

УДК 621.37

ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭКРАНАМИ НА  
ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СРЕД ИЗ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Оглоблин Г.В.

Целью настоящего исследования явилось получение эффективных экранов электромагнитного излучения для защиты и обеспечения условий безопасного труда персонала с радиоэлектронным оборудованием и электромагнитной совместимости путем управления искусственной средой и формирования геометрических неровностей поверхности экрана.

---

Ключевые слова. Электромагнитная волна, искусственная среда, экран, поверхность, диполь, жидкие кристаллы, свч-диапазон.

UDC 621.37

REFLECTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION SCREENS ON THE  
BASIS OF ARTIFICIAL ENVIRONMENTS

Ogloblin G. V.

AmGPGU, Komsomolsk-on-Amur, Russia.

The purpose of this study was to obtain effective electromagnetic radiation screens to protect and ensure safe working conditions for personnel with electronic equipment and electromagnetic compatibility by controlling the artificial environment and the formation of geometric irregularities of the screen surface.

---

Keyword. Electromagnetic wave, artificial medium, screen, surface, dipole, liquid crystals, microwave rang

Представлены результаты исследования характеристик ослабления и отражения электромагнитного излучения экранами на основе искусственных сред, содержащих проводящие дискретные элементы, в диапазоне частот 10 ГГц. Изучено влияние геометрических неровностей поверхности экрана на коэффициент отражения. Определена оптимальная с точки зрения минимума коэффициента отражения величина концентрации дискретных элементов в

многослойном экране. Показано, что геометрические неровности конструкции позволяют снизить величину коэффициента отражения экранов электромагнитного излучения до 18 дБ. В современном мире проблема контроля электромагнитной обстановки для обеспечения нормального функционирования радиоэлектронных устройств, защиты информации и экологической безопасности является весьма актуальной. Одно из решений данной проблемы – экранирование электромагнитных излучений с помощью специальных материалов и конструкций [1;2]. Наиболее эффективными с точки зрения подавления электромагнитных излучений являются металлические экраны. Однако их использование ограничивается тем, что они «работают на отражение» и поэтому создают помехи работающему в помещении радиоэлектронному оборудованию и неблагоприятную для здоровья персонала электромагнитную среду [2; 3], а также визуализируют объект на индикаторе радиолокационной станции. Поэтому для изготовления экранов электромагнитного излучения используют неметаллические компоненты и композиционные материалы, реализующие различные механизмы потерь: диэлектрические и магнитные потери, дисперсию, дифракцию, интерференцию и внутренние переотражения электромагнитных волн, вызывающие дополнительно ослабление энергии электромагнитной волны вследствие релеевского рассеяния, сложения волн в противофазе и др. [2; 4 – 6]. Для обеспечения широкого диапазона рабочих частот экранов электромагнитных излучений применяются многослойные конструкции [2 – 4; 7], а также конструкции с геометрическими неоднородностями поверхности [2 – 4; 7; 10]. Основными недостатками большинства существующих конструкций экранов электромагнитного излучения являются значительная масса и габариты, что может быть преодолено благодаря использованию дискретных наполнителей при сохранении технологичности их изготовления и эффективности экранирования. В качестве дискретных наполнителей экранов электромагнитного излучения широкое применение нашли материалы, обладающие магнитными свойствами и имеющие высокую электропроводность, диэлектрики с высокими значениями магнитной проницаемости и полупроводники. Наиболее распространенными являются металлические и ферритовые порошки, технический углерод и фуллерены. Инкорпорирование указанных материалов в виде порошков в связующие диэлектрические вещества позволяет создавать композиционные экраны электромагнитного излучения с требуемым значением ослабления энергии электромагнитного излучения в рабочем диапазоне частот и температур [3; 8

– 10]. В сверхвысокочастотной технике широко используются искусственные диэлектрики. Диэлектрики выполненные из дискретных, волноводных, металлопластинчатых проводящих элементов позволяющие оптимально снизить вес по сравнению с природным диэлектриком и максимально получить положительный результат по заранее заданным параметрам. Искусственные диэлектрики применяют в СВЧ-диапазоне, в виде– аналогов оптических устройств - линзы, призмы, бипризмы, плоские пластины, решётки, пространственные структуры. Кратко рассмотрим некоторые из них. В источнике [13] приведены данные по наиболее востребованным искусственным диэлектрикам. Дана среда, расчётная формула, вид структуры, показатель преломления. В целом структуры можно разделить на среды с показателем преломления больше единицы и среды с показателем преломления меньше единица. К искусственным средам с показателем больше единицы относятся структуры с дискретными элементами и металлопластинчатые с фазовым набегом. На рис.1 приведён образец металлопластинчатой структуры в виде пластины с показателем преломления 1,43. При ширине между пластинами 10мм и ориентации их к электрическому вектору  $E$  падающей электромагнитной волны под углом  $45^\circ$ . При этом ориентация электрического вектора  $E$  должна быть перпендикулярна волноводному каналу. На рис.1 приведен действующий образец таких структур.

