

Магнитные и экранирующие свойства ленточных аморфных ферромагнитных материалов

© С.А. Гудошников^{1,2}, Ю.Б. Гребенщиков³, В.Т. Волков⁴,
Ю.В. Прохорова²

¹ Национальный исследовательский технологический университет
„МИСиС“, Москва

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В. Пушкина РАН, Москва, Троицк

³ Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва
E-mail: gudosh@izmiran.ru

Поступило в Редакцию 13 февраля 2014 г.

Изучены магнитные и экранирующие свойства цилиндрических экранов, изготовленных из ленточных аморфных ферромагнитных материалов. Установлено, что магнитная проницаемость данного материала может превышать значения 10^{-6} . Показано, что воздействие знакопеременным затухающим магнитным полем переводит данный материал в состояние безгистерезисного намагничивания, характеризующееся исключительно высокими, более $2 \cdot 10^7$, значениями магнитной проницаемости в магнитных полях порядка 10 нТ. На основании результатов измерений получены оценки коэффициентов экранирования магнитного поля Земли внутри цилиндрических магнитных экранов с открытыми торцами для различных диаметров и в зависимости от количества слоев ленточного аморфного ферромагнитного материала.

Создание магнитных экранов и экранирующих камер значительного объема, в которых естественное магнитное поле Земли (МПЗ) ослабляется в тысячи раз (остаточная магнитная индукция 20 нТ и менее), является сложной и дорогостоящей научно-технической задачей. Существующие магнитные экранирующие камеры [1] созданы на основе широко распространенных магнитомягких сплавов пермаллоевого класса — μ -metal (российский аналог — сплав 79НМ). Относительно недавно появились аморфные и нанокристаллические сплавы на основе кобальта, магнитные свойства которых (начальная

и максимальная магнитная проницаемость) существенно выше пермалоевых сплавов [2]. Подобные аморфные ферромагнитные материалы изготавливаются методом спиннингования расплава в виде лент толщиной 15–30 μm и шириной 2–50 mm. К ним относятся производимый за рубежом материал Metglass 2705 M [3] и выпускаемый в России в ОАО „МСТАТОР“ сплав АМАГ-172 состава $\text{Co}_{72}\text{Fe}_5\text{Ni}_{10}\text{Cr}_{1.5}\text{Mn}_{1.5}\text{Si}_7\text{B}_3$, характеризующийся намагниченностью насыщения ($\mu_0 M_s = 0.6 \text{ T}$), начальной и максимальной относительной магнитной проницаемостью 13 000 и 700 000 соответственно [4]. Высокая эффективность магнитных экранов на основе ленточных материалов была продемонстрирована при их работе в активных режимах с использованием дополнительного перемагничивающего поля (magnetic shaking) [5,6] и знакопеременного затухающего поля (demagnetization) [7], а также в пассивном режиме, без использования дополнительных подмагничивающих полей [8]. Однако максимальный диаметр рабочей зоны указанных магнитных экранов не превышал 0.7 m. Для проектирования крупногабаритных (диаметром более 1 m) экранов на основе ленточных материалов важно знать эффективную зависимость относительной проницаемости материала от магнитного поля $\mu(B)$. В данной работе представлены методика измерения и экспериментальные зависимости $\mu(B)$ ленточного материала АМАГ-172. Для цилиндрических экранов больших диаметров рассчитано необходимое количество слоев ленточного материала, обеспечивающих заданную степень экранирования МПЗ без использования размагничивающих полей. Показано, что воздействие размагничивающим полем может обеспечивать безгистерезисный режим намагничивания материала экрана и значительное увеличение коэффициента экранирования.

Известно [9], что для поперечного магнитного поля коэффициент экранирования K цилиндрического экрана длиной L в случае $L/D \geq 3$ хорошо описывается выражением для бесконечного цилиндра

$$K = 1 + \frac{\mu t}{D}, \quad (1)$$

где t — толщина магнитного слоя, D — диаметр экрана, μ — относительная магнитная проницаемость материала, $K = B_{ex}/B_r$ — отношение внешнего приложенного поля к внутреннему полю экрана. Из этого выражения следует, что по известным значениям K для экранов различной толщины и диаметров могут быть получены оценки

Таблица 1. Параметры исследованных экранов

Номер экрана	Диаметр D , мм	Число слоев, n	Остаточная индукция	
			до размагничивания, B_r , нТ	после размагничивания, B_r^* , нТ
1	152	1	243–324	137
2	130	1	160–227	55
3	152	2	87–126	15.6
4	130	2	64–79	9.8
5	50	1	52–77	5.8
6	75	2	35–47	4.4
7	50	3	21–27	2

относительной магнитной проницаемости материала от магнитного поля $\mu(H)$ (далее используется функция $\mu(B_r)$).

В данной работе коэффициенты экранирования K цилиндрических экранов с открытыми торцами из материала АМАГ-172 определялись экспериментально по измерениям магнитных полей вне и внутри экрана. Остаточное магнитное поле экранов измерялось до воздействия на них знакопеременным затухающим магнитным полем и после соответствующего воздействия. Внешним однородным полем являлось естественное магнитное поле Земли с индукцией в месте измерения 49 930 нТ.

Образцы исследуемых экранов изготавливались из указанного ленточного материала толщиной 20 $\mu\text{м}$ и шириной ленты 30 мм. При изготовлении экрана лента с равномерным нахлестом ~ 1 –2 мм навивалась по спирали на соответствующий полый цилиндрический каркас, образуя на его поверхности равномерный слой магнитного материала. Укладка следующего слоя ленточного магнитного материала осуществлялась в противоположном направлении, при этом предыдущий слой изолировался тонкой kleевой лентой. Длина экранов выбиралась с учетом соотношения $L \geq 3D$. Размеры семи экранов, используемых в экспериментах, и число слоев экранирующего материала каждого экрана приведены в табл. 1.

Устройство, создающее знакопеременное затухающее поле, включало источник затухающего тока и соленоид. При его включении в соленоиде создавалось знакопеременное магнитное поле с медленно уменьшающейся до нуля амплитудой и воздействующее на исследуемый экран

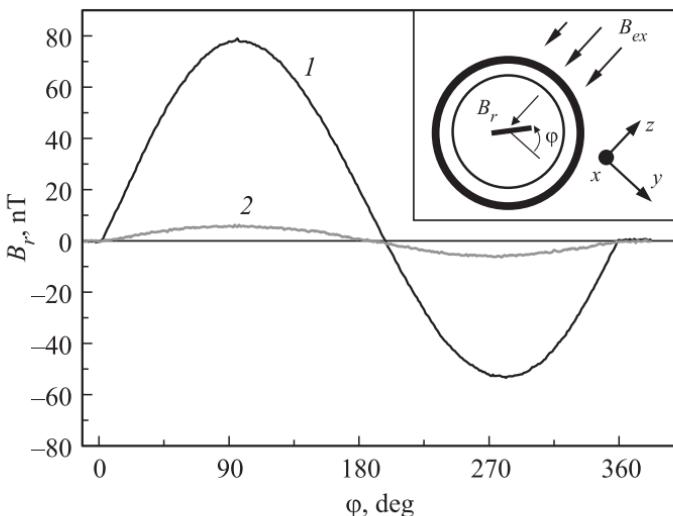


Рис. 1. Зависимость остаточного магнитного поля внутри однослоиного экрана диаметром 50 mm от угла вращения ГМИ-датчика до процедуры размагничивания (1) и после размагничивания (2). На вставке показано взаимное расположение и ориентация размагничивающего соленоида, исследуемого экрана, ГМИ-датчика и МПЗ в процессе измерений.

вдоль его оси. Для измерения остаточного магнитного поля внутри экрана использовался малогабаритный однокомпонентный магнитометр на эффекте гигантского магнитного импеданса (ГМИ-магнитометр), в котором датчик был изготовлен на основе кобальтового аморфного ферромагнитного микропровода в стеклянной оболочке [10]. Датчик ГМИ-магнитометра с помощью специального держателя закреплялся в центре экрана на его оси и ориентировался так, чтобы измерялась остаточная компонента магнитного поля, перпендикулярная оси экрана. При этом конструкция держателя обеспечивала возможность вращения датчика ГМИ-магнитометра на 360°. В начальном положении датчик ориентировался перпендикулярно МПЗ.

Перед измерениями соленоид размагничивающего устройства устанавливался в горизонтальной плоскости и ориентировался перпендикулярно МПЗ. Исследуемый магнитный экран помещался внутри размагничивающего устройства, перпендикулярно МПЗ, после чего в

центре экрана фиксировался датчик ГМИ-магнитометра. На вставке рис. 1 приведено взаимное расположение размагничивающего соленоида, исследуемого цилиндрического экрана и датчика магнитного поля в выбранной системе координат. В процессе измерений регистрировались значения величины остаточной магнитной индукции поля экрана B_r в зависимости от угла вращения датчика при полном обороте на 360° . Полученные данные использовались для определения величины и ориентации остаточного магнитного поля внутри экрана, коэффициента экранирования K и величины μ магнитной восприимчивости материала экрана.

Предварительные измерения показали, что открытые торцы экранов при данном способе намотки аморфной ленты АМАГ-172 и ориентации экранов относительно МПЗ не влияют на величину остаточного поля в центре экранируемой области. В последующих экспериментах для каждого из 7 экранов проводились записи $B_r(\varphi)$ остаточной магнитной индукции в центре экрана до воздействия размагничивающим полем и после размагничивания. В качестве примера на рис. 1 представлены характерные зависимости остаточного магнитного поля внутри однослоиного экрана диаметром 50 mm от угла вращения ГМИ датчика до процедуры размагничивания и после размагничивания. Повторная процедура размагничивания практически не изменяла величину остаточного магнитного поля. Чтобы привести экран в первоначальное состояние (соответствующее состоянию „до размагничивания“), достаточно было немного повернуть экран внутри размагничивающей системы. Последующее выполнение процедуры размагничивания приводило экран в состояние, близкое к состоянию „после размагничивания“. Значения величин остаточной магнитной индукции до и после размагничивания исследуемых экранов определялись как полуразность максимального и минимального значений соответствующих кривых $B_r(\varphi)$ и $B_r^*(\varphi)$ и приведены в табл. 1. Следует отметить, что в состоянии „до размагничивания“ остаточная индукция внутри экрана имела значительный разброс, связанный с наличием магнитного гистерезиса материала. Поэтому в табл. 1 в соответствующем столбце приведен диапазон значений остаточной индукции внутри каждого образца экрана.

Экспериментальные значения (табл. 1) остаточной магнитной индукции внутри экранов и выражение (1) использовались для оценки соответствующих величин $\mu(B_r)$ материала экрана в условиях до и после размагничивания. На рис. 2, а различными символами (круж-

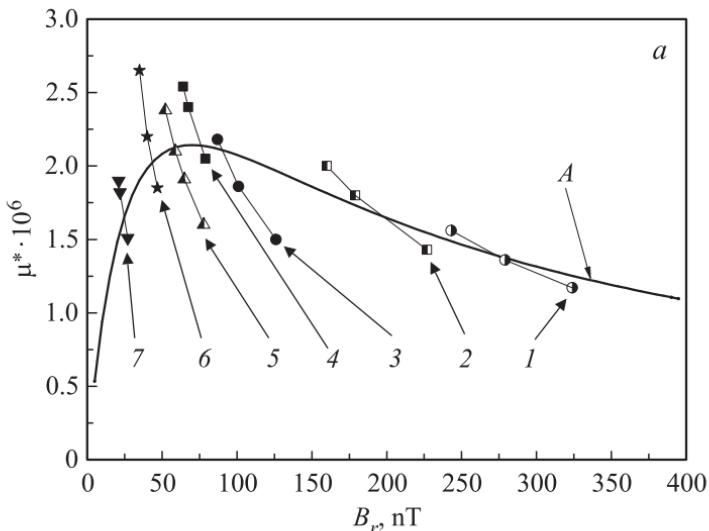


Рис. 2. Зависимости относительной магнитной проницаемости ленточного материала экранов от величины остаточного магнитного поля: *a* — до процедуры размагничивания, *b* — после процедуры размагничивания. Символами показаны величины $\mu(B_r)$, полученные при пересчете экспериментальных значений остаточных магнитных полей образцов магнитных экранов, представленных в табл. 1. Сплошные линии соответствуют расчетным зависимостям в соответствии с выражением (2).

ки, квадратики, треугольники, звездочки) показаны расчетные значения $\mu(B_r)$, полученные для магнитного материала всех 7 образцов экранов (в соответствии с табл. 1, пронумерованных от 1 до 7) до процедуры размагничивания. Размеры тонких линий, соединяющих одинаковые символы, соответствуют разбросу значений относительной проницаемости, полученных из данных табл. 1. Сплошная кривая *A* на рис. 2, *a* соответствует модельной зависимости $\mu(B)$ в виде

$$\mu(B) = \frac{\mu_0 M_s B}{(B_m + B)^2}. \quad (2)$$

Подобная зависимость описывает кривую с максимумом относительной проницаемости $\mu_m = \mu_0 M_s / 4B_m$ при значении индукции магнитного

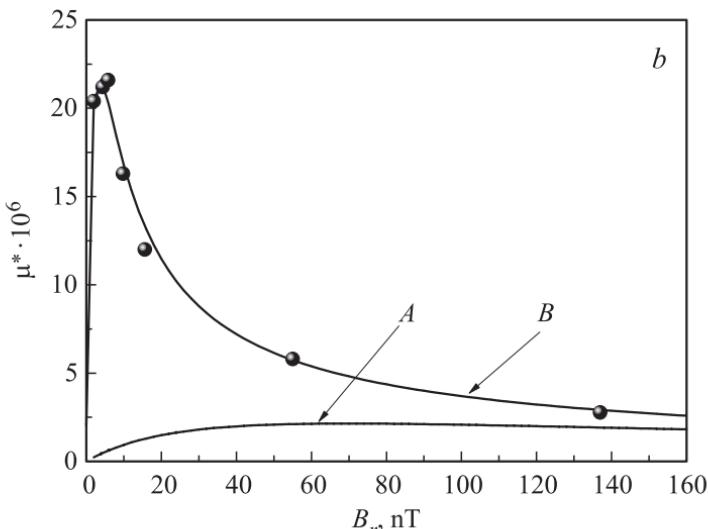


Рис. 2 (продолжение).

поля $B = B_m$ (полагаем, что намагниченность насыщения равна паспортному значению АМАГ-172 $\mu_0 M_s = 0.6$ Т). Положение максимума относительной проницаемости $B_{ml} = 70$ нТ ($\mu_{ml} = 2.1 \cdot 10^6$) кривой А на рис. 2, а подбиралось эмпирически, исходя из экспериментальных величин остаточного поля экрана, измеренных до размагничивания.

Для сравнения та же кривая А приведена и на рис. 2, б, где черными кружками представлены значения $\mu(B_r)$, полученные из экспериментальных данных остаточной индукции внутри экрана после процедуры размагничивания (табл. 1). Видно, что в этом состоянии ленточный материал в области слабых полей характеризуется очень высокой относительной проницаемостью. Экспериментальные данные хорошо описываются модельной зависимостью $\mu(B_r)$ (кривая B), в которой величина B_m выражения (2) монотонно возрастает с полем: $B_m(B) = \frac{50B+480}{B+100}$. Данная кривая имеет максимум $\mu_{m2} = 21.7 \cdot 10^6$ при еще меньшем значении индукции, $B_{m2} = 3.4$ нТ.

В соответствии с (1) можно показать, что на правых склонах кривых А и B (рис. 2, а) для $B > B_m$ при увеличении числа слоев ленточного магнитного материала n уменьшение внутреннего поля экрана

Таблица 2. Расчетное количество слоев ленточного магнитного материала экранов различных диаметров для обеспечения заданной степени экранирования МПЗ. (В скобках указано необходимое число слоев материала с учетом процедуры размагничивания.)

Диаметр, м	Коэффициент экранирования				
	50	100	200	500	1000
0.13	1	1	1	2(1)	4(1)
0.15	1	1	1	2(1)	4(2)
0.5	3	3	4(3)	6(4)	12(4)
1.0	5	6(5)	7(6)	12(7)	24(9)
1.5	7	8(8)	11(9)	19(11)	36(13)
2.0	10(9)	11(10)	14(11)	24(14)	48(17)
2.5	12(11)	14(13)	17(14)	30(17)	60(21)

происходит по линейному закону $\Delta B = \frac{\mu_0 M_s t_0}{D} n$. В области магнитных полей $B < B_m$ увеличение числа слоев становится менее эффективным из-за уменьшения μ (кривая A). Воздействие размагничивающим полем позволяет существенно увеличить μ в области слабых магнитных полей (кривая B) за счет выхода материала на безгистерезисный режим намагничивания. Используя найденные зависимости $\mu(B)$, были рассчитаны оценочные значения коэффициентов экранирования МПЗ внутри цилиндрических магнитных экранов с открытыми торцами для различных диаметров D и заданного числа слоев n ленточного ферромагнитного материала АМАГ-172. Значения полученных коэффициентов экранирования до и после размагничивания приведены в табл. 2. Первые 2 строки данной таблицы соответствуют экранам с диаметрами 0.13 и 0.15 м (образцы исследованных экранов с номерами 1–4) и хорошо совпадают с полученными экспериментальными данными.

Таким образом, установлено, что в поперечном магнитном поле высокая максимальная относительная магнитная проницаемость ленточного материала АМАГ-172 (более $2 \cdot 10^7$) может быть достигнута после его размагничивания знакопеременным затухающим полем. На основании результатов измерений найдены аппроксимационные зависимости относительной магнитной проницаемости, с помощью которых для одиночных цилиндрических экранов заданных диаметров с открытыми торцами определено количество слоев ленточного материала,

соответствующее требуемому коэффициенту ослабления магнитного поля Земли. Рассчитано, что при использовании режима размагничивания экранирующая система диаметром 2.5 м с толщиной магнитного слоя менее 1 mm может ослабить магнитное поле Земли более чем в 1000 раз.

Часть результатов получена в рамках госзадания Минобрнауки России № 2014/113.

Список литературы

- [1] <http://www.vacuumschmelze.com>
- [2] Кузнецов П.А., Фармаковский Б.В., Толочко О.В., Аскинази А.Ю., Васильева О.В., Песков Т.В. // Вопросы материаловедения. 2009. N 3 (59). С. 204–216. (Kuznetsov P.A., Farmakovsky B.V., Tolochko O.V., Askinazi A.Yu., Vasilieva O.V., Peskov T.V. // (Rus) Problems of materials science. 2009. N 3 (59). P. 204.)
- [3] <http://www.metglass.com>
- [4] <http://www.mstator.ru>
- [5] Sasada I., Kubo S., Harada K. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 10. P. 5696.
- [6] Sasada I., Kimura T., Takeda T., Shimada M. // J. Appl. Phys. 2006. V. 99. P. 08P501.
- [7] Гудошников С.А., Венедиктов С.Н., Гребенщиков Ю.Б., Кузнецов П.А., Мянинен С.А., Криволапова О.Н., Круглов О.С., Труханов К.А., Спасский А.В. // Измерительная техника. 2012. № 3. С. 58–61. (Gudoshnikov S.A., Venediktor S.N., Grebenzhchikov Yu.B., Kuznetsov P.A., Manninen S.A., Krivolapova O.N., Trukhanov K.A., Kruglov O.S., Spasskii A.V. // Measurement Techniques. 2012. V. 55. N 3. P. 329.)
- [8] Malkowski S., Adhikari R., Hona B., Mattie C., Woods D., Yan H., Plaster B. // Rev. Sci. Instrum. 2011. V. 82. P. 075 104.
- [9] Мейлихов Е.З. // Радиотехника и электроника. 2005. Т. 50. № 11. С. 1317–1334. (Meilikhov E.Z. // J. Communications Technology and Electronics. 2005. V. 50. N 11. P. 1215.)
- [10] Gudoshnikov S., Usov N., Nozdrin A., Ipatov M., Zhukov A., Zhukova V. // Phys. Status Solidi. A. (1–6) 2014. DOI 10.1002/pssa.201300717.

