

Розглядається один із підходів для удосконалення поглинаючих матеріалів на основі пінополістирола з додаванням графіту. Особлива увага приділяється співвідношенню «ефективний захист – зменшення працездатності при виготовленні». Визначено найбільш ефективно затухання електромагнітних хвиль в залежності від розміру частки графіту. Використання у структурі матеріалу відбиваючих елементів конусоподібної форми призведе до збільшення коефіцієнта поглинання

Ключові слова: медицина, апаратура, захист, поглинання, технологія, електромагнітні випромінювання, пінополістирол, персонал, графіт

Рассматривается один из подходов усовершенствования поглощающих материалов на основе пенополистирола с добавлением графита. Особое внимание уделяется соотношению «эффективная защита – уменьшение трудоемкости в изготовлении». Определено наиболее эффективное затухание электромагнитных волн в зависимости от размера частиц графита. Применение в структуре материала отражающих элементов конусообразной формы приводит к возрастанию коэффициента поглощения

Ключевые слова: медицина, аппаратура, защита, материалы, поглощение, электромагнитное излучение, пенополистирол, персонал, графит

УДК 614.8.086.52

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.63753

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

В. В. Семенец

Доктор технических наук, профессор

Кафедра «Метрология и
измерительная техника»*

E-mail: valera.semen55@mail.ru

Т. Е. Стыценко

Старший преподаватель

Кафедра «Охрана труда»*

E-mail: stysenko@mail.ru

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Широкое использование медицинского оборудования, работающего в диапазоне сверхвысоких частот, в научно-исследовательских лабораториях, в быту, в военной технике вызвало появление ряда специфических проблем. В частности, при проектировании, проведении обслуживания и наладки сложных медицинских аппаратов, практически невозможно получить достоверные данные об измеряемых параметрах, так как помимо полезных сигналов будут регистрироваться излучения, возникшие в результате переотражения от окружающих предметов, а также различного вида посторонние излучения.

Классификация областей применения энергии сверхвысоких частот (СВЧ) достаточно изучена. Это – нагрев, размораживание (дефростация), термообработка, сушка (удаление влаги), термомеханические эффекты, биологические, микробиологические и биохимические эффекты, химические процессы и, конечно же, медицинское применение. Все вышеуказанные области применения СВЧ энергии могут рассматриваться как технологии, разработка или усовершенствование которых способно уменьшить или исключить их негативное влияние на человека [1].

Источниками сильного магнитного поля в медицине является оборудование, используемое при плазменном нагреве, томографии, гипертермии и диатермии, в электрохирургии и т. д. [2].

Медицинский персонал при эксплуатации аппаратуры, подвергается постоянному негативному воздействию излучения.

Причина нарушения физиологического состояния организма человека в зонах с повышенной интенсивностью электромагнитных излучений (ЭМИ) состоит в устойчивом изменении характеристик собственных энергетических полей (биополей). В результате такого воздействия различные органы человека (впрочем, как и других живых организмов) изменяют свои природные параметры функционирования, вплоть до изменения молекулярной структуры. Подобные изменения наблюдаются и при воздействии на человека паразитных излучений.

Паразитное электромагнитное излучение при хроническом (постоянном) воздействии, оказывает негативное влияние на митотическую активность эпителиоцитов крепт слизистой оболочки тощей кишки и сосудистого эндотелия [3].

После выхода из опасной зоны защитные механизмы здорового организма в состоянии частично или полностью устранить возникшие изменения. Однако при длительном или систематическом пребывании в местах с повышенным уровнем ЭМИ, такие изменения неизбежно накапливаются. Зачастую эти изменения приобретают стабильный болезненный характер различной тяжести и симптоматики, которые могут проявляться в следующем:

– быстрая утомляемость, состояние апатии, общая слабость, головные боли [4];

- нарушение функционирования ослабленных органов, переходящее в патологию, ослабление внимания, памяти, нарушение логики мышления и речи [5];
- нервные и психические расстройства;
- заболевания крови, онкологические заболевания [6];
- болезни Паркинсона и Альцгеймера [7, 8].

Данные клинико-физиологического исследования свидетельствуют о риске развития неблагоприятных изменений сердечно-сосудистой, нервной, гематологической и иммунной систем [9]. По заключению экспертов Всемирной Организации Здравоохранения, результатом продолжительного влияния электромагнитных полей даже относительно слабого уровня могут быть раковые заболевания, изменение поведения, потеря памяти. У людей, проживающих в крупных городах, вблизи мощных электросиловых установок наблюдается угнетение половой функции, увеличение количества самоубийств и многие другие негативные состояния.

Наиболее опасно влияние электромагнитных полей для развивающегося организма в утробе матери. У родившихся младенцев наблюдался синдром внезапной смерти, при внешне здоровом состоянии организма ребенка. Медицинский персонал, входящий в особую группу риска, нуждается в особо тщательном наблюдении за состоянием здоровья и поддержанию необходимых санитарно-гигиенических норм при работе и обслуживании медицинского оборудования [10–12].