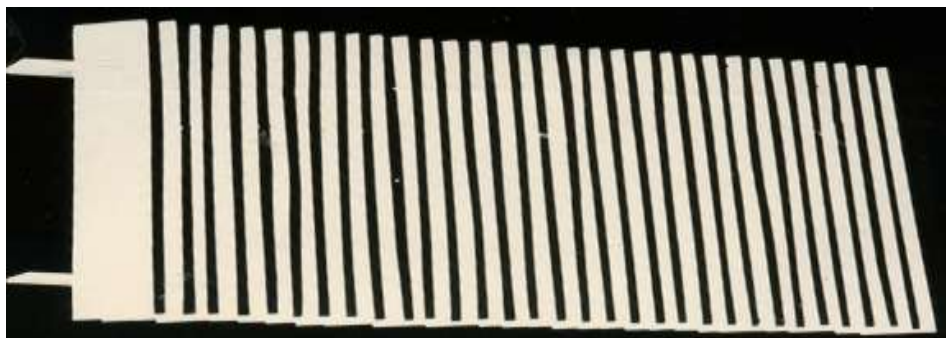


Рис.1. Металлопластинчатая структура с показателем преломления 1,43.

Или металлопластинчатая структура с  $n < 1$  рис.2. В этом случае показатель преломления будет меньше единицы, а электрический вектор будет параллелен стенкам волноводного канала.



Рис.2.Металлопластинчатая структура с  $n < 1$ .

При работе с экранами с дискретными структурами в виде прямоугольных отрезков равных  $\lambda$ ,  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$  мы использовали жидкокристаллические детекторы с мезофазой 42-50°C. Так на рис. 3 приведена термограмма вторичного излучения прямоугольного диполя, разрезного вибратора, где цветные изотермы отображают диаграмму вторичного излучения, а так же дают информацию о температуре данной изотермы.

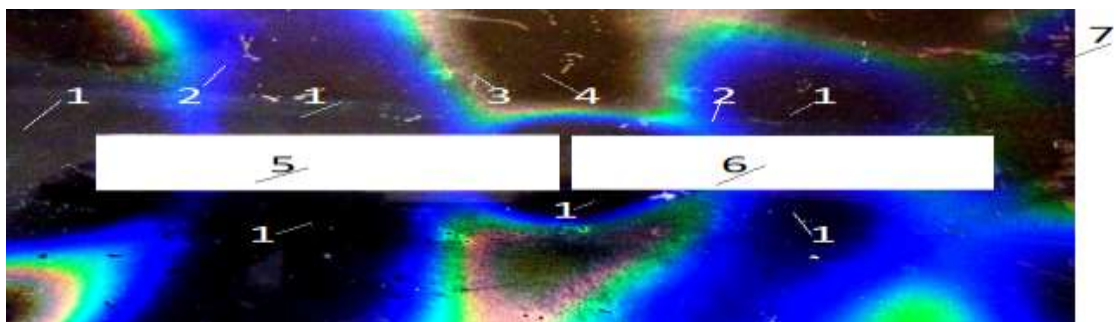


Рис.3.Термограмма разрезного вибратора –вторичное излучение. 1. Максимумы излучения, температура 50°C.2.Изотерма 47°C.3.Изотерма 42°C.4.Ниже 42°C. 5.Отрезок  $\lambda/2$ .6.Отрезок  $\lambda/2$ .7.Жидкокристаллический детектор.Падающее излучение на вибратор порядка 50вт.Время экспозиции 15 с.

На термограмме чётко просматривается сформированный вторичный фронт электромагнитной волны. Где каждая щель становится источником электромагнитных волн. Таким образом, полученный материал позволяет перейти к проверке выдвинутых выше идей. В работе [1] отмечается, что отражение электромагнитных волн имеет практическое значение и в основу

разрабатываемых методик положен метод Релея. При этом неровности на металлической поверхности могут быть различной формы. На рис.4 приведены графики характеристик направленности падения электромагнитной волны оптического диапазона для углов 45°С и 80 °С [1].

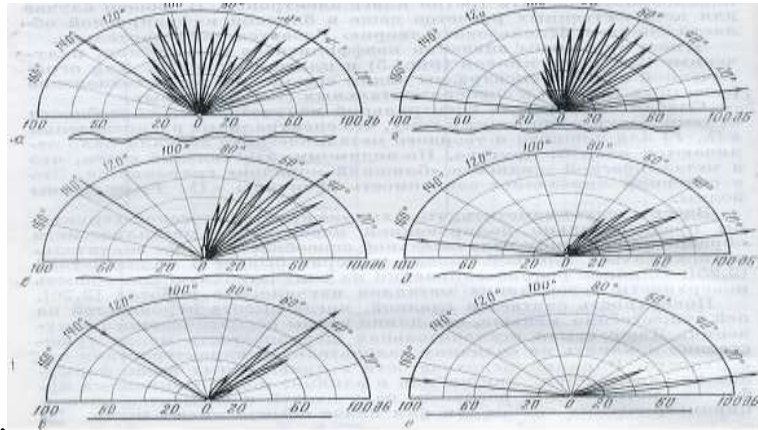


Рис.4.Графики отражения электромагнитной волны от синусоидальной металлической поверхности.