Магнитное экранирование

В.А. Ярмолович*, Г. Шилагарди **, В.И. Прокошин***, А.П. Драпезо*
Л.Баярчимэг**, Х.Цоохүү**

* Республика Беларусь, ГО «НПЦ НАН Беларусь по материаловедению», **Монголия, Монгольский национальный университет, ***Республика Беларусь, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований

I. ВВЕДЕНИЕ.

Магнитное экранирование или магнитная защита - защита объекта от негативного воздействия постоянных и переменных магнитных полей. Различают два вида экранирования: пассивное и активное.

Активная защита от помех осуществляется при помощи компенсирующих катушек, создающих магнитное поле, равное по величине и противоположное по направлению полю помехи. Алгебраически складываясь, эти поля компенсируют друг друга. Наиболее известны катушки Гельмгольца, представляющие собой две одинаковые соосные круговые катушки с током, раздвинутые на расстояние, равное радиусу катушек. Достаточно однородное магнитное поле создаётся в центре между ними. Для компенсации по трём пространственным компонентам необходимы минимум три пары катушек.

Пассивное экранирование постоянных и квазистатических магнитных полей осуществляется с помощью магнитомягких ферромагнитных экранов (лист, цилиндр, сфера или оболочка иной формы) из материала с высокой магнитной проницаемостью $\mu_{\text{экр}}$ низкой остаточной индукцией B_r и малой коэрцитивной силой H_c . Принцип действия ферромагнитного экрана, например помещённого в однородное магнитное поле заключается в следующем. Линии индукции внешнего магнитного поля $B_{\text{внеш}}$ при переходе из среды с $\mu \ll \mu_{\text{экр}}$ в материал экрана заметно сгущаются, а внутри экрана густота линий индукции уменьшается, т. е. поле внутри оболочки $B_{\text{внутр}}$ оказывается ослабленным. Ослабление поля характеризуется коэффициентом экранирования $K = B_{\text{внеш}} / B_{\text{внутр}}$. Каждый очевидным способ улучшения экранирования за счёт утолщения стенки экрана не оптimalен. Эффективнее работают многослойные экраны с немагнитными промежутками между слоями. Именно многослойные экраны (внешние слои из магнитных материалов, насыщающихся при высоких значениях $B_{\text{внеш}}$, внутренние - из пермаллоя или мю-металла) составляют основу конструкций магнитозащищённых комнат для

биомагнитных, палеомагнитных и др. исследований. Следует отметить, что применение защитных материалов типа пермаллоя связано с рядом технологических трудностей, в частности с тем, что их магнитные свойства при деформациях и значительных нагревах ухудшаются, они практически не допускают сварки, значит изгибов и других механических нагрузок. В современных магнитных экранах широко применяются ферромагнитные металлические стёкла (метглассы), близкие по магнитным свойствам к пермаллою, но не столь чувствительные к механическим воздействиям.

Экраны из материала с высокой электропроводностью например Cu, Al и др. служат для защиты от переменных магнитных полей. При изменении внешнего магнитного поля в стенах экрана возникают индукционные токи, которые охватывают экранируемый объём. Магнитное поле этих токов направлено противоположно внешнему возмущению и частично компенсирует его. Для частот выше 1 Гц коэффициент экранировки K растёт пропорционально частоте f и электропроводности материала стены σ . Наиболее тяжело экранировать постоянное магнитное поле.

Магнитные экраны из Cu и Al менее эффективны, чем ферромагнитные, особенно в случае низкочастотного электромагнитного поля, но простота изготовления и невысокая стоимость часто делают их более предпочтительными в применении.

Существует важное отличие активной защиты от магнитных экранов. Магнитные экраны снижают электромагнитное поле во всём объёме, ограниченном экраном, в то время как активная защита устраняет его лишь в локальной области.

Уменьшение влияния магнитных полей в сильной степени определяет возможности проведения точных магнитных измерений. Внешние магнитные поля, например магнитное поле Земли или магнитные поля от электрических сетей и городского транспорта создают сильные помехи для работы высокочувствительной магнитометрической аппаратуры. Поэтому для калибровки

прецisionных магнитометров требуется использование «магниточистых» помещений. Поэтому в настоящей работе решалась задача компьютерного моделирования магнитных экранов для проектирования магниточистых помещений, пригодных для проведения калибровки высокоточных магнитометров. Наиболее часто используемые в практике конфигурации - многослойные экраны сферической или цилиндрической формы. Проблему оптимизации выбора материалов экрана и геометрических размеров экранирующих оболочек легче решать с помощью компьютерного моделирования.

2. Компьютерное моделирование магнитных экранов, перспективных для проектирования «магниточистых» помещений.

С помощью программы FEMM 4.0 /1/ решалось уравнение Пуассона для векторного магнитного потенциала A , где $B = \text{rot}A$, а B – индукция магнитного поля. Для полного определения функции A использовалось условие $\text{div}A = 0$, которое называется калибровкой Кулона. Уравнение, описывающее магнитные свойства материалов конструкции записывалось в виде $B = \mu_{\text{экр}}H + Br$, где $\mu_{\text{экр}}$ – магнитная проницаемость вещества экрана, которая являлась функцией $|B|$, что и выражает нелинейную связь между полями B и H вследствие насыщения магнитного потока (особенно в месте сужения магнитного потока). Здесь H – напряженность магнитного поля. Для этой модели граничные условия выражались через векторный потенциал. Тангенциальная составляющая $A=0$ на границе находящейся в бесконечности (т.е. достаточно удаленной), чтобы магнитную энергию можно было полагать равной нулю. На оси симметрии вращения накладывалось условие $A=0$, а в плоскостях магнитной и геометрической симметрии $dA/dn=0$, т.е. линии потока перпендикулярны этим плоскостям (n – нормаль). В случае. Когда рассматриваемая область граничит с материалами, проницаемость которых можно считать большой, чем проницаемость внутренних материалов в 1000 раз, то нормальная составляющая $An=0$. Следует отметить, что для областей, обладающих симметрией вращения, как в нашем случае, условие калибровки Кулона $\text{div}A = 0$ выполняется автоматически /2/. Конечные элементы, используемые для дискретизации рассматриваемой области имели вид треугольников различных размеров, причем размеры увеличивались при приближении к

границам модели. Общее количество точек, в которых осуществлялся расчет, составлял не мене 50 тысяч. Дискретизация выполнялась автоматически. Постпроцессор решал систему линейных алгебраических уравнений, таким образом, пока сходимость уравнений не уменьшалась до 10-8. Так как конструкция комнаты симметрична относительно продольной оси, то решалась двухмерная задача в координатах R, Z и считалось, что магнитное поле не зависит от угла ϕ . Ось Z – вертикальная, R лежит в горизонтальной плоскости. Зависимости $B(H)$ для магнитных материалов аппроксимировались кубическими сплайнами.

При расчете использовалась имитация внешнего магнитного поля путем введения осесимметричной двумерной модели соленоида больших размеров (соленоида длиной 40 метров и диаметром 12 метров). Индукция магнитного поля внутри соленоида $B_{\text{внеш}} = B_0$ моделировалась величиной тока обмотки. В отсутствие ферромагнитной обшивки комнаты неравномерность B_0 в пределах высоты комнаты $H=3\text{м}$ в средней части соленоида не превышала 0,1%, а вдоль диаметра $D=3\text{метра}$ не превышала - 0,5%. При расчетах использовались магнитные характеристики ферромагнитного материала экрана, т.е. зависимости $B(H)$, что эквивалентно изготовлению обшивки из этого материала. Толщина слоя обшивки стали выбиралась равной $t=2\text{мм}$ из соотношений технологичности. Для расчетов использовались две конфигурации: сфера с $D=3\text{метра}$, имеющего 1, или 2, или 3 слоя ферромагнитной обшивки. Расстояние между двумя соседними слоями обшивки $L=0,5\text{ метра}$, а расстояние при трехслойной обшивке составляло 0,25 м. Другой конфигурацией была цилиндрическая с прямыми углами с $D=3\text{метра}$ и высотой комнаты $H=3\text{м}$, имеющая 1, или 2, или 3 слоя обшивки. Расстояния между соседними слоями обшивки выбирались такими же, как и для сферической конфигурации. Отношение величины индукции магнитного поля соленоида $B_0 = 12 \text{ мкТл}$ к величине индукции B внутри экранированного помещения представляет собой величину коэффициента ослабления K магнитного потока (или индукции магнитного поля), и является главной характеристикой экранированного помещения. B_0 была направлена вдоль оси Z . Основной задачей при проектировании «магниточистых» помещений любой конфигурации является достижение высоких значений K при заданных значениях

геометрических размеров помещения и минимальной толщине экрана.

Следует отметить что для цилиндрической формы экрана комнаты реализуется при моделировании самый плохой вариант экранирования (т.е. минимальное значение K), когда внешнее магнитное поле направлено вдоль оси цилиндра. Для экранов сферической формы все направления внешнего магнитного поля эквивалентны.

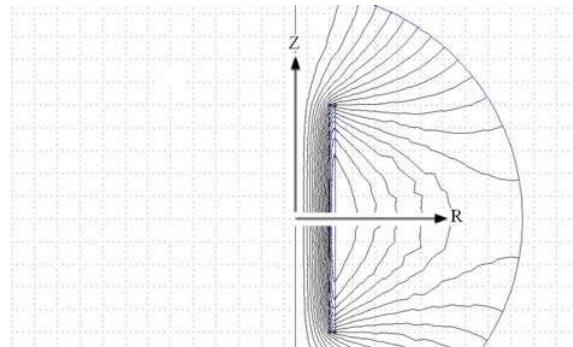


Рисунок 1 – Изолинии индукции внешнего магнитного поля, создаваемого моделью соленоида и область расчета модели (расстояние между ближайшими точками сетки 1 м)

На рисунках №2-5 представлены распределения индукции магнитного поля по радиусу соленоида и по оси Z .

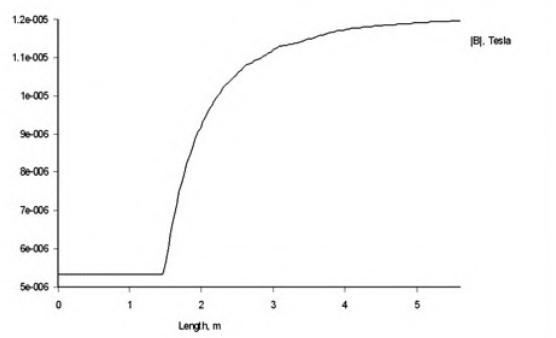


Рисунок 2- Распределение индукции магнитного поля по радиусу соленоида начиная от его оси при $Z=0$, экран –однослойная сфера с $D=3\text{м}$ и толщиной $t = 2 \text{ мм}$. Материал экрана -сталь 1020. Коэффициент экранирования $K=2,26$

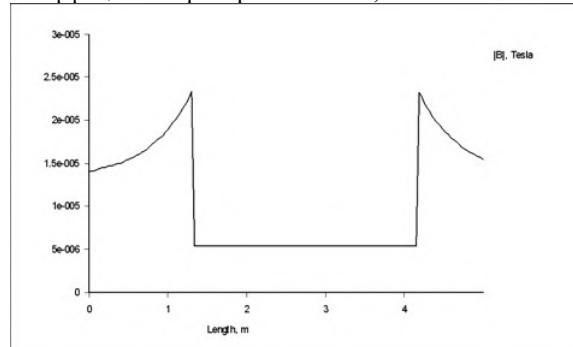


Рисунок 3- Распределение индукции внешнего магнитного поля по оси соленоида, при $R=0,5 \text{ м}$. Экран –однослойная сфера с $D=3\text{м}$ и толщиной $t = 2 \text{ мм}$. Материал экрана -сталь 1020. Коэффициент экранирования $K=2,24$.

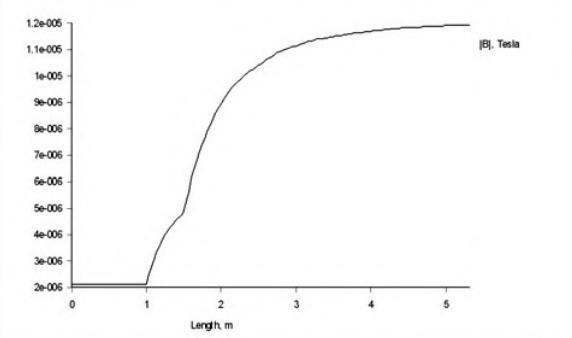


Рисунок 4- Распределение индукции магнитного поля по радиусу соленоида начиная от его оси при $Z=0$, экран –двуухслойная сфера с внешним $D=3\text{м}$ и толщинами по $t = 2 \text{ мм}$. Расстояние между слоями $0,5 \text{ м}$. Материал экрана - сталь 1020. Коэффициент экранирования $K=5,77$.

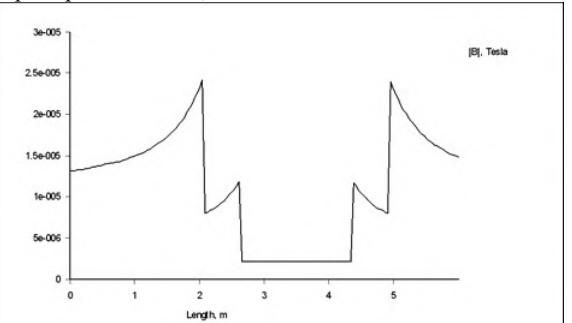


Рисунок 5- Распределение индукции внешнего магнитного поля по оси соленоида, при $R=0,5 \text{ м}$. Экран –двуухслойная сфера с внешним $D=3\text{м}$ и толщинами по $t = 2 \text{ мм}$. Расстояние между слоями $0,5 \text{ м}$. Материал экрана –с таль 1020. Коэффициент экранирования $K=5,71$.

В таблице 1 представлены рассчитанные коэффициенты экранирования для трехслойных сфер из различных материалов.

3. ВЫВОДЫ

В соответствие с полученными расчетными результатами можно сделать следующие выводы:

- 1) Для получения коэффициента ослабления (экранирования) постоянного магнитного поля как минимум в 10 раз необходимо использовать трехслойную обшивку сферической формы, например из стали 1020, с расстояниями между слоями по $0,25 \text{ м}$ и толщинами не менее 2мм . Очевидно, что изготовление трехслойной обшивки с внешним диаметром 3м весьма проблематично.
- 2) При использовании трехслойной обшивки

цилиндрической формы с прямыми углами и при самом неблагоприятном направлении внешних постоянных полей, при использовании стали 1020, с расстояниями между слоями по 0,25 м и толщинами не менее 2мм , внешним диаметром цилиндра 3м и высотой 3м коэффициент экранирования постоянного магнитного поля $K \approx 5,6$. Следовательно в промежуточных случаях при использовании закругленных концов обшивки коэффициент экранирования будет находиться в пределах $5,6 \leq K \leq 10,8$.

3) При использовании двухслойных и однослойных оболочек экранирования соответствующих форм коэффициент экранирования постоянных магнитных полей значительно менее 10 (при толщинах обшивки 2мм и указанных размерах). Для двухслойных экранирующих оболочек можно добиться увеличения коэффициента экранирования за счет повышения толщины экрана, что приводит к большому расходу ферромагнитного материала. Увеличение толщины экрана менее эффективно, чем увеличение числа ферромагнитных слоев (оболочек).

4) Проблема выбора материала экрана крайне важная. Как видно из таблицы 1 предпочтительно использовать материал с высоким значением начальной магнитной проницаемости, но он имеет достаточно высокую цену. Стали слабо подходят для этих целей. Как уже отмечалось, эффективнее функционируют многослойные экраны с

промежутками между слоями, для которых коэффициент экранирования приближенно равен произведению коэффициентов для отдельных слоев, т.е. $K \approx K_1 K_2 K_3$. Если слои изготовлены из одного материала, то каждый из коэффициентов экранирования пропорционален μ , т.е. $K_1 \sim \mu(H_1)$ и $K_2 \sim \mu(H_2)$, а также $K_3 \sim \mu(H_3)$ (каждая оболочка экрана функционирует в своем внешнем магнитном поле потому магнитные проницаемости разные), что в итого при трехслойном экране приводит к грубо - ориентировочной зависимости $K \sim \mu^3$, что и объясняет столь сильные отличия в коэффициентах экранирования для разных материалов. (В этих формулах $\mu(H)$ - функция H и не равна начальной магнитной проницаемости, приведенной в таблице 1 справочно). $\mu_{\text{нач}}$ - показывает ориентировочный уровень μ в слабых магнитных полях. Поэтому самым простым критерием выбора материала является выбор материала с высокими значениями $\mu_{\text{нач}}$.

II. ЛИТЕРАТУРА

Сайт в Интернете :<http://femm.berlioz.de>
Кулон Ж. -Л., Сабоннадье Ж.-К. САПР в электротехнике: Пер. с франц. -М.: Мир, 1988.- 203 с.

Таблица 1

Конструкция : экран – трехслойная сфера с внешним D=3м и толщинами по t = 2 мм. Расстояние между слоями по 0,25 м. Материал экрана	Начальная магнитная проницаемость $\mu_{\text{нач}}$ ($\mu_{\text{нач}}$ приведена справочно и в расчетах не использовалась, модель расчета нелинейная)	Рассчитанный коэффициент экранирования K	Индукция насыщения B , Тл
1020 Steel	1000	10,81 - 10,91	2,28
M -45 Steel	1990	13,6	2,30
СТ3 листовая	1447	9,23	2,40
Сталь листовая 1571 ГОСТ 21427.3-75	2786	26,6	-
Сталь 2013	5307	72,7	2,40
Pure Iron	13007	936	2,56
Mu Metal	80040	$1,85 \cdot 10^5$	0,662
Superalloy	529035	$10,78 \cdot 10^6$	0,785

Магнитные экраны на основе аморфных сплавов

В работе представлены результаты исследований и разработок в области применения аморфных магнитомягких сплавов для создания магнитных экранов для защиты от постоянных и переменных магнитных полей, выполненные авторским коллективом за последние 10 лет. Показано, что магнитные экраны из аморфных магнитомягких сплавов на основе Со, прошедших соответствующую термообработку для увеличения исходных магнитных свойств, могут быть эффективнее магнитных экранов из пермаллоев. Разработана и запатентована конструкция магнитного экрана на основе лент аморфных сплавов. Приведены примеры практической реализации выполненных исследований и разработок.

Ключевые слова: экранирование, магнитное поле, аморфные магнитомягкие материалы, спиннингование, магнитная проницаемость, коэрцитивная сила, безгистерезисная кривая намагничивания, магнитный экран, гипомагнитные камеры.