Поэтому исследованию методов защиты, разработке и созданию специальных средств защиты от негативного воздействия излучений во всем мире уделяется первоочередное значение.

Одним из эффективных способов решения перечисленных проблем является разработка и усовершенствование материалов, которые способны уменьшить или исключить негативное воздействие электромагнитных излучений на человека.

2. Анализ существующих исследований и публикаций

В научных публикациях [13–27] описаны различные методы и средства защиты биологических объектов от воздействия электромагнитных излучений. Это уменьшение мощности излучения, увеличение расстояния между защищаемым объектом и устройством. Защита расстоянием является наиболее простым и эффективным методом защиты, однако при определенных условиях это не всегда возможно или неэффективно [13–15].

Жесткие технические требования к системам защиты обуславливают необходимость поиска комплексных решений задачи защиты от ЭМИ. Такие решения включают в себя использование не только специальных материалов и покрытий, но и элементов конструкций (строительных или технических), учет электродинамических свойств окружающей среды и т. д. [16–18]. Анализ существующих конструктивных методов решения показывает, что экранирование, как наиболее распространенный метод защиты, осуществляется при помощи металлических экранов различной конфигурации, изготовленных из меди, стали, углеводородных волокон, проводящих полимеров, полимерных композитов и т. д. [19, 20].

Наряду с преимуществами данного вида защиты [21, 22] существуют и определенные недостатки. Большинство материалов «прозрачны» для электромагнитного излучения. В связи с переотражением электромагнитных волн, изменяются параметры волны, и, как следствие, происходит изменение свойств отражающей поверхности экрана [23, 24]. Все это обуславливает при разработке методов защиты, учитывать параметры экранирующих материалов, их электрические и диэлектрические свойства [25].

В качестве исходного сырья для полупроводниковых защитных устройств применяются неорганические порошки и волокна, на основе неорганических (оксидов алюминия, титана и др.) или органических (смолы, полимеры, пластмассы, парафины) материалов. Такие материалы обладают как высокой эффективностью экранирования, так и большим значением коэффициента поглощения электромагнитной волны (ЭМВ). Однако часто их применение ограничено узким частотным диапазоном. Использование дисперсных растворов с управляемыми магнитными свойствами также представляется перспективным, однако еще далеко от практического применения из-за сложности синтеза, низкой технологичности, относительно невысокой стабильности или токсичности существующих магнитных жидкостей [26].

Для газоразрядных защитных устройств характерно противоречие между их временем срабатывания и допустимой падающей мощностью. Недостатком полупроводниковых ограничителей всех видов является большая междуэлектродная емкость, что ограничивает их применение в диапазоне СВЧ [27]. Отсюда вытекает, что защитные устройства, принцип работы которых основан на создании условий короткого замыкания и отражения электромагнитной энергии с помощью газоразрядных, полупроводниковых защитных устройств, а также их комбинаций, не могут в полной мере обеспечить защиту.

В связи с этим, особое внимание уделяется проблеме разработки материалов, поглощающая эффективность которых достигается за счет затухания электромагнитных волн в направлении их распространения. Разработке многослойной структуры материала с улучшенными характеристиками коэффициента отражения и поглощения в широком диапазоне углов падения в нижней части частотного диапазона.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка поглощающего материала, который удовлетворял бы соотношению «эффективная защита- уменьшение трудоемкости в изготовлении».

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- исследовать характеристики поглощающего материала в свободном пространстве;
- исследовать возможность использования технологии двух стадийного вспенивания бисерного полистирола при изготовлении экспериментального образца;
- исследовать свойства материала в зависимости от размеров частиц графита;

– исследовать зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны в зависимости от угла падения на поглощающий материал.

4. Технологические особенности изготовления поглощающих материалов на основе пенополистирола

До сих пор при исследовании и разработке поглощающих материалов мало внимания уделялось соотношению «эффективная защита-уменьшение трудоемкости в изготовлении».

Разрабатываемые поглощающие материалы должны отвечать следующим требованиям:

1. Величина энергии колебаний сверхвысоких частот, отраженная от поверхности поглощающих экранов, должна быть весьма незначительной в широком диапазоне частот.

2. Колебания сверхвысоких частот (СВЧ), падающие на поверхность материала, должны поглощаться в достаточной степени, для чего величина затухания проникающих внутрь материала колебаний должна быть высокой.

3. Составляющая рассеянных СВЧ-колебаний при отражении от поверхности поглощающего экрана должна быть незначительной.

4. СВЧ колебания, отраженные от поверхности поглощающих экранов, не должны преобразовываться в колебания другого вида поляризации.

5. Изменение величины отражения СВЧ-колебаний в зависимости от угла падения радиоволн должно быть незначительным.

С точки зрения химических характеристик поглощающий материал должен не пропускать влагу во внутреннюю часть поглощающей поверхности экрана, сохранять стабильность своих характеристик при нормальной температуре, быть огнестойким и не загораться самопроизвольно, не изменять своих характеристик под действием облучения. Естественно, что применение поглощающих материалов не должно ухудшать санитарно-гигиенических условий.