При этом длина волнистости выбраны для всех случаев равной 10, а амплитуда волнистости различна для всех шести графиков. Из анализа графиков, следует, что рассеивание электромагнитной волны зависит от чистоты поверхности, чем больше амплитуда неровностей тем сильнее диафрагирует электромагнитная волна. Отмечается, что размер неровности связан с длиной волны чем больше неровность по отношению к длине волны тем сильнее рассеивание. Таким образом, чтобы получить рассеянный сигнал от металлической поверхности нам необходимо выполнить условие Н [1]

$$H=2\pi a/\lambda,$$

Где а – амплитуда волнистости поверхности,  $\lambda$ - длина волны излучения, Н- критерий волнистости.

Для реализации нашей задачи нам необходима поверхность с металлопластинчатой структурой [2], в технике СВЧ такие структуры называют искусственными диэлектриками. Они могут быть, по показателю преломления, больше или меньше единицы. Для опыта нам необходимы рис.5:1-генератор ГЗ-14А, коаксиально-волноводный переход, рупорная антенна, 4-отражающее зеркало (металл), 5-датчик СВЧ, 6- пантограф, 7- транспортер, 8 осциллограф.

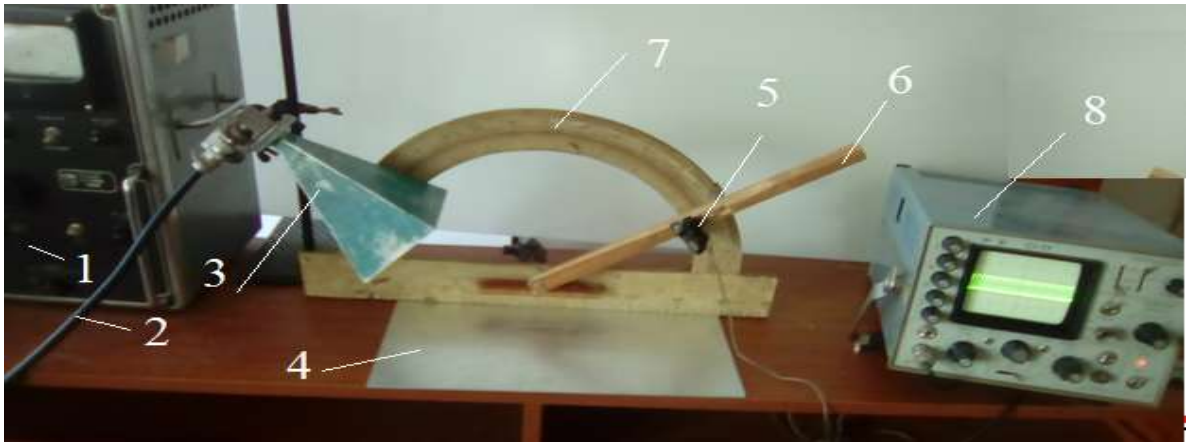


Рис.5. Установка для опыта по исследованию отражения электромагнитных волн от зеркальной металлической поверхности.



Рис.6. Установка для опыта по исследованию отражения электромагнитных волн от поверхности из дискретных металлических элементов.

Повторяем опыт, покрыв зеркало 4 слоем стружки 5, сигнал принимаемый детектором 6 отображается на осциллографе 8. Перемещая зонд-детектор по дуге фиксируем сигнал. Для сравнения полученных результатов отразим их в графической форме в прямоугольной системе координат рис.7, где по оси абсцисс отложим угловые значения, а по оси ординат интенсивность сигнала.

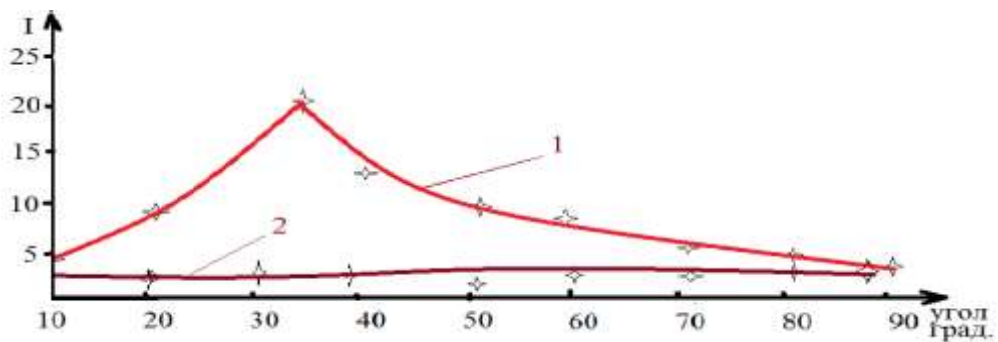


Рис.7. Графики отражения электромагнитных волн от поверхности. 1-от металлического зеркала. 2- от дискретных металлических элементов.

