

УДК 537.8.029.6; 621.37.029.6

*Г.Е. КУЛЕШОВ, В.И. СУСЛЯЕВ*

### **ЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ГЕКСАФЕРРИТОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ УСТРОЙСТВ**

Обсуждается проблема влияния высокочастотного излучения на организм человека, а также существующие методы защиты от негативного воздействия электромагнитного излучения. Представлены результаты измерений электрофизических характеристик композитов, содержащих углеродные наноструктуры и порошки гексаферритов. Получены результаты, свидетельствующие о возможности использования порошков гексаферритов и углеродных наноструктур в изготовлении защитных экранов, снижающих воздействия электромагнитного излучения на организм человека.

**Ключевые слова:** *защитный экран, электромагнитное излучение, воздействие, организм человека, углеродные наноструктуры.*

Количество устройств, использующих высокочастотную радиоэлектронику, постоянно возрастает: микроволновые печи, сотовые телефоны, ближняя беспроводная радиосвязь, Wi-Fi, Bluetooth, базовые станции сотовой связи, спутниковая связь, системы сигнализации и другие мобильные устройства прочно вошли в быт жителей развитых стран. Потребительские возможности их использования очевидны. Однако эти приборы являются источниками высокочастотных электромагнитных полей, негативно воздействующих на биологические объекты и нарушающих принципы электромагнитной совместимости электронных блоков, что снижает качественные показатели аппаратуры. Последствия от воздействия существенно зависят от мощности излучателей, расстояния до источника и времени экспозиции.

В последнее десятилетие Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) активно проводятся исследования биологических последствий длительного воздействия высокочастотных и сверхвысокочастотных полей на организм человека. В результате выявлен ряд специфических заболеваний, связанных с микроволновым излучением. Отмечены функциональные изменения в головном мозге, репродуктивных органах, сердечно-сосудистой системе, эндокринной и иммунной системах. Получены данные, доказывающие связь между долговременным использованием сотовых телефонов и повышением риска возникновения опухолей. Комиссия Международного агентства по исследованию рака (IARC) в 2002 г. сделала вывод, что воздействие электромагнитных полей связано с возможной канцерогенностью [1]. Регистрируется все больше случаев корреляции между глиомой и использованием аналоговых и сотовых телефонов [2], выявлено значительное повышение риска развития невриномы слухового нерва и лейкемии, отмеченное у пользователей мобильных телефонов со стажем 10 лет и более [3]. В ряде исследований было показано [4, 5], что при воздействии ЭМИ малой мощности на биологические объекты, которая не приводит к повышению температуры, существуют определенные частоты, которые вызывают значительные изменения в механизмах функционирования различных органов и систем организма, за счет резонансных явлений. Учитывая результаты этих работ, ВОЗ официально признала факт, что электромагнитное излучение оказывает канцерогенное воздействие, лишь в 2011 г. Развитие сетей сотовой связи приводит к снижению мощности мобильных телефонов, однако общий фон электромагнитного загрязнения растет из-за увеличения количества базовых станций и расширения номенклатуры аппаратуры, применяемых в быту и на производстве. Поэтому разработка средств, позволяющих снизить влияние электромагнитного фона радиоэлектронных устройств и защитить организма человека от воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ), является актуальной задачей. Не менее актуальна задача обеспечения электромагнитной совместимости, решение которой способствует повышению потребительской привлекательности радиоэлектронных средств за счет надежности, снижения энергопотребления и улучшения качественных показателей продукции, производимой этими средствами.

Исследования по проблеме снижения вредного влияния от микроволнового излучения ведутся достаточно активно во всем мире. Множество работ посвящено защите от воздействия сотовых телефонов, в том числе разработке защитных экранов [6]. Наиболее оправданным является приме-

нение защитных устройств на основе материалов, которые эффективно отражают или поглощают ЭМИ.

Радиоотражающие материалы обладают высокой электропроводимостью (железо, сталь, медь, латунь, алюминий и ряд композитов). Они отличаются высокой эффективностью, поскольку за счет больших различий волнового сопротивления свободного пространства и экрана обладают высоким коэффициентом отражения. Однако на практике такой способ защиты обнаружил ряд недостатков [6], связанных с появлением областей переизлучения из-за изменения положения экрана относительно излучателей и защищаемого объекта. Это приводит к возникновению переотраженных волн, при этом мощность электромагнитного излучения в отдельных областях пространства возрастает. Сплошные экраны обладают большим весом, однако эффективность перфорированных и сетчатых экранов падает с повышением частоты. Поэтому особое внимание уделяется разработке экранов и защитных покрытий, эффективность которых достигается за счет поглощения ЭМИ.

