

2. Разработчики указывают, что устройство IRIS позволяет выявлять *большинство* типов используемых сегодня корпусных и бескорпусных модулей микровидеокамер. Однако один из дилеров (www.sinf.ru), непосредственно реализующий эти устройства, более осторожен и в описании IRIS VCF-2000 отмечает: «Работа бытовых камер и ряда камер охранного назначения не регистрируется». И это можно понять, если учесть, что эти камеры помещены в металлические экраны, существенно уменьшающие интенсивность внешнего излучения в частотном диапазоне 0,5 – 400 МГц. К этому можно добавить, что регистрация прибора также затруднена, если телевизионный сигнал и электропитание передаются по одному коаксиальному кабелю.

Таким образом, разработку прибора IRIS действительно можно признать весьма удачной, однако, из приведенного выше анализа видно, что и эта конструкция не лишена существенных недостатков и ее использование в поисковых мероприятиях не дает гарантии обнаружения видеозакладок в исследуемом помещении.

III Мониторинг низкочастотных излучений видеокамер

По нашему мнению, надежный (гарантированный) поиск экранированных видеозакладок возможен только в низкочастотном спектре 50 (60) Гц – 50 кГц, в котором эффективность экранирования ничтожно мала. И не следует обольщаться тем обстоятельством, что сегодня большинство известных миниатюрных видеозакладок не имеют металлической оболочки. Помещение модуля камеры в простейший металлический экран или монтаж скрытой камеры в конструкционно-строительной арматуре помещения или в металлических элементах приточно-вытяжной вентиляции практически делает ее «невидимой» в спектре высоких радиочастот.

В отличие от большинства других приборов поиска миниатюрных видеокамер, в которых обнаружение паразитных излучений осуществляется в широком спектре радиочастот, был разработан поисковый прибор, с помощью которого осуществляется мониторинг помещения в области низкочастотных магнитных полей. В этом случае становится возможной идентификация видеокамер на низких частотах кадровой и строчной развертки, экранирование которых на данных частотах в миниатюрных конструкциях практически неэффективно. И, следовательно, *любой* скрытый источник излучения, имеющий в своем спектре эти частоты, может быть идентифицирован как видеозакладка.

Разработанный прибор осуществляет перехват слабых низкочастотных радиосигналов в диапазоне частот 50 Гц – 100 кГц. Применение узкополосных фильтров позволило получить высокую чувствительность в исследуемом спектре частот и хороший динамический диапазон. Прибор предназначен для обнаружения и определения местоположения функционирующих видеозакладок и позволяет выявлять видеокамеру на расстоянии до 1 метра.

Прибор имеет встроенный регулятор чувствительности и логарифмическую светодиодную шкалу, а также снабжен тональной идентификацией приближения к видеозакладке.

Конструктивно прибор выполнен в виде компактного носимого модуля с автономным питанием и выносной магнитной антенной, позволяющей выполнять ручное сканирование площади шириной 0,5 метра.

При проведении мониторинга электромагнитных полей в исследуемом помещении с помощью разработанного прибора не требуется отключение электрической и электронной техники. К примеру, прибор мгновенно обнаруживает видеозаkladку, расположенную на расстоянии 0,5 метра от работающего телевизора (паразитное излучение которого имеет такие же спектральные характеристики видеосигнала, что и видеокамера, но в сотни тысяч раз превышает его по интенсивности). Таким образом, прибор может успешно использоваться в сложной электромагнитной обстановке (при большом уровне фона) в исследуемом помещении.

УДК 621.318.3.01.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Александр Борисов, Александр Мачулянский, Михаил Родионов

Национальный технический университет Украины «КПИ»

Аннотация: Проведен анализ экранов на основе тонких пленок. Рассмотрено использование многослойных пленочных экранов для повышения эффективности экранирования. Приведены экспериментальные данные по эффективности экранирования тонкими пленками.

Summary: The paper deals with the analysis of screens on the basis of thin films. The problem of using multilayer film screens is discussed to gain the efficiency of shielding. Experimental data on the shielding efficiency of aluminium thin films are presented in the paper.

Ключевые слова: Экранирование, тонкопленочные покрытия, эффективность экранирования, оптически прозрачные экраны.

В связи с массовым внедрением средств вычислительной техники во все сферы деятельности человека особый интерес представляют вопросы обработки, хранения и защиты информации.

