

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЛОКАЛИЗАЦИИ И ОСЛАБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

И.С. Антясов, А.Н. Соколов

Исследованы принципы локализации и ослабления электромагнитных волн в замкнутом пространстве альтернативной измерительной площадки (АИП) для проведения специальных исследований технических средств. Локализация электромагнитных волн внутри АИП достигается путем ее экранирования, а ослабление реализуется в три этапа – путем экранирования, радиопоглощения и применения радиочастотных фильтров. Проанализированы особенности экранирования для создания целостного контура защиты от промышленных электромагнитных излучений. Выполнен расчет глубины проникновения электромагнитного поля в материал экрана, эквивалентной толщины сетчатого материала и эффективности экранирования выбранного сетчатого материала в диапазоне частот. Проведен обзор радиопоглощающих материалов с учетом их преимуществ и недостатков. Показано, что предпочтительнее использовать композитные радиопоглощающие материалы, так как они более широкополосные и имеют меньшую массу и габариты.

Ключевые слова: альтернативная измерительная площадка (АИП); канал утечки информации; коэффициент стоячей волны (КСВ), побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН); радиопоглощение; радиопоглощающий материал (РПМ); специальные исследования (СИ); промышленные помехи; экранирование; экран; электромагнитная волна.

В процессе проведения специальных исследований (СИ), – при выявлении возможных технических каналов утечки защищаемой информации, используются так называемые альтернативные измерительные площадки (АИП). Основными характеристиками АИП являются эффективности экранирования и поглощения. Экранирование порождает проблему стоячих волн внутри АИП, препятствующих проведению измерений. Тем не менее, при недостаточном экранировании внешние промышленные помехи затрудняют проведение СИ. Поэтому при построении АИП актуальной является проблема выбора экранирующих и поглощающих материалов [1].

Под экранированием понимают локализацию электромагнитной энергии в определенном пространстве за счет ограничения распространения ее всеми возможными способами [2]. В понятие экрана могут входить как детали механической конструкции, так и электромеханические детали фильтрующих цепей и развязывающих ячеек: только их совместное действие приводит к ожидаемому результату. В связи с этим, мероприятия по ослаблению побочных электромагнитных излучений и наводок (ПЭМИН) можно разделить на три этапа: экранирование, радиопоглощение и применение радиочастотных фильтров [3].

1. Локализация и ослабление электромагнитных волн внутри АИП путем ее экранирования. Поскольку в большинстве случаев при измерениях приходится иметь дело с переменными (может быть, слабо флуктуирующими) полями, достаточным при построении АИП является применение электромагнитного экранирования.

С точки зрения волновых представлений эффект экранирования проявляется из-за многократного отражения электромагнитных волн от поверхности экрана и затухания энергии волн в его металлической толще [4]. Энергия отраженной волны тем больше, чем больше разница волновых сопротивлений граничащих сред.

В металле электромагнитная волна затухает по экспоненциальному закону. Мерой скорости этого процесса является глубина проникновения волны или толщина поверхностного слоя δ . При прохождении волны через толщину поверхностного слоя δ она ослабевает в e раз. Если же толщина будет равной d , она будет ослабевать в $e^{d/\delta}$ раз. Эффективность поглощения при этом определяется выражением

$$\mathcal{E}_{\text{погл}} = 16,7 d \sqrt{\frac{\mu_r f}{\rho}}, \text{ (дБ)} \quad (1)$$

где μ_r – относительная магнитная проницаемость материала экрана, ρ – его удельное сопротивление [Ом·м], f – частота [МГц].

Из (1) видно, что чем выше частота и толще экран, тем больше величина экранного затухания за счет поглощения.

Эффективность отражения по амплитуде для экрана с относительной магнитной проницаемостью μ_r составляет:

$$\mathcal{E}_{\text{отр}} = 5,5 + 10 \lg \frac{Z_0}{f \mu_r}, \text{ (дБ)} \quad (2)$$

где Z_0 – волновое сопротивление пространства, в котором распространяется волна [Ом].

Из (2) видно, что эффективность отражения уменьшается с увеличением частоты. Из формул (1) и (2) также следует, что экранирование за счет отражения преобладает на низких частотах, а за счет поглощения – на высоких частотах.

Для решения задачи эффективного экранирования и поглощения в заданном диапазоне (от 30 МГц до 2000 МГц) используется два экрана. Внешний экран применен с целью максимального экранирования (для отражения посторонних ЭМИ), а внутренний – с целью максимального поглощения (для успешного выполнения норм по затуханию).