Введение

В журнале Инновации № 5 за 2004 г. была опубликована статья о разработке нового класса магнитных экранов на основе лент аморфных сплавов [1]. Сейчас, по прошествии десяти лет, можно сказать, что мы находились в самом начале пути и еще не знали, сколько вопросов и проблем предстоит решить. Скептики нам говорили, что все уже сделано за рубежом, незачем изобретать велосипед, все, что нужно уже экранировано и лучше пермаллоя ничего нет. Поэтому считаю необходимым отметить, что мы не зря верили в создание нового материала, у которого есть будущее. Это позволило нам продолжать движение вперед и развивать данное направление.

В связи с этим побудительным мотивом к написанию данной статьи явилась необходимость изложить тот путь, который пришлось пройти от идеи через исследования к инновационному продукту, который имеет реальную перспективу не только на российском рынке, но и на зарубежном.

От идеи к ее реализации

Перед тем как приступить к выбору материала для эффективного экранирования магнитного поля необходимо разобраться с тем, в чем суть магнитного экранирования, а также понять от каких параметров материала зависит эффективность экранирования.

Принцип защиты заключается в замыкании силовых линий магнитного поля в толще материала и исключении их проникновения из внешнего пространства внутрь замкнутого объема или из замкнутого



П. А. Кузнецов,
д. т. н., начальник НИО «Наноматериалы
и нанотехнологии»,
ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»
e-mail: mail@crism.ru

объема во внешнее пространство [2], что графически представлено на рис. 1.

На первый взгляд все достаточно просто, но открытым остается вопрос, как связаны между собой внешнее магнитное поле H_0 и магнитное поле внутри сферы/цилиндра H_i . В данном случае это является ключевым вопросом, так как в дальнейшем будет не понятно, на какие характеристики ферромагнитного материала следует обращать внимание. В целом, конечно, интуитивно ясно, что эффективность экранирования должна быть пропорциональна магнитной проницаемости, диаметру и толщине экранирующей оболочки. При этом, чем больше проницаемость или толщина экрана, тем больше эффективность экранирования. Однако, как говорится, без формулы, хотя бы упрощенной, мало куда можно продвинуться, разве что заняться эмпирикой и строить регрессионные зависимости.

Следует отметить сразу, что вопросом вывода формулы для расчета магнитного поля внутри сфе-

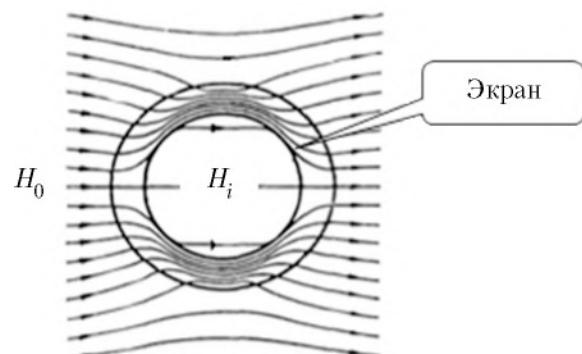


Рис. 1. Принцип защиты от магнитного поля

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

рической ферромагнитной оболочки, помещенной во внешнее магнитное поле занялись еще в позапрошлом веке. Это было, по-видимому, связано с тем, что активно стали развиваться приборы для измерения электрических величин (гальванометры), а также телефонная связь. Тогда, в конце XIX в., выбор ферромагнитных сплавов был не велик, даже сказать правильнее — он совсем отсутствовал. Использовалось технически чистое железо и электротехнические стали FeSi. Магнитная проницаемость этих ферромагнетиков была не велика и остро требовалась теория магнитного экранирования для увеличения эффективности экранирования. Ведь до открытия Элменом пермаллоя оставалось еще лет двадцать–тридцать [3].

К одному из ярких примеров российской научной мысли следует отнести работу Эсмарха [4], которую найти было бы достаточно трудно, если бы не вышедшая в 2006 г. в свет книга Ю. Я. Реутова, в которой автор собрал достаточно полно сведения о магнитном экранировании [5]. Есть и другие книги, но именно в этой, с одной стороны достаточно компактно, а с другой — полно и широко, рассмотрены практически все известные сведения о магнитном экранировании.

Итак, формула для расчета коэффициента экранирования, т.е. отношения напряженности внешнего поля H_0 к напряженности поля H_i в области, защищенной экраном, ($K_{\text{экр}} = H_0/H_i$) записывается в следующем виде:

$$K_{\text{экр}} = 1 + 0,25 (\mu^{1/2} - (1/\mu)^{1/2})^2 (1 - r_i^2/r_e^2), \quad (1)$$

где μ — магнитная проницаемость стенки экрана, r_i и r_e — внутренний и внешний радиусы цилиндрического магнитного экрана, соответственно.

Поскольку в большинстве случаев $\mu \gg 1$, то формула (1) может быть записана в следующем виде:

$$K_{\text{экр}} = 1 + 0,25 \mu (1 - r_i^2/r_e^2). \quad (2)$$

Если толщина стенки экрана (t) мала по сравнению с диаметром экрана (r), то выражение для $K_{\text{экр}}$ принимает следующий вид:

$$K_{\text{экр}} = 1 + 0,5 \mu (t/r). \quad (3)$$

Если внешний радиус цилиндрического экрана r_e много больше его внутреннего радиуса r_i , то выражение для $K_{\text{экр}}$ преобразуется следующим образом:

$$K_{\text{экр}} \approx 1 + 0,25 (\mu + 1/\mu - 2). \quad (4)$$

Таким образом, нами получен инструмент, позволяющий сказать, что эффективность экранирования пропорциональна магнитной проницаемости и имеет квадратичную зависимость от радиусов экрана. Интересен и еще один момент — при бесконечной толщине экрана коэффициент экранирования имеет конечное значение (4). Это принципиально важно, так как в большинстве литературных источников приводится исключительно упрощенная формула (3), исходя из которой коэффициент экранирования может обращаться в бесконечность.

Следовательно, нам необходимо найти сплавы с высокой магнитной проницаемостью. Сразу оговоримся, что для создания магнитных экранов наиболее распространенными материалами являются кристаллические сплавы на основе железа (permаллои и кремнистая сталь) [6]. Анализ современных тенденций показывает, что по совокупности магнитных свойств имеется реальная перспектива замены этих материалов более эффективными аморфными и нанокристаллическими магнитомягкими сплавами [7, 8]. Аморфные сплавы получают в виде лент по технологии сверхбыстрого охлаждения струи расплава на быстровращающемся диске-холодильнике [9–11].

Ленты, полученные методом спиннингования, сами по себе могут являться только исходным материалом для изготовления экранов, поэтому встал задача рассмотрения существующих конструкций магнитных экранов из лент, определения их преимуществ и недостатков, и, в случае необходимости, усовершенствования существующих конструкций. Было установлено, что наиболее распространенным способом изготовления магнитных экранов является технология полотняного переплетения аморфных лент и изготовление из них полотен по системе «основа–уток» [12–14], которая обладает как рядом преимуществ, так и существенных недостатков. Использование технологии полотняного переплетения для изготовления магнитного экрана позволяет сразу получить достаточно прочную конструкцию. Поэтому данный способ является вполне очевидным при решении задачи разработки конструкции магнитного экрана. Однако при переплетении в местах пересечения лент образуются отверстия (несплошности) размером до 1 мм, и при изгибе такого полотна для его нанесения на криволинейные поверхности имеющиеся отверстия могут увеличиваться, что может привести к уменьшению эффективности экранирования. Кроме этого, технологически сложно изготовить ленты одинаковой ширины для основы или утка без применения промежуточной операции по резке лент на заданную ширину, что приведет к увеличению расхода материала и его стоимости соответственно. Необходимо отметить также, что в результате плетения получается двухслойное полотно. В случае достижения необходимых экранирующих свойств одним слоем лент, данный способ также экономически нецелесообразен. Следовательно, разрабатываемая конструкция магнитного экрана должна обеспечивать 100% сплошность и полное ее сохранение при изгибе экрана. С учетом этого нами разработана (рис. 2) и запатентована конструкция магнитного экрана [15], отличающаяся от известных аналогов тем, что аморфные ленты (1) расположены внахлест с перекрытием не менее толщины самой ленты и зафиксированы относительно друг друга с помощью эластичного материала (2). При наложении устройства на криволинейную поверхность изгиб осуществляется не только за счет лент (1), но и за счет эластичного покрытия (2), что обеспечивает защиту криволинейных поверхностей с меньшим радиусом, чем сплошной лист из того же материала одной и той же толщины, не нарушая при этом сплошность конструкции экрана и обеспечивая неизменность ко-

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

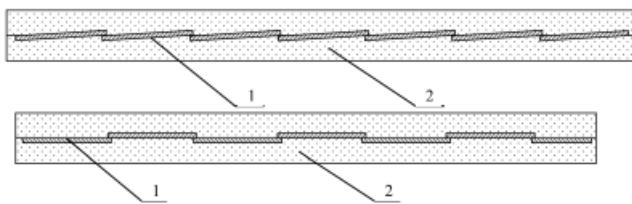


Рис. 2. Варианты расположения лент в магнитном экране:
1 – лента аморфного сплава; 2 – эластичный материал для фиксации лент

эффективности экранирования как на плоских, так и на криволинейных участках поверхности.

Казалось бы, с экранированием разобрались, конструкцию придумали и запатентовали. Теперь можно смело делать экраны и продавать их. Однако выяснилось, что все не так просто. Необходимо разработать технологию изготовления экранов. Несмотря на то, что первые аморфные сплавы получены уже более 50 лет назад, до сих пор остается проблемой стабильность свойств. В связи с этим настоятельно требовались методики входного и выходного контроля магнитных и экранирующих свойств. Чтобы магнитные экраны нашли применение в сфере товаров народного потребления необходимо наличие гигиенических и пожарных сертификатов.

По мере движения в этом направлении выяснилось, что магнитный экран сам по себе мало кому нужен. Связано это в первую очередь с тем, что это не просто обои, которыми можно обклеить что-нибудь и добиться магнитного экранирования, а научный продукт, для которого необходимо проводить соответствующие расчеты эффективности экранирования для различных геометрических размеров. Таким образом появилась необходимость найти программы, которые позволяли бы учитывать нелинейную зависимость магнитной проницаемости от величины внешнего магнитного поля.

Такие программные комплексы были найдены и начаты первые эксперименты. Тут-то и выяснилось, что наши расчеты дают завышенную оценку по сравнению с реальным экспериментом. С чем это было связано оставалось непонятным. В одной из работ по исследованию распределения магнитных свойств по длине мотка аморфной ленты магистрантом было замечено, что в зависимости от способа изготовления тороидов зависимости выглядят по-разному. Если моток аморфной ленты предварительно перемотать в тороиды и провести термическую обработку, то распределение магнитных свойств по длине ленты выглядит более или менее равномерным. Если моток аморфной ленты предварительно термообработать, а затем перемотать в тороиды, то распределение магнитных свойств по длине ленты выглядит немного по-другому — магнитная проницаемость уменьшается от начала к концу мотка. Это выглядит немного странным, так как в литературе отмечается одно из главных достоинств аморфных сплавов — нечувствительность к механическим деформациям. После проведения детального исследования было установлено, что наличие в ленте деформации в упругой области приводит к изменению кривой намагничивания, которая «опускается» ниже

кривой намагничивания ленты, в которой отсутствует деформация, что приводит к уменьшению начальной и максимальной магнитной проницаемости [16, 17]. Установление этих закономерностей позволило нам существенно повысить экранирующие свойства, и получилось так, что при увеличении числа слоев экрана экранирующие свойства становятся существенно выше, чем предсказывает расчетная модель. Наконец-то нам удалось добиться того, что расчет дает так называемую «пессимистическую» оценку или оценку снизу, ниже которой мы получить не должны, но чтобы выше — это оказалось удивительным. Анализ литературы позволяет нам делать некоторые предположения о безгистерезисном намагничивании экрана в цилиндре или о еще каком-нибудь механизме намагничивания. Однако это — наши дальнейшие исследования, и что будет достигнуто в будущем, мы можем только догадываться.

Любому исследователю приятно, когда его разработки находят практическую реализацию и после представления решенных научных проблем, по-видимому, целесообразно осветить те разработки, которые были выполнены с использованием имеющегося опыта. В следующих двух разделах будут приведены примеры создания конкретных изделий, в том числе: гипомагнитных камер и экранированных комнат, силовых кабелей и защитных жилетов, а также примеры дальнейшего развития этого направления.

Практическое применение разработанных магнитных экранов

Институт НИЯФ МГУ им. Д. В. Скobelцына совместно с ИМБП РАН поставили задачу создания двух гипомагнитных камер, экранирующих поле Земли в 400 раз. Внутренний рабочий диаметр камеры должен быть 300 мм, а длина — 500 мм. Камера разрабатывалась совместно со специалистами ИЗМИРАН [18, 19].

Были проведены численные расчеты в двумерном приближении методом конечных элементов с помощью программного пакета ELCUT (версия 5.4.0.557) [20], позволяющего моделировать двумерные магнитные поля. Для задания магнитных свойств экрана в расчете использовали кривые намагничивания, предварительно измеренные на магнитоизмерительной установке МК-3Э по аттестованной «Методике

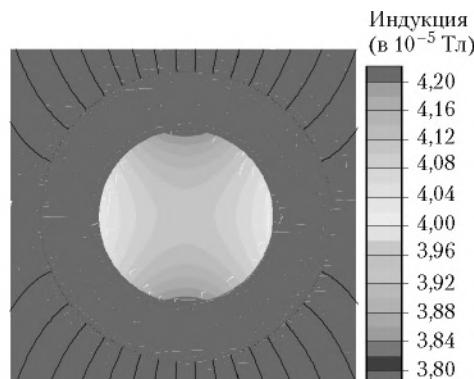


Рис. 3. Картина магнитного поля внутри двойного экрана

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ



Рис. 4. Внешний вид готовых гипомагнитных камер

определения магнитных свойств (коэрцитивной силы, магнитной проницаемости и индукции насыщения) функциональных наноматериалов на основе магнитомягких сплавов» (свидетельство об аттестации МВИ № 261.13.16.016/2009).

Для начала был рассчитан самый простой вариант экрана – бесконечный цилиндрический одинарный экран в однородном поле индукцией 50 мкТл. Под одинарным экраном понимается экран, состоящий из нескольких слоев листового экранирующего материала МАР-1К, нанесенных вплотную друг к другу. Результаты расчета КЭ для такого экрана в зависимости от числа слоев МАР-1К показали, что использование одинарного экрана не позволяет добиться требуемого КЭ 400 при приемлемом числе слоев экранирующего материала. В соответствии с классической теорией магнитного экранирования [5], эффективное увеличение КЭ возможно при использовании двойного экрана, состоящего из двух многослойных одинарных экранов разного диаметра, вложенных один в другой.

Таблица 1

Коэффициент экранирования для одинарных цилиндрических многослойных экранов

Количество слоев	Диаметр 300 мм			Диаметр 500 мм		
	Расчет	Обр. № 1	Обр. № 2	Расчет	Обр. № 1	Обр. № 2
1	5	4,2	4,7	2	1,7	2,5
2	75	37	30	15	2,8	–
3	84	105	101	74	6,7	–
4	91	353	164	79	–	22
5	96	556	305	84	41	75
6	101	976	435	89	56	165
7	104		–	92		
8	107		770	96		
9	109		1050	99		
10	111			101		
15	119					
20	126					

Была проведена серия расчетов двойных экранов и исследована зависимость КЭ такой системы от толщины экранов и величины зазора между ними. В результате этого были выбраны следующие размеры экрана: диаметр внутреннего цилиндра – 300 мм, диаметр внешнего цилиндра – 500 мм. При этом количество слоев на внешнем цилиндре – 10, а на внутреннем – 20. Это позволяет добиться трехкратного запаса по коэффициенту экранирования и достичь значения 1200. Такой запас был сделан в связи с тем, что коэффициент экранирования экрана в конструкции может отличаться от расчетного значения для бесконечного цилиндра, а магнитная проницаемость экрана может уменьшиться из-за механических деформаций и при воздействии климатических факторов. Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 3.

Опуская подробности всей процедуры изготовления экрана, включающую в себя: входной контроль лент по химическому составу и магнитным свойствам, термическую обработку, повторный контроль магнитных свойств, изготовление магнитных экранов и контроль их экранирующих свойств, нанесение экранов на цилиндр и контроль экранирующих свойств, готовые цилиндры представлены на рис. 4. С одной стороны может показаться, что такое количество контрольных операций излишне, однако в качестве примера следует отметить, что в процессе производства аморфной ленты возможно нарушение химического состава и режима получения ленты (уменьшение скорости охлаждения расплава на диске холодильнике), что приводит к невозможности добиться в сплаве высоких магнитных, а, следовательно, и экранирующих свойств. При выполнении данной работы нами была отбракована одна партия (2 кг) из девяти (18 кг).

Результаты измерения экранирующих свойств (табл. 1, 2) показали, что измеренная величина коэффициента экранирования на больших слоях достаточно существенно превосходит расчетное значение. По всей видимости, такой результат объясняется тем, что материал экрана находится не на основной кривой намагничивания, что может приводить к увеличению его эффективной магнитной проницаемости. Одним из наиболее близких претендентов может быть безгистерезисная кривая, которая идет левее основной кривой намагничивания. Предварительные оценки, опубликованные в работе [18], позволяют достаточно уверенно утверждать, что намагничивание лент в экранирующей конструкции происходит по безгистерезисной кривой.

Таблица 2
Коэффициент экранирования двойных экранов

Количество слоев	КЭ	
	Внешний	Внутренний
Первая камера		
3	4	600
5	5	850
6	6	1200
Вторая камера		
5	9	1850
6	9	1870

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

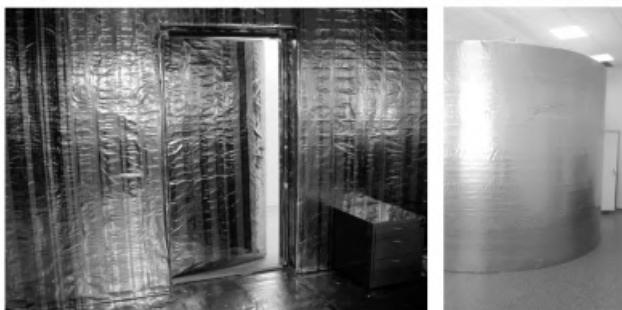


Рис. 5. Примеры использования магнитных экранов для создания магнитоэкранированных помещений: экранированная комната ЦНИИ КМ «Прометей» (слева) и ОАО ЦНИИ «Электроприбор» (справа)

В этом случае эффективная магнитная проницаемость может достигать значений в несколько миллионов, что и позволяет добиться высокого коэффициента экранирования.