Работа средств вычислительной техники (ВТ) сопровождается излучениями и наводками на соединительные линии. Применение в средствах ВТ импульсных сигналов прямоугольной формы и высокочастотной коммутации приводит к появлению в спектре излучений компонент с частотами вплоть до СВЧ. Кроме того, из-за паразитных связей возникают резонансы, которые могут вызвать усиление излучения на некоторых частотах спектра. Поэтому любые электромагнитные излучения, если даже они и отвечают нормам электромагнитной совместимости (ЭМС), не являются безопасными с точки зрения сохранения конфиденциальности обрабатываемой информации. Как известно информацию, обрабатываемую средствами ВТ, можно восстановить путем анализа электромагнитных излучений и наводок.

Поэтому поиск методов уменьшения излучений и наводок, сопровождающих работу средств вычислительной техники, представляется одной из актуальных технических задач. Среди известных методов остановимся на следующих. Одним из первых для снижения уровня излучений и наводок стали применять перфорированные экраны. Экранирующие свойства металлических сеток, которые являются основой таких экранов, проявляются главным образом в отражении электромагнитной волны от их поверхности. Параметрами сетки, определяющими ее экранирующие свойства, являются: шаг сетки, радиус проволоки и удельная проводимость материала сетки. К недостаткам сеточных материалов относят невысокую прочность и потерю эффективности в результате старения.

Широко используются для экранирования тонкопленочные токопроводящие покрытия, как правило, это металлические тонкие пленки. Из существующих способов нанесения металлических покрытий наиболее удобным является метод распыления. С развитием методов вакуумного напыления, применяемых в микроэлектронике и других отраслях промышленности, стало возможным получение однородных тонких металлических пленок практически на любой форме поверхности корпуса экранируемого прибора. По сравнению с традиционными экранами использование тонких металлических пленок имеет ряд преимуществ. Такие пленки практически не увеличивают массу и габариты экранируемого устройства, повторяют форму его корпуса, легко перфорируются при помощи литографии. Процесс вакуумного напыления экранирующей пленки изначально обеспечивает достаточную герметичность экрана по отношению к утечке электромагнитного излучения. Технологические методы получения экранирующих пленок могут использоваться для массового производства. Технология тонких пленок позволяет осаждать широкий спектр всевозможных материалов, металлов, диэлектриков, полупроводников. Это дает возможность не только получать экранирующие пленки всевозможного состава, но и наносить защитные слои, продлевающие срок их службы.

В то же время некоторые вопросы, связанные с физическими особенностями использования тонких металлических пленок в качестве экранов, не достаточно освещены в литературе, посвященной теории электромагнитного экранирования. К примеру, в работах [1, 2] утверждается, что использование многослойных экранов из различных материалов позволяет увеличить эффективность экранирования в широком диапазоне частот. Но простой анализ показывает, что такое утверждение верно не всегда. Уточнению некоторых положений по экранированию тонкими металлическими пленками и посвящены проведенные авторами исследования.

Целью данной работы являлось исследование эффективности экранирования устройств ВТ тонкими металлическими пленками, полученными методом вакуумного напыления.

Представляет интерес анализ преимуществ многослойной структуры по сравнению с однослойной.

Известно, что при экранировании магнитного поля, вследствие близости слоев пленки, происходит их взаимодействие, которое будет влиять на эффективность экрана.

Экранирование переменного магнитного поля может осуществляться проводящими экранами за счёт наводимых в них вихревых токов. Расчёт такого экранирования для однослойного экрана приводится во многих источниках [2] и даёт зависимость следующего вида

$$k_3^0 = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega L_3}{R_3}\right)^2}, \quad (1)$$

где k_3^0 – коэффициент экранирования, L_3 – индуктивность экрана, R_3 – сопротивление экрана.

Однако, на практике иногда необходимо использовать металлические экраны, состоящие из нескольких слоев различной толщины.

Для анализа экранирования переменного магнитного поля экраном, состоящим из нескольких проводящих слоев, рассмотрим следующую модель. Каждый слой экрана представляется в виде эквивалентной схемы, состоящей из параллельно включенных индуктивности L и сопротивления R , где L – индуктивность слоя, а R характеризует сопротивление экрана протекающим в нём вихревым токам.

В общем виде схема замещения экрана из n слоев, источника поля и измерительного устройства изображена на рис. 1.