Поглощающий материал должен быть устойчив по отношению к насекомым, грибкам и т. д. В процессе изготовления – легко скрепляться и монтироваться. При этом иметь незначительный период закрепления, необходимый для высыхания адгезионного средства, употребляемого при склеивании и других операциях. Одним из основных его преимуществ должно быть сохранение свойств в течение длительного времени.

Существующие поглощающие материалы на основе пенополистирола (EPS) имеют сложные защитные механизмы действия, что уменьшает их защитные свойства [22–25].

Предлагается исследовать защитные свойства материала на основе пенополистирола (EPS) с добавлением в его состав измельченных частиц графита с различными размерами частиц в согласующем слое свое.

Основой для изготовления поглощающего материала служит пенополистирол (EPS), получаемый из полистирола (PS) марки ПСБС. Сущность процесса производства пенополистирола заключается в том, что при нагреве выше 80 °С, полистирол переходит из стеклообразного состояния в эластичное, а изопентан,

равномерно распределенный в массе полистирола, а при нагреве выше 28 °С переходит в газообразное состояние. В результате размягченные гранулы полистирола размером 0,5–1 мм вспениваются, увеличиваясь в объеме в 10–12 раз. Интенсивное вспенивание полистирола начинается при температуре 95–96 °С.

Рациональнее производить двух стадийное вспенивание бисерного полистирола, т. е. предварительное (без форм) и окончательное (в формах). Это сокращает время вспенивания в формах и способствует уменьшению объемного веса пенополистирола. Для предварительного вспенивания гранулы полистирола нагреваются в воде, температура которой $t^0 = 95 - 100$ °С. В зависимости от времени пребывания гранул в горячей воде можно получить пенополистирол различной плотности, которая прямо пропорционально связана с диэлектрической проницаемостью и может принимать значение от 1 до 2,5.

Вследствие того, что диаметр частиц пенополистирола и длина волны в миллиметровом диапазоне, становятся довольно близкими, возникает опасность увеличения отражения. С целью предотвращения подобных явлений размеры гранул пенополистирола выбирались равными 2–5 мм.

При изготовлении поглощающего материала с использованием графита, обеспечивающего затухание электромагнитных волн в направлении их распространения, исследовалось влияние размера частиц графита в аквадаге на его поглощающие свойства.

Исходным материалом при изготовлении аквадага являлся чешуйчатый графит с начальным размером частиц 0,5–2 мм. Для получения различных фракций графита размером от 10 до 240 мкм, он размельчался в шаровой мельнице в течение 96 часов. Из этих фракций графита было изготовлено семь типов аквадага, отличающихся величиной зерна.

Приготовленный аквадаг наносился равномерным слоем на плоские пластины из пенополистирола размером 75–45 см, причем на каждую пластину наносилось строго одинаковое количество аквадага по весу. После просушки пластины исследовались на экспериментальной установке, позволяющей определить характеристики материала в диапазоне частот 10–75 ГГц. Наилучшими характеристиками для данного диапазона частот обладает аквадаг с размером частиц графита 30–70 мкм, который использовался при изготовлении поглощающего материала.

Гранулы пенополистирола после первого вспенивания покрываются равномерной пленкой аквадага с определенной концентрацией. После этого гранулы просушиваются. Следующая стадия изготовления поглощающего материала – его формование. Гранулы, покрытые аквадагом, загружаются в пресс-форму, причем заполнение ее по объему должно быть 100 %. Для свободного проникновения горячей воды в пресс-форму и для выхода газа из нее необходимо делать стенки перфорированными. Во избежание прилипания материала к форме внутренние поверхности ее должны быть тщательно отшлифованы и перед загрузкой гранул покрыты тонким слоем аквадага, который служит смазкой.

Для сокращения продолжительности тепловой обработки блока пресс-форма прогревается в кипящей воде и выдерживается в ней определенное время. Гра-

нулы пенополистирола, сохраняющие еще достаточное количество преобразователя, снова вспениваются. Внутри пресс-формы создается еще достаточное давление, под действием которого гранулы спекаются, образуя материал с однородной по толщине структурой. Затем пресс-форма извлекается из воды и охлаждается до температуры 45–50 °С. После этого материал освобождается от формы. Так как время выдержки в кипящей воде зависит от толщины материала и тепловых характеристик пресс-формы, то оно определяется опытным путем.

По данной технологии были разработаны РПМ, отличающиеся между собой принципом согласования со свободным пространством, геометрией передней поверхности, законом изменения потерь в материале и методами улучшения характеристик структуры.

5. Установка для исследования поглощающих материалов методом свободного пространства

Поглощающие материалы изготавливаются в виде листов с плоской, волнистой, ребристой, ячеистой и другими формами передней поверхности и различными законами распределения электромагнитных параметров в объеме поглотителя. Они характеризуются коэффициентом отражения и поглощения, а также зависимостью диаграммы диффузного или рассеянного отражения, от частоты, угла падения и поляризации электромагнитной волны.