Для обеспечения надежного экранирования необходимо обеспечить хороший электрический контакт по швам в местах соединений. Длина щелей при этом не должна превосходить 0,01 – 0,001 длины волны [3]. Использование листового материала при этом крайне неудобно, так как тяжело обеспечить целостность контура экрана в местах стыковки и изгибов металлических листов. Более практичными с технологической точки зрения являются сетчатые материалы.

Глубина проникновения ЭМП в материал экрана в [4, с.42] определена выражением:

$$\delta = 0,52 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \cdot (\text{дБ}) \quad (3)$$

На рис. 1 представлена зависимость глубины проникновения ЭМП от частоты для стального экрана с $\mu_r = 150$, $\rho = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Из рисунка видно, что с ростом частоты глубина проникновения ЭМП резко падает.

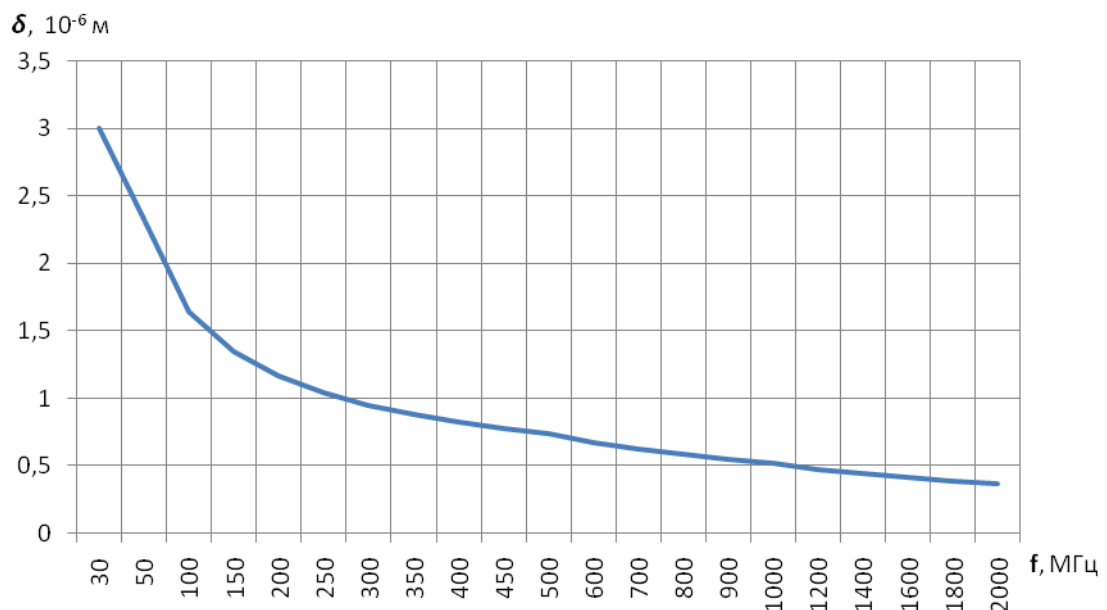


Рис. 1. Глубина проникновения электромагнитного поля в материал экрана

Для электрически толстого экрана, его толщина d должна быть больше глубины проникновения: $d > \delta$. Поэтому, с учетом рассматриваемого диапазона частот возможно использование распространенной стальной сетки (рис. 2) с радиусом проволоки 0,05 мм и шагом сетки 1 мм.

Эквивалентная толщина d_s сетчатого экрана в [4, с.56] определена формулой:

$$d_э = \pi r_s^2 / s, \quad (4)$$

где s – шаг сетки (размер ячеек), r_s – радиус проволоки.

На рис. 2 представлена зависимость от размера ячеек эквивалентной толщины сетки с радиусом проволоки 0,05 мм.