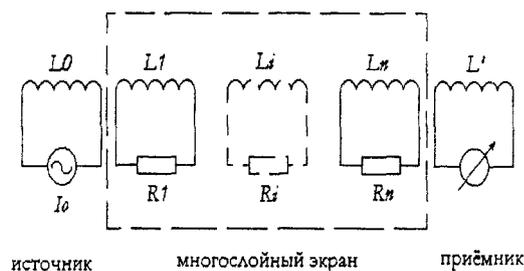


Рисунок 1

Магнитное поле генерируется в катушке L_0 переменным током I_0 частоты ω . В отсутствии экрана в приёмной катушке L' наводится ЭДС, равная

$$U_0 = i\omega I_0 k \sqrt{L_0 L'}, \quad (2)$$

где k – коэффициент взаимной индукции катушек. Поскольку рассматривается задача об экранировании источника замкнутым экраном, можно считать, что связь источника с экраном, а также связь между слоями экрана полная. Обозначив токи в слоях экрана через $I_1 \dots I_n$, можно записать систему n уравнений для ЭДС, возникающих в каждом слое.

$$\begin{bmatrix} i\omega L_{11} + R_1 & i\omega L_{12} & \dots & i\omega L_{1n} \\ i\omega L_{21} & i\omega L_{22} + R_2 & \dots & i\omega L_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ i\omega L_{n1} & i\omega L_{n2} & \dots & i\omega L_{nn} + R_n \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i\omega L_{01} I_0 \\ i\omega L_{02} I_0 \\ \dots \\ i\omega L_{0n} I_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Через L_{ij} обозначены взаимные индуктивности i -ой и j -ой катушек. Коэффициент экранирования будем искать как отношение ЭДС, наводимых в приемной катушке без экрана и с экраном

$$k_3^0 = \frac{U_0}{U_0 - U_3}, \quad (4)$$

где U_3 – ЭДС, вызываемая вихревыми токами, протекающими в экране и равная

$$U_3 = k \sum_{i=1}^n i\omega \sqrt{L_i L'} I_i. \quad (5)$$

Из системы уравнений (3) находим

$$U_3 = k \sqrt{L_i L'} I_0 \left(1 - \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{i\omega L_i}{R_i}} \right).$$

Подставляя (2) и (5) в (4) получим значение коэффициента экранирования

$$k_3^0 = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{i\omega L_i}{R_i}$$

Для практики представляет интерес модуль k_3^0

$$|k_3^0| = \sqrt{1 + \omega^2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{R_i} \right)^2}, \quad (6)$$

а также значения логарифмического коэффициента экранирования

$$k_3 = 20 \lg |k_3^0| = 10 \lg \left(1 + \omega^2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{R_i} \right)^2 \right), \text{ [дБ]}$$

Как видно из (6), характер частотной зависимости коэффициента экранирования многослойного экрана по сравнению с однослойным не изменился, что и следовало ожидать. Сопротивление слоя экрана прямо пропорционально удельному объёмному сопротивлению материала, из которого он изготовлен (ρ_1) и обратно пропорционально толщине слоя (d_i). Индуктивность пропорциональна магнитной проницаемости материала (μ_1). Выражение (6) можно переписать в виде

$$|k_3^0| = \sqrt{1 + A\omega^2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{\mu_i d_i}{\rho_i} \right)^2}, \quad (7)$$

где A – коэффициент пропорциональности, зависящий от геометрии экрана.

Максимум экранирования на данной частоте будет при максимальном значении суммы в скобках выражения (7). Если полная толщина экрана фиксирована $d = d_1 + d_2 + \dots = \text{const}$, то максимум такой линейной функции будет достигаться при $d = d_i$.

Таким образом можно сделать вывод, что максимальной эффективностью при экранировании магнитного поля будет обладать однослойный экран заданной толщины, изготовленный из металла с высокой магнитной проницаемостью и низким удельным сопротивлением.

На практике вместо удельного объёмного сопротивления материала пленки удобнее пользоваться значением её поверхностного сопротивления $\rho_s = \rho/d$, которое можно легко измерить четырехзондовым методом. Формула расчета пленочного экрана при этом примет вид:

$$k_3 = 10 \lg \left(1 + A\omega^2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\rho_{Si}} \right) \right).$$

В таблице 1 приведены данные измерений экранирования переменного магнитного поля пленками алюминия различной толщины, нанесенными на плоскую диэлектрическую подложку.

