

## Полимерные композитные материалы для защиты биологических объектов от электромагнитных полей и излучений на основе термопластов и биополимеров

В.А. БАННЫЙ, Л.А. ЕВТУХОВА, В.А. ИГНАТЕНКО

Представлены частотные зависимости ослабления ( $S$ ) энергии нормально падающей плоской электромагнитной волны для образцов РПМ: представляющие листовые и профильные монолитные широкополосные радиопоглотители на основе наполненных термопластов; сформированы радиопоглощающие слоистые пластики, армированные электропроводящими тканями, а также полимерные композитные РПМ, наполненные волокнами или стеклосферами и хитином. Потери энергии в хитинсодержащих пленках носят диэлектрический и интерференционный характер. С увеличением толщины материала до 10 мм значение ослабления возрастает.

**Ключевые слова:** хитин, радиопоглотители, электромагнитная волна, композитные материалы.

The article shows the frequency dependence of attenuation ( $S$ ) energy of normally incident plane of electromagnetic wave for the absorber samples: representing the monolithic sheet and profile-based broadband radiation absorbers based on thermoplastics, there have been formed radiation absorbing laminates reinforced with conductive fabrics, as well as polymer composite absorbers filled with glass spheres and fibers or chitin. Energy losses in chitin films are dielectric and interferential in nature. With the increase in material thickness up to 10 mm the attenuation increases.

**Keywords:** chitin, radiation absorbers, electromagnetic wave, composite materials.

### Введение

Одним из негативных последствий технического прогресса является постоянное повышение уровня электромагнитного загрязнения окружающей среды. К естественному фоновому радиоизлучению добавились новые источники электромагнитного излучения (ЭМИ): системы навигации и радиолокации, сотовая и спутниковая связь, радиотехнические установки, бытовая и медицинская радиотехника и др. Во многих из этих технических систем используется энергия электромагнитных волн сверхвысоких частот (СВЧ), охватывающая полосу радиочастот от 3 до 30 ГГц.

Воздействие электромагнитного излучения на биологические и технические объекты является существенным фактором, влияющим на их жизнедеятельность и функционирование. Биовоздействие имеет наиболее серьезные последствия в диапазоне микроволн – деци-, санти- и миллиметровой длины [1]. Поскольку в настоящее время значительно возросло количество разнообразных источников ЭМИ и расширяется используемый частотный диапазон, то актуальной является проблема защиты от воздействия электромагнитных сигналов в широкой полосе частот. При разработке материалов, поглощающих энергию ЭМИ, большое внимание уделяется доступности и дешевизне компонентов. Одним из таких компонентов является хитин – наиболее распространенный в природе полисахарид. По химическому строению хитин напоминает другой природный биополимер – целлюлозу, из которой построены твердые оболочки клеток растений, некоторых грибов и бактерий. Гораздо меньше известно, что он входит в состав грибов. Грибы – отнюдь не растения, а нечто, сочетающее в себе фундаментальные свойства как растений, так и животных. Хитин – своего рода «животная» целлюлоза. Для такой аналогии есть и биохимическое обоснование: глюкозные остатки хитина несут нехарактерную для растительной целлюлозы ацетамидную группу. Она-то и придает хитину уникальные свойства. Впервые хитин выделили из грибов, точнее – из мухомора, и назвали фунгином (от латинского *fungus* – гриб). Позже фунгин нашли в надкрыльях майского жука и переименовали в хитин (от «хитона» – древнегреческой верхней одежды).

Во время первой мировой войны дела с продовольствием в Германии обстояли неважно и в ход пошли жиры даже из низших грибов. Остававшийся хитин бережливые немцы

не выбрасывали, а обрабатывали щелочью и получали хитинксантогенат, который затем использовали в текстильной промышленности для изготовления особо прочных нитей. В природе хитина не меньше, чем целлюлозы: и того, и другого полимера примерно по 100 миллиардов тонн, эти запасы возобновляемые, если относиться к ним по-хозяйски. Главный источник целлюлозы – высшие растения, т. е. древесина, которую легко добывать и культивировать, а источники хитина в лесах и других системах – низшие и высшие грибы. И хотя с грибами работать легче, настоящие, получающие реальную прибыль заводы по производству хитина и его производных работают исключительно на морском сырье (крабы, водоросли и насекомые). Такие заводы есть в США и Японии, кое-что аналогичное пытались наладить на Дальнем Востоке РФ.