Разработанные магнитные экраны нашли применение и при создании магнитоэкранированных комнат. Как было отмечено ранее, экранирование магнитного поля необходимо для проведения магниточувствительных исследований, к которым следует отнести следующие: микроскопия высокого разрешения, медицинская диагностика, поверка оборудования, биологические исследования и т. д. Кроме этого, чистые помещения создаются для изготовления изделий электронной техники. Это необходимо для исключения/предотвращения попадания частиц пыли на поверхность микросхем, процессоров и т. д., которые могут нарушить структуру многослойного покрытия, что в конечном итоге приведет к неправильному функционированию электронного устройства. За последнее десятилетие в зарубежной патентной литературе опубликован ряд патентов, в которых описывается чистая комната, в которую встроена магнитоэкранированная комната [21–23]. Необходимость создания таких помещений, по-видимому, связана с тем, что при электронной и ионной литографии требуется отсутствие магнитного поля, так как заряженная частица в магнитном поле начинает двигаться по спирали. При наличии этого явления должно накладываться ограничение на точность и качество литографии, например, при изготовлении МЭМС и НЭМС устройств. Аналогичным образом обстоит ситуация и в электронной микроскопии. Чтобы избежать девиации пучка заряженных частиц, колонна микроскопа должна быть размещена в магнитоэкранированном цилиндре [24, 25].

На основе разработанных материалов изготовлено две магнитоэкранированные комнаты (рис. 5). Одна установлена в Наноцентре на базе ЦНИИ КМ «Прометей» и предназначена для проведения особо чувстви-

тельных к воздействию магнитных полей, в том числе магнитного поля Земли, испытаний и измерений, а также для проведения медико-биологических исследований. Вторая установлена в ЦНИИ «Электроприбор» для проведения поверки магниточувствительного навигационного оборудования.

Так как данная публикация преследует своей целью показать развитие направления магнитного экранирования с помощью аморфных магнитомягких сплавов, справедливо будет упомянуть и об относительно «старых», но в целом перспективных, экранирующих образцах — жилет и кабель, которые были созданы совместно с Санкт-Петербургской академией технологии и дизайна и ООО НИИ «Севкабель», соответственно. Их относительная «невостребованность», по-видимому, связана с тем, что наши отечественные гигиенические нормативы по уровню магнитных полей не столь жесткие по сравнению с зарубежными. Например, в России допустимый уровень магнитного поля промышленной частоты в жилом помещении составляет 5 мГц, однако, как показывает наша практика, жильцов квартир, которые сталкиваются с такой проблемой (повышенные уровни магнитных полей промышленной частоты) больше устраивает европейская норма в 0,25 мГц. К сожалению, в этой области до сих пор работает хорошо известный принцип «спасение утопающих — дело рук самих утопающих». Мне кажется, что любой человек вряд ли бы согласился спать в непосредственной близости к распределительному щитку или над встроенной трансформаторной подстанцией. В этой связи приятно было увидеть инициативу членов Законодательного собрания Санкт-Петербурга о создании закона, защищающего права населения на комфортные условия проживания по уровням магнитных и электромагнитных полей, который был отвергнут как не соответствующий нормам закона. Однако, это уже совершенно из другой области, и необходимо вернуться к магнитным экранам.

Особенностью предлагаемой конструкции жилета явилось то, что для придания гибкости экраны были предварительно уложены в тканевые карманы и пришиты внахлест с изнаночной стороны (рис. 6). Такая конструкция обеспечивает гибкость и свободу движений. При этом обеспечивается защита основных жизненно важных органов человека (рис. 7).



Рис. 6. Конструкция защитного жилета

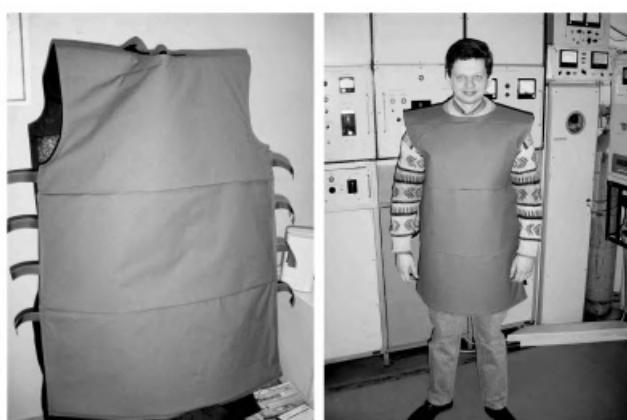


Рис. 7. Общий вид защитного жилета

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ



Рис. 8. Общий вид магнитного экрана для силового кабеля

Далее были проведены испытания жилета для защиты сварщиков, обслуживающего персонала морских сооружений и судов. Измерения постоянного магнитного поля, создаваемого работающим аппаратом вокруг сварочного поста, показали, что максимальные уровни индукции магнитного поля до 1000 мкТл регистрируются на расстоянии 5 см от силового провода питания дуговой горелки (ток дуги 110–120 А). Испытания защитного жилета были проведены в идентичных условиях, при тех же параметрах работы сварочного поста. Результаты эксперимента показали, что внутри жилета уровни индукции составляют 70–90 мкТл. Таким образом, в области тела человека при использовании защитной одежды (рис. 6) на основе магнитных экранов из аморфных сплавов удается существенно снизить поле, более чем в 10 раз, и оптимизировать условия труда персонала.

Измерения магнитного поля частотой 50 Гц вокруг силовых кабелей марки АВВГ 4×24 (рис. 8, 9) показали, что максимальные уровни индукции магнитного поля до 130 мкТл регистрируются на расстоянии 10 см и до 30 мкТл на расстоянии 30 см от кабеля.

Эффективность экранирования (K) определялась, как отношение индукции поля без экрана к индукции поля в той же точке при наличии экрана на кабеле.

Измерение магнитного поля двухжильного кабеля с экраном и без такового показало, что при всех

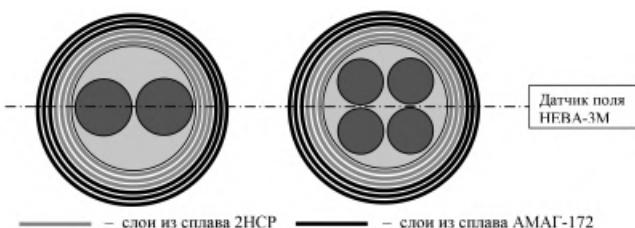


Рис. 9. Схема экранов для двухжильного (слева) и четырехжильного (справа) силового кабеля АВВГ 4×24, а также место расположения датчика поля

значениях магнитного поля и расстояниях до кабеля достигается экранирование магнитного поля. Полученные результаты показывают, что применением шестислойного экрана можно добиться снижения магнитных полей в 1,5–15 раз.

Измерение магнитного поля четырехжильного кабеля с экраном и без такового показало, что при всех значениях магнитного поля и расстояниях до кабеля также достигается экранирование магнитного поля (табл. 3).

Из табл. 3 следует, что величина тока, протекающего по каждой жиле кабеля, превышает номинальное значение тока для кабеля АВВГ 4×24, использованного в качестве основы, в 2–2,5 раза. При этом максимальное значение индукции магнитного поля возле неэкранированного участка кабеля превышает 100 мкТл, а возле экранированного участка не превышает 0,2 мкТл. Таким образом, путем экранирования удается снизить уровень магнитного поля в 100–500 раз [26, 27]. Это существенно расширяет области применения такого кабеля.

Дальнейшие испытания защитного кабеля проводились на предмет экранирования магнитных полей микросекундных импульсных токов [28], показавшие, что шестислойный экран эффективно экранирует магнитные поля импульсных токов величиной до 800 А. Эффективность экранирования составляет при этом более 50, а при токах до 700 А эффективность экранирования составляет более 250.

Таким образом, можно заключить, что разработанный экран для силового кабеля эффективно защищает не только от магнитных полей промышленной частоты, но и магнитных полей импульсных микросекундных токов.

Таблица 3

Индукция магнитного поля на различных расстояниях от оси четырехжильного экранированного и неэкранированного силового кабеля для различных значений тока

Ток, А	Расстояние до оси кабеля, см									
	0	5	15	30	50	0	5	15	30	50
	Индукция магнитного поля, мкТл					Экранированный участок				
120	>100	10	1,1	1,0	0,9	0,2	0,12	0,1	0,1	—
150	>100	15	1,0	*—	—	—	0,15	—	—	—
160	>100	20	1,1	—	—	—	0,2	—	—	—

* Знак «—» означает, что результат измерения не фиксировался в связи с тем, что значение поля на соответствующем расстоянии от экранированного кабеля не превышало общего магнитного фона возле испытательного стенда.

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Перспективы применения магнитных экранов

В докладе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) магнитные и электромагнитные поля искусственного/техногенного происхождения рассматриваются как один из неблагоприятных факторов [29, 30]. В связи с этим актуальной является разработка новых более эффективных защитных материалов от электромагнитных полей радиочастотного диапазона и магнитных полей промышленной частоты, удовлетворяющих современным требованиям директивы совета Европы № 89/336, а также российским СанПиН и ГОСТам по электромагнитной совместимости (ЭМС) [31]. Без выполнения этих требований невозможна сертификация и соответствующая реализация 36 обобщенных групп продукции, в частности, средств связи, радиолокационных и радионавигационных станций; транспортных средств и оборудования транспортных средств, в том числе авиационной и морской техники; линий электропередачи и электрических подстанций.

Активно развиваются инновационные методы медицинской диагностики, основанные на регистрации слабых магнитных полей от биологических объектов с помощью SQUID-магнетометров [32]. Величина регистрируемых полей составляет единицы пикатесла, и для регистрации таких малых полей требуются специальные помещения — экранированные комнаты. Например, в Германии в головном метрологическом институте РТВ совместно с корпорацией Siemens создана магнитоэкранированная комната на основе традиционного пермаллоя [33, 34]. Эта комната, состоящая из восьми слоев пермаллоя, экранирует внешнее поле земли в 10^5 раз, а при подключении системы активного подавления — в 10^6 раз. В России подобного рода магнитоэкранированные комнаты отсутствуют. Связано это в первую очередь с тем, что отсутствуют материаловедческие разработки, на основании которых имелась бы возможность создавать подобного рода объекты в нашей стране.

Следует отметить также, что мировое сообщество стоит на пороге осуществления важнейшего проекта — пилотируемый полет человека в космос на Марс или Луну. Космическое пространство — это среда, в которой отсутствует магнитное поле. Вся эволюция биологических организмов на Земле прошла в присутствии магнитного поля. Его отсутствие может крайне неблагоприятно оказаться на самочувствии пилотов при дальних пилотируемых полетах. Проведенные в 1969 г в НАСА эксперименты перед запуском космонавтов на Луну показали, что в течение 10 дней видимых изменений не происходит [35]. Однако публикаций о более длительном пребывании человека в «нулевом» магнитном поле до сих пор не приводилось. В связи с этим ИМБП РАН, являясь головным предприятием Федерального космического агентства по направлению космической медицины и биологии, провел первый этап экспериментов по полету человека на Марс — проект МАРС-500. В этом проекте подготовленная команда провела 500 дней в замкнутом пространстве, имитирующем пилотируемый космический полет на Марс, проведение модельных экспериментов на пла-

нете Марс и возвращение на Землю. На следующем этапе предполагается провести исследования по длительному пребыванию человека в условиях «нулевого» магнитного поля [36]. Использование для этих целей традиционных магнитомягких сплавов пермаллоевого класса может привести к существенному усложнению конструкции и, как следствие, привести к значительному удорожанию такого рода исследовательского комплекса.

Современные средства связи и навигации, такие как, волоконно-оптические гироскопы и антенные системы, должны обеспечивать повышенную точность и чувствительность, а также узкую диаграмму направленности. Для выполнения этих требований необходимо использовать материалы с высокими магнитными свойствами.

Заключение

Представленные данные в части разработки и исследования конструкции магнитного экрана приведены достаточно поверхностно. Однако и по ним можно судить, что коллективом пройден достаточно большой путь.

Можно ли это назвать инновацией и как теперь все это «упаковать», как говорят современные менеджеры, для выпуска на рынок и проведения мероприятий по коммерциализации разработок, не знаю. Знаю одно, что мы в процессе всего этого пути набили много «шишек» и представляем собой достаточно уникальный коллектив, который совместными усилиями способен создавать уникальный для российского рынка продукт. Готовы ли мы отдать все это какому-либо инвестиционному фонду для дальнейшей коммерциализации, также не знаю. Знаю одно, что имеется реальная возможность развить это в стенах нашего института. Тем более, что в разделе практическая реализация ясно показано, что сам по себе магнитный экран, как мы считали раньше, не является конечным продуктом, а на рынке востребованы конкретные изделия — камеры, боксы, комнаты. А это новые перспективы и новые горизонты, так как наша практика показывает, что там еще много научных и технических вопросов, требующих дальнейшей проработки.

Список использованных источников

1. П. А. Кузнецов, А. Ю. Аскинази, Б. В. Фармаковский. Материалы на основе аморфных магнитомягких сплавов как средство защиты от магнитных полей промышленной частоты//Инновации, № 5, 2004.
2. В. А. Говорков. Электрические и магнитные поля. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1968.
3. H. D. Arnold, G. W. Elme. Permalloy, a new magnetic material of very high permeability//Bell System Technical Journal, V. 2, i3, July, 1923.
4. В. Эсмарх. Исследование магнитной защиты слоистых систем. М.: типография Г. Лисснера и Д. Собко, 1910.
5. Ю. Я. Реутов. Классические магнитные экраны. Екатеринбург: УРО РАН, 2006.
6. В. В. Садчиков, З. Г. Прудникова. Аморфные материалы в электромагнитных экранах//«Сталь», № 4, 1997.
7. J. Petzold. Advantages of softmagnetic nanocrystalline materials for modern electronic applications//J. Magn. Magn. Mater., V. 242–245, 2002.

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

8. J. Petzold. Application of nanocrystalline softmagnetic materials for modern electronic devices//*Scripta Materialia*, V. 48, № 7, 2003.
9. И. В. Золотухин, Ю. Е. Калинин, О. В. Стогней. Новые направления физического материаловедения: учебное пособие. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 2000.
10. Ю. В. Ефимов, Г. Варлимонт, Г. Г. Мухин и др. Метастабильные и неравновесные сплавы/Под ред. Ю. В. Ефимова. М.: Металлургия, 1988.
11. Быстроохлажденные металлы/Под ред. Б. Кантора; перевод с англ. под ред. А. Ф. Прошкина//Сборник научных трудов. М.: Металлургия, 1983.
12. Flexible electromagnetic shield comprising interlaced glassy alloy filaments. Патент США 4126287 от 21.11.1978. Владелец: Allied Chemical Corporation. Изменен: 21.06.1994.
13. Magnetic shielding garment for electro-biologic measurements. Патент США 5578359 от 26.11.1996. Владелец: Hewlett-Packard.
14. Magnetic shielding material. Патент США 5045637 от 3.09.1991. Владелец: Nippon Steel Corp.
15. П. А. Кузнецов, Б. В. Фармаковский, А. Ю. Аскинази, Я. В. Орлова, Т. В. Песков. Патент РФ «Магнитный и электромагнитный экран» № 2274914 от 20.04.2006. Бюл. изобр. № 11.
16. В.Ш. Суфияров, П. А. Кузнецов, О. В. Васильева, С. А. Манинен, Л. В. Галяткина. Влияние упругих напряжений на магнитные свойства аморфного сплава Co72Fe5Ni10Cr1,5Mn1,5Si7B3// Современные металлические материалы и технологии (СММТ'11). 9-я международная научно-техническая конференция, 22–24 июня 2011 г. СПб: СПбГПУ, 2011.
17. П. А. Кузнецов, О. В. Васильева, С. А. Манинен. Влияние упругих изгибных деформаций на магнитные и экранирующие свойства рулонного магнитного экрана//Вопросы материаловедения, № 4, 2011.
18. С. А. Гудошников, С. Н. Венедиков, Ю. Б. Гребенников, П. А. Кузнецов, С. А. Манинен, О. Н. Криволапова, К. А. Труханов, О. С. Круглов, А. В. Спасский. Экранирующая камера для ослабления магнитного поля Земли на основе рулонных магнитных материалов//Измерительная техника, № 3, 2012.
19. П. А. Кузнецов, С. А. Манинен, О. В. Васильева, С. А. Гудошников. Магнитоэкранированная камера на основе рулонных магнитных экранов для проведения магниточувствительных исследований//9-й Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Труды симпозиума, 13–16 сентября 2011 г. СПб., 2011.
20. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.4. Руководство пользователя — Производственный кооператив ТОР. СПб., 2006.
21. I. Noboru. Magnetically shielded room for clean room and magnetic shielding panel, JP09283967, Shimizu Corp, 03.10.1997.
22. Miyake Nobuyuki и др. Shield clean room, JP9195557, TAISEI Corp, 29.07.1997.
23. Патент JP8288688. Magnetic shield hepa filter and magnetic shield room using the same (01.11.1996). Ishikawa Noboru, Sekiguchi Takeshi (Shimizu Corp.).
24. M. Nakasuji и др. Charged-particle-beam microlithography apparatus and methods including shielding of the beam from extraneous magnetic fields. US patent 6614034, 02.09.2003, Nikon Corp.
25. S. Hiroshi. Charged particle beam device, JP3095844, 22.04.1991, Jeol Ltd.
26. П. А. Кузнецов, А. Ю. Аскинази, Б. В. Фармаковский, Г. Г. Середа, В. В. Миллер, В. Н. Никитина, Г. Г. Ляшко. Силовой кабель с защитным экраном из аморфных магнитомягких сплавов// Труды 6-го Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, СПб., 21–24 июня, 2005 г.
27. П. А. Кузнецов, Т. В. Песков, А. В. Савич, А. С. Саргсян. Using calculus of approximation for creation of composite materials which work effectively in power frequency magnetic fields//Book of abstracts «Advanced processing for novel functional materials – APNFM 2008», 23–25 January 2008. Dresden, Germany.
28. П. А. Кузнецов, А. Ю. Аскинази, А. А. Воршевский, Фам Тхань Хьет, А. М. Агафонов. Экранирование магнитных полей импульсных микросекундных токов силового кабеля с помощью защитного экрана//Сборник докладов 9-й российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности «ЭМС-2006». СПб., 2006.
29. Интернет-сайт Всемирной организации здравоохранения. <http://www.who.int/ru>.
30. Ю. Г. Григорьев/Электромагнитное загрязнение окружающей среды как фактор воздействия на человека и биоэкосистемы// Материалы научно-практической конференции «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения», г. Саратов, 28–30 августа 2000 г.
31. В. С. Кармашев. Электромагнитная совместимость технических средств: справочник. М., 2001.
32. Y. Seki, A. Kandori, D. Suzuki, M. Ohnuma. Open-type magnetocardiograph with cylindrical magnetic shield//APPLIED PHYSICS LETTERS 86, 243902. 2005.
33. J. Bork, H.-D. Hahlbohm, R. Klein, and A. Schnabel. The 8-layered magnetically shielded room of the PTB: Design and construction// Proceedings of 12-th International Conference on Biomagnetism, Helsinki University of Technology. Espoo, Finland. 2001.
34. F. Thiel, A. Schnabel, S. Knappe-Grüneberg, D. Stollfuß, and M. Burghoff. Demagnetization of magnetically shielded rooms// REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS 78, 035106. 2007.
35. В. И. Копанев, А. В. Шакула. Влияние гипомагнитного поля на биологические объекты. Л.: Наука, 1985.
36. К. А. Труханов и др. Наземное моделирование гипомагнитных условий, характерных для межпланетного пространства, с целью формирования концепции обеспечения гипомагнитной безопасности человека в пилотируемых космических аппаратах//Сборник докладов Космического форума 2011, президиум РАН. Москва, 18–21 октября, 2011.