Таблица 1

d , мм \ f , МГц	20	40	60	80	100
0,1	5	7	12	15	16
0,3	12	18	24	28	31
0,5	16	26	32	35	36
1	20	37	43	52	59
3	>30	>59	>63	>64	>65

Представляет интерес использование для экранирования экрана мониторов решеток. Обычно решетки изготавливаются в виде плетёных сеток из металлической проволоки. Получены зависимости эффективности экранирования в зависимости от конструктивных параметров сеток (периода сетки и радиуса проволоки). Однако, такие решетки обладают рядом недостатков: период сетки не может произвольно варьироваться, может нарушаться электрический контакт в узлах сетки. Как показывают наши исследования, этих недостатков лишена плоская решетка, которая изготавливается при помощи литографии металлической плёнки, нанесённой на прозрачную подложку.

Рассмотрим влияние конструктивных параметров решетки, считая, что она состоит из идеально проводящего материала. К конструктивным параметрам относятся: период решетки – p , ширина лент – b и расстояние между ними – g (рис. 2).

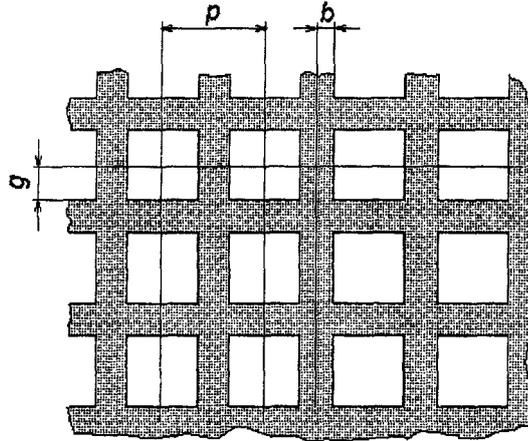


Рисунок 2

Производными параметрами являются: $q = \frac{2b}{p}$ – коэффициент заполнения, $k_t = \frac{S_t}{S}$ – коэффициент прозрачности, где S_t – площадь прозрачной части решетки, а S – полная площадь экранируемой поверхности.

Легко показать, что

$$k_t = (1 - q)^2. \quad (8)$$

В простейшем случае нормального падения волны длиной λ на решетку и векторах E и H , параллельных сторонам решетки, коэффициенты отражения и прохождения равны [3]

$$R = -\frac{1}{1 + x}, \quad (9)$$

$$T = \frac{x}{1 + x}, \quad (10)$$

где

$$x = \frac{2ip}{\lambda} \ln \left[\frac{1}{\sin(b\pi/p)} \right]$$

Эффективность экранирования

$$k_{\text{э}} = 20 \lg \frac{1}{|T|} = 20 \lg \frac{\lambda}{2p \ln \left(\frac{1}{\sin(b\pi/p)} \right)}, \text{ [дБ]}. \quad (11)$$

Как видно из выражения (11), при заданных значениях λ и q , экранирование растёт с уменьшением периода решетки со скоростью 20 дБ/дек.

Технология получения плоских решеток позволяет наносить их с обеих сторон прозрачной подложки. Проведём анализ подобной структуры, полагая, что решетки в общем случае не совмещены. Для того, чтобы коэффициент прозрачности структуры не уменьшался по сравнению с одной решеткой, необходимо при том же периоде решетки уменьшить коэффициент заполнения в два раза ($q' = q/2$ или $b' = b/2$ при $p = \text{const}$). Коэффициент экранирования двухслойного экрана можно определить из выражения [3]

$$k_{12\text{э}}^0 = \frac{k_{1\text{э}}^0 k_{2\text{э}}^0}{1 - R_1 R_2}, \quad (12)$$

где $k_{1\varnothing}^0 = \frac{1}{|T_1|}$ – коэффициент экранирования первого слоя экрана, аналогично $k_{2\varnothing}^0 = \frac{1}{|T_2|}$ – второго слоя экрана. Подставив выражения (9) и (10) в (12), получим

$$k_{12\varnothing} = 60 \lg \frac{\lambda}{2p \ln \left(\frac{1}{\sin(b\pi/2p)} \right)} - 20 \lg 2, \text{ [дБ]}. \quad (13)$$

Из сравнения выражений (11) и (13) видно, что двухслойный экран эффективнее однослойного решетчатого экрана и имеет более резкую зависимость экранирования от периода решетки (или длины падающей волны). При уменьшении p (увеличении λ) $k_{12\varnothing}$ растёт со скоростью 60 дБ/дек.