В поглощающих экранах реализуется преобразование электромагнитной энергии в тепловую за счет потерь на проводимость (Джоулево тепло) и возбуждения движений в магнитной и диэлектрической подсистемах. Известно, что в качестве активной фазы поглотителей в СВЧ-диапазоне хорошо зарекомендовали себя оксидные ферритмагнетики, сажа, карбонильное железо, диэлектрики. Ведутся разработки новых радиопоглощающих покрытий на основе сегнетоэлектриков и мультиферроиков. Для микроволнового диапазона широкое применение находят гексаферриты, за счет эффекта естественного ферромагнитного резонанса. Отметим, что свойства данного класса материалов зависят от способа получения, химического состава [7], формы и размера частиц [8], типа композиционной смеси. Для изготовления экранов, предназначенных для снижения воздействия микроволнового излучения, необходимо учитывать не только защитные характери-

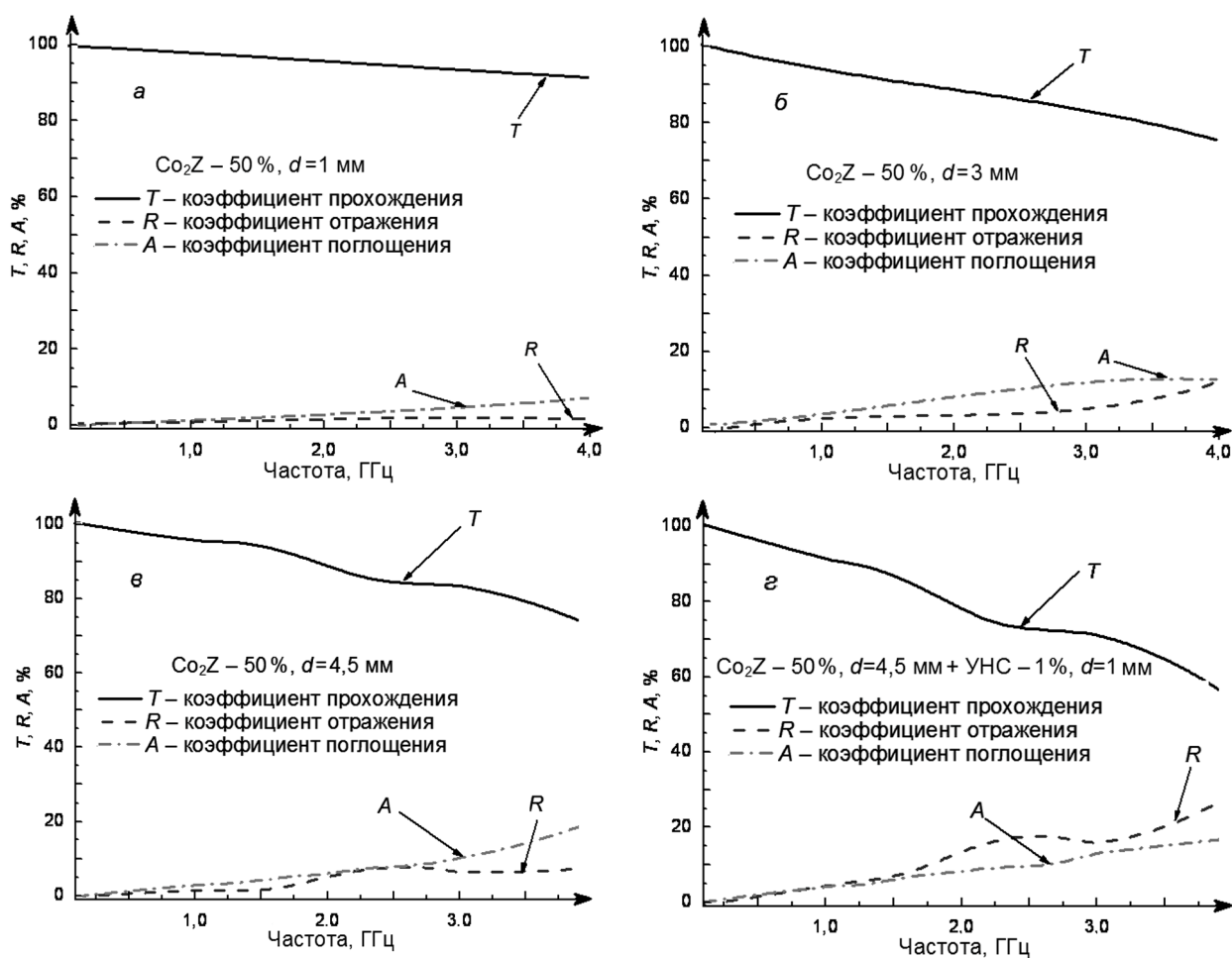


Рис. 1. Коэффициенты прохождения, отражения и поглощения образцов композиционных материалов: а – 50 мас. %  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ,  $d = 1,5\text{ мм}$ ; б – 50 мас. %  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ,  $d = 3\text{ мм}$ ; в – 50 мас. %  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ,  $d = 4,5\text{ мм}$ ; з – 50 мас. %  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ ,  $d = 4,5\text{ мм}$  и 1 мас. % УНС,  $d = 1\text{ мм}$

стики, но и потребительские свойства готового продукта. Для этого необходимо выбрать соответствующие активную фазу и связующее вещество, обеспечивающие оптимальные свойства защитных покрытий.

