

## ОСОБЕННОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЭКРАНАМИ С ОТВЕРСТИЯМИ

д.т.н. В.Д. Сахацкий, к.т.н. С.В. Хуторненко, В.Н. Савченко

*Экспериментально исследованы экранирующие свойства экранов из электропроводных композиционных материалов с отверстиями, размеры которых соизмеримы с длиной волны. Определены условия, при которых экранирующий материал полностью теряет свои экранирующие свойства, либо имеет минимальный коэффициент экранирования.*

Исследование характеристик замкнутых и незамкнутых экранов в большинстве известных работ осуществляется в поле плоской волны. Между тем на практике имеется множество случаев, когда экранирующий материал находится под воздействием полей ближних зон излучений. Это относится, например, к экранирующим корпусам радиоэлектронного оборудования и к экранированным помещениям. Часто источники промышленных радиопомех расположены вблизи производственных и жилых помещений и облучают их полями ближних зон излучений. Эти поля могут представлять опасность для телекоммуникационных средств и систем производственной связи, служить источниками помех для бытовой радиоаппаратуры.

В настоящее время в качестве экранирующих материалов используются электропроводные композиционные материалы. Из них изготавливаются корпуса радиоэлектронной аппаратуры, работающей в химически агрессивных средах, строятся экранированные помещения [1]. Теоретическое исследование экранирующих свойств таких материалов, оценка электромагнитной обстановки внутри и вблизи производственных помещений в условиях воздействия на композиционный экранирующий материал полей дальних и ближних зон излучения проведено в работах [2-4]. Настоящая работа является продолжением проведённых исследований в плане экспериментального подтверждения полученных теоретических результатов, а также экспериментального исследования экранирования полей ближних зон излучения в некоторых условиях, наблюдаемых на практике.

В [5] теоретически показано, что при падении плоской волны на отверстие в металлическом экране, размеры которого больше длины волны, уровень прошедшего излучения может превысить уровень падающего. В [2] показано, что аналогичные явления наблюдаются и для композиционных экранов.

Экспериментальная установка содержит генератор СВЧ 1 (Г4-32А), амплитудно - модулированные колебания которого через вентиль 2 (Э6-44) поступают на аттенюатор 3 (ДЗ-33А), (рис. 1).

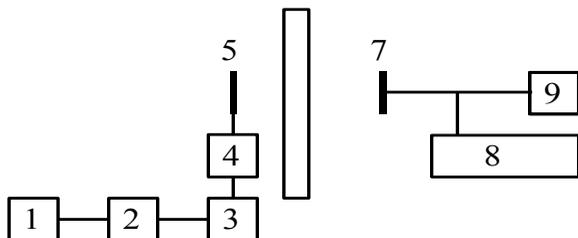


Рис. 1. Структурная схема установки

Далее СВЧ энергия подводится к горизонтальному вибратору длиной 2,3 см с диаметром проводов 0,2 см через коаксиально-

волно-водный переход трёхсантиметрового диапазона длин волн. Пршедшее сквозь экран 6 излучение принимается зондом 7 (полупроводниковый СВЧ-диод). Продетектированный сигнал поступает на измерительный усилитель 9 (В6-4) и его уровень фиксируется индикатором усилителя. Приёмный зонд закреплён на подвижной каретке измерительной линии 8, что позволяет изменять расстояние между экраном и зондом.

Экран представляет собой плоский слой гранулированной сажи (размерами гранул 0,5...0,8 мм) толщиной 4 мм с поперечными размерами 30 x 30 см. В центре экрана выполнено прямоугольное отверстие – окно размером 6 x 6 см.

*Методика измерений* заключалась в следующем. Определялась граница дальней зоны излучения ( $L/\lambda = 1,17$ ):

$$L = 2D^2/\lambda,$$

где  $D$  – длина излучателя;  $\lambda$  – длина волны ( $\lambda = 3$  см).

Расстояние дальней и ближней зон излучения составили  $L/\lambda = 1,33$  и  $L/\lambda = 0,77$  соответственно, и в процессе эксперимента оставались постоянными. Излучатель и приёмный зонд расположены соосно с центром отверстия в экране. Экран расположен на расстоянии 40 см от поверхности рабочего стола. На таком же расстоянии располагаются излучатель и приёмный зонд. Это минимизирует влияние отражённых излучений на результаты измерений, т.к. расстояние между зондом и излучателем в процессе эксперимента гораздо меньше 40 см.