Используя выражения (8) и (11) можно проанализировать зависимость от k_t при произвольных значениях p . Результаты расчета сведены в таблицу 2, где Δk_{\varnothing} – изменение эффективности экранирования относительно величины k_{\varnothing} , вычисленной при $k_t = 0,5$.

Таблица 2

$k_t, \%$	q	$\Delta k_{\varnothing}, \text{ дБ}$	$k_t, \%$	q	$\Delta k_{\varnothing}, \text{ дБ}$
35	0,40	3,96	65	0,194	-3,42
40	0,36	2,53	70	0,163	-4,56
45	0,32	1,23	75	0,134	-5,70
50	0,29	0	80	0,106	-6,91
55	0,25	-1,18	85	0,078	-8,30
60	0,22	-2,32	90	0,051	-9,86

В таблице 3 представлены расчетные значения экранирования плоской решетки с прозрачностью 50 %, полученные по формуле (11). Для вычисления экранирования решетки с другой прозрачностью можно использовать значения поправок из таблицы 2.

Эффективность двухслойного экрана, как видно из сравнения (11) и (13), равна

$$k_{12\varnothing} \approx 3k_{\varnothing} - 6, \text{ [дБ]}.$$

Для реальной решетки, изготовленной на основе пленки из материала с конечной проводимостью, экранирующая способность оценивается в предположении того, что поле за экраном является суперпозицией плоских волн, прошедших через идеальную решетку и сплошную пленку материала экрана. Тогда коэффициент экранирования равен [4]

$$k_{\varnothing}^0 = \frac{k_{\text{реш}}^0 k_{\text{пл}}^0}{k_{\text{реш}}^0 + k_{\text{пл}}^0},$$

где $k_{\text{реш}}^0$ – коэффициент экранирования идеальной решетки, $k_{\text{пл}}^0$ – коэффициент экранирования сплошного пленочного экрана.

Таблица 3

$p, \text{ мм}$	0,5	1	2	4
$f, \text{ МГц}$				
3	101,8	95,8	89,7	83,7
10	91,4	85,3	79,3	73,3
30	81,8	75,8	69,7	63,7
100	71,4	65,3	59,3	53,3
300	61,8	55,8	49,8	43,7
1000	51,4	45,3	39,3	33,3

Теоретические исследования показали, что максимальной эффективностью при экранировании магнитного поля будет обладать однослойный экран заданной толщины, изготовленный из металла с высокой магнитной проницаемостью и низким удельным сопротивлением. Тем не менее, не исключены и многослойные покрытия, но в этом случае нужно оптимизировать как технологические, так и экономические

факторы. Следует также отметить, что хотя теоретические модели экранирования тонкими пленками и позволяют получить качественно верные зависимости, но они не дают достаточно точных количественных результатов.

Исходя из этого, в качестве высокопроводящих материалов были выбраны: алюминий и медь, а в качестве ферромагнитных – железо и никель. Для нанесения пленочных экранирующих покрытий использованы магнетронный и электродуговой метод вакуумного распыления. Выбор этих методов был обусловлен тем, что они позволяют: осуществлять плазмохимические реакции и получать соединения типа нитридов, оксидов; изменять структуру и свойства получаемых пленочных покрытий путем манипуляции технологическими параметрами; обеспечивать необходимые параметры пленок без подогрева подложек, что важно для таких материалов как полистирол и пластмассы.

Из физико-механических параметров пленочных экранирующих покрытий в процессе и после их получения контролировались: поверхностное и удельное объемное сопротивление; адгезия; толщина; эффективность экранирования.

Перечень тестовых образцов однослойных экранов и их характеристик представлен в табл. 4.

Таблица 4

№ образца	Материал	Толщина, мкм	Удельное объемное сопротивление, Ом·см
1.0	Алюминий (0,9)	40	$2 \cdot 10^{-3}$
1.1	Алюминий (0,999)	10	$2 \cdot 10^{-4}$
1.2	Алюминий (0,999)	60	$3 \cdot 10^{-4}$
1.3	Медь	10	10^{-4}
1.4	Сталь	20	$2 \cdot 10^{-3}$
1.5	Фольга медная	50	$5 \cdot 10^{-4}$

Для проверки эффективности экранирования многослойными экранами были изготовлены образцы двух- и трехслойных пленочных экранов. Использовались сочетания слоев алюминия со слоями железа и меди. Параметры многослойных покрытий представлены в табл. 5.