По сравнению с другими организмами – производителями хитина – грибы быстрее растут, и накопление их биомассы не зависит от сезона и капризов погоды. Выращивать их можно на сравнительно дешевых субстратах, например, жидких отходах целлюлозно-бумажной промышленности, крахмалсодержащих отходах пищевой промышленности и т. п. Кроме того, при микробиологическом производстве лимонной кислоты, антибиотиков и многих других полезных веществ остается грибная биомасса, которую можно приспособить для получения хитина.

Цель работы состояла в исследовании закономерностей взаимодействия ЭМИ СВЧ-диапазона нетепловой интенсивности с биологическими объектами, а также композитными материалами на основе полиэтилена (ПЭ), выполняющими функции электромагнитного экрана (ЭМЭ) в оценке эффективности хитина и в качестве компонента полимерных композитных материалов, поглощающих энергию ЭМИ СВЧ-диапазона.

### **Методика исследований**

Объектами служили клетки микроорганизмов: *Saccharomyces cerevisiae* (ГОСТ 171-81), яйца непарного шелкопряда (*Lymantria Dispar* L); пленочные, листовые композитные материалы на основе ПЭ (ГОСТ 16337-77, ГОСТ 16803-070). В качестве наполнителя использованы дисперсные карбонильное железо (КЖ, ТУ 6-09-300-78) и хитин ( $d \geq 315$  мкм), а также дисперсный магнитно-мягкий феррит (ММФ, ТУ 6-09-5111-84, марка 2500 НМС, размер частиц не превышает 200 мкм), карбонильное железо (ТУ 6-09-300-78). ПЭ-связующее вещество смешивали с наполнителем и подвергали гранулированию на установке, снабженной двухшнековым экструдером.

Гранулят перерабатывали в листовые конструкционные поглотители с использованием типовых технологий формирования изделий из термопластов. Пленочные и листовые монолитные материалы формировали методами «горячего» прессования и литьем под давлением.

Параметры ослабления ( $S$ ) энергии СВЧ-излучения, проходящего через исследуемые пробы и образцы композитов, оценивали рефлектометрическим методом в диапазоне частот 2–27 ГГц при нормальном падении электромагнитной волны – в волноводных трактах измерителей (P2-50; P2-60; P2-61; P2-65; P2-66) КСВ<sub>н</sub> и ослабления. Метаболические процессы в клетках оценивали стандартным методом микробиологического тестирования.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Сложное строение биологических клеток, состоящих из слоистых диэлектрических мембран, клеточной электролитической среды, ячеистого ядра, обуславливает диэлектрические потери энергии ЭМИ и ее интерференционное рассеяние на границах мембран и других структурных неоднородностях. Не менее важным фактором избирательного воздействия СВЧ-излучения на исследуемые биообъекты является наличие в мембранах клеток и кутикуле радиопоглощающего вещества – хитина. Специфические структура, физико-химические свойства кутикулы шелкопряда и значительная концентрация в ней хитина (до половины сухого веса) создают условия поглощения энергии ЭМИ. Экспериментально установлено, что при взаимодействии нетеплового СВЧ-излучения и клеток микроорганизмов *Saccharomyces cerevisiae* метаболизм клеток не оказывает влияния на способность этих клеток к радиопоглощению. Это расширяет возможности применения биополимеров в качестве компонентов

ЭМЭ. Показана возможность использования биомассы и хитина в качестве компонентов биоразлагаемых радиопоглощающих материалов (РПМ) [2], [3].

Защита от радиочастотных ЭМИ с использованием металлических экранов не во всех случаях является эффективной. Не удастся избежать дифракционных и интерференционных явлений при облучении. Глубина проникновения ЭМИ в вещество (скин-эффект) зависит от электропроводности этого вещества и частоты радиоволн. Однако, проникая в проводящее вещество, ЭМИ индуцирует в нем токи Фуко, которые могут стать причиной мощных наводок даже в идеально экранированных электронных схемах. Видно, что для электромагнитной защиты целесообразно применять ЭМЭ поглощающего типа.

Среди широкой номенклатуры РПМ свою нишу занимают материалы на основе наполненных термопластов, в частности ПЭ [4]. Они привлекают технологичностью и малой удельной массой. Изготовлены листовые и профильные монолитные широкополосные радиопоглотители на основе наполненных термопластов; сформированы радиопоглощающие слоистые пластики, армированные электропроводящими тканями, а также полимерные композитные РПМ, наполненные волокнами или стеклосферами. Результаты радиофизических измерений для некоторых образцов РПМ представлены на рисунке 1.