Волноводные методы не позволяют определить большинство этих характеристик (особенно угловых и диффузных). Поэтому их измерения проводятся в свободном пространстве [26].

Для исследования амплитудно-угловых характеристик рассеянного поля и определение параметров поглощающего материала в свободном пространстве необходимо выяснить оптимальные соотношения между электродинамическими, геометрическими и частотными характеристиками экспериментальной установки, необходимые для получения достоверных результатов измерений.

При исследовании характеристик поглощающих материалов в свободном пространстве измерительная установка должна обеспечить изменение угла падения, частоты генератора и поляризации электромагнитной волны, падающей на поглощающее покрытие. Расстояние в соотношении: «передающая система – исследуемый образец и приемник» – должны соответствовать условиям, при которых волны в области исследуемого материала можно рассматривать как плоские. В данном эксперименте необходимо обеспечить снятие зависимости диаграммы направленности рассеянного поля от угла падения электромагнитной волны, также обеспечить минимальную связь антенн через паразитные переизлучения и их взаимную многократную

связь непосредственно через исследуемый образец. Для обеспечения достоверных результатов эксперимента, помехи приема волны за счет посторонних излучений должны быть малы, а чувствительность приемника велика. Немаловажно учесть метеорологические условия во время эксперимента. Они должны соответствовать нормативным значениям, определенным для данного вида работ.

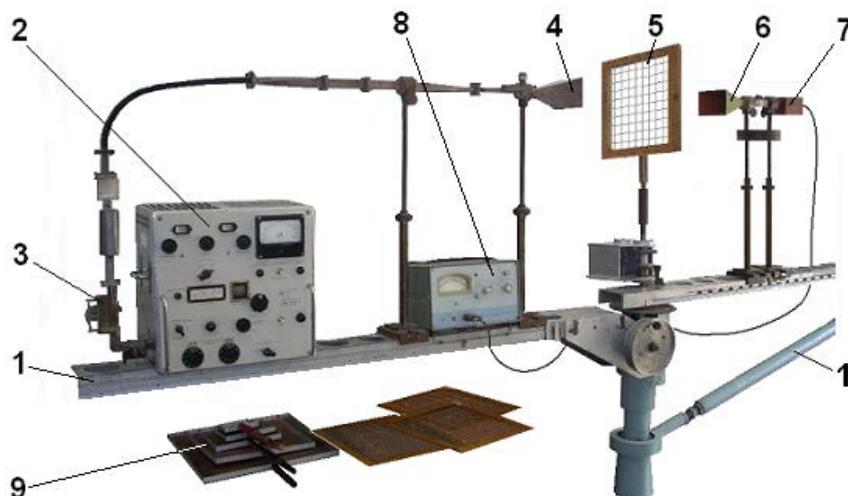


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки: 1 – юстировочная станина; 2 – генератор СВЧ (ГЗ–14А); 3 – аттенюатор; 4 – передающая антенна; 5 – исследуемый материал; 6 – приемная антенна; 7 – приемный преобразователь (ПП–04); 8 – индикаторный блок (Я2М–69)

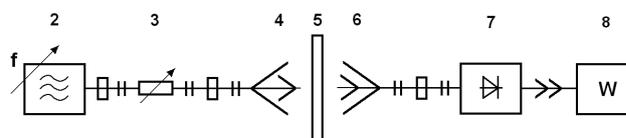


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки: 2 – генератор СВЧ (ГЗ–14А), 3 – аттенюатор, 4 – передающая антенна, 5 – исследуемый материал, 6 – приемная антенна, 7 – приемный преобразователь (ПП–04), 8 – индикаторный блок (Я2М–69)

На юстировочной станине 1 расположен генератор 2 СВЧ (ГЗ–14А), аттенюатор 3, передающая антенна 4, исследуемый материал 5, приемная антенна 6, приемный преобразователь 7 (ПП–04) и индикаторный блок 8 (Я2М–69). Элементы 2, 3, 4, 5 и 8 закреплены неподвижно. Элементы 6 и 7 могут передвигаться вдоль станины 1 с возможностью установки на заданном расстоянии от антенны 4.

Изменять угол падения электромагнитной волны на исследуемый материал можно поворотом излучателя или исследуемого образца вокруг оси. Практически проще, надежнее и точнее поворачивать исследуемый образец.

Изменение поляризации электромагнитной волны можно осуществить при использовании излучателя с круговой поляризацией или с линейной при двух ортогональных поляризациях. Получение большей точности при сравнительно простой конструкции обеспечивается во втором случае.

При проведении большого объема экспериментальных работ по измерению коэффициента отра-

жения целесообразно использовать установку в автоматическом режиме. При этом должны синхронно вращаться исследуемый образец и приемная система, причем угловая скорость последней должна быть вдвое больше угловой скорости исследуемого объекта.