Таблица 5

Номер образца	Материал покрытия	Общая толщина покрытия, мкм	Уд. поверхностное сопротивление, Ом/кв	Толщина пленок, мкм
2.1	Al-Fe	60	0,2	Al – 40, Fe – 20
2.2	Fe-Al	30	0,22	Fe – 20, Al – 10
2.3	Al-Fe-Al	45	0,13	Al – 10, Fe – 20, Al – 15
2.4	Al-Cu	25	0,13	Al – 10, Cu – 15
2.5	Al-Cu	55	0,1	Al – 40, Cu – 15

В образцах 2.1–2.3 слой материала с высокой магнитной проницаемостью (железо) является как внешним, так и внутренним слоем по отношению к источнику электромагнитного поля. Таким образом предполагалось проверить влияние чередования слоев в экране на эффективность его экранирования.

Сравнительный анализ оптически прозрачных экранов проводился с использованием трех образцов. Первый представлял собой медную решетку на стекле толщиной 50 мкм, полученную методами вакуумного напыления и фотолитографии. Период решетки равнялся 400 мкм, ширина полос – 200 мкм. Второй образец представлял решетку с теми же геометрическими параметрами, полученную на пленке толщиной 50 мкм фольгированного медью гетинакса. Третий образец был получен магнетронным осаждением полупрозрачного оксида олова толщиной 0,25 мкм на стеклянную подложку и тонкой пленки никеля толщиной 3.0 нм. Данные образцов сведены в табл. 6.

Таблица 6

№ образца	Материал подложки	Материал покрытия	Толщина покрытия, мкм	Период сетки, мкм
3.1	стекло	Cu	50	400

3.2	гетинакс	Cu	50	400
3.3	стекло	SnO ₂ +Ni	0,25	–

Проведенные электронно-микроскопические исследования показали, что пленочные покрытия обладают дисперсной структурой с формой частиц, близкой к сферической. Частотные зависимости коэффициента отражения K и пропускания T электромагнитного излучения дисперсных пленок никеля для разных значений размера частиц представлены на рис. 3.

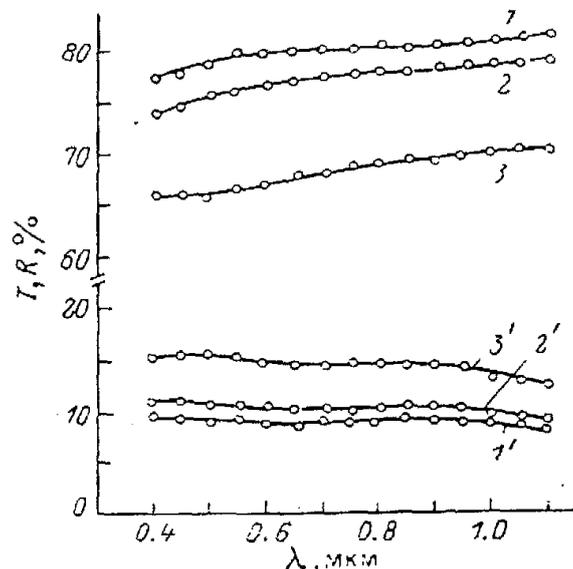


Рисунок 3 – Зависимости T(λ) и R(λ) дисперсных пленок никеля на стеклянных подложках. 1–3 (T) и 1'–3'(R) соответствуют размеру частиц 1,5; 2,0; 3,0 нм

Результаты измерений эффективности экранирования рассмотренными образцами по электрическому и магнитному полям представлены в табл. 7 и 8.