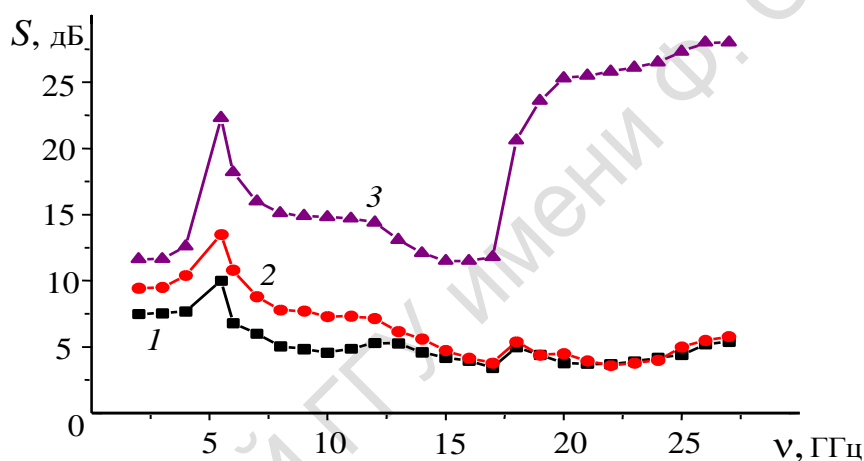


Рисунок 1 – Частотные зависимости ослабления ( $S$ ) энергии нормально падающей плоской электромагнитной волны для образцов РПМ толщиной 3 мм

Состав образцов: 1 – ПЭ + ММФ (50% масс,  $d = 50 \dots 200$  мкм); 2 – ПЭ + ММФ (50% масс,  $d = 50 \dots 200$  мкм) + стеклосферы (10% масс,  $d = 200 \dots 500$  мкм); 3 – ПЭ + ММФ (50% масс,  $d = 50 \dots 200$  мкм) + углеродная ткань Бусофит ТР 3/2.

Таким образом, в совокупности средств радиозащиты свою нишу занимают РПМ и ЭМЭ на основе наполненных термопластов. РПМ являются одним из эффективных средств решения проблем электромагнитной безопасности и совместимости радиоэлектронных систем, а также призваны обеспечить современные требования электромагнитной экологии. В практике создания средств защиты от техногенных ЭМИ природный хитин, наряду с другими функциональными наполнителями, может быть использован как компонент композиционных РПМ.

Хитин широко распространен в природе и занимает среди биополимеров второе по значению место после целлюлозы. Хитин является структурным материалом экзоскелета членистоногих (насекомых, ракообразных и др.), моллюсков и ряда морских организмов, нематод, содержится во многих грибах. Хитин представляет собой линейный полисахарид, неразветвленные цепи которого состоят из элементарных звеньев 2-ацетоамидо-2-дезоксид-Д-глюкозы, соединенных 1,4-в гликозидными связями [5].

С помощью оптической микроскопии исследованы структура и размеры частиц хитинового наполнителя. На рисунке 2 представлено микроскопическое изображение частиц хитина в водной среде. Видна слоистая структура хитина, что указывает на его способность к пленкообразованию.

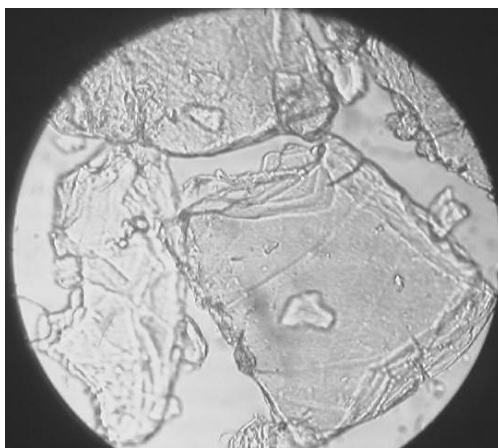


Рисунок 2 – Оптико-микроскопическое изображение частиц хитина в воде (увеличение 320 крат)

На рисунке 3 представлены измеренные радиофизические характеристики хитинсодержащих материалов (пленочные образцы толщиной 1 мм и образцы прямоугольного сечения 23 x 10 мм толщиной 10–14 мм), изготовленных методом термического прессования ( $P = 2$  МПа,  $T = 160$  °С) из смесей порошкообразного ПЭ и хитина.

