

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛА

М. Р. Каймонов, К.В. Дорожкин

Научный руководитель: д.т.н., профессор, О.В. Казьмина  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: snoopmax01@yandex.ru

Пеностекло – материал, представляющий собой ячеистое стекло, состоящее из множества герметически замкнутых пузырьков сферической или гексагональной формы, с истинной пористостью до 85-95 %. Основной областью применения пеностекла является теплоизоляция. В сравнении с другими теплоизоляционными материалами, например, такими как пеноплекс, минплита, пенопласт, вспененный полипропилен, пробка, пенополиуретан, стекловата, пеностекло обладает рядом преимуществ. К достоинствам материала относятся негорючесть, химическая и биологическая устойчивость, долговечность, а также простота механической обработки и малый вес материала [1, 2]. Стоит отметить, что пеностекло, полученное с углеродсодержащим газообразователем, способно снижать уровень отраженного и проходящего через материал электромагнитного излучения [3]. Тем не менее, по эффективности радиопоглощения пеностекло уступает некоторым 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 – повышение коэффициента поглощения электромагнитного излучения пеностекла в диапазоне крайне высоких частот 120 – 260 ГГц путем введения в его состав многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ).

В качестве модифицирующей добавки выбирались МУНТ, так как они обладают каркасной структурой, которая обеспечивает прочность, гибкость и проводимость данного материала. Последнее свойство обеспечивает равномерное распределение электромагнитной волны 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 модификацию пеностекла осуществляли путем нанесения на его поверхность композиции, содержащей МУНТ в количестве 0,5 мас. %. В качестве объекта 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, и подвергалась ультразвуковой обработке для равномерного распределения трубок в покрытии. Продолжительность 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  $HV \approx 68$ .

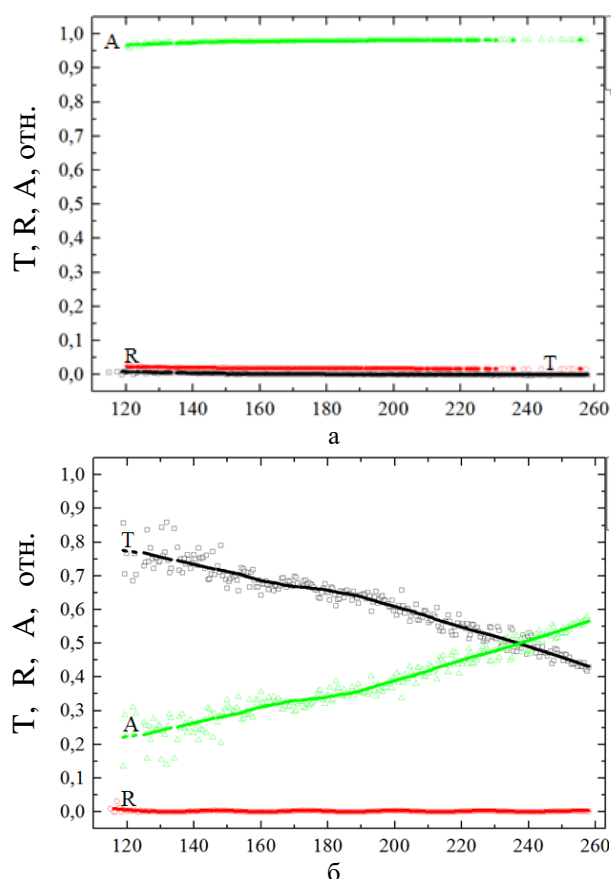


Рис. 1. Параметры электромагнитного отклика пеностекла с покрытием (а) и без покрытия (б): Т – коэффициент прохождения; R – отражения; А – поглощения

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.