Таблица 7 – Эффективность экранирования, измеренная по электрической составляющей, дБ

№ образца	Частота, МГц							
	0,1	0,3	0,5	1,0	3,0	5,0	7,0	10,0
1.0	>50			41				>70
1.1	>50			32				>70
1.2	>50			>55				>70
1.3	>50			>55				>60
1.4	>80			>80				>80
1.5	>70			>75				>80
2.1	>70			>75				>80
2.2	>50			>55				>70
2.3	>60			>70				>75
2.4	>40			>47				>55
2.5	>70			>75				>80
3.1	33	3	33	33	38	46	>50	>50
3.2	>60			>70				>75
3.3	17	14	12	12	12	11	15	10

Таблица 8 – Эффективность экранирования, измеренная по магнитной составляющей, дБ

№ образца	Частота, МГц							
	0,1	0,3	0,5	1,0	3,0	5,0	7,0	10,0

1.0	0,2	0,4	0,8	2,0	5,0	8,0	11,0	15,0
1.1	0,2	0,6	1,0	2,5	7,0	10,4	13,0	16,8
1.2	4,2	11,0	14,6	22,2	33,1	37,9	42,0	45,6

Продолжение таблицы 8

1.3	0,2	0,7	1,1	3,0	7,5	11,0	14,2	17,0
1.4	0	0,1	0,2	0,3	0,8	1,5	2,1	3,2
1.5	19,1	29,5	32,0	38,0	48,1	57,1	56,2	45,0
2.1	0,3	0,9	1,3	2,5	8,0	12,0	14,5	17,1
2.2	0,2	0,3	0,6	1,1	2,6	5,1	7,6	9,2
2.3	0,4	0,9	1,6	3,3	8,0	11,0	14,1	17,9
2.4	0,2	0,4	0,6	2,0	5,5	9,5	11,3	14
2.5	0,2	0,6	1,2	3,0	8,0	11,0	14,0	17,0
3.2	11,5	30,5	35,0	41,0	51,0	63,5	50,5	41,0

Анализ экспериментальных данных (табл. 7 и 8) эффективности экранирования электромагнитного излучения однослойными экранами показал, что эффективность экранирования медной пленкой практически не отличается от эффективности экранирования пленки алюминия той же толщины.

Что касается стальной пленки, то ее экранирующий эффект существенно ниже в данном частотном диапазоне из-за высокого удельного сопротивления. Как видно из табл. 8 достаточно сильное экранирование (более 10 дБ) имеет место для напыленной пленки меди от частоты 3 МГц и выше, в то время как для сплошной медной пленки эта частота равна приблизительно 100 кГц. Таким образом, отношение частот превышает порядок. Причина такого отличия заключается в структурных особенностях пленки, полученной при вакуумном напылении. Электронно-микроскопические исследования показали, что напыленные пленки состоят из мелких зерен, размеры которых зависят от различных факторов, влияющих на осаждение металла на подложку [5, 6]. В среднем размер зерна может колебаться от единиц до десятков микрометров. В процессе роста пленки зерна входят в соприкосновение. Однако на поверхностях соприкосновения периодичность кристаллической структуры металла нарушается и между зернами образуется потенциальный барьер, который препятствует протеканию тока между зернами. Данные результаты качественно соответствуют теоретическим расчетам.

Наиболее уязвимым элементом ПЭВМ с точки зрения защиты информации является дисплей (монитор). Поэтому представляло интерес измерить характеристики экранирования реальных корпусов мониторов с напыленными экранирующими покрытиями. Основной задачей при этом была оценка влияния вентиляционных отверстий в корпусе монитора на эффективность экранирования электромагнитного поля. В качестве образцов для напыления использовались пластмассовые корпуса мониторов. Экранирующие покрытия создавались электродуговым напылением алюминия толщиной 40–50 мкм на внутреннюю поверхность корпуса. Результаты приведены в таблице 9. В этой таблице до частоты 10 МГц, включительно, измерено экранирование по электрической составляющей электромагнитного поля.

Таблица 9 – Эффективность экранирования электромагнитного поля корпусом монитора, дБ

Модель монитора	Частота, МГц										
	0,01	0,1	0,5	3,0	10	30	100	300	500	800	1000
AMSTRAD	45	43	46	36	26	12	24	15	10	10	12
AMSTRAD	45	47	46	37	28	18	22	18	24	22	16
ТДК	>60	>70	>60	43	38	20	24	31	20	25	18

Испытания многослойных образцов показали, что наилучшие результаты дает использование экранов Al-Fe и Al-Fe-Al (образцы 2.1 и 2.3), в которых слой железа закрыт от источника излучения слоем алюминия, снижающего напряженность магнитного поля. В целом, многослойные пленочные экраны показали более низкую эффективность экранирования, измеренного по магнитному полю, чем их однослойные аналоги из алюминия. Это подтверждают и теоретические расчеты.