Magnetic shields based on amorphous alloys

P. A. Kuznetsov, PhD, Head of Research Department
«Nanomaterials and Nanotechnology», CRISM «Prometey»,
St. Petersburg, Russia.

The paper presents the results of research and development in the field of amorphous magnetic alloys application to create magnetic shields to protect against the static and alternating magnetic fields, performed by author's team in the last 10 years. It is shown that the magnetic shields made of Co-based amorphous magnetic alloys passed the appropriate heat treatment to increase the source of the magnetic properties can be more efficient than permalloys magnetic shields. The design of the magnetic screen based on amorphous alloy ribbons has been developed and patented. Examples of the practical implementation of the research and development are given.

Keywords: screening, magnetic field, amorphous magnetic materials, rapid solidification, melt spinning, magnetic permeability, coercitivity, unhysteresis magnetization curve, the magnetic shield, hypomagnetic chambers.

DOI: 10.18721/JEST.230112

УДК 621.315.2.016.2

M.B. Доронин, Г.В. Гречняков, Н.В. Коровкин

МАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотрены оптимизация и эксплуатация магнитных надвижных экранов с целью перераспределения поля в пространстве вблизи кабельной линии — источника электромагнитного поля. Оптимизация проводилась при помощи генетического алгоритма. Найдены оптимальные конструкции экранов для различных вариантов прокладки кабельных линий (однофазная прокладка, прокладка трехфазной линии группой однофазных кабелей треугольником встык и «в ряд» в горизонтальной плоскости) изготовлены и испытаны опытные образцы экранов. Представлены результаты как численного моделирования (расчет методом конечных элементов), так и реального эксперимента. В итоге установлена хорошая согласованность полученных результатов. Показана возможность использования надвижных магнитных экранов для снижения амплитуды магнитного поля в заданных зонах вблизи кабеля.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЭКРАНИРОВАНИЕ; КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИРОВАНИЯ; ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЯ; МАГНИТОМЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ; МАГНИТНЫЙ ЭКРАН; ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ; ОПТИМИЗАЦИЯ.

Ссылка при цитировании:

М.В. Доронин, Г.В. Гречняков, Н.В. Коровкин. Магнитные экраны специальной конструкции // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2017. Т. 23. № 1. С. 124–133. DOI: 10.18721/JEST.230112

M.V. Doronin, G.V. Greshnyakov, N.V. Korovkin

MAGNETIC SHIELDS SPECIAL DESIGN

The article is dedicated to the optimization and operation of magnetic slip-shields with the purpose of redistributing the field in the space near the cable line (the electromagnetic field source). The optimization was made by means of a genetic algorithm (GA). As a result, the authors found optimal designs of shields for various cable line layouts. Moreover, the study shows manufactured prototypes of the shields and the testing results. This investigation demonstrates the possibility of applying slip-shields to mitigate the amplitude of the electromagnetic field in the specified areas around the cable.

ELECTROMAGNETIC SHIELDING; SHIELDING RATIO; REDISTRIBUTION OF FIELD; SHIELD ATTENUATION RATIO; SOFT MAGNETIC ALLOYS; MAGNETIC SHIELD; GENETIC ALGORITHM; OPTIMIZATION.

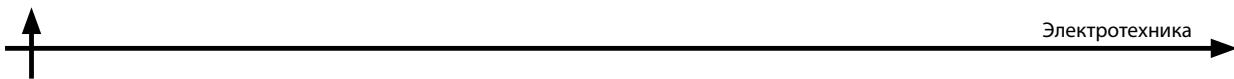
Citation:

M.V. Doronin, G.V. Greshnyakov, N.V. Korovkin, Magnetic shields special design, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering sciences and technology, 23 (1) (2017) 124–133, DOI: 10.18721/JEST.230112

Введение

В больших городах стоит важная задача — высвобождение территорий за счет замены воздушных ЛЭП подземными кабельными линиями (КЛ). Подобные меры частично решают проблемы электромагнитной экологии [1–3]. Однако остаются открытыми вопросы по обеспечению электромагнитной совмести-

мости. Это относится как к взаимному влиянию находящихся под землей различных технических объектов (энергетические кабельные линии, канализация, водопровод, кабели связи, коммуникации метростроя), так и к нежелательному воздействию магнитного поля на биологические объекты с точки зрения электромагнитной безопасности и электромагнитной экологии.



Использование кабельных линий электропередачи в условиях мегаполиса — решение, позволяющее освободить для застройки или рекреаций дорогостоящие городские земли и улучшить электромагнитную экологию. К тому же, кабельные линии существенно лучше воздушных защищены от грозовых разрядов, ветра, низких температур, вандализма, не изменяют исторический облик города и т. п. Прокладка кабельных линий в мегаполисах сталкивается с проблемой перенасыщенности поверхностных подземных пространств различным техническим оборудованием. Электромагнитное поле кабельных линий может негативно влиять на расположенные рядом коммуникации. Это негативное влияние, как правило, проявляется в относительно коротких областях пересечения кабельными линиями иных коммуникаций. Поэтому задача подавления электромагнитного поля на локальных участках вблизи кабельных линий — весьма актуальна для развития энергосистем мегаполисов.

С учетом сказанного проблема экранирования подземных кабельных линий видится весьма актуальной. В этом смысле важным вопросом является разработка новых методик и технологий экранирования магнитных полей (в частности, промышленной частоты) [4].

Для экранирования окружающего кабельную линию пространства часто применяют экраны, состоящие из нескольких слоев. Например, в конструкции силовых кабелей [5, 6] применен комбинированный экран, внутренняя сторона которого представляет собой медный проволочный экран, а внешняя сторона — ленточный ферромагнитный экран. Реализация таких конструкций для кабеля на 20 кВ рассмотрена в [7]. В то же время проблемы, связанные со снижением внешнего магнитного поля КЛ, далеки от своего полного решения. Так при однофазной прокладке силовых кабелей экранирование магнитного поля тока жилы любой из фаз цилиндрическими экранами крайне неэффективно. Действительно, в силу закона полного тока внешнее магнитное поле отдельно прокладываемой фазы трехфазной системы может быть уменьшено только током, протекающим по экрану в противоположном по отношению к фазному току направлении, что фактически эквивалентно уменьшению передаваемой по кабелю мощности. Для уменьшения внешнего

магнитного поля всей трехфазной системы может использоваться метод оптимального расположения каждой фазы кабельной линии. Однако возможности этого метода для снижения поля ограничены, и в большом числе прикладных задач добиться требуемого снижения уровня внешнего магнитного поля путем изменения расположения фаз не удается. Применение расщепления фаз на 2–3 компоненты решает проблему, но чрезвычайно затратно.

В большинстве прикладных задач важно снизить магнитное поле до требуемого уровня лишь в некоторой заданной области пространства. Например, в области расположения сигнальных кабелей или области, где возможно присутствие защищаемых биологических объектов. При этом в остальной части пространства уровень поля, достигнутый в описанной области, может значительно превышаться. В этом случае можно применить конструкцию экрана, перераспределяющего поле. Такой подход позволяет экранировать пространство вблизи некоторой части кабельной линии — там, где необходимо минимизировать значения силовых характеристик поля. Очевидно, что такой экран не будет обладать осевой симметрией. Целесообразно формулировать задачу создания таких экранов как задачу оптимизации формы экрана с целью уменьшения поля в заданной области до требуемых значений.

Цель настоящей работы — теоретическое и экспериментальное исследование, оптимизация и обоснование применения магнитных экранов специальной конструкции (концентраторы) для снижения уровня магнитного поля, создаваемого КЛ в локальных областях окружающего пространства. Отличительной особенностью таких экранов является аксиальный воздушный зазор (рис. 1) [10].

Методика исследования. Применяемые материалы

Предлагаемый подход к экранированию заданных частей пространства состоит в перераспределении поля [10] за счет неоднородностей экрана так, чтобы в заданной области оно было наименьшим. Будем рассматривать цилиндрические системы, в которых вектор напряженности магнитного поля не имеет компоненты, направленной вдоль оси. Введем по аналогии с общепринятой терминологией магнитного

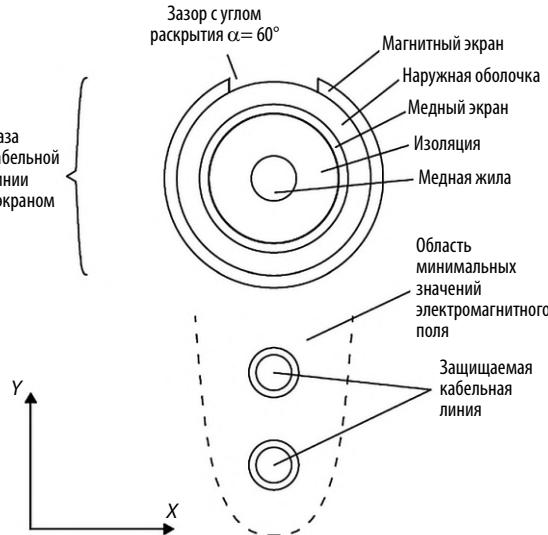


Рис.1. Кабель с магнитным экраном и защищаемый провод, располагающийся в области минимальных значений электромагнитного поля

экранирования [11] количественные характеристики. Пусть H_0 — напряженность магнитного поля (действующее значение) в отсутствие экрана, H_i — напряженность магнитного поля при наличии экрана. Тогда, как обычно, коэффициент экранирования вводится в виде отношения $K_1 = H_i / H_0$. Часто вводят логарифмический коэффициент, определяемый по следующей формуле: $b_3 = \ln\left(\frac{1}{|K_1|}\right)$. Это соотношение не слишком удобно, так как оценивает эффективность экранирования не в области пространства, а в некоторой априорно выбранной точке.

С другой стороны, коэффициент экранирования может быть введен следующим образом:

$$K_2 = \sqrt{\int_S H_i^2(s) ds} / \sqrt{\int_S H_0^2(s) ds}; \quad (1)$$

$$K_3 = \int_S \vec{H}_i(s) \cdot \vec{ds} / \int_S \vec{H}_0(s) \cdot \vec{ds}. \quad (2)$$

В (1) и (2) единичный вектор ds нормален к поверхности S , ограничивающей заданную область пространства в нормальном к оси всей цилиндрической системы направлении. Соотношения (1) и (2) повышают репрезентативность результатов, не требуют принятия волюнтаристских решений о выборе точки области для

оценки экранирующих свойств. Обычно вычисление по (1), (2) может быть выполнено стандартными средствами пакетов программ расчета электромагнитных полей.

Следует отметить, что особенность обсуждаемых экранов в том, что они не являются элементом конструкции кабеля, а представляют собой отдельный концентратор, который надвигается поверх наружной оболочки кабеля каждой фазы (надвижной экран).

В соответствии с законом полного тока линейный интеграл по замкнутому контуру L от напряженности магнитного поля равен полному току, протекающему сквозь сечение, ограниченное этим контуром:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_k i_k; \quad (3)$$

$$B = \mu\mu_0 H. \quad (4)$$

Используя (3) и (4), получим следующие соотношения для цилиндрического проводника с током:

$$H = \frac{i}{2\pi r}; \quad (5)$$

$$B = \mu\mu_0 \frac{i}{2\pi r}. \quad (6)$$

Соотношения (5) и (6) актуальны при осевой симметрии, когда экран кабеля является круговым цилиндром, по оси которого распространяется экранируемый ток. Наличие такого экрана не влияет на распределение магнитного поля в окружающем кабель пространстве. Иными словами, эффект экранирования магнитного поля тока, протекающего внутри экрана, не достигается, и это справедливо при любой магнитной проницаемости экрана. Отметим, что при этом сплошной цилиндрический экран хорошо экранирует внешнее поперечное или продольное магнитное поле (см. выражения (5) и (6)). Принцип взаимности не нарушается, потому что структура (в нашем случае это конфигурация силовых линий поля и их расположение по отношению к экрану) поперечного и продольного поля и поля, создаваемого током на оси экрана, различны.

В том случае, когда имеет место зазор в экране вдоль его оси, выражения (5) и (6) не могут быть использованы для описания поля



в пространстве вокруг кабеля. Значения вектора магнитной индукции $B(r)$ и напряженности магнитного поля $H(r)$ будут различаться в разных точках окружности радиусом r , в то время как интеграл (3) сохранит свое значение. Зазор в магнитном экране делает возможным перераспределение амплитуды магнитного поля в пространстве, которое окружает кабельное изделие. При этом с противоположной от щели стороны значения амплитуды магнитного поля будут минимальными, а вблизи щели поле будет максимальным. Изменяя положение зазора на внешней границе кабеля и угол раскрытия зазора, можно выбирать положение и размер области, где необходимо минимизировать амплитуду индукции магнитного поля. Эффективность экранирования тех областей пространства вне экрана, где поле уменьшается, будет зависеть от электрических свойств материала экрана [12].

Авторы разработали модель, при которой надвижные экраны (концентраторы) имеют следующую конструкцию: магнитный экран из магнитомягкого сплава на основе кобальта и железа марки АМАГ-172 с нелинейными магнитными свойствами и электропроводностью $1,5 \cdot 10^7$ См/м, набранный различным количеством слоев ленты, с толщиной каждого слоя 0,1 мм (из них 0,025 мм занимает непосредственно сплав, подвергшийся термообработке, который с двух сторон ламинирован полиэтилентерефталатом). Источниками поля выступали однофазная и трехфазная кабельные си-

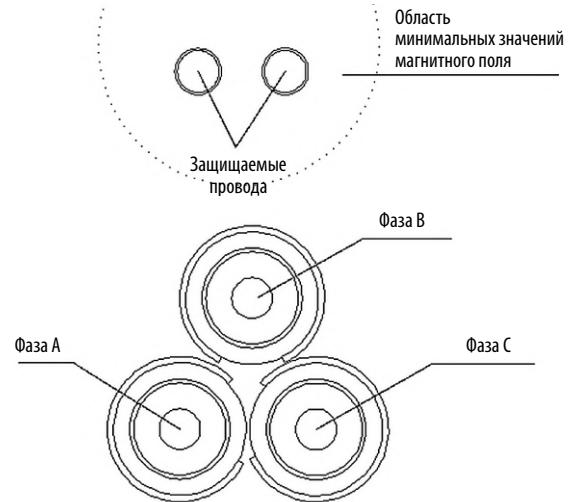


Рис. 2. Модель трехфазной кабельной системы, проложенной однофазным кабелем треугольником встык

стемы, собранные из однофазных кабелей марки ПвПу2г — 1×630/95–110 кВ (рис. 1, 2, 3).

Результаты численного моделирования экранирования магнитного поля и их обсуждение

Расчеты проводились на базе программного комплекса Elcut 6.0 [13], оптимизация конструкций надвижных магнитных экранов осуществлялась генетическим алгоритмом (ГА). Достоинство ГА состоит в возможности находить решение задач с большим числом локальных экстремумов; недостаток — медленная сходимость вблизи экстремума [14, 15].

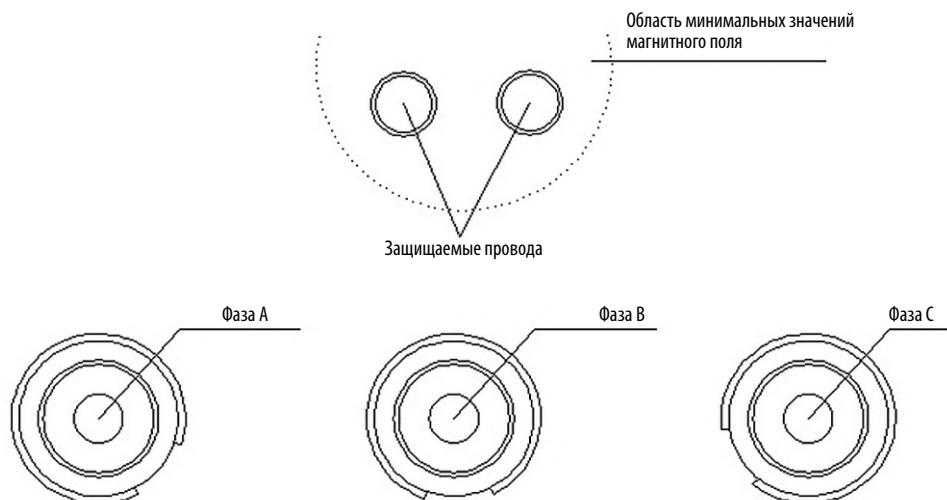


Рис. 3. Модель трехфазной кабельной линии, проложенной однофазным кабелем в ряд с просветом в диаметр кабеля

По результатам оптимизации определялись наилучшие положения зазоров на каждой фазе и углы раскрытия зазоров, зависящие, очевидно, от типа прокладки трехфазной кабельной линии: прокладка треугольником встык; прокладка в ряд с просветом в диаметр кабеля. Оптимальные параметры экранов приведены в табл. 1, 2, 3.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Эксперимент проводился на базе лаборатории ОАО НИИПТ. Изготовленные опытные образцы экранов были испытаны на кабеле марки ПвПу2г — 1×630/95–110 кВ в однофазном вари-

анте исполнения, а также в вариантах трехфазной кабельной системы, проложенной группой однофазных кабелей «треугольником встык», и при прокладке в горизонтальной плоскости «в ряд» (рис. 4, 5).

Опытные образцы экранов были изготовлены по оптимальным конструкциям только для действующих значений симметричной токовой нагрузки 500–700 А, что соответствует рабочим значениям тока для данной марки кабеля. Показания значений индукции магнитного поля B , мкТл, снимались портативным анализатором ЭМП промышленной частоты марки Narda EFA-300 на расстоянии 0, 10 и 17 см

Таблица 1

**Значения оптимальной толщины экрана для разных токов и характеристик поля в точке,
относительно которой проводилась оптимизация толщины**

Ток, кА	$h_{\text{опт}}^*$, мм	H_i , А/м	H_0 , А/м	K_1	b_3 , Нп
0,5	1,6	503	1200	0,419	0,869
1	3,0	1160	2400	0,483	0,727
1,5	3,5	1950	3600	0,541	0,613
2	3,5	2750	4800	0,572	0,557

$h_{\text{опт}}^*$ — оптимальная толщина экрана.

Таблица 2

**Оптимальные геометрические параметры после применения ГА
в варианте прокладки кабельной линии «в ряд»**

Фаза	Угол раскрытия зазора α , град	Поворот концентратора вокруг центра фазы относительно первоначального положения зазора*
<i>A</i>	54,92	125,3
<i>B</i>	47,55	181,93
<i>C</i>	46,5	139,25

* В направлении поворота по часовой стрелке

Таблица 3

**Оптимальные геометрические параметры после применения ГА
в варианте прокладки кабельной системы «треугольником встык»**

Фаза	Угол раскрытия зазора α , град	Поворот концентратора вокруг центра фазы относительно первоначального положения зазора*
<i>A</i>	58,56	80,1
<i>B</i>	37,82	181,93
<i>C</i>	58	282,3

* В направлении поворота по часовой стрелке

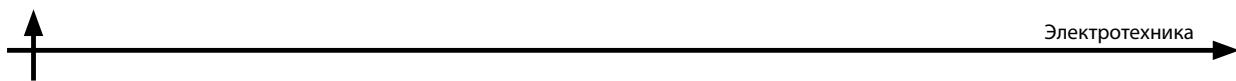


Рис. 4. Кабельная линия, проложенная в горизонтальной плоскости



Рис. 5. Кабельная линия, проложенная «треугольником встык»

для каждой из токовых нагрузок от поверхности однофазного кабеля, и на расстоянии 5, 10 и 15 см от поверхности фазы B для трехфазной системы в случае каждого варианта прокладки. Показания характеристик магнитного поля в пространстве снимались как в случае использования надвижного магнитного экрана, так и без него.