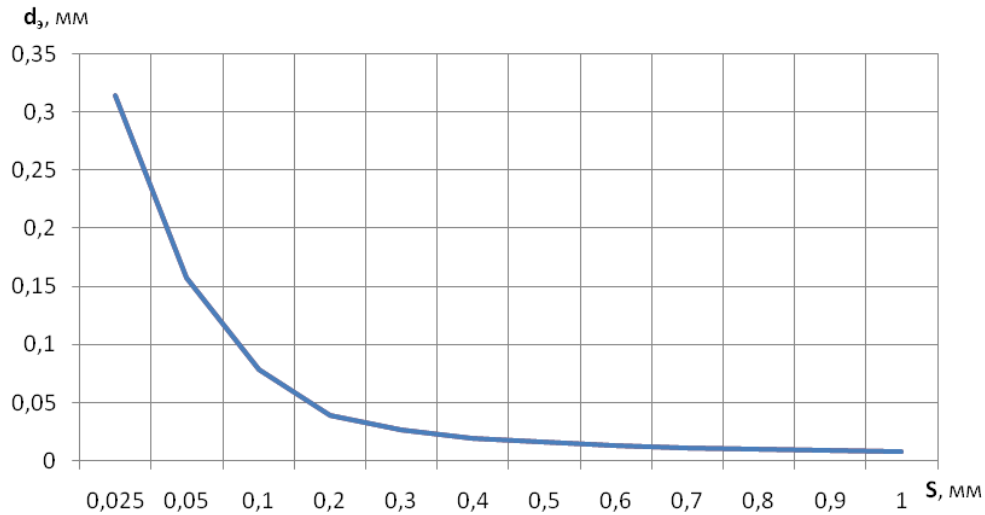


Рис. 2. Эквивалентная толщина сетчатого материала

Эффективность экранирования сетки в зависимости от частоты в [4, с. 140] определена формулой:

$$\mathcal{E}_{пл} = (d_э \frac{Z_0}{p})^{1/2} (\frac{\lambda}{R_э})^{1/3} (1 - \pi \frac{m}{\lambda})^6 \exp(\frac{\pi d_s}{s - d_s}), \quad (5)$$

где Z_0 – волновое сопротивление пространства распространения волны [Ом]; m – наибольший размер технологических отверстий – щелей [м]; $R_э$ – эквивалентный радиус экрана [м]; d_s – диаметр провода сетки [м].

На рис. 3 представлена эффективность экранирования сетки с радиусом проволоки 0,05 мм и шагом 1 мм в диапазоне частот.

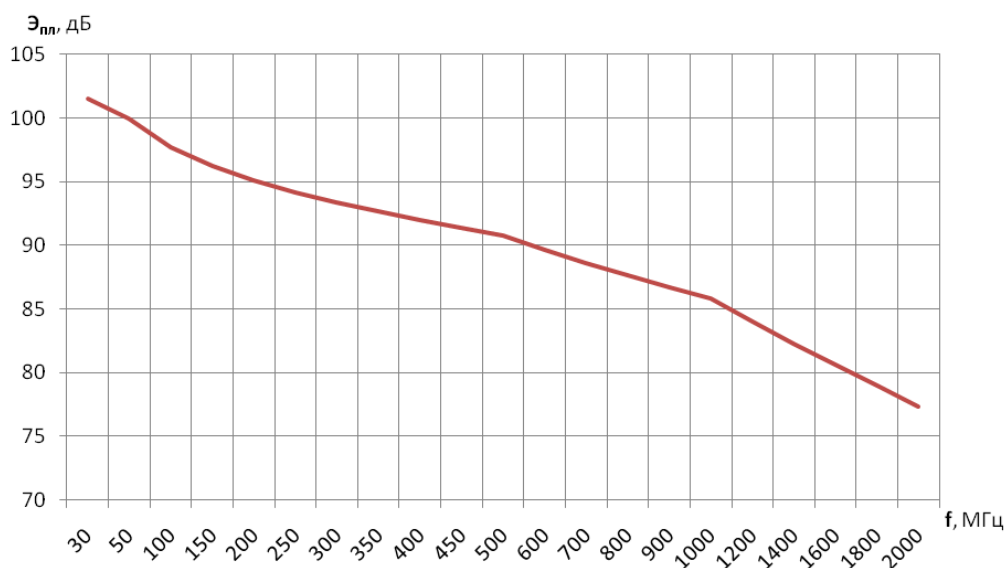


Рис. 3. Эффективность экранирования стальной сетки

Лучшими экранирующими свойствами обладают материалы с меньшим поверхностным сопротивлением, такие как медь, латунь, серебро. Но они, как правило, имеют высокую себестоимость.

Количество границ разделов существенно увеличивает эффективность отражения. Поэтому оптимально использовать два стальных, разнесенных в пространстве экрана, чем один медный. Эффект экранирования при этом будет выше, а себестоимость примерно в три раза меньше. Поскольку коррозия может существенно снизить эффективность экранирования, экраны дополнительно покрывают антикоррозийным лаком.

2. Ослабление электромагнитных волн внутри АИП путем применения РПМ. При оснащении помещения АИП необходимо обеспечивать радиопоглощение электромагнитных волн с целью минимизации стоячих волн, возникающих в следствие переотражений от стен экрана.