Расчёт коэффициента ослабления отражённого сигнала проводим по формуле:

$$K = 20 \log \frac{I_1}{I_2} = 20 (\log I_1 - \log I_2) = 18,86 \text{ Дб.}$$

Таким образом, для того, чтобы ослабить отражённый от металлической поверхности сигнал, необходимо покрыть данную поверхность линейными дискретными элементами размером больше  $L > \lambda/4$ . На рис.8, представлен натуральный образец защитного экрана позволяющий выполнить защиту комнаты, оборудования, персонала от электромагнитного сигнала.

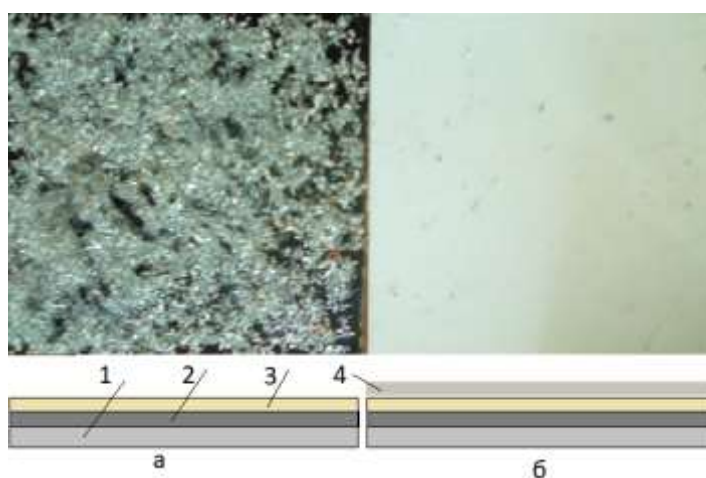


Рис.8. Защитный экран – конструктор. 1.Пенистый полистирол. 2.Зеркально отражающая поверхность. 3.Дискретные элементы(стружка). 4.Пенистый полистирол.

Вывод: На основе дискретных металлических объектов созданы панели 50x50x0,8см которые гасят сигнал как внешний так и внутренний –от работающей аппаратуры.

Литература.

1. Шапиро, Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования / Д.Н. Шапиро. – Л.: Энергия, 1975. – 112 с.
2. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В.А. Богуш [и др.]; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2003. – 406 с.

3. Углеродсодержащие минералы и области их применения / Т.В. Борботько [и др.]. – Минск: Бестпринт, 2009. – 156 с.
4. Шнейдерман, Я.А. Новые радиопоглощающие материалы / Я.А. Шнейдерман // Зарубежная радиоэлектроника. – 1969. – № 6. – С. 101 – 124. 5. Knott, E.F. Radar Cross Section / E.F. Knott, J.F. Shaeffer, M.T. Tuley. – Norwood, MA., USA: Artech House, Inc., 1993. – 611 p.
6. Маковецкий, П.В. Отражение радиолокационных сигналов. Лекции / П.В. Маковецкий, В.Г. Васильев. – Л.: ЛИАП, 1975. – 50 с.
7. Säily, J. Studies on specular and non-specular reflectivities of radar absorbing materials (RAM) at submillimetre wavelengths / J. Säily, A.V. Räisänen. – Espoo, Finland: Helsinki University of Technology Radio Laboratory Publications, 2003. – 56 p.
8. Iha, V. Composite based on waste-ferrites as microwave absorbers / V. Iha, A. Banthia // Indian J. Phys. – 1989. – Vol. 63, № 5. – P. 514 – 525.
9. Chung, D.D.L. Materials for Electromagnetic Interference Shielding / D.D.L. Chung // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2000. – № 9(3). – P. 350 – 354.
10. Лыньков, Л.М. Микроволновые и оптические свойства многофункциональных экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, Е.А. Криштопова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы 4-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 – 21 окт. 2009 г. – Минск, 2009. – С. 23 – 25.
11. Радиопоглощающие свойства гибких экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита / Л.М. Лыньков [и др.] // Сб. науч. ст. Военной акад. Респ. Беларусь. – 2008. – № 15. – С. 57 – 61.
12. Оглоблин Г.В. Стулов В.В. Жидкокристаллический датчик для визуализации электромагнитных волн.//Теория и практика механической и электромагнитной обработки материалов. Материалы м.н-п.к. Комсомольск на Амуре 28-30 октября 2009г. Ч.1. Комсомольск-на-Амуре. 2009.С.61-64.
13. Оглоблин Г.В. Опыты со звуковыми и электромагнитными волнами. Комсомольск-на-Амуре: Изд. КГПУ, 2001.-92с



## ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭКРАНАМИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ СРЕД ИЗ ВОЛНОВОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Оглоблин Г.В. АмГПГУ, Комсомольск на Амуре, Россия

Целью настоящего исследования явилось получение эффективных экранов электромагнитного излучения для защиты и обеспечения условий безопасного труда персонала с радиоэлектронным оборудованием и электромагнитной совместимости путем управления искусственной средой и формирования геометрических неровностей поверхности экрана.