Результаты экспериментов приведены в табл. 4, 5, 6.

Как видно из результатов испытаний, во всех вариантах кабельных линий наблюдается суще-

ственное снижение силовых характеристик поля в тех участках пространства, где стояла задача их уменьшить. Однако симметричное расположение фаз (в случае прокладки «треугольником встык») является оптимальным.

Особое внимание стоит уделять комплексной многоступенчатой оптимизации конструкций концентраторов при помощи генетического алгоритма (ГА). Как отмечено выше, использование ГА существенно облегчает процессы решения и нахождения оптимальных значений в многопараметрических задачах.

Таблица 4

Результаты измерений индукции магнитного поля для различных значений токовой нагрузки при прокладке кабелей «треугольником встык»

Фактические параметры испытаний		Результат испытаний		Снижение индукции магнитного поля, %
$I_{\text{исп}}, \text{А}$	Расстояние от поверхности кабеля, см	$B, \text{ мкТл}$	$B_{\text{без экрана}}, \text{ мкТл}$	
500	5	157	437	54,6
	10	143	306	
	15	104	195	
600	5	230	533	50,6
	10	182	365	
	15	127	231	
700	5	313	618	44,6
	10	225	426	
	15	169	269	

Таблица 5

Результаты измерений индукции магнитного поля для различных значений токовой нагрузки при прокладке кабелей в ряд с просветом в диаметр кабеля

Фактические параметры испытаний		Результат испытаний		Снижение индукции магнитного поля, %
$I_{\text{исп}}, \text{А}$	Расстояние от поверхности кабеля, см	$B, \text{мкТл}$	$B_{\text{без экр}}, \text{мкТл}$	
500	5	763	913	23
	10	456	608	
	15	275	380	
600	5	941	1046	18,9
	10	584	738	
	15	347	467	
700	5	1118	1244	16,7
	10	705	860	
	15	425	546	

Таблица 6

Результаты измерений индукции магнитного поля для различных значений токовой нагрузки для однофазного кабеля

Фактические параметры испытаний		Результат испытаний		Снижение индукции магнитного поля, %
$I_{\text{исп}}, \text{А}$	Расстояние от поверхности кабеля, см	$B, \text{мкТл}$	$B_{\text{без экр}}, \text{мкТл}$	
500	0	638,2	896	41,6
	10	515,9	649,1	
	17	415,1	426,8	

Таблица 7

Сравнение результатов эксперимента и расчета (численного моделирования) по эффекту экранирования с помощью надвижных магнитных экранов при прокладке кабелей «треугольником встык»

Ток, А	$L, \text{см}$	$B, \text{мкТл}$	$B_{\text{фон}}, \text{мкТл}$	Снижение $B, \%$	Среднее снижение $B, \%$	K_1	b_3
500	5	157 (250)	437 (720)	64 (65,27)	54,6 (64,5)	0,35 (0,34)	1,02 (1,05)
	10	143 (145)	306 (371)	53,26 (60,91)		0,46 (0,39)	0,76 (0,93)
	15	104 (99)	195 (238)	46,6 (58,4)		0,53 (0,41)	0,62 (0,87)

* В скобках указаны расчетные величины

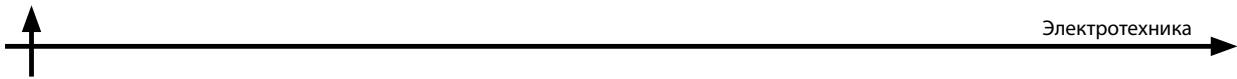


Таблица 8

**Сравнение результатов эксперимента и расчета (численного моделирования)
по эффекту экранирования с помощью надвижных магнитных экранов при прокладке кабелей
в горизонтальной плоскости «в ряд» с просветом в диаметр кабеля**

Ток, А	L , см	B , мкТл	$B_{\text{фон}}$, мкТл	Снижение B , %	Среднее снижение B , %	K_1	b_3
500	5	763 (550)	913 (1170)	16,42 (52,58)	23 (56,6)	0,83 (0,47)	0,17 (0,74)
	10	456 (287)	608 (650)	25 (55,57)		0,75 (0,44)	0,28 (0,81)
	15	275 (164)	380 (431)	27,63 (61,77)		0,72 (0,38)	0,32 (0,96)

* В скобках указаны расчетные величины

**Сравнение результатов эксперимента
и расчета (численного моделирования)
для оптимального случая**

Как уже отмечалось, макеты экранов были изготовлены с толщиной активного слоя, соответствующей рабочему значению токовой нагрузки для применяемой марки кабеля. Рабочий режим обеспечивается токовой нагрузкой 500 А. Для сравнения результаты эксперимента и расчета именно для данного значения тока приведены в табл. 7, 8.

Выводы

Выполненные расчеты и подтвердившие их эксперименты показывают значительное снижение поля трехфазной кабельной линии в заданной области при оптимальной конструкции надвижных экранов. Результаты расчета и эксперимента хорошо согласуются. Эксперимент

и расчеты показали снижение поля более чем на 40 % при оптимальной конструкции экрана в испытаниях однофазного кабеля. Зафиксировано снижение значений магнитного поля более чем на 50 % в случае трехфазной кабельной линии как группы однофазных кабелей, прокладываемых «треугольником встык». Эксперимент, проводимый на кабельной линии, проложенной в горизонтальной плоскости с просветом в диаметр кабеля, показал снижение поля в среднем на 20 %.

Компактность изготовленных магнитных экранов и простота эксплуатации позволяют утверждать, что их использование может быть эффективным, например в местах сужения кабельных каналов, при прокладке кабелей в условиях ограниченного пространства и при прокладке силовых кабелей вблизи коммуникационных кабелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Machado V.M. Magnetic field mitigation shielding of underground power cables // IEEE Transactions on Magnetics. 2012. Vol. 48. № 2. P. 707–710.
2. Liyui L., Zhiyin S., Donghua P. An approach to analyzing magnetically shielded room comprising discontinuous layers considering permeability in low magnetic field // IEEE Transactions on Magnetics. 2014. Vol. 50. No 11. P. 2008104.
3. Кузнецов П.А. Создание эффективных систем электромагнитной защиты на основе магнитомягких аморфных и нанокристаллических сплавов Со и Fe: дисс. ... канд. тех. наук: 05.02.01 / Кузнецов Павел Алексеевич; ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей». Санкт-Петербург, 2005. 165 с.
4. Силовой кабель с защитным экраном из аморфных магнитомягких сплавов // Материал подготовлен при участии П.А. Кузнецова, А.Ю. Аскинази, Б.В. Фармаковского (ФГУП РФ ЦНИИ КМ «Прометей»), Г.Г. Середы, В.В. Миллера (ООО «НИИ Севкабель»), В.Н. Никитина, Г.Г. Ляшко («Испытательный исследовательский центр защиты от электромагнитных полей» ООО «Альфа-Пол»). [Электронный ресурс] Режим доступа: URL <http://www.ruscable.ru/doc/analytic/print.html?p=/doc/analytic/statya-135.html> (дата обращения: 12.08.2016)
5. D'Amore M., Menghi E., Sarto M.S. Shielding techniques of the low-frequency magnetic field from power cable // Electromagnetic compatibility. 2003. IEEE

international symposium, 18–22 August 2003. Conference publications. 2003. Vol. 1. P. 203–208.

6. D'Amore M., Menghi E., Sarto M.S. Design of new high-voltage 'green' cables generating low magnetic field levels // IEEE Power engineering society general meeting. 8–10 June 2004. Conference publications. 2004. Vol. 1. P. 457–462.

7. D'Amore M., Menghi E., Sarto M.S. New double-shielded power cables generating low magnetic field levels // International symposium of electromagnetic compatibility. 8–12 August 2005. Conference publications. 2005. Vol. 1. P. 179–184.

8. Korovkin N.V., Chechurin V.L., Hayakawa M. Inverse problems in electric circuits and electromagnetics. USA: Springer, 2006. 331 p.

9. Salinas E., Liu Y.Q., Souza Jr.P. Design and validation of power-frequency magnetic field conductive shielding for underground cables // IEEE Xplore Conference: Electricity Distribution, 18th International Conference and Exhibition. Turin. 2005. № 2. P. 1–4.

10. Грешняков Г.В., Доронин М.В., Коровкин Н.В. Комбинированные магнитные экраны для силовых

кабельных линий // Кабели и провода. 2015. № 5. С.8–13.

11. Рeutов Ю.Я. Классические магнитные экраны / Екатеринбург. УрО РАН, 2006. 72 с.

12. Коровкин Н.В., Приходченко Р.В., Тухас В.А. Проблемы поиска источника помех в электросетях общего назначения // Технологии электромагнитной совместимости. 2011. №1. С. 50–58.

13. Dubitsky S., Greshnyakov G., Korovkin N. Comparison of Finite Element Analysis to IEC 60287 for Predicting Underground Cable Ampacity // EnergyCon 2016. IEEE Int. Conference. Leuven, Belgium. 4–8 Apr. 2016. P.1–6.

14. Потиенко А.А. Параметрический синтез и оптимизация формирующих линий и трехфазных кабелей с помощью генетического алгоритма: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.09.05) / Потиенко Антон Анатольевич; СПбГПУ. Санкт-Петербург, 2004. 18 с.

15. Коровкин Н.В., Потиенко А.А. Использование генетического алгоритма для решения электротехнических задач // Электричество. 2002. №11. С. 25–30.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ДОРОНИН Михаил Владимирович — аспирант ООО НИИ «Севкабель». 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия д.40. E-mail: mvdorinin93@gmail.com

ГРЕШНЯКОВ Георгий Викторович — кандидат технических наук главный конструктор ООО НИИ «Севкабель». 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия,40. E-mail: g.greshnyakov@gmail.com

КОРОВКИН Николай Владимирович — доктор технических наук заведующий кафедрой Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29. E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

REFERENCES

1. Machado V.M. Magnetic field mitigation shielding of underground power cables. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2012. Vol. 48. № 2. P. 707–710.

2. Liyui L., Zhiyin S., Donghua P. An approach to analyzing magnetically shielded room comprising discontinuous layers considering permeability in low magnetic field. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2014. Vol. 50. № 11. P. 2008104.

3. Kuznetsov P.A. Sozdaniye effektivnykh sistem elektromagnitnoy zashchity na osnove magnitomyagkikh amorfnykh i nanokristallicheskikh splavov So i Fe: Dis. ... kand. tekh. nauk: 05.02.01 / Kuznetsov Pavel Alekseyevich; FGUP TsNII KM «Prometey». Sankt-Peterburg, 2005. 165 s. (rus.)

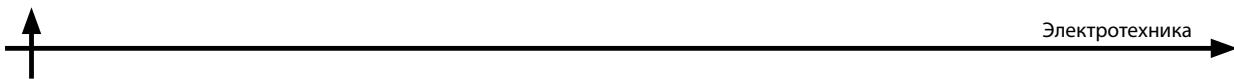
4. Silovoy kabel s zashchitnym ekranom iz amorfnykh magnitomyagkikh splavov / Material podgotovlen pri uchastii P.A. Kuznetsova, A.Yu. Askinazi, B.V. Farmakovskogo (FGUP RFTsNII KM «Prometey»), G.G. Seredh, V.V. Miller (OOO «NII Sevkabel»),

V.N. Nikitina, G.G. Lyashko («Ispytatelnyy issledovatel'skiy tsentr zashchity ot elektromagnitnykh poley» ООО «Alfa-Pol»). [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa: URL <http://www.ruscable.ru/doc/analytic/print.html?p=/doc/analytic/statya-135.html> (data obrashcheniya: 12.08.2016). (rus.)

5. D'Amore M., Menghi E., Sarto M.S. Shielding techniques of the low-frequency magnetic field from power cable. *Electromagnetic compatibility. 2003. IEEE international symposium, 18–22 August 2003. Conference publications*. 2003. Vol.1. P. 203–208.

6. D'Amore M., Menghi E., Sarto M.S. Design of new high-voltage 'green' cables generating low magnetic field levels. *IEEE Power engineering society general meeting. 8–10 June 2004. Conference publications*. 2004. Vol. 1. P. 457–462.

7. D'Amore M., Menghi E., Sarto M.S. New double-shielded power cables generating low magnetic field levels. *International symposium of electromagnetic compatibility*.



ity. 8–12 August 2005. Conference publications. 2005. Vol. 1. P. 179–184.

8. Korovkin N.V., Chechurin V.L., Hayakawa M. Inverse problems in electric circuits and electromagnetics. USA: Springer, 2006. 331 p.

9. Salinas E., Liu Y.Q., Souza Jr. P. Design and validation of power-frequency magnetic field conductive shielding for underground cables. *IEEE Xplore Conference: Electricity Distribution, 18th International Conference and Exhibition*. Turin. 2005, № 2. P. 1–4.

10. Greshnyakov G.V., Doronin M.V., Korovkin N.V. Kombinirovannyye magnitnyye ekrany dlya silovykh kabelnykh liniy. *Kabeli i provoda*. 2015. № 5. S. 8–13. (rus.)

11. Reutov Yu.Ya. Klassicheskiye magnitnyye ekrany / Yekaterinburg: UrO RAN, 2006. 72 s. (rus.)

12. Korovkin N.V., Prikhodchenko R.V., Tukhas V.A.

Problemy poiska istochnika pomekh v elektrosetyakh obshchego naznacheniya. *Tekhnologii elektromagnitnoy sovmestimosti*. 2011. № 1. P. 50–58. (rus.)

13. Dubitsky S., Greshnyakov G., Korovkin N. Comparison of Finite Element Analysis to IEC 60287 for Predicting Underground Cable Ampacity. *EnergyCon 2016 IEEE Int. Conference*. Leuven, Belgium. 4–8 Apr. 2016. P. 1–6.

14. Potiyenko A.A. Parametricheskiy sintez i optimizatsiya formiruyushchikh liniy i trekhfaznykh kabeley s pomoshchyu geneticheskogo algoritma: Dis. ... kand. tekh. nauk (05.09.05) / Potiyenko Anton Anatolyevich; SPbGPU. Sankt-Peterburg, 2004. 18 p. (rus.)

15. Korovkin N.V., Potiyenko A.A. Ispolzovaniye geneticheskogo algoritma dlya resheniya elektrotehnicheskikh zadach. *Elektrичество*. 2002. № 11. P. 25–30. (rus.)

AUTHORS

DORONIN Mikhail V. — LLC RDTCI «Sevkabel». 49, Kozhevennaya line, St. Petersburg, 199106. E-mail: mvdoronin93@gmail.com

GRESHNYAKOV Georgii V. — Research institute «Sevkabel». 40, Kozhevennaia line, St. Petersburg, 199106. E-mail: g.greshnyakov@gmail.com

KOROVKIN Nikolai V. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 29 Politehnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia. E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

Дата поступления статьи в редакцию: 05.10.2016.

УДК 621.396.6

Многослойный электромагнитный экран для защиты среды обитания от электромагнитных воздействий

Ю. Г. Рябов,

кандидат технических наук, почетный радиост СССР

И. Б. Гуров,

генеральный директор ЗАО «Специнжпроект»

С. Э. Билемский,

председатель комитета по электромагнитной безопасности
ООО «Симметрия»

К. В. Ермаков,

заместитель начальника отдела электромагнитной совместимости
ООО «Газпромэнергодиагностика»

Г. В. Ломаев,

доктор технических наук, профессор ИжГТУ

Р. Н. Вахитов,

генеральный директор ООО «Контроль и безопасность», г. Ижевск

Предлагается новая конструкция многослойного электромагнитного экрана для защиты человека и технических средств от биологически опасных электромагнитных полей промышленной частоты. По результатам модельного эксперимента показаны преимущества такого экрана с разделением слоев. Имеются патенты на изобретение и полезную модель.

Ключевые слова: электробезопасность, электромагнитный экран, сравнительный эксперимент, электромагнитное поле.

Введение

Источниками трехфазных эллиптически поляризованных электромагнитных полей (ЭПП) промышленной частоты (ПЧ) являются встроенные в здания трансформаторные подстанции, домовые вводы силовых кабелей 0,4 кВ, наружные линии электропередачи. В настоящее время установлена опасность воздействия таких полей на здоровье человека. Если несколько десятков лет назад в жилых и офисных помещениях доля трехфазных ЭМП в общей суперпозиции полей промышленной частоты составляла 10–15 %, то сегодня их доля достигает 50–80 % [1–5].

Высокая стоимость городской земли, проложенные коммуникации, строительство высотных сооружений вынуждают встраивать трансформаторные подстанции в здания, что создает угрозу здоровью людей, вызывает ускоренную электрокоррозию металлоконструкций, приводит к растеканию паразитных токов, которые нарушают электромагнитную

совместимость технических средств (например, провоцируют сбои элементов пожарной и охранной сигнализации и т. п.). Поэтому методом защиты жилых и производственных помещений от таких полей является экранирование их источников, в частности, мест размещения встроенных ТП, ГРЩ-0,4 кВ, РУ-10 кВ [6, 7].

Многослойный электромагнитный экран

Электромагнитные экраны (ЭЭ), отвечающие современным требованиям, обеспечивают ослабление электромагнитного поля в некоторой ограниченной области пространства до заданного или требуемого уровня в широком диапазоне частот и затухание сопутствующих физических факторов при наименьшей стоимости материала и монтажа.

Представляемый нами многослойный электромагнитный экран (МЭЭ) используется для защиты технических средств и человека от воздействий магнитных полей промышленной частоты.

Эффективность МЭЭ подтверждена контрольными проверками Роспотребнадзора на соответствие нормам СанПиН на встроенных ТП в Москве, в Московской области и Самаре. Повышение эффективности защиты от воздействия эллиптически поляризованного магнитного поля (ЭПП МП), индуцируемого электрооборудованием, является техническим результатом изобретения.

Конструкция многослойного электромагнитного экрана представлена на рис. 1.

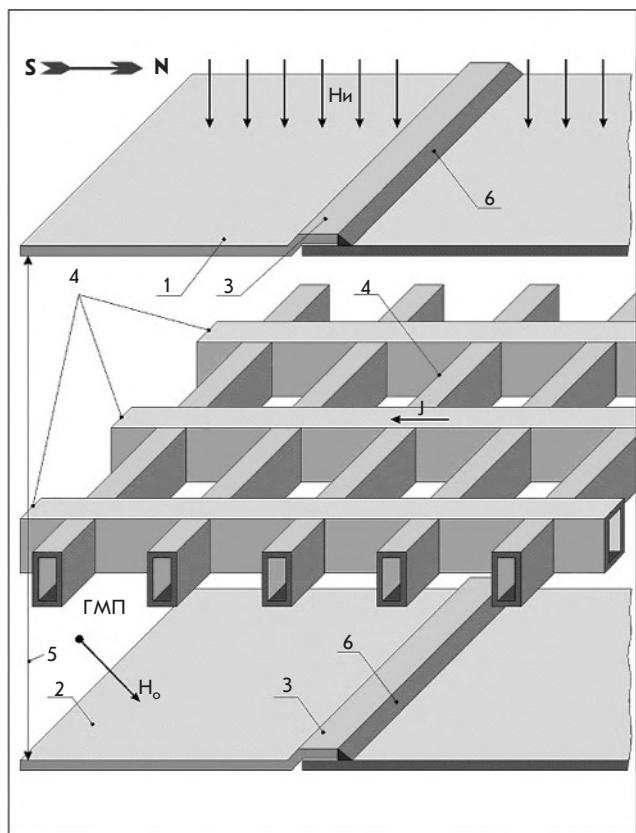


Рис. 1. Конструкция многослойного электромагнитного экрана:

- 1 и 2 – стальной лист;
- 3 – пример нахлеста боковых и торцевых соединений стальных листов при их монтаже;
- 4 – направляющие трубы (и перемычки между ними);
- 5 – зазор между экранирующими листами;
- 6 – непрерывный сварочный шов, соединяющий все боковые и торцевые нахлести.