Для уменьшения КСВ используются особые РПМ. В состав РПМ входят неметаллическая (обычно полимерная или керамическая) матрица и мелкодисперсные порошкообразные или дискретные волокнистые проводящие наполнители (или их сочетание). При взаимодействии электромагнитного излучения с РПМ происходят одновременные процессы поглощения (обуславливающие тепловые потери), рассеяния (вследствие структурной и геометрической неоднородности материала) и интерференции радиоволн.

РПМ имеют несколько типов классификаций:

– по рецептурному составу: немагнитные диэлектрические (в качестве поглощающего наполнителя используются проводящие частицы и волокна на основе модификаций углерода (сажа, графит и др.) и немагнитные металлы (алюминий, медь и др.)), магнитодиэлектрические (мелкодисперсные порошки железа, никеля, кобальта, ферритов в диэлектрической полимерной матрице) и магнитные (ферритовые) материалы;

– по эффективному рабочему частотному диапазону, определяемого обычно коэффициентом отражения электромагнитных волн: широкодиапазонные и частотнонастроенные (или резонансные);

– по структурному признаку: однослойные, интерференционные, градиентные и комбинированные РПМ. Однослойные РПМ, имеющие однородную по толщине структуру и обладающие диэлектрическими и магнитными свойствами, являются узкодиапазонными и обеспечивают эффективное поглощение электромагнитного излучения при толщине, равной четверти длины волны. В интерференционных РПМ, представляющих собой чередование диэлектрических и проводящих слоев, уменьшение уровня отражённого сигнала достигается за счёт противофазного сложения волн, отразившихся от металлической поверхности объекта, диэлектрических прослоек и электропроводящих слоев. Градиентные РПМ – многослойные структуры с плавным или ступенчатым изменением по толщине комплексной диэлектрической (или магнитной) проницаемости. Разновидность РПМ градиентного типа – материалы с геометрическими неоднород-

ностями, имеющие рельеф поверхности в виде пирамид, конусов, трубок, шипов, гофров и т.п., уменьшение коэффициента отражения от которых достигается в результате многократного отражения волны от поверхностных неоднородностей и поглощения энергии при каждом отражении [5].

В РПМ со сложной структурой материалу придается структура или форма, увеличивающая его активную поверхность, обращенную к излучению. Материал делается волокнистым или пористым, со сложной, покрытой пирамидами (рис. 4) или конусами, поверхностью. Падая на такую поверхность, электромагнитная волна многократно отражается и теряет значительно больше энергии, чем при падении на ровную поверхность. Подобного эффекта добиваются, когда слои поглощаемого материала (активированный уголь, сажа, порошок карбонильного железа и т.п.) располагают в порядке возрастания их плотности по мере удаления от внешней поверхности экрана, т.е. при постепенном увеличении концентрации проводящих добавок по мере удаления от поверхности материала. Угол наклона граней пирамиды подбирается таким образом, чтобы максимально уменьшить энергию отраженного сигнала. Экспериментально было обнаружено, что оптимальным является угол около $12,5^\circ$.