Снятие зависимости диаграммы направленности рассеянного поля от угла падения электромагнитной волны можно выполнять, перемещая приемник вокруг исследуемого образца при неизменном положении последнего. Предлагаемая измерительная установка в значительной мере удовлетворяет вышеизложенным требованиям. В помещении, для устранения паразитных переизлучений между антеннами, при помощи поглощающих материалов с уровнем отражения сигнала 50дБ, имитировалась безэховая камера.

Применение рупорных антенн с достаточно малым уровнем боковых лепестков и хорошим согласованием с передающим трактом обеспечило минимальную многократную связь антенн. Величина отражения устранялась применением согласующих трансформаторов на входе антенн.

Условия получения плоской волны выполнялись при расстояниях передающая антенна – исследуемый образец и приемная антенна исследуемый образец, равных

$$L = \frac{2D^2}{\lambda},$$

где D – размер излучающего устройства.

При этом погрешность, обусловленная линзовыми свойствами материала в исследуемой области измерения его параметров, не превышала 2 %.

Коэффициент отражения определяется сравнением сигналов, отраженных образцом и эталоном, измеренных при таких условиях, когда множители ослабления одинаковы. В качестве эталонного отражателя применялся полированный медный лист одинаковых с образцом размеров. Коэффициент отражения

$$R^{-1} = \text{anti lg} \frac{A_1}{20},$$

где A_1 – отсчет по аттенюатору.

В связи с тем, что исследуемые материалы поглощают мощность намного больше, чем отражают, возможно, измерение коэффициента экранирования методом замещения без учета отражения. Модуль коэффициента экранирования образца определяется путем сравнения сигналов, поступивших в приемную антенну в отсутствие и при наличии измеряемого образца. Коэффициент экранирования

$$S^{-1} = \text{anti lg} \frac{A_2}{20},$$

где A_2 – отсчет по аттенюатору.

Для определения геометрических размеров образцов при измерении коэффициентов отражения и экранирования на экспериментальной установке снимались диаграммы распределения электромагнитного поля. Это позволило выбрать размер исследуемого

образца и судить о величине дифракционных поправок, уровне сигнала нежелательных отражений и просачиваний энергии в приемную антенну.

6. Экспериментальные исследования неоднородных поглощающих материалов

В поглощающем материале величина комплексной диэлектрической проницаемости изменяется только в направлении распространения электромагнитных волн и остается постоянной в перпендикулярной плоскости.

Материал изготавливался двух типов, отличающихся между собой принципом согласования со свободным пространством, диэлектрической проницаемостью основания, законом распределения графита в материале и геометрией передней поверхности.

Первый тип представляет собой блок с плоской передней поверхностью. Он состоит из неоднородного диэлектрика без потерь, в качестве согласующего слоя, и неоднородного диэлектрика с потерями, обеспечивающего затухание электромагнитных волн при их распространении в материале.

В диапазоне частот 10 ГГц до 75 ГГц и углов падения электромагнитной волны в пределах $0-70^\circ$ диэлектрическая проницаемость изменялась от 1 до 2,0. Согласующий слой изготавливался из пяти отдельных пластин пенополистирола с различной диэлектрической проницаемостью, возрастающей от первого слоя к последнему.

Неоднородный диэлектрик с потерями изготавливался пятислойным также из пенополистирола с $\epsilon_1=2,0$. В каждый слой в качестве поглощающего материала добавлялся аквадаг различной концентрации. Полученные таким образом слои в определенной последовательности соединялись в монолитный блок и вместе с согласующим слоем составили поглощающий материал первого типа.

Второй тип материала представляет такую же структуру, как и материал первого типа, но без согласующего слоя. Для этого типа материала диэлектрическая проницаемость основания слоев близка к единице. В каждый слой добавлялось определенное количество аквадага, рассчитанное по выражению

$$\epsilon_1 = 1 + \frac{3}{4} G, \quad \epsilon_2 = \frac{3}{4} G,$$

где G – вес графита на 1 г пенополистирола после первого вспенивания.

Для лучшего согласования поглощающего материала со свободным пространством на переднюю поверхность накладывался лист пенополистирола с $\epsilon_1 \approx 1$.

Непрерывное изменение ϵ_1 и ϵ_2 реализовать на практике трудно. Поэтому РПМ изготавливался многослойным изменением ϵ_1 и ϵ_2 , которые наибольшим образом приближены к расчетным значениям. На рис. 3 представлена зависимость коэффициента отражения электромагнитной волны от поглощающего материала первого типа с согласующим слоем и без него в функции угла падения для различных частот в исследуемом диапазоне. Анализируя графики, можно заключить, что поглощающий материал без согласующего слоя имеет коэффициент отражения больше, чем

с согласующим слоем. Кроме того, видно, что коэффициент отражения материала с согласующим слоем почти не зависит от угла падения электромагнитной волны. Для исследуемого частотного диапазона коэффициент отражения превышает -30 дБ и на частоте 75 ГГц достигает 40 дБ.

Коэффициент отражения материала первого типа зависит как от частоты, так и от угла падения электромагнитной волны. Для обоих типов материала коэффициент отражения остается практически постоянным для любого вида поляризации электромагнитных волн.