*Методика измерения коэффициента экранирования* заключается в следующем.

Устанавливается выбранное расстояние между излучателем и экраном и между экраном и зондом. С помощью аттенюатора устанавливаются показания индикатора усилителя и выполняется отсчёт показаний аттенюатора  $A1$ , дБ. Затем экран убирается, с помощью аттенюатора устанавливаются те же показания индикатора и вновь выполняется отсчёт показаний аттенюатора  $A2$ , дБ. Разница  $A1 - A2 = K$  – коэффициент экранирова-

ния.

К основным погрешностям, влияющим на результаты измерений, можно отнести:  $\Delta\mathcal{E}$  – погрешность, обусловленную влиянием экрана на облучатель;  $\Delta\mathcal{I}$  – погрешность контроля уровня принимаемого сигнала индикатором усилителя;  $\Delta\mathcal{A}$  – погрешность отсчета по аттенюатору;  $\Delta\mathcal{R}$  – погрешность, обусловленную неточностью установки расстояния между экраном и зондом.

При уменьшении расстояния диполя до экрана растёт импеданс, вносимый в облучатель из-за влияния экрана. Согласно [6], погрешность, обусловленная данным эффектом при  $d_0 / \lambda > 10^{-3}$  не превышает 1,1 дБ. Погрешность  $\Delta\mathcal{I}$ , как указано в [6], не превосходит 0,8 дБ.

Поскольку коэффициент экранирования определялся как разница в показаниях аттенюатора с экраном ( $\mathcal{A}1$ ) и без экрана ( $\mathcal{A}2$ ), то его оценкой служит среднее значение  $\mathcal{K} = \mathcal{A}1 - \mathcal{A}2$ . При единичном измерении значения  $\mathcal{A}2$  отсчёт по аттенюатору проведён с погрешностью  $\Delta\mathcal{A}2 = 0,15$  дБ, а при единичном измерении значения  $\mathcal{A}1$  - с погрешностью  $\Delta\mathcal{A}1 = 0,06$  дБ. Общая погрешность отсчёта

$$\Delta\mathcal{A} = \sqrt{\Delta\mathcal{A}1^2 + \Delta\mathcal{A}2^2} = 0,16 \text{ дБ.}$$

Результирующая систематическая погрешность измерений

$$\Delta = \sqrt{\Delta\mathcal{E}^2 + \Delta\mathcal{C}^2 + \Delta_{\mathcal{A}}^2},$$

и для  $d_0 / \lambda > 10^{-3}$  не превышает 1,37 дБ. Случайная погрешность  $\Delta\mathcal{R}$ , вызванная неточностью установки экрана, определена с помощью многократных повторных измерений. При малом числе повторных измерений ( $n < 10$ ) распределение погрешности подчиняется закону Стьюдента и составляет 2,1 дБ при доверительной вероятности  $\mathbf{P} = 0,98$ . Предельное значение суммарной погрешности

$$\Delta\Sigma = \sqrt{\Delta\mathcal{R}^2 + \Delta^2} = 2,5 \text{ дБ.}$$

Результаты измерения коэффициента экранирования представлены на рис. 2. Здесь треугольниками описывается коэффициент экранирования дальних полей, а крестиками – ближних полей. Из рисунка видно, что в соответствии с полученными в [2] теоретическими результатами при облучении полями дальних зон излучения на расстояниях от отверстия в экране из композиционного материала в пределах  $0,6 \leq \mathbf{R}/\lambda \leq 1,6$  экран полностью теряет экранирующие свойства и коэффициент экранирования становится положительным, что говорит о возрастании уровня проникшего излучения. Измеренный коэффициент экранирования того же экрана без отверстия  $\mathcal{K} = -10,65$  дБ. При экранировании ближних полей наблюдается аналогичный эффект.