---

Ключевые слова. Электромагнитная волна, искусственная среда, экран, поверхность, диполь, жидкие кристаллы, свч-диапазон.

## REFLECTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION BY SCREENS BASED ON ARTIFICIAL ENVIRONMENTS OF WAVEGUIDE ELEMENTS

Ogloblin G. V. AmGPGU, Komsomolsk-on-Amur, Russia

The purpose of this study was to obtain effective electromagnetic radiation screens to protect and ensure safe working conditions for personnel with electronic equipment and electromagnetic compatibility by controlling the artificial environment and the formation of geometric irregularities of the screen surface.

---

Keyword. Electromagnetic wave, artificial medium, screen, surface, dipole, liquid crystals, microwave range.

Для оконных проёмов можно использовать жалюзи выполненные из металлопластинчатых структур  $n < 1$ . При этом необходимо учитывать длину волны работающей аппаратуры. Этот процесс можно моделировать в волноводной линии, сантиметрового диапазона электромагнитных волн, где

$$V_{\Phi} = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_k}\right)^2}},$$

где  $\lambda$  – длина электромагнитной волны в свободном пространстве,  $\lambda_k$  – критическая длина волны для данного волновода. Тогда

$$V_{\phi} = \frac{c}{n}$$

Или

$$c/n = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_k}\right)^2}},$$

отсюда

$$n = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_k}\right)^2}$$

т.е. условие распространения волны связано с показателем преломления в волноводе, а также с шириной волновода **a** для волны  $H_{01}$  (электрический вектор перпендикулярен стороне **a**):

$$n = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}, \quad \lambda_k = 2a.$$

Следовательно, изменяя **a**, мы можем регулировать прохождение волн через волновод.

1. Если  $\lambda > 2a$ ; в этом случае волны затухают.
2. Если длина участка **h** волновода с  $a < \lambda/2$  невелика, то следует ожидать просачивание волн сквозь этот участок.
3.  $\lambda < 2a$ ; волна распространяется.

На рис.1 представлены три случая прохождения волны. Кривая ABCD иллюстрирует туннельный эффект.

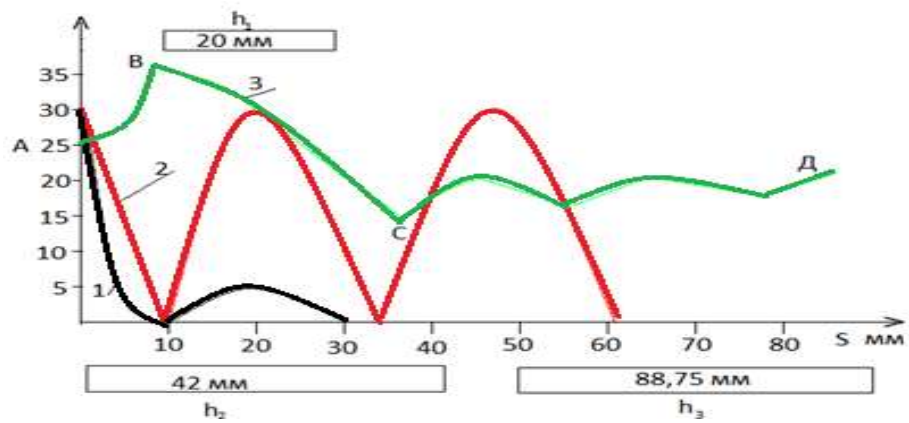


Рис.1. График прохождения волн через модель потенциального барьера.

Таким образом, если длина волны  $\lambda > 2a$  - волна затухает. То для частоты 10ГГц расстояние между полосами должно быть порядка 20мм. В качестве примера рассмотрим лабораторную установку по гашению электромагнитного сигнала рис 2.