Для лучшего согласования РПМ со свободным пространством переднюю поверхность выполняют в виде конусов, пирамид к др. геометрических фигур [27–28].

Исследование РПМ проводилось на частотах 10 – 75 ГГц в зависимости от угла падения ЭМВ. Результаты исследований характеристик поглощающего материала с фигурной передней поверхностью представлены на рис. 4.

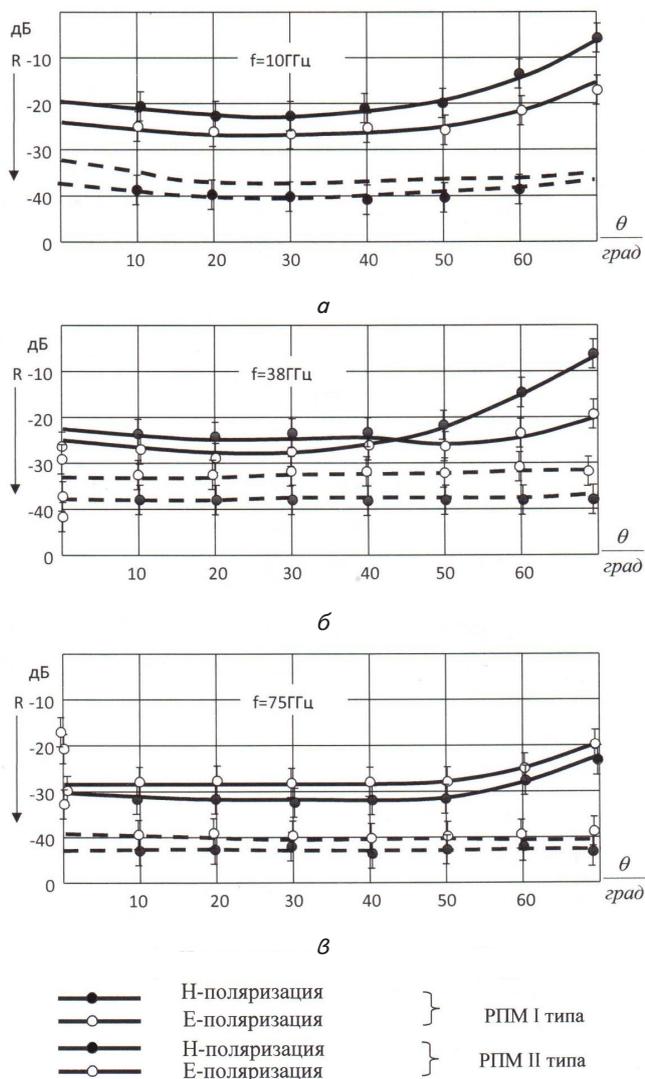


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения от угла падения электромагнитной волны на РПМ: a – на частоте 10 ГГц; $б$ – на частоте 38 ГГц; $в$ – на частоте 75 ГГц

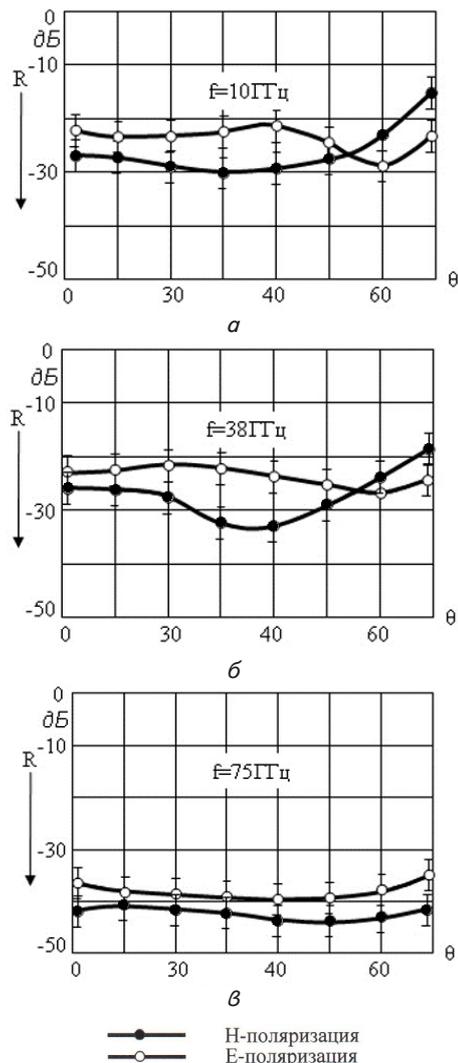


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения от угла падения электромагнитной волны на РПМ с рельефной поверхностью: a – на частоте 10 ГГц; $б$ – на частоте 38 ГГц; $в$ – на частоте 75 ГГц

При более глубоком исследовании общих закономерностей, изменений коэффициента отражения исследуемого материала с аналогичной поверхностью, но с различными параметрами, такими, как высота конуса, угол при его вершине и т. д., можно получить РПМ с улучшенными характеристиками, как коэффициента отражения, так и поглощения.