Монтаж конструкции МЭЭ легко выполняется из отечественных материалов.

Размещенные снаружи экрана плоские экранирующие слои (1, 2) выполнены из листовой магнитомягкой изотропной стали с относительной начальной магнитной проницаемостью не менее 2×10^3 , а размещенный между ними объемный экранирующий слой (3) выполнен в виде стальной прямоугольной решетки, ячейки которой образованы направляющими (4) и короткими перемычками (5), которые функционируют в качестве запредельных волноводов по отношению к основной гармонике частоты экранируемого поля.

МЭЭ подавляет биологически опасные эллиптически поляризованные ЭМП и обеспечивает затуха-

ние линейно поляризованных ниже допустимого уровня санитарных норм и уровня, определенного требованиями ЭМС для охранных и пожарных устройств, приборов промышленной автоматики [7]. МЭЭ дает возможность применять встроенные трансформаторные подстанции с сухими трансформаторами 1000–2500 кВА, обеспечивает защиту 100–200 м² площади окружающих помещений и помещений 1, 2 и 3 этажей от перевода их в разряд нежилых, хозяйственных. Подтвержденная двумя организациями эффективность экранирования МП 50 Гц отдельных образцов МЭЭ не менее 100 раз. Подавление уровня акустического шума – 10–12 дБА. Ослабление ГМП – не менее 40 дБ. Ожидаемое подавление импульсных воздействий – около 60 дБ. ЭЭ обладает нелинейными свойствами по отношению к ЭМП высоких уровней.

В помещениях ТП и ГРЩ-04, которые необходимо экранировать, регистрируют сложную суперпозицию эллиптически поляризованного ЭМП пространственного распределения, вызванного токами в вертикальных и горизонтальных шинах, токами вводных – выводных кабелей, токами рассеивания трансформаторов и др. К тому же суммарный вектор суперпозиции меняет свое направление во времени в зависимости от коммутации нагрузок в фазах и изменения (девиации) их реактивности. Из-за этого вектор ЭПП МП будет воздействовать на первый слой ЭЭ со всех направлений и под разными углами. Значит материал первого слоя должен быть изотропным, т. е. должен ослаблять МП равной интенсивности одинаково во всех направлениях.

Однако в натурных условиях на отдельные места ЭЭ действует напряженность геомагнитного поля (ГМП) в направлении магнитного меридиана Земли. Для неферромагнитного материала листа ЭЭ ГМП не оказывает заметных влияний. А тонколистовые магнитомягкие ферромагнитные материалы, применяемые для ЭЭ, или частично насыщаются, или их рабочая точка будет смешена в область более низкой магнитной проницаемости μ [6]. Влияние ГМП на эффективность экранирования достаточно велико. В рассматриваемом МЭЭ вектор собственной намагниченности J труб решетки второго слоя экрана направлен навстречу вектору ГМП. Это позволяет компенсировать снижение эффективности экрана от воздействия ГМП.

Эффективность тонколистового неферромагнитного материала зависит от его электрической проводимости, квадрата толщины и магнитной проницаемости свободного пространства $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м. Для ферромагнитного материала эффективность экрана также зависит и от относительной магнитной проницаемости μ , величина которой для применяемой электротехнической стали составляет $\mu = 1300–2500$. При одной и той же толщине t медного листа эффективность экранирования МП ПЧ стальным листом будет по крайней мере в 10 раз выше.

Эффективность многослойных электромагнитных экранов

Рассмотрим эффективность двух видов МЭЭ: разделенных зазором d и собранных в пакет из тонколистовой стали, состоящей из n листов, применительно к экранированию больших объемов (500 м^3 и более) помещений трансформаторных подстанций.

Ввиду сложной пространственной структуры суперпозиции эллиптически поляризованных и линейно поляризованных магнитных полей в помещениях трансформаторных подстанций, вектор напряженности которых может действовать во всех направлениях, необходимо для ЭЭ использовать изотропную тонколистовую электротехническую магнитомягкую сталь с содержанием кремния (Si) менее 0,4 %. Такая сталь имеет высокую индукцию насыщения B_s и низкую коэрцитивную силу H_c .

Одним из основных конструктивных показателей электромагнитных экранов является сохранение изотропности для магнитного потока и тока, протекающих по стальному листу во всех направлениях, при монтаже ЭЭ. Анизотропность в любом направлении снижает эффективность экранирования и подавления ЭПП МП в этом направлении.

Анизотропность в соединениях стальных листов для магнитного потока и тока появляется в местах нахлестов при соединении боковых сторон листов и в сварочных швах. Металл сварочного шва, нагретый выше 1044 К (точки Кюри), переходит в paramagnитное состояние и создает большее сопротивление для магнитного потока, чем металл стального листа. Воздействие ГМП ортогонально нахлестам повышает магнитное сопротивление металла сварочного шва, а сам металл листа переводит в полунасыщенное состояние, т. к. металл магнитомягкий. В результате в направлении действия вектора ГМП снижается магнитная проницаемость – основной параметр эффективности ЭЭ [6].

Кроме того, воздействие ГМП на стальной лист вызывает поперечную анизотропную проводимость для тока (эффект Холла), в результате чего также снижается магнитная проницаемость стального листа экрана. В рассматриваемом экране предусмотрена компенсация ГМП в стальных листах 1-го и 3-го слоев за счет магнитного поля собственной намагниченности J направляющих труб решетки 2-го слоя МЭЭ, вектор которых направляется навстречу вектору ГМП.

На рис. 2 приведен двухслойный экран, разделенный зазором d . Ток I_1 будет протекать по второй стороне 1-го слоя, вызывая ток I_2 обратного направления, протекающий по второй стороне 2-го слоя, обусловленный взаимоиндуктивностью магнитных полей 1-го и 2-го слоев.

Если плоскость падающего ЭПП МП на 1-й слой экрана не лежит в плоскости чертежа, то, как ранее было установлено, ортогонально чертежу в 1-м слое будет индуцироваться ЭДС, которая через емкость C_n будет индуцировать ток во 2-й слой, вызывая ток, ортогональный току I_1 (на чер-

теже не показан). Эти токи в пространстве 1-го слоя индуцируют суперпозицию эллиптически поляризованных и линейно поляризованных ЭМП.

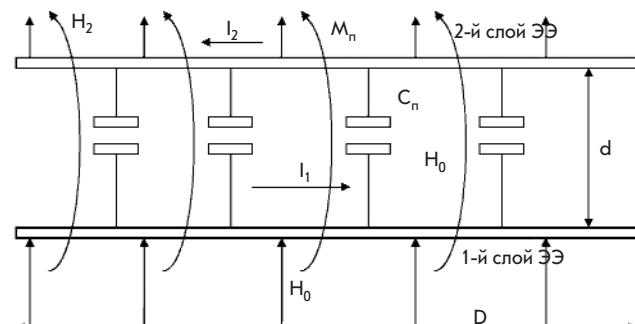


Рис. 2. Принцип выбора оптимального зазора d , минимизирующего передачу энергии H_2 суперпозиции H_0

На рис. 3 изображена кривая характерного изменения M_n и C_n в зависимости от величины (зазора d между параллельными листами) отношения d/D . Из рисунка следует, что сближение листов до $d=0$ увеличивает взаимоиндуктивность M_n и емкость C_n , вызывающие повышение интенсивности H_2 после 2-го слоя. Небольшое снижение H_2 (около 20 %) для пакета из 2-х листов достигается только за счет эффекта поглощения в материалах 1-го и 2-го слоя ЭЭ. Увеличение зазора d между листами уменьшает M_n и C_n , вызывая существенное снижение интенсивности H_2 (4–40 раз) после 2-го слоя, т. е. повышение эффективности ЭЭ.

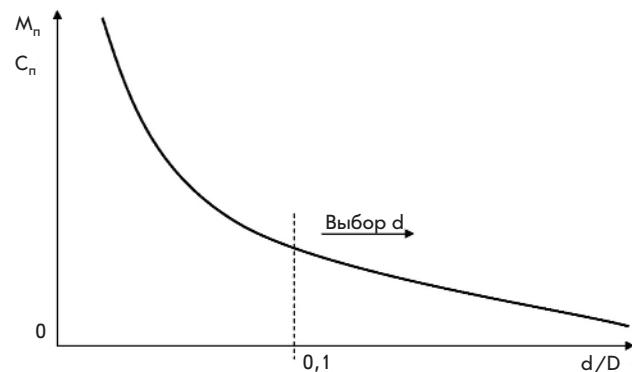


Рис. 3. Зависимость взаимоиндуктивности M_n ($\text{Гн}/\text{м}^2$) и ёмкости C_n ($\Phi/\text{м}^2$) от отношения размера зазора d к длине протекания тока индукции по прямой части D слоев экрана 1 и 2 (d/D)

Если применяют тонкие листы стали, у которых глубина скин-слоя δ больше толщины t листа, то при сближении листов эффект многократного отражения будет компенсировать эффект поглощения, и эффективность экранирования будет ниже, чем в случае оптимального зазора между листами, например $d/D=0.1$, как показано на рисунке. В случае длины растекания значимой величины тока по месту экрана $D=1$ м, оптимальный зазор между листами будет находиться в области $d/D \geq 0.1$ м.

Методика сравнительных испытаний многослойного экрана и экрана, состоящего из тонких ферромагнитных листов, собранных в один пакет (ПЭЭ)

На столе устанавливаем 5-ваттный адаптер с включенной нагрузкой, используя его как источник МП (см. рис. 4 а). Включаем измерительный прибор – магнитометр ИМП-5/1 и устанавливаем его на расстоянии 150 мм от адаптера. Фиксируем показания B_u в нТл. Затем, устанавливая стальной лист последовательно в точках через 25 мм между адаптером и измерительным прибором, фиксируем показания прибора (см. кривую 1 на рис. 4 б).

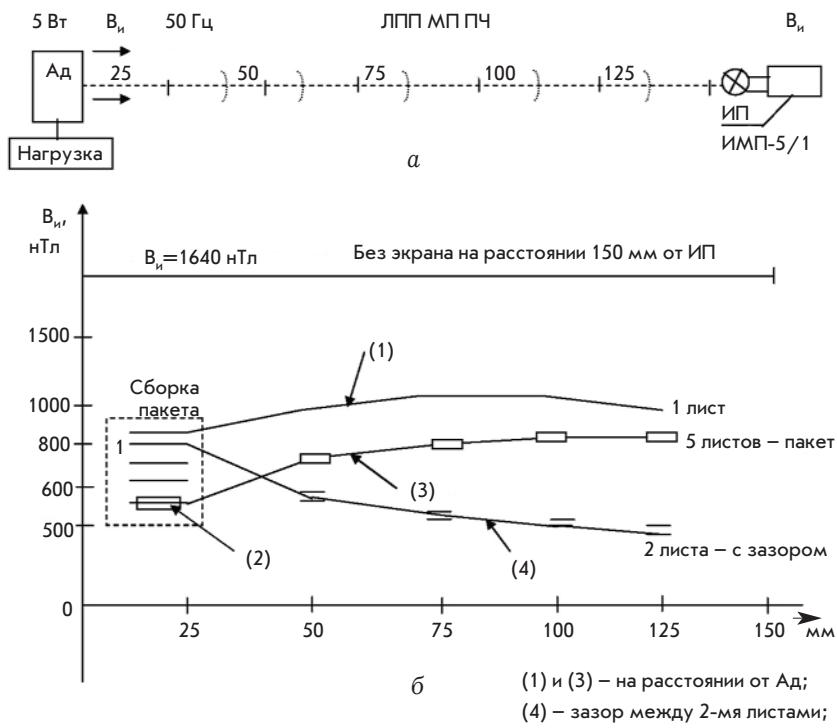


Рис. 4 а. Схема эксперимента.

Рис. 4 б. Оценка эффективности экранирования линейно поляризованных полей одним листом и пакетом из 5-ти листов стали толщиной по 1 мм в сравнении с 2-листовым экраном с зазором d от 25 до 125 мм

В эксперименте использовались 5 листов размерами А4–А5, толщиной $t=1$ мм, с начальной магнитной проницаемостью $\mu=1300$ одной и той же изотропной электротехнической марки стали. На расстоянии 25 мм от Ад последовательно собирают 5 листов в один пакет и каждый раз фиксируют показания прибора (2). Затем сжатый пакет листов перемещают через 25 мм по направлению к измерительному прибору, фиксируя его показания (3).

Устанавливают один лист на расстоянии 25 мм от адаптера, а второй лист последовательно передвигают через 25 мм, увеличивая зазор между листами, и каждый раз фиксируют показания прибора (4).

При зазоре между двумя листами $d=100$ мм на расстоянии 50 мм от каждого листа устанавливают третий лист, фиксируют показания прибора.

Имитируют двухточечное заземление листов, перемыкая листы с разных сторон длинным проводником.

Результаты испытаний

На рис. 4 б приведены обобщенные результаты измерений эффективности экранирования одного листа и пакета из 5-ти листов стали толщиной 1 мм (каждый лист ($\mathcal{E}_{\text{эф}}=B_u/B_1$ (или B_5) в сравнении с эффективностью 2-листового экрана с зазором от 25 до 100 мм.

Оценку $\mathcal{E}_{\text{эф}}$ 1-го листа $\mathcal{E}_{1,\text{л}}$, пакета из 5-ти листов $\mathcal{E}_{5,\text{л}}$ и 2-х листов с зазором $\mathcal{E}_{\text{зазор}}$ выполняют по результатам измерений в точках на отметке 125 мм, когда зазор $d=100$ мм.

$$\mathcal{E}_{1,\text{л}}=1640/1080=1,5; \mathcal{E}_{5,\text{л}}=1640/820=2; \\ \mathcal{E}_{\text{зазор}}=1640/510=3,28.$$

Таким образом, 2 листа с зазором 100 мм эффективнее экрана в пакете из 5-ти листов в $3,28/2=1,64$ раза.

При установке в середине зазора $d=100$ мм 2-листового экрана третьего листа на отметке 75 мм эффективность экранирования увеличивается не более чем на 15 %. Чтобы обеспечить равную эффективность пакета и экрана с зазором 100 мм, необходимо пакет увеличить на 3 листа – итого 8 листов, что по массе и стоимости металла не менее чем в 4 раза больше показателей экрана с зазором.

Если для экранирования 4–5 помещений встроенных ТП и ГРЩ необходимо 5–6 т стального листа толщиной 1 мм и шириной 1 м при 2-слойном экране с разделением, то только для одного пакета листов потребуется 32 т, т. е. железнодорожный вагон.

Из рис. 4 б видно (2), что при установке каждого последующего листа в пакет, начиная со второго листа, эффективность экранирования увеличивается только на 15 %.

Специалисты, рекомендующие пакетную сборку листов, также рекомендуют соединять при монтаже встык боковые и торцевые части листа. Щели в стыках листов существенно увеличивают магнитное и омическое сопротивление, что нарушает основные принципы рационального электромагнитного экранирования. Через 1–2 года эксплуатации ухудшается контактирование стыков и эффективность экрана снижается в результате действия токовой и магнитной стрикций, акустического шума и вибраций. В рекомендациях по конструированию ПЭЭ нет указаний по компенсации ГМП, препятствующих восстановлению изотропной эффективности экрана, преобразованию и подавлению ЭПП и ЛПП полей, а также не приводятся мероприятия по снижению паразитных токов, протекающих по экрану.

В предлагаемом нами многослойном электромагнитном экране нахлести листов сваривают. Компенсация ГМП осуществляется за счет собственной намагниченности труб J , вектор которых направляют навстречу ГМП. Предохранение от

паразитных токов обеспечивается путем выполнения одноточечного заземления наружного слоя листов экрана. Размещенный между плоскими экранирующими слоями объемный экранирующий слой в виде стальной прямоугольной решетки, выполненной с возможностью функционирования ее ячеек в качестве запредельных волноводов по отношению к основной гармонике частоты экранируемого поля, подавляет непрерывно вращающийся вектор магнитного поля при тех углах падения

на поверхность экрана, когда пара плоских слоев перестает работать [8, 9, 10].

Таким образом, предлагаемая конструкция многослойного электромагнитного экрана для защиты человека и технических средств от воздействия электромагнитных полей промышленной частоты является более эффективной, чем альтернативные варианты. Это подтверждается контрольными проверками на соответствие требованиям нормативов.

Литература

1. Броудер Поль. Магнитное поле – угроза здоровью // Мир ПК. Вып. 5. 1990.
2. Electromagnetic Fields and Public Health. Extremely Low Frequency Fields and Cancer. Fact Sheet no/ 263 – Geneva: WHO, 2001.
3. Архипов М. Э., Куротченко Л. В., Новиков А. С., Субботина Т. И., Хадарцев А. А., Яшин А. А. Воздействие право- и левовращающихся электромагнитных полей на биообъекты: физические модели и эксперимент/ Под. ред. д.м.н., проф. Т. И. Субботиной и заслуженного деятеля науки РФ, д.б.н., д.т.н., проф. А. А. Яшина. ГУП НИИ новых медицинских технологий. Москва-Тверь-Тула, Триада, 2007. – 200 с.
4. Построение диалога о рисках от электромагнитных полей. Швейцария, Женева: ВОЗ, 2004 (русский). – С. 54–57.
5. Рябов Ю. Г., Энговатов В. И., Бильтецкий С. Э. Концепция энергетической и электромагнитной безопасности (ЭЭМБ) // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2008 – № 1.
6. Рябов Ю. Г., Бочков Ю. И. Реализация экранирования магнитных полей трансформаторных подстанций, встроенных в здания // Технологии ЭМС. – 2004. – № 2 (9). – С. 45–50.
7. ГОСТ Р 51318.24–99. СТСЭ. Устойчивость оборудования информационной техники к магнитным полям промышленной частоты. Требования и методы контроля.
8. Многослойный электромагнитный экран. Патент на полезную модель № 85267 от 27.07.2009 г. (Ru). Авторы: Рябов Ю. Г., Гуров И. Б.
9. Многослойный электромагнитный экран. Патент на изобретение № 2381601 от 10.02.2010 г. (Ru). Авторы: Рябов Ю. Г., Гуров И. Б..
10. Способ оценки электромагнитной безопасности. Патент на изобретение № 2398246 от 27.08.2010 г. (Ru). Авторы: Рябов Ю. Г., Гуров И. Б.