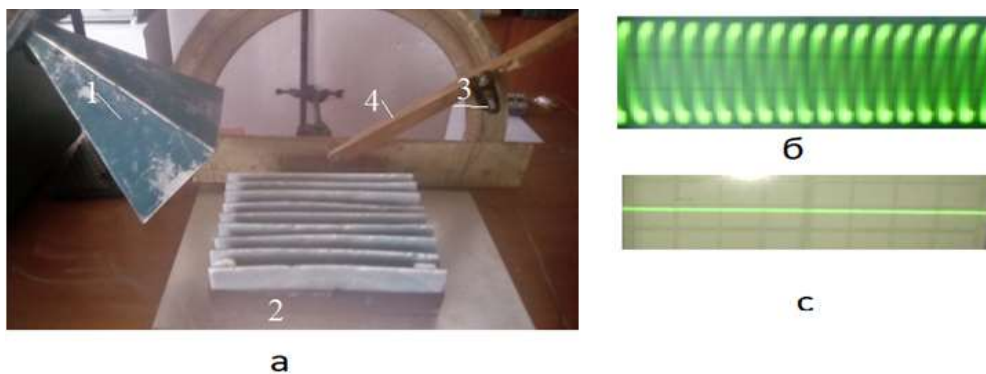


Рис.2.Лабораторный макет гашения электромагнитной волны частотой от 10ГГц.а.1.Рупорный излучатель СВЧ генератора.2.Отражающее зеркало.3.Пластина  $\lambda/4$  из искусственного диэлектрика с  $n < 1$ . 4.Зонд-детектор закреплённый на подвижной штанге.5.Транспортир.6.Сигнал с детектора подаётся на осциллограф С1-76. б. Приёмный сигнал отражённый от металлического зеркал а. с. Приёмный сигнал отраженный от пластины толщиной  $\frac{1}{4}$  длины волны.

Оценим электромагнитное поле в СВЧ – печи с помощью жк-детектора разработанный в источнике [12]. Для исследования теплового действия электромагнитной волны в плоскости вектора  $E$  мы выбрали камеру

микроволновой печи типа «Sharp». Электромагнитные волны возбуждаются с помощью магнетрона в прямоугольном волноводе размером 40 x 90 мм. Открытый конец волновода входит в рабочую (резонансную) камеру размером 340x330x205 мм через боковую стенку. При включении СВЧ-печи электромагнитные волны, возбуждаемые магнетроном, излучаются в рабочую камеру. При этом в камере энергия электромагнитной волны распределяется в виде сгустков картина распределения, которых характерна для стоячей волны: пучность – узел. В пучности максимум энергии в узле минимум. Для отображения данной картины в видимом формате нами предлагается детектор на жидких кристаллах [14]. Детектор представляет собой стеклянную капсулу размером 170x150x2,1мм . Одну из сторон чернят. Для этого берут графит и смешивают в пропорции 2:1 с клеем ПВА. Полученную смесь равномерным слоем наносят на одну из сторон капсулы. Нанесённый слой графита создаёт чёрный фон и одновременно является нагрузкой для электромагнитной волны. В тоже время сама стеклянная капсула является достаточной нагрузкой для электромагнитной волны так как её  $\epsilon \cong 7 \div 8$  на сверхвысоких частотах. Поэтому в качестве фона можно использовать чёрную эмаль. Вторая сторона капсулы прозрачна. Капсулу заполняют жидкими кристаллами холестерического типа с мезофазой 27-33°C. Детектор устанавливают перпендикулярно широкой стенке волновода параллельно вектору  $E$  электромагнитной волны. Ребро датчика упирается в открытый конец волновода, разделяя широкую стенку пополам. Для отображения картины теплового поля электромагнитной волны используется фотокамера в режиме серийной съёмки. Приведённые на рис.3 фотокадры развития теплового процесс электромагнитной волны выполнены в интервале 10 с.

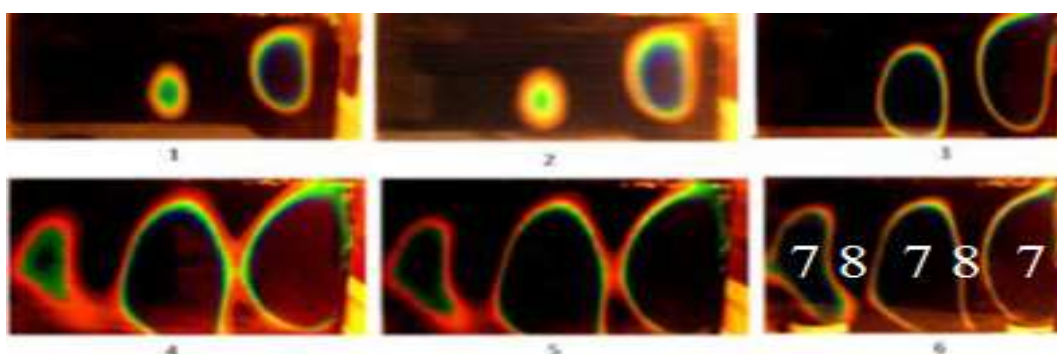


Рис.3.Динамика формирования теплового поля электромагнитной волны в резонаторе СВЧ-печи типа «Sharp». Кадра с 1-6 отображают развитие

теплового поля электромагнитной волны. Пучности, а это область внутри колец формируются постепенно по мере прогревания областей концентрации энергии, и её отдачи нагрузке. При этом детектор отображает половину картины распределение электромагнитной волны в камере. Полная картина распределения электромагнитной волны в камере будет представляться шестью пучностями. Кроме того чёрный фон внутри колец, свидетельствует о том, что температура выше 33°C. Жидкие кристаллы превратились в изотропную жидкость, поэтому просвечивается чёрный фон подложки. На границах раздела пучность-узел имеем набор изотерм, которые дают информацию о локализации энергии электромагнитной волны. Изотермы можно проанализировать, зная градуировочную шкалу для данных кристаллов [4]. По полученным фотографиям можно примерно определить длину излучаемой волны. Для этого необходимо на рис.4 измерить длину отрезка «а б» и полученную величину умножить на 4.