Для материала с рельефной передней поверхностью коэффициент отражения существенно зависит от угла падения ЭМВ и плоскости ее поляризации на частоте 75 ГГц. С увеличением длины электромагнитной волны, поглощающие свойства РПМ значительно ухудшаются.

7. Результаты исследований поглощающего материала на основе пенополистирола с добавлением графита

Для обеспечения приближенной к расчетной величине коэффициента отражения и поглощения электромагнитной волны, было предложено разработать

7. Результаты исследований поглощающего материала на основе пенополистирола с добавлением графита

Для обеспечения приближенной к расчетной величине коэффициента отражения и поглощения электромагнитной волны, было предложено разработать образец поглощающего материала на основе пенополистирола с добавлением графита. Данный материал предполагается изготавливать с фигурной передней поверхностью в виде вогнутых конусов с углом при вершине 25° и толщиной 0,12 м и линейным законом изменения концентрации графита.

Усовершенствована методика асимптотического решения задачи синтеза неотражающего слоя при нормальном падении плоской волны и распространена на общий случай: произвольную структуру поля и направление падения. Показано, что свойства покрытия определяются в конечном итоге пространственной неоднородностью электрофизических свойств материала в направлении распространения ЭМВ.

8. Обсуждение результатов исследования материала

Проведенные исследования показали, что при изготовлении поглощающих материалов на основе пенополистирола с добавлением графита, позволяют получить покрытие, необходимое для создания защиты биологической системы от воздействия СВЧ излучений, используя при этом минимальное количество составляющих компонентов. Результаты исследований позволяют утверждать, что данный материал обладает улучшенными параметрами, как коэффициента отражения, так и поглощения, что в дальнейшем может быть рассмотрено для применения в медицинских учреждениях. В частности, для создания коллективных и индивидуальных средств защиты медицинского и обслуживающего технического персонала от воздействия СВЧ излучений. К недостаткам данных исследований можно отнести то, что для получения

достоверных результатов необходимо согласование между электродинамическими, геометрическими и частотными характеристиками экспериментальной установки, что на данном этапе исследования довольно затруднительно. Так как поле является суперпозицией прямой волны, паразитных излучений, большого числа отраженных волн и внешних источников, которые имеют случайные амплитуды и фазы, вследствие этого невозможно применить аналитический метод расчета в пределах производственного помещения.

9. Выводы

1. Предложенный подход к исследованию и разработке резистивных поглощающих материалов на основе пенополистирола (EPS) с добавлением графита, обладает той особенностью, что позволяет реализовать расчетные законы изменения комплексной диэлектрической проницаемости. В частности, поглощающий материал без согласующего слоя с добавлением в каждый слой аквадага различной концентрации, имеет коэффициент отражения больше, чем с согласующим. Поглощающие свойства материала практически не зависят от угла падения электромагнитной волны.

2. Предложенный подход позволяет создать материал с наилучшими коэффициентами отражения и поглощения в широком диапазоне углов падения электромагнитной волны в нижней части частотного диапазона. Применение в материале отражающих элементов конусообразной формы, приводит к существенному возрастанию коэффициента поглощения РПМ. Это, в свою очередь, позволило получить материал малой толщины в широком диапазоне длин волн.

3. Материал для экранирования ЭМИ на основе пенополистирола (EPS) с добавлением графита, обладает высокими экранирующими свойствами без использования сложной технологии изготовления. Наилучшими характеристиками в исследуемом диапазоне частот обладает аквадаг с размером частиц графита 30–70 мкм.

Литература

1. Черный, А. П. Современное состояние исследований влияния электромагнитных излучений на организм человека [Текст] / А. П. Черный, В. В. Никифоров, Д. И. Родькин, В. Ю. Ноженко // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – 2013. – № 2/2013 (2). – Режим доступа: http://eetecs.kdu.edu.ua/2013_02/EETECs2013_0208.pdf
2. Бараночников, М. Л. Магнитоэлектроника. Т. 1 [Текст] / М. Л. Бараночников. – М: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
3. Шибкова, Д. З. Эффекты воздействия электромагнитных излучений на разных уровнях организации биологических систем [Текст] / Д. З. Шибкова, А. В. Овчинникова // Успехи современного естествознания. – 2015. – №. 5.
4. Barnes, F. S. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields: Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields [Text] / F. S. Barnes, B. Greenebaum. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
5. Chow, E. Y. Wireless and the study of RF propagation through ocular tissue for development of implantable sensors [Text] / E. Y. Chow, C. L. Yang, Y. Ouyang, A. Chlebowski, P. P. Irazoqui, W. J. Chappell // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2011. – Vol. 59, Issue 6. – P. 2379–2387. doi: 10.1109/tap.2011.2144551
6. Guy, A. W. Analyses of electromagnetic fields induced in biological tissue by thermographic studies on equivalent phantom models [Text] / A. W. Guy // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1971. – Vol. 19, Issue 2. – P. 205–214. doi: 10.1109/tmmt.1968.1127484
7. Девятков, Н. Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты [Текст] / Н. Д. Девятков // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 110, №. 7. – С. 453–454.
8. Пресман, А. С. Электромагнитные поля и живая природа [Текст] / А. С. Пресман. – Рипол Классик, 2013. – С. 33–60.