Измерение уровня излучения, прошедшего сквозь экран, по отноше-

нию к падающему проведено для излучателя – рупорной антенны (6 x 6 см), расположенной от экрана на расстоянии 13,5 см (рис. 3). Уровень прошедшего излучения нормирован относительно уровня в свободном пространстве. В пределах указанных выше расстояний уровень прошедшего сквозь экран излучения превышает уровень падающего излучения. Данный эффект объясняется тем, что отверстие в композиционном экране является вторичным излучателем, формирующим автономно своё электромагнитное поле.

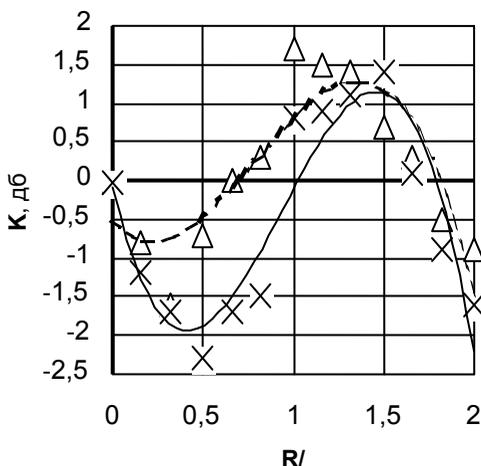


Рис. 2. Коэффициент экранирования электропроводным экраном с отверстием

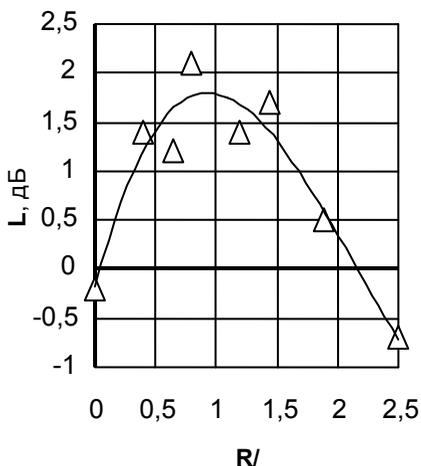


Рис. 3. Относительный уровень излучения, прошедшего сквозь экран

Рассматривая поле, создаваемое источником ненаправленного излучения, который находится на поверхности земли вблизи стены здания, в работах [3, 4] теоретически показано, что при определённых расстояниях между стеной и источником излучения напряжённость поля на заданной высоте вблизи фасада здания может достигать максимальных значений. Если в стене на этой высоте будет находиться оконный проём, то следует ожидать, что при таком месте расположения излучателя создаваемое им поле будет наиболее эффективно проникать в помещение. Коэффициент экранирования поля стеной на заданном этаже здания будет зависеть от места расположения источника электромагнитных помех. Экспериментальное исследование проведено с помощью установки (рис. 4).

В центральной части металлической поверхности 1 размерами 50 x 50 см выполнено отверстие диаметром 0,3 см и в нём установлен

вертикальный излучатель 2 (коаксиально-волноводный переход (КВП) трёхсантиметрового диапазона длин волн, у которого центральный проводник коаксиальной линии длиной 2,3 см служил излучателем). Внешний проводник коаксиальной линии КВП имеет электрический контакт с металлической плоскостью. Излучатель через аттенуатор 5 и вентиль 3 подключён к генератору 4. Приёмной антенной является открытый конец волновода без фланца 7 сечением 2,3 x 1 см. Антенна вместе с согласующим трансформатором 8 и детекторной секцией 9 закреплена на каретке 10. Сигнал с детектора подаётся на измерительный усилитель 11. Измерительная аппаратура та же, что и в предыдущем эксперименте.