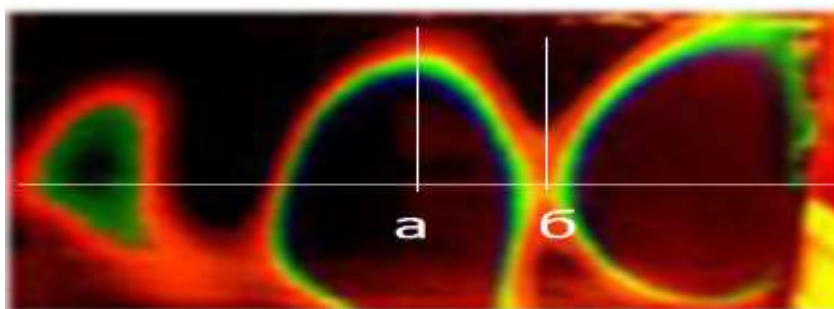


Рис.4. Схема, считывания отрезка равного четверти длины волны. Следует заметить, что измеренное значение длины волны будет справедливо, если режим формирования теплового поля установился.

Поперечный срез электромагнитной волны можно провести, если развернуть плоскость детектор перпендикулярно падающей волне и параллельно вектору  $E$ . В этом случае, мы использовали два детектора с жидкими кристаллами с мезофазой 42-50°C расположенные последовательно на расстоянии 40 мм друг от друга при этом первый детектор располагался на расстоянии 50мм от волноводного выхода. На рис. 5 представлен поперечный срез теплового поля электромагнитной волны.

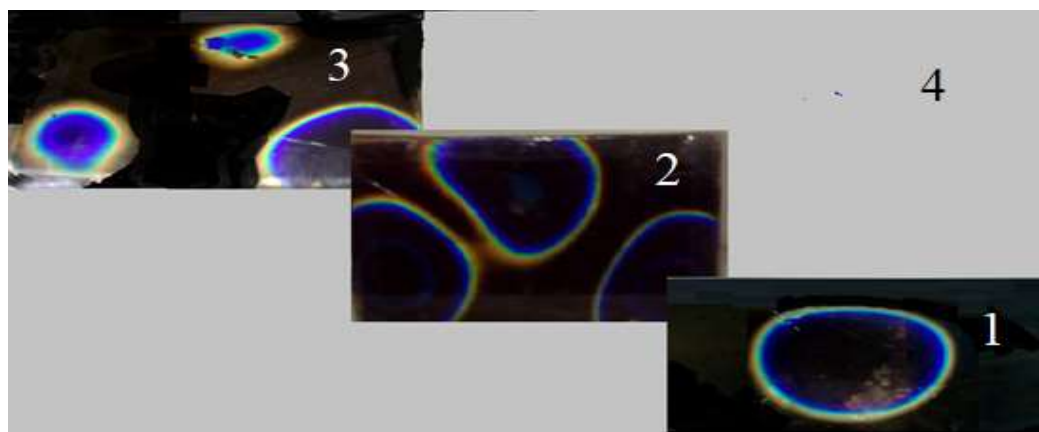


Рис.5. Поперечный срез теплового поля электромагнитной волны. 1. Детектор, установлен на расстоянии 50 мм от волноводного выхода. 2. Детектор, установлен на расстоянии 120 мм от первого детектора 3. детектор установлен на расстоянии 120мм от второго детектора 4. СВЧ-камера. Выдержка 15с.

Картина полученных термограмм отражает сложный характер электромагнитной волны. Изотермы голубого, синего, фиолетового цвета характеризуют области повышенной температуры. Картина поля от детектора к детектору меняется, что свидетельствует об её неоднородности. На рис.6 показана термограмма в центральной части СВЧ-печи. Из термограмм следует, что мы имеем два мощных тепловых поля с ярко выраженными центрами локализации. В этом случае для равномерного облучения рабочего вещества необходимо вращение. Данная операция в СВЧ-печи выполняется с помощью электропривода и вращающегося стеклянного подноса.

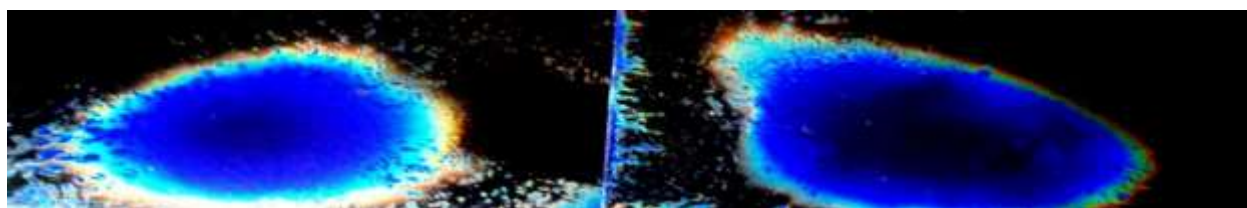


Рис. 6. Срез теплового поля в центральной зоне СВЧ-печи в плоскости параллельной дну резонансной камеры. Предложенная методика [15] анализа тепловых полей электромагнитной волны с помощью детектора в виде стеклянной капсулы с жидкими кристаллами позволяет получать информацию, как в качественном, так и количественном отображении. Предлагаемый детектор позволяет осуществить многократную постановку эксперимента. На рис.7 представлен макет защитного экрана от излучения 2.4ГГц.