9. Яшин, С. А. Система регистрации собственных низкоинтенсивных электромагнитных полей на организм человека [Текст] / С. А. Яшин // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. 20, № 3. – С. 158.
10. Александров, Ю. А. Исследование уровня электромагнитных излучений от некоторых технических устройств [Текст] / Ю. А. Александров, А. А. Остапенко, А. В. Генинов // Вестник Приазовского государственного университета. – 2014. – Вып. 28. – С. 188–199.
11. Алмазова, О. Б. Микроволны изменяют сопротивляемость живых организмов по отношению к ионизирующей радиации [Текст] / О. Б. Алмазова, Б. Г. Емец // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 4, № 9 (58). – С. 19–23. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/5737/5169>
12. Федорович, С. В. Влияние различных видов излучений на здоровье работников [Текст] / С. В. Федоров и др. – Проблемы общественного здоровья и здравоохранения, 2004. – С. 111.
13. Крылов, В. А. Защита от электромагнитных излучений [Текст] / В. А. Крылов, Т. В. Юченкова. – М.: Сов.радио, 1976. – 216 с.
14. Островский, О. С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн [Текст] / О. С. Островский, Е. Н. Одеренко, А. А. Шматько – Физическая инженерная поверхность. – 2003. – Т. 1, № 2. – С. 161–172.
15. Лыньков, Л. М. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения [Текст] / Л. М. Лыньков, В. А. Боруш, В. П. Глыбин и др.; под ред. Л. М. Лынькова. – Мн., 2000. – 284 с.
16. Performance optimization techniques in analog, mixed-signal, and radio-frequency circuit design [Text]. – Book series: Advances in Computer and Electrical Engineering (ACEE), 2015. – 268 p.
17. Hunter, I. C. Propagation and negative refraction [Text] / I. C. Hunter, A. I. Abunjaileh, J. D. Rhodes, R. V. Snyder, M. Meng // IEEE Microwave Magazine. – 2012. – Vol. 13, Issue 5. – P. 58–65. doi: 10.1109/mmm.2012.2197144
18. Valanju, P. M. Wave refraction in negative-index media: Always positive and veri inhomogeneous [Text] / P. M. Valanju, R. M. Wassler, A. P. Valanju // Physical Review Letters. – 2002. – Vol. 88, Issue 18. – P. 187401. doi: 10.1103/physrevlett.88.187401
19. Боруш, В. А. Электромагнитные излучения. Метод и средства защиты [Текст] / В. А. Боруш, Т. В. Борботько, А. В. Гусинский и др.; под ред. Л. М. Лынькова. – Мн., 2003. – 398 с.
20. Капура, И. В. Анализ методов и средств защиты радиоэлектронной аппаратуры от воздействия мощных электромагнитных излучений [Текст] / И. В. Капура, Б. В. Бакуменко // Системы обработки информации. – 2010. – № 6. – С. 87–90.
21. Александров, Ю. К. Измерительное устройство для определения электромагнитных свойств материалов в НЧ диапазоне электромагнитных волн [Текст] / Ю. К. Александров, В. М. Хохлов, А. С. Тюменева // Технология ЭМС. – 2013. – № 2 (45). – С. 35–48.
22. Погорелая, Л. М. Защита медицинского и промышленного персонала от воздействия патогенных полей с использованием матричного экрана [Текст] / Л. М. Погорелая и др. // Вестник новых медицинских технологий. – 2014. – Т. 21, № 1.
23. Лыньков, Л. М. и др. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения [Текст] / Л. М. Лыньков // Доклады БГУИР. – 2004. – Т. 2, № 5. – С. 152–167.
24. Wallace, J. L. Broadband Magnetic Microwave Absorbers: Fundamental Limitations [Text] / J. L. Wallace // IEEE Transactions on Magnetics. – 1993. – Vol. 29, Issue 6. – P. 4209–4214. doi: 10.1109/20.280862
25. Alu, A. Causaliti relations in the homogenization of metamaterials [Text] / A. Alu, A. D. Yaghjian, R. A. Shore, M. G. Silveirinha // Physical Review B. – 2011. – Vol. 84, Issue 5. – P. 1–16. doi: 10.1103/physrevb.84.054305
26. Hatakeyama, K. Electromagnetic Wave Absorber Using Ferrite Absorbing Material Dispersed with Short Metal Fibers [Text] / K. Hatakeyama, T. Inui // IEEE Transactions on Magnetics. – 1984. – Vol. 20, Issue 5. – P. 1261–1263. doi: 10.1109/tmag.1984.1063424
27. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред [Текст] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Физматгиз. 1959. – 532 с.
28. Дзюндзюк, Б. В. Методы расчета радиопоглощающих материалов [Текст] / Б. В. Дзюндзюк. – Харьковский институт радиоэлектроники, 1987. – 150 с.