Данные по экранированию электромагнитного поля перфорированными пленочными экранами показывают их высокую эффективность по сравнению с полупрозрачными экранами на основе окиси олова

(табл. 6 и 7). Кроме того, как видно из сравнения данных для сплошной и перфорированной пленок (образцы 1.9 и 3.2), перфорирование экрана практически не снижает эффективность экранирования.

Необходимо отметить, что каждый из использованных методов осаждения покрытий – магнетронный и электродуговой, имеют определенные преимущества и приоритеты. Так, при электродуговом напылении, скорость осаждения покрытий, при всех прочих равных условиях (давление в рабочей камере, состав пленок, тип подложки и т. д.), примерно в 3 раза выше, чем при магнетронном напылении, что значительно повышает производительность процесса. Размер зерна осажденных пленок в случае магнетронного напыления значительно меньше, что имеет значение при осаждении проводящих прозрачных пленок. Отсюда следует, что магнетронный метод осаждения, несмотря на свою универсальность, предпочтителен лишь при напылении покрытий на оптически прозрачные элементы экранов, а электродуговой – может быть использован для экранирования элементов конструкций сложной объемной формы, таких как корпуса процессоров, дисплеев, клавиатуры и т. п.

На основании представленных результатов можно заключить, что оптимальным вариантом экранирующего покрытия для конструктивных элементов ПЭВМ является однослойные алюминиевые пленки толщиной 30–50 мкм. Осажденные на конструктивные элементы ПЭВМ пленки алюминия имеют необходимую равномерность и толщину покрытия, коррозионную стойкость, высокий уровень адгезии к полистиролу, способность к эксплуатации подложки на изгиб и позволяют обеспечить достаточный уровень экранирования. Однако из-за самопассивации алюминиевых пленок окислом алюминия возникает проблема так называемых «стыков» при сборке составных частей комплексов ПЭВМ. Данная проблема может быть решена путем осаждения на поверхность защитного покрытия из алюминия тонкой пленки никеля, либо путем локального осаждения в требуемых местах цинка.

Литература. 1. Маркин А. В. Безопасность излучений от средств электронно-вычислительной техники: домыслы и реальность // *Зарубежная радиоэлектроника.* – 1989. – № 12. – с. 102 – 124. 2. Князев Л. Н., Кечнев Б. В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. – М.: Радио и связь, 1989. – 244 с. 3. Крылов Т. В., Юрченкова А. И. Защита от электромагнитных излучений. – М.: Сов. радио, 1972. – 216 с. 4. Конструирование экранов и СВЧ – устройств/ А. М. Чернушенко, Б. В. Петров, Л. Г. Малорацкий и др.; Под ред. А. М. Чернушенко. – М.: Радио и связь. 1990. – 352 с. 5. Бондарь Е. А., Мачулянский А. В. Динамическая поляризуемость ультрадисперсных частиц никеля// *Оптика и спектроскопия.* – 1990. – Т. 69. – вып. 4. – с. 876–880.

УДК 681.321;322:621.395

МОДЕЛЬ АУДИТУ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Микола Тардаскін, Володимир Кононович, Андрій Севостьяненко*

Одеський регіональний центр технічного захисту інформації ВАТ “Укртелеком”

*Одеська національна академія зв’язку

Анотація: Розглядаються алгоритми та часові характеристики моделі аудиту безпеки інформації в системах технологічного управління телекомунікаційними мережами.

Summary: The algorithm and time characteristics of information security audit model for the Telecommunication Management Network (TMN) are considered.

Ключові слова: Аудит безпеки, система технологічного управління, інформація, реєстрація.

І Вступ

Системи управління та аналізу телекомунікаційних мереж безповоротно набули характеру комп’ютерних мереж і, відповідно, методи прямого впливу на ці системи також будуть комп’ютерні. Згідно з міжнародними рекомендаціями [1, 2] аудит безпеки – це незалежний перегляд та дослідження системних даних, протоколів і подій для перевірки адекватності управління системою, для забезпечення відповідності між встановленою політикою та діючими процедурами, для виявлення порушень безпеки і для цілеспрямованого вдосконалення політики та процесу функціонування системи. Аудит безпеки систем технологічного управління (СТУ), зупинка яких викликає переривання процесу управління, дозволяє також враховувати дії суб’єктів, контролювати правильність використання ресурсів, виявляти спроби пошкодити систему. Механізми аудиту безпеки хоча і не здатні безпосередньо запобігати порушенням безпеки, виконують важливі функції запису