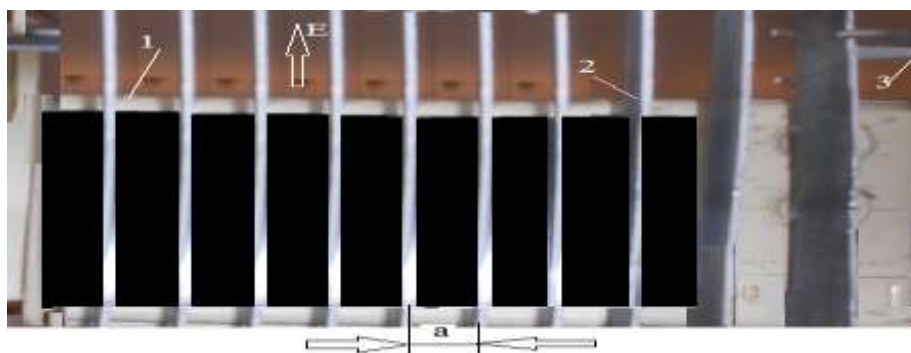


Рис.7.Экран типа «Потенциальный барьер».1. Металлопластинчатая структура с  $n < 1$ . 2.Проводящие пластины. 3.Обойма крепления пластин.

Ослабление сигнала в зоне экрана 31,17Дб.

Опытный образец экрана выполненный на основе предлагаемых технологий для СВЧ-печи рис.7, прошёл практическую проверку, а материалы и методика их применения могут быть использована для защиты биологических объектов..

Литература.

1. Шапиро, Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования / Д.Н. Шапиро. – Л.: Энергия, 1975. – 112 с.
2. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В.А. Богуш [и др.]; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск: Бестпринт, 2003. – 406 с.
3. Углеродсодержащие минералы и области их применения / Т.В. Борботько [и др.]. – Минск: Бестпринт, 2009. – 156 с.
4. Шнейдерман, Я.А. Новые радиопоглощающие материалы / Я.А. Шнейдерман // Зарубежная радиоэлектроника. – 1969. – № 6. – С. 101 – 124.
5. Knott, E.F. Radar Cross Section / E.F. Knott, J.F. Shaeffer, M.T. Tuley. – Norwood, MA., USA: Artech House, Inc., 1993. – 611 p.
6. Маковецкий, П.В. Отражение радиолокационных сигналов. Лекции / П.В. Маковецкий, В.Г. Васильев. – Л.: ЛИАП, 1975. – 50 с.
7. Säily, J. Studies on specular and non-specular reflectivities of radar absorbing materials (RAM) at submillimetre wavelengths / J. Säily, A.V. Räsänen. – Espoo,

Finland: Helsinki University of Technology Radio Laboratory Publications, 2003.  
– 56 p.

8. Iha, V. Composite based on waste-ferrites as microwave absorbers / V. Iha, A. Banthia // Indian J. Phys. – 1989. – Vol. 63, № 5. – P. 514 – 525.

9. Chung, D.D.L. Materials for Electromagnetic Interference Shielding / D.D.L. Chung // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2000. – № 9(3). – P. 350 – 354.

10. Лыньков, Л.М. Микроволновые и оптические свойства многофункциональных экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, Е.А. Криштопова // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы 4-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 – 21 окт. 2009 г. – Минск, 2009. – С. 23 – 25.

11. Радиопоглощающие свойства гибких экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита / Л.М. Лыньков [и др.] // Сб. науч. ст. Военной акад. Респ. Беларусь. – 2008. – № 15. – С. 57 – 61.

12. Оглоблин Г.В. Стулов В.В. Жидкокристаллический датчик для визуализации электромагнитных волн.//Теория и практика механической и электромагнитной обработки материалов. Материалы м.н-п.к. Комсомольск на Амуре 28-30 октября 2009г. Ч.1. Комсомольск-на-Амуре. 2009.С.61-64.

13. Оглоблин Г.В. Опыты со звуковыми и электромагнитными волнами. Комсомольск-на-Амуре: Изд. КГПУ, 2001.-92с

14.Оглоблин Г.В. жидкокристаллический детектор тепловых полей различной природы // Научный электронный архив.

URL: <http://econf.rae.ru/article/5960> (дата обращения: 08.03.2018).

15. Москвитина А, Оглоблин Г.В. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СВЧ – ПЕЧИ // Научный электронный архив.

URL: <http://econf.rae.ru/article/8102> (дата обращения: 08.03.2018).