Низкие значения ослабления энергии ЭМИ объясняются малой толщиной пленки, но они соизмеримы с величинами  $S$  для ПЭ пленок, содержащими в качестве наполнителя КЖ (при одинаковой степени наполнения 50% масс) [6]. В отличие от пленок, наполненных КЖ, где ослабление энергии ЭМИ вызвано магнитными и омическими потерями, связанными с высоким значением магнитной проницаемости наполнителя, потери энергии в хитинсодержащих пленках носят диэлектрический и интерференционный характер [7]. С увеличением толщины материала до 10 мм значение ослабления возрастает.

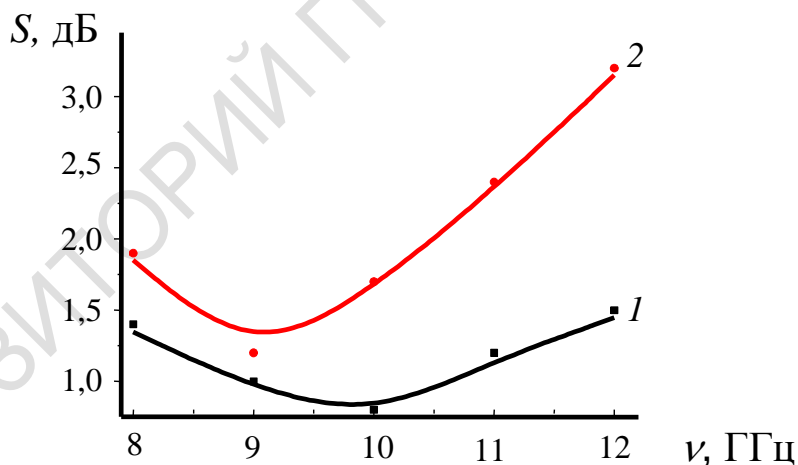


Рисунок 3 – Частотные зависимости ослабления  $S$  энергии ЭМИ, нормально падающего на образцы листовых пленочных СВЧ-поглоателей

Состав образцов листовых пленочных СВЧ-поглоателей: ПЭ + хитин (50% масс). Толщина образца: 1 – 1 мм; 2 – 10 мм.

### Заключение

Особенности строения хитина и комплекс присущих ему свойств (биоразлагаемость, радиопоглощающая, сорбционная и структурообразующая способности, склонность к волокну- и пленкообразованию и др.) создают благоприятные предпосылки его практического приложения в различных областях техники. В частности, хитин представляет интерес как наполнитель полимерных композитных материалов, поглощающих энергию СВЧ-излучения.

### Литература

1. Исмаилова, Г.Э. Биофизическое действие микроволн / Г.Э. Исмаилова, Э.Ш. Эсмаилов // Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование : материалы междунар. совещ. – М., 1998. – С. 347–354.
2. Банний, В.А. Взаимодействие СВЧ-излучения нетепловой интенсивности с культурой дрожжевых клеток / В.А. Банний, А.В. Макаревич, Д.А. Орехов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 5. – С. 102–105.
3. Ермолович, О.А. Хитин как функциональный наполнитель композиционных полимерных материалов / О.А. Ермолович, В.А. Банний, А.В. Макаревич // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – Т. 10. – № 2. – С. 58–60.
4. Банний, В.А. Радиопоглощающие материалы на основе наполненного полиэтилена / В.А. Банний, И.В. Царенко // Вестник Гомельского государственного университета им. П.О. Сухого, 2009. – № 4(39). – С. 3–8.
5. Хитин и хитозан: получение, свойства и применение / под ред. К.С. Скрябина. – М. : Наука, 2002. – 368 с.
6. Банний, В.А. Взаимодействие радиоволн СВЧ диапазона с полимерными гетерогенными системами и разработка электромагнитных экранов на основе полиэтилена : дис. ... канд. техн. наук : 01.04.07 / В.А. Банний. – ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси. – Гомель, 2005. – 132 с.
7. Банний, В.А. Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным электромагнитным экраном: физические модели и эксперимент / В.А. Банний, В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук // Материалы, технологии, инструменты. – 2008. – № 2. – С. 45–51.

Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

Поступило 15.05.12