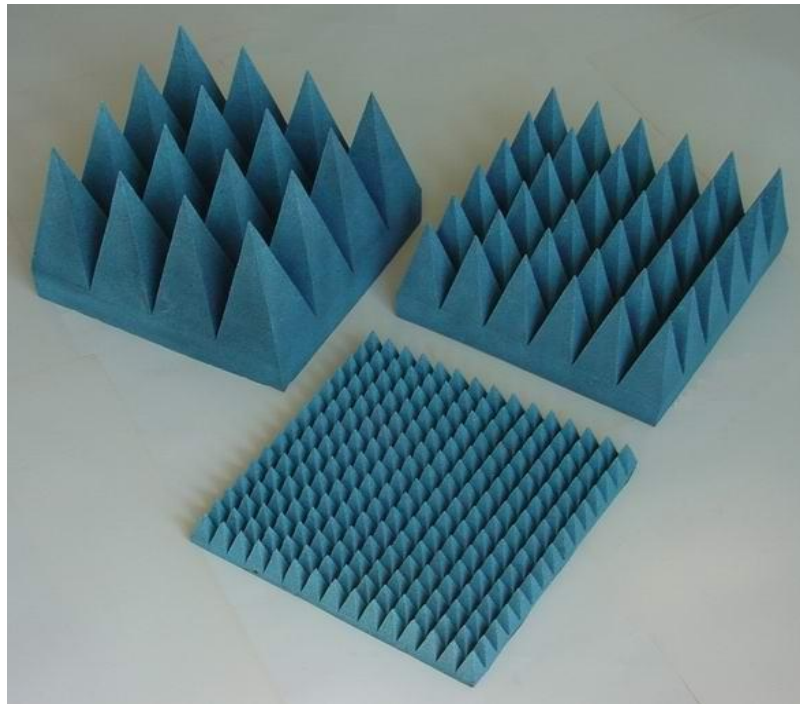


Рис. 4. РПМ пирамидального типа

РПМ со сложной структурой имеют ряд существенных недостатков: они имеют значительные габариты и вес (толщина пропорциональна длине волны), высокую стоимость, неудобство при сборке. Для необходимого нам диапазона частот средняя толщина РПМ пирамидального типа составляет 50 см, что существенно уменьшает полезный объем АИП. Тем не менее, несмотря на перечисленные недостатки, РПМ со сложной геометриче-

ской формой крайне эффективны для узкого диапазона частот, поэтому без их использования в некоторых помещениях невозможно выполнить требования нормативно-технической документации.

Более эффективное поглощение можно реализовать за счет свойств самих материалов (со значениями тангенса угла потерь, большими 1). Это уменьшает общую толщину РПМ. Экраны, выполненные из таких материалов, поглощают электромагнитную энергию в широком диапазоне частот и являются более широкополосными по сравнению с поглотителями резонансного типа, использующими четвертьволновое согласование или специфические особенности материала.

Отдельно можно выделить РПМ на основе бетона. Данные материалы выполнены на основе магнезиально-шунгитовой сухой штукатурной смеси. Их основные достоинства – высокая прочность, огнестойкость, ремонтпригодность. Но РПМ на основе бетона утолщают пол, потолок и стены, как минимум, на 50 см, а возведение таких конструкций обходится довольно дорого.

К наиболее перспективным можно отнести композитные РПМ. Их можно классифицировать по способу получения: спекание смеси порошков, приводящее к синтезу металлокерамики или керметов, и смешение неорганической части со смолами, парафинами, пластмассами. Данные материалы, обладая уникальным составом, при незначительной толщине (порядка нескольких сантиметров) позволяют достичь эффективного поглощения электромагнитной волны в широком диапазоне частот.

3. Ослабление электромагнитных волн внутри АИП путем фильтрации сетей питания. Для целей ослабления промышленных радиопомех используются сетевые помехоподавляющие фильтры, которые обеспечивают защиту электросетей. Основное значение фильтров – пропускать без значительного ослабления сигналы с частотами, лежащими в рабочей полосе, и подавлять сигналы за пределами полосы. Применение помехоподавляющих элементов позволяет минимизировать или полностью устранить паразитные генерации и побочные излучения, снизить восприимчивость аппаратуры к внешним электромагнитным полям и импульсным сигналам, устранить возможные каналы утечки информации. Чаще всего подобные фильтры представляют собой n -звенные пассивные LC -фильтры, выполненные в герметичных металлических корпусах [6].

В качестве фильтра, используемого для подавления промышленных помех, распространяющихся по питающей сети, на вход электропитания помещения устанавливается сетевой фильтр «ФСПК-40» или аналогичный с вносимым затуханием не менее 60 дБ в требуемом диапазоне частот. Он предназначен для защиты информации от утечки по однофазным двухпроводным сетям электропитания и подавления напряжений внешних помех питающей сети. Для эффективной работы помехоподавляющих фильтров необходимо предусмотреть их качественное заземление.

Библиографический список

1. Антясов, И.С. Особенности валидации альтернативной измерительной площадки для проведения специальных исследований технических средств / И.С. Антясов, Н.И. Войтович, А.Н. Соколов // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – № 1(11). – С. 10–15.
2. Богущ, В.А. Электромагнитные излучения, методы и средства защиты / В.А. Богущ, Т.В. Борботько, А.В. Гусинский. – Мн.: Бестпринт, 2003. – 406 с.
3. Петров, И.С. Локализация и ослабление побочных электромагнитных излучений от средств вычислительной техники путем экранирования электромагнитных волн / И.С. Петров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 23. – С. 189–191.
4. Полонский, Н.Б. Конструирование электромагнитных экранов для радиоэлектронной аппаратуры / Н.Б. Полонский. – М.: Сов. радио, 1979. – 216 с.
5. Авиация: Энциклопедия / гл. ред. Г.П. Свищев. – М.: Большая Российская Энциклопедия. – 1994. – Т. 1. – 736 с.
6. Зайцев, А.П. Технические средства и методы защиты информации / А.П. Зайцев, А.А. Шелупанов. – М.: Машиностроение, 2009. – 507 с.