В данной работе исследовались композиционные экраны, изготовленные на основе полимерного связующего и следующих наполнителей:

– порошки гексаферрита  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$  с размерами частиц менее 100 мкм, полученные по стандартной керамической технологии;

– углеродные наноструктуры, полученные из углеводородного газа в СВЧ-плазматроне [9].

Исследование электромагнитных характеристик проводилось волноводным методом с использованием коаксиальной измерительной ячейки. Сверхвысокочастотный тракт построен на основе измерителя коэффициента прохождения и отражения Р2М-04 фирмы «Микран». Образцы изготавливались с помощью разработанной формы в виде шайбы, с внешним диаметром  $d_1 = 16$  мм и внутренним  $d_2 = 6,95$  мм и точно подгонялись под размеры коаксиальной измерительной ячейки. Особое внимание уделялось установке образца в ячейке без зазоров и перекосов. Измерения проводились по схеме на проход и на отражение.

На рис. 1 представлены результаты измерений коэффициентов прохождения ( $T$ ), отражения ( $R$ ), поглощения ( $A$ ) образцов композита с содержанием  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$  50 % и различной толщиной защитного экрана, а также при добавлении слоя, содержащего 1 % УНС.

На рис. 2 представлены результаты измерений коэффициента отражения плоской волны от слоя материала, расположенного на проводящей поверхности (по схеме на отражение), для композиционного экрана, содержащего 50 %  $\text{Ba}_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$  и имеющего толщину  $d = 4,5$  мм.

Из приведенных зависимостей видно, что  $R$  уменьшается с частотой. Это свидетельствует о возрастании коэффициента поглощения, который достигает 60 % на частоте 4 ГГц.

Полученные зависимости указывают на возможность использования исследуемых материалов на основе порошков гексаферритов и углеродных наноструктур для снижения уровня электромагнитного радиоизлучения.

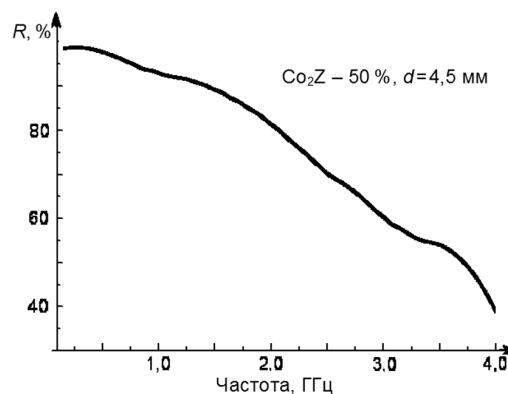


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от частоты

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Licari L., Nemer L., and Tamburlini G. Children's health and environment: developing action plans. – Copenhagen: WHO, 2006. – 88 p.
2. Auvinen A., Nietanen M., Luukkonen R., and Koskela R.S. // *Epidemiology*. – 2002. – V. 13. – P. 356–359.
3. Herworth S.J., Schoemaker M.J., Muir K.R., et al. // *BMJ*. – 2006. – V. 332. – P. 883–887.
4. Горбатов С.А., Воронин И.В., Наumenко В.Ю. // *Медицинская физика*. – 2007. – № 1. – С. 63–68.
5. Птицына Н.Г. // *УФН*. – 1998. – № 7. – С. 768–791.
6. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Глыбин В.П. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения. – Минск, 2003. – 284 с.
7. Суслев В.И., Найден Е.П., Журавлев В.А., Рябцев Г.И. // *Электронная техника. Сер. Материалы*. – 1990. – № 5/250/ДСП. – С. 28–29.
8. Доценко О.А., Коровин Е.Ю., Суслев В.И., Кулешов Г.Е. // *Изв. вузов. Физика*. – 2006. – Т. 49. – № 9. – С. 35–39.
9. Антипов В.Б., Бубенчиков М.А., Медведев Ю.В. и др. // *Изв. вузов. Физика*. – 2010. – Т. 53. – № 9/2. – С. 149–150.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия  
E-mail: grigorij-kge@sibmail.com

Поступила в редакцию 15.06.12.