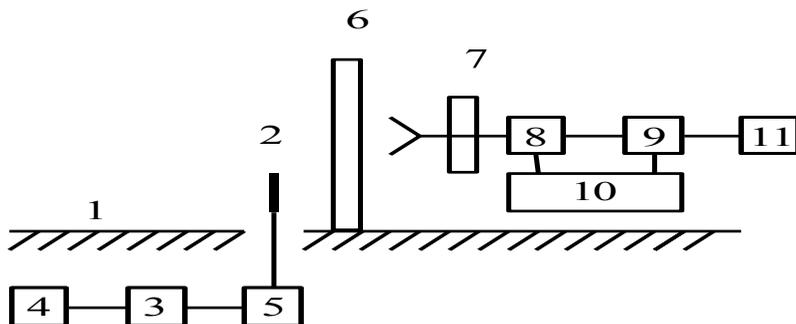


Рис. 4. Структурная схема экспериментальной установки

Моделью стены здания из электропроводных композиционных материалов служит описанный выше слой сажи с отверстием, а железобетонную стену моделировал тонкий слой фольги, наклеенный на плотный картон тех же размеров. Экранирующий материал устанавливается непосредственно на металлическую поверхность (мокрый грунт по своим отражательным свойствам близок к металлу). Результаты измерений представлены на рис. 5. Здесь коэффициент экранирования поля композиционным материалом показан треугольниками, а металлическим – крестиками. В процессе измерений изменялось расстояние между излучателем и стеной здания, а расстояние между экраном и приёмной антенной оставалось

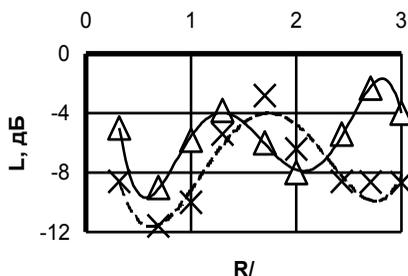


Рис. 5. Зависимость коэффициента экранирования от расстояния между излучателем и экраном

постоянным и соответствовало длине волны (3 см). Из рисунка видно, что существуют “критические” расстояния между экраном и излучателем, при которых наблюдается минимальное значение коэффициента экранирования. Эти расстояния зависят от материала экрана (материала стены здания).

Полученные результаты можно использовать при разработке организационных мер радиоэлектронного противодействия и защиты информации в вычислительных центрах, при решении вопросов электромагнитной совместимости и контроля электромагнитной обстановки в производственных помещениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин И.Н., Шашенков В.Ф. Экранирование помещений для радиотехнических испытаний // Радиоизмерительные и информационные системы и устройства. – М.: МЭИ. – 1991. – Вып. 643. – С. 183 - 187.
2. Сахацкий В.Д. Оценка ослабления поля радиоволн полупроводящей стеной с оконным проёмом // Вестник ХГПУ. – Х.: ХГПУ. – 2000. – Вып. 106. – С. 58 - 61.
3. Сахацкий В.Д. Распределение электромагнитного поля источников индустриальных помех вблизи фасада здания с полупроводящими стенами // Вестник ХГПУ. – Х.: ХГПУ. – 2000. – Вып. 92. – С. 49 - 52.
4. Нефедова А.Л., Сахацкий В.Д., Аль-Таххан Б., Аль-Хеяри А. Анализ распределения ЭМП по фасаду здания и в помещении здания от внешнего источника излучений // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – Вып. 1. – С. 147 - 149.
5. Нефедов Л.И., Гордица Д.Д., Сахацкий В.Д. Системный анализ и оценка окружающей среды по электромагнитным излучениям при проектировании архитектурных объектов. – К.: УМКК ВО, 1989. – 160 с.
6. Донхин М.М. Метод измерения восприимчивости радиоэлектронных средств к электрическому полю с помощью дипольного облучателя // Труды НИИР. – 1982. – № 4. – С. 44 - 48.

Поступила 20.08.2002

**САХАЦКИЙ Виталий Дмитриевич**, доктор техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматики и радиоэлектроники Украинской инженерно-педагогической академии. В 1970 г. окончил факультет радиофизики ХГУ. Область научных интересов – методы и средства обеспечения электромагнитной совместимости РЭС.

**ХУТОРНЕНКО Сергей Владимирович**, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматики и радиоэлектроники Украинской инженерно-педагогической академии, доцент кафедры компьютерных систем и сетей ХВУ. В 1987 г. окончил факультет радиотехнических систем летательных аппаратов ХАИ. Область научных интересов – устройства стабилизации частоты и датчики на основе пьезокварцевых резонаторов.

**САВЧЕНКО Владимир Николаевич**, зав. лаб., аспирант кафедры автоматики и радиоэлектроники Украинской инженерно-педагогической академии. В 1999 году окончил кафедру автоматики и радиоэлектроники УИПА. Область научных интересов – математические мо-

*дела и методы моделирования устройств стабилизации частоты на основе пьезокварцевых резонаторов.*