. ДОРОЖКИН<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Томский государственный университет

E-mail: [snoopmax01@yandex.ru](mailto:snoopmax01@yandex.ru)

Пеностекло – материал, представляющий собой ячеистое стекло, состоящее из множества герметически замкнутых пузырьков сферической или гексагональной формы размером 0,5-0,2 мм, с истинной пористостью до 85-95 %. Основная область применения пеностекла – теплоизоляция. В сравнении с другими теплоизоляционными материалами, например, такими как пенопласт, пеноплекс, минплита, вспененный полипропилен, пеностекло обладает рядом преимуществ. К достоинствам материала относятся негорючесть, химическая и биологическая устойчивость, долговечность, а также простота механической обработки [1, 2]. Помимо данных характеристик, пеностекло, полученное с углеродсодержащим газообразователем, обладает способностью снижать уровень отраженного и проходящего через материал электромагнитного излучения [3]. Однако по эффективности радиопоглощения пеностекло уступает эффективным видам поглотителей. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на улучшение данных характеристик, особенно в крайне высокочастотной области (свыше 100 ГГц), которая относится к малоизученным.

Цель работы – повысить коэффициент поглощения электромагнитного излучения пеностекла в диапазоне крайне высоких частот 120 – 260 ГГц путем введения в его состав многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ).

Выбор МУНТ в качестве модифицирующей добавки обусловлен известными свойствами нанотрубок: прочность, гибкость, проводимость. Данные свойства обеспечивает каркасная структура материала. При взаимодействии электромагнитной волны с МУНТ она равномерно распределяется по всей поверхности материала. В работе использованы МУНТ с удельной поверхностью 300 м<sup>2</sup>/г и диаметром 10 нм, синтезированные в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (г. Новосибирск).

Ранее было установлено, что модификацию пеностекла МУНТ можно осуществлять объемным и поверхностным способом. В случае, когда трубки вводятся в пенообразующую смесь, происходит их частичное выгорание и нарушается равномерность их распределения в материале, достигнутая на стадии приготовления смеси. В данной работе рассмотрен вариант введения МУНТ путем нанесения на пеностекло покрытия, содержащего трубки в количестве 0,5 мас. %. Объектом исследования выбрано промышленное блочное пеностекло, полученное с использованием сажи. Измерения коэффициентов отражения, прохождения и поглощения образцов проводились на спектрометре терагерцового диапазона СТД-21 «Центра радиоизмерений ТГУ».

Композиция для покрытия готовилась на основе жидкого стекла с добавлением определенных компонентов. Для равномерности распределения трубок в покрытии использована ультразвуковая ванна. Продолжительность ультразвуковой обработки определялась экспериментальным путем и составила 20 минут. Гелеобразная композиция наносилась на образцы пеностекла тонким слоем, с последующей сушкой при комнатной температуре.

По результатам исследования электромагнитных характеристик образцов пеностекла в зависимости от частоты излучения установлено следующее. Максимальное значение коэффициента поглощения имеет образец с покрытием (0,98 от. ед.), причем коэффициент не изменяется во всем исследуемом диапазоне частот, в отличие от пеностекла без покрытия (рис.1). Для образца с покрытием коэффициент поглощения увеличился в 4,75 раз на частоте 120 ГГц и в 1,75 раз на частоте 260 ГГц, а коэффициент прохождения уменьшился в 78 раз на частоте 120 ГГц и в 42 раз на частоте 260 ГГц.

Таким образом, пеностекло с покрытием, содержащим углеродные нанотрубки, обладает улучшенными радиопоглощающими характеристиками. Кроме того, экспериментальным путем для образцов пеностекла определено значение диэлектрической проницаемости, так для пеностекла без покрытия она составила 1,18, а для пеностекла с покрытием – 1,27, также для данного образца измерена микротвердость по Виккерсу, значение которой составило  $H_V \approx 68$ .

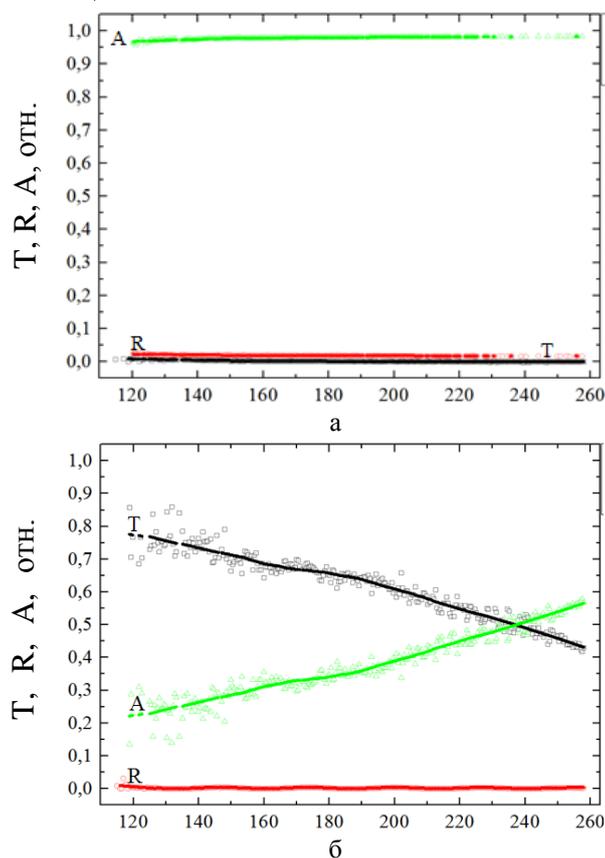


Рисунок 1 – Параметры электромагнитного отклика пеностекла с покрытием (а) и без покрытия (б): Т – коэффициент прохождения; R – отражения; А – поглощения

Проведенное исследование показало, что поверхностная модификация пеностекла МУНТ повышает его радиопоглощающую способность в диапазоне высоких частот 120 – 260 ГГц. Низкая диэлектрическая проводимость стекольной матрицы, пористая структура, а также модификация нанотрубками показывают перспективность использования данного материала в качестве эффективного радиопоглотителя. Учитывая, что исследуемый диапазон частот имеет огромные перспективы использования в медицине для диагностики различных заболеваний, в системах безопасности, для обнаружения взрывчатых веществ, в промышленности для выявления скрытых дефектов в продукции, пеностекло может принести пользу в самых разнообразных сферах.

#### Список литературы

1. Bernardo Enrico, Scarinci Giovanni, Hreglich Sandro // Glass Sci. and Technol.: Internat. Journal of the German Society of Glass Technology (DGG). – 2005. № 1. – С. 7-11.
2. Wu J.P., Voccaccini A.R., Lee P.D., Rawlings R.D. // European Journal of Glass Science and Technology, Part A Glass Technology. – 2007. 48 (3). С. – 133 – 141.
3. Суляев В.И., Казьмина О.В., Семухин Б.С., и др. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. Т.55. №9/2.–С. 312-314.