Multi-layered electromagnetic screen for habitat protection from electromagnetic influences

J. G. Ryabov, I. B. Gurov, S. E. Biletsky, K. V. Ermakov, G. V. Lomaev, R. N. Vakhitov

A new design of multi-layer electromagnetic screen for human and technical means of biohazardous electromagnetic fields of industrial frequency. According to the results of model experiment shows the advantages of such a screen with separation of layers. There are patents for invention and utility model.

Keywords: energy-safety, electromagnetic screen, comparative experiment, electromagnetic field.

Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов производства чугуна

Бойправ О. В. *, Борбелько Т. В. **, Лыньков Л. М., Соколов В. Б.

Белорусский государственный университет, БГУИР, ул. П.Бровки, 6, 220013, Минск,

Беларусь

**e-mail: boipravolga@rambler.ru*

***e-mail: kafzi@bsuir.by*

Аннотация

Разработаны конструкции экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов производства чугуна. Исследовано влияние размера фракций порошкообразных отходов производства чугуна на их магнитные свойства, а также на экранирующие характеристики разработанных конструкций экранов электромагнитного излучения.

Ключевые слова: коэффициент отражения, коэффициент передачи, относительная магнитная проницаемость, порошкообразные отходы производства чугуна, экранирование, электромагнитное излучение

Введение

Научно-технический прогресс обуславливает увеличение общего числа радиоэлектронных средств (РЭС) и, как следствие, расширение области их применения. При помощи современных РЭС решаются задачи, связанные с получением, обработкой и передачей информации (системы локации и навигации), дистанционным управлением процессами (теле-механика), электронной идентификацией и аутентификацией (системы распознавания) и пр. [1]. Для обеспечения полноты решения задач, возлагаемых на РЭС, следует обеспечивать корректные условия для работы последних. Для этого необходимо снижать степень воздействия на РЭС внешних помех, источником которых является электромагнитное излучение (ЭМИ) функционирующих вблизи устройств и систем как аналогичного, так и иного на-

значения. Одним из направлений снижения степени такого воздействия является уменьшение на этапе конструирования уровней мощности ЭМИ РЭС до предельно допустимых. При этом измерения данных уровней следует проводить в безэховых камерах, стены которых облицованы радиопоглощающими материалами (РПМ), необходимыми для защиты измерительных приборов, а также персонала от переотраженного ЭМИ.

В настоящее время в качестве основных компонентов при разработке РПМ для безэховых камер широко используются материалы, обеспечивающие ослабление ЭМИ за счет магнитных потерь, например, порошки из ферритов различного состава [2]. Они закрепляются в связующих веществах, в результате чего формируются композиционные РПМ. Кроме того, данные порошки могут засыпаться в специальные емкости, выполняемые из радиопрозрачного материала. В формируемых таким образом РПМ возможно как увеличивать, так и уменьшать массу используемого порошка (а значит, управляемого изменять экранирующие характеристики), что в случае композиционных РПМ является более сложной задачей ввиду быстрого изменения со временем у них фазы связующего вещества.

Цель работы состояла в разработке конструкций экранов ЭМИ на основе порошкообразных отходов производства чугуна (шлам очистки ваграночных газов (ШОВГ)), представляющих собой, так же, как и ферриты, соединения оксидов металлов. Одним из преимуществ ШОВГ по сравнению с ферритами является его низкая стоимость.

1. Характеристика шлама очистки ваграночных газов

ШОВГ представляет собой порошкообразные отходы, являющиеся результатом фильтрации и обработки в осевом циклоне газов, поступающих из вагранок. Содержание окиси углерода в таких газах допускается не более 0,1 %, пыли – не более 150 мг/м³.

Очистка ваграночных газов от оксида углерода осуществляется путем их дожигания. В вагранках холодного дутья дожигание окиси углерода производится, главным образом, в трубе вагранки выше завалочного окна. Очистка ваграночных газов должна выполняться одновременно с созданием воздухоподогревателей. В существующих системах газоочистки применяются:

- а) сухие футерованные циклоны;
- б) мокрые скрубберы, пенные аппараты и трубы Вентури.

В первом случае газы очищаются от пыли на 80 %, а в случае дополнительной их мокрой очистки в скрубберах, пенных аппаратах или трубе Вентури степень очистки газов может быть доведена до допустимого нормами содержания пыли.

Пенные аппараты дают более тонкую очистку, чем мокрые скруббера. На вагранках предусматривается работа двух параллельно включенных осевых циклонов, в нижней части которых устанавливается футерованный бункер для сбора задержанной в циклоне пыли (первая ступень очистки газов). Из осевых циклонов по футерованным патрубкам газы направляются в камеру дожигания. После дожигания они поступают в мокрый скруббер, откуда дымососом подаются в атмосферу. В мокром скруббере отходящие газы проходят вторую ступень очистки и освобождаются от мелких фракций пыли [3, 4].

Состав ШОВГ представлен в таблицах 1 и 2 [5, 6].

Таблица 1. Состав ШОВГ, полученного на первой ступени очистки

Оксид	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	SO ₃	Fe	Na ₂ O	K ₂ O
Содержание, % по масс.	41,17	8,65	5,96	4,45	3,87	3,64	1,25	1,2	0,5	0,38

Таблица 2. Состав ШОВГ, полученного на второй ступени очистки

Оксид	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O
Содержание, % по масс.	24,35	22,66	11,37	3,38	3,57	3,25	2,68	1,96

На основании результатов анализа данных, представленных в таблицах, можно сделать вывод о том, что ШОВГ, как первой, так и второй ступеней очистки, представляет собой соединения оксидов металлов с оксидами кремния и серы.

2. Описание разработанных конструкций

В настоящей работе разработаны конструкции экранов ЭМИ, одна сторона которых имеет геометрические неоднородности поверхности пирамidalной формы, другая – плоскую поверхность. В процессе формирования таких конструкций в емкость прямоугольной формы, выполненную из радиопрозрачного материала и содержащую вкладыш, изготовленный из прессованной целлюлозы и имеющий углубления в виде четырехугольных усеченных пирамид высотой 40 мм и площадями оснований 625 мм² и 100 мм², засыпался ШОВГ. Для формирования конструкции №1 использовался ШОВГ с размером фракций 5 мкм (ШОВГ,

полученный после второй ступени очистки), конструкций №2 и №3 – 20 мкм и 30 мкм соответственно (ШОВГ, полученный после первой ступени очистки).

Общий вид изготовленных конструкций экранов ЭМИ представлен на рис. 1.

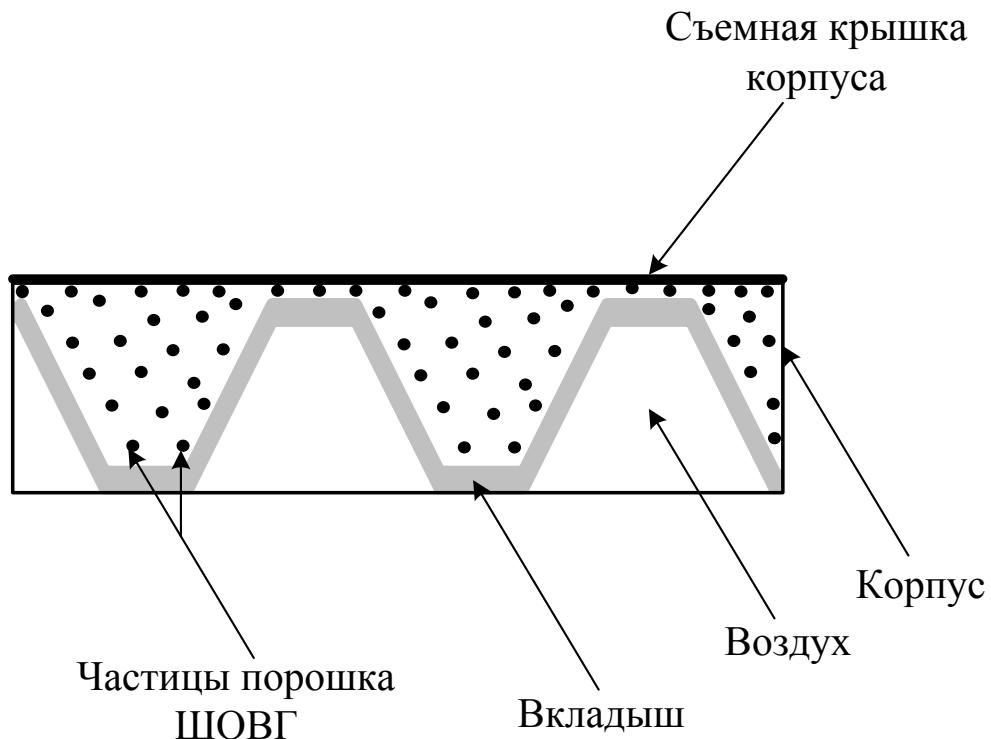


Рис. 1. Общий вид изготовленных конструкций экранов ЭМИ

3. Методика измерения магнитных характеристик шлама очистки ваграночных газов

Измерения параметров магнитных характеристик ШОВГ (зависимостей относительной магнитной проницаемости (μ) от величины индукции внешнего магнитного поля и температуры) проводились с использованием вибрационного магнитометра Cryogenic 14T VIBRATING SAMPLE MAGNETOMETER (рис. 2). Основными его узлами являются генератор механических колебаний, электронный измерительный блок, соленоид, измерительные катушки, датчик поля Холла, шток с квадцевым держателем образца. В конструкцию генератора механических колебаний входит емкостной датчик, стабилизирующий амплитуду колебаний образца. Электронный измерительный блок имеет модульную структуру. В его состав входят источник питания, генератор синусоидального сигнала с усилителем мощности для питания генератора механических колебаний, модуль управления, фазовый детектор, усилитель сигнала, поступающего с измерительных катушек, измеритель поля Холла, регистрирующий значения магнитной индукции исследуемого образца.

В процессе измерений исследуемый образец помещался в пластиковую трубку и закреплялся между фиксаторами штока. Источником магнитного поля служил соленоид. Направление колебаний образца – вертикальное, а магнитный момент образца, индуцированный внешним магнитным полем, был ориентирован горизонтально. Сигнал от измерительных катушек после фазового детектирования и усиления поступал на вход измерителя поля Холла. Генератором механических колебаний выступал электродинамический громкоговоритель, движение образцу передавалось от него посредством штока. Амплитуда колебаний образца была постоянной и составляла 0,0344 м.

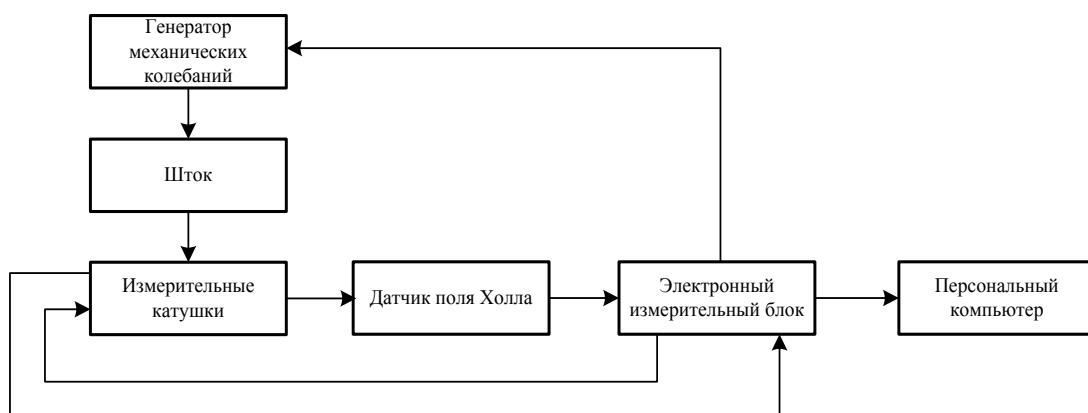


Рис. 2. Структурная схема вибрационного магнитометра

Измерения значений магнитной индукции образцов ШОВГ проводились при комнатной температуре и значениях индукции внешнего магнитного поля, изменяющихся с шагом 0,02 Тл в пределах диапазона –3 Тл...3 Тл.

Кроме того, были проведены измерения значений магнитной индукции образцов ШОВГ в диапазоне от комнатной температуры до гелиевой при постоянном значении B , равном 0,5 Тл. При этом измерительные катушки помещались в резервуар с жидким гелием.

Согласно сведениям, представленным в разделе «Технические данные» руководства по эксплуатации вибрационного магнитометра Cryogenic 14T VIBRATING SAMPLE MAGNETOMETER, относительная погрешность проводимых при помощи него измерений составляет $\pm 1\%$. Источником погрешности является нестабильность частоты колебаний образца, составляющая 10^{-2} Гц. Возникновение данной нестабильности может быть связано с дрейфом электрических параметров схемы, питающей генератор механических колебаний [7].

По виду зависимости относительной магнитной проницаемости материала от величины внешнего магнитного поля, а также от температуры окружающей среды (рис. 3) можно сделать вывод о том, к магнетикам какого типа он относится.

Относительная магнитная проницаемость диамагнетика чуть меньше единицы ($\mu \sim 0,998$) и не зависит от величины внешнего магнитного поля и температуры.

У парамагнетиков в процессе их воздействия с внешним магнитным полем происходит слабая ориентация магнитных моментов атомов, поэтому относительная магнитная проницаемость данным материалов незначительно превышают единицу ($\mu \sim 1,03$). От величины внешнего магнитного поля при обычных температурах магнитная проницаемость парамагнетиков зависит слабо. Парамагнитный эффект по физической природе во многом сходен с дипольно-релаксационной поляризацией диэлектриков.

Ферромагнетикам присущее большое значение μ ($10^2 \dots 10^6$), которое сильно зависит от величины внешнего магнитного поля и температуры. Важная особенность ферромагнетиков заключается в их способности намагничиваться до насыщения в слабых магнитных полях (до 10 Тл).

Относительная магнитная проницаемость ферримагнетика ниже относительной магнитной проницаемости ферромагнетика ($1 \dots 10^2$), но при этом тоже сильно зависит от величины внешнего магнитного поля и температуры. Максимум относительной магнитной проницаемости ферро- и ферримагнетиков при высоких температурах соответствует точке Кюри (T_K). Однако в ряде случаев основные магнитные параметры ферримагнетиков характеризуются более сложной зависимостью от температуры окружающей среды по сравнению с ферромагнетиками. У некоторых ферримагнетиков в области низких температур (обычно в интервале от нуля до температуры жидкого азота) обнаруживаются аномалии температурного хода относительной магнитной проницаемости и ряда других параметров [8–12].

Антиферромагнетиками являются вещества, в которых ниже некоторой определенной температуры T_h (точка Нееля) спонтанно возникает антипараллельная ориентация магнитных моментов одинаковых атомов или ионов кристаллической решетки. При нагревании антиферромагнетик переходит в парамагнитное состояние [2].

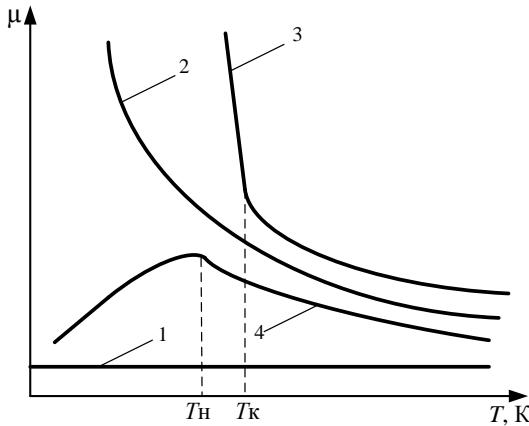


Рис. 3. Общий вид температурной зависимости относительной магнитной проницаемости диамагнетиков (1), парамагнетиков (2), ферро- и ферримагнетиков (3), антиферромагнетиков (4)

4. Методика измерения коэффициентов передачи и отражения конструкций экранов электромагнитного излучения

Для измерения коэффициентов передачи и отражения разработанных конструкций экранов ЭМИ использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, работающий по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. В состав панорамного измерителя входят:

- генератор качающейся частоты (ГКЧ);
- блок обработки измерительных сигналов;
- передающая и приемная антенны;
- блоки направленных ответвителей (блоки В и А/Р), предназначенные для выделения и детектирования падающей, отраженной и прошедшей электромагнитных волн и соединяющиеся с каналами блока обработки измерительных сигналов и антеннами.

Рабочий диапазон частот панорамного измерителя – 0,01…18 ГГц. Измерения выполнялись в автоматическом режиме. Для задания начальных параметров измерений (диапазона частот, вида измеряемого параметра) и систематизации его результатов использовалось специальное программное обеспечение. Сам процесс измерений подразумевал выполнение трех этапов.

На первом этапе осуществлялась калибровка, во время проведения которой устанавливался оптимальный уровень мощности для работы детекторов измерителя.

Второй этап заключался в измерении коэффициентов передачи по схеме, изображенной на рис. 4. При этом ГКЧ измерителя формировал сигнал в заданной полосе частот и че-

рез блок А/Р подавал его в передающую антенну. Блок обработки измерительных сигналов регистрировал ЭМИ, прошедшее через исследуемый образец.

Третий этап заключался в измерении коэффициентов отражения. При этом на выходе вместо приемной антенны устанавливался короткозамыкатель, ГКЧ измерителя формировал сигнал в заданной полосе частот и через блок А/Р подавал его в передающую антенну. Блок обработки измерительных сигналов регистрировал ЭМИ, отраженное от исследуемого образца. Согласно сведениям, представленным в разделе «Технические данные» руководства по эксплуатации панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, относительная погрешность проводимых с его помощью измерений составляет $\pm 1\%$.

Измерения параметров проводились на частотах диапазона 0,7…18 ГГц. ЭМИ данного частотного диапазона сопровождается работа систем мобильной связи, радиолокационных станций, средств вычислительной техники и пр.

При измерениях в пределах диапазона 0,7…3 ГГц значения частот изменялись с шагом 0,009 ГГц, а в пределах диапазона 3…17 ГГц – с шагом 0,063 ГГц. Измерения параметров на каждой из частот проводились трехкратно.

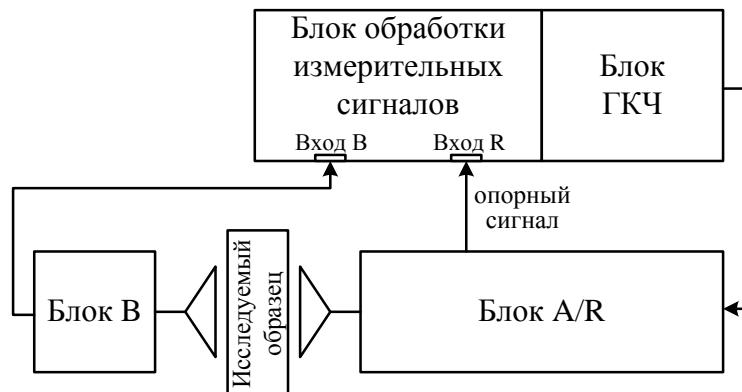


Рис. 4. Структурная схема измерительной установки SNA 0,01–18 при измерении коэффициентов передачи ЭМИ

5. Методика измерения уровней мощности электромагнитного излучения, проходящего через конструкцию экрана электромагнитного излучения

Измерения уровней мощности ЭМИ, проходящего через разработанные конструкции экранов ЭМИ, производились при помощи информационно-измерительной системы (ИИС), включающей в себя:

- ГКЧ, встроенный в конструктив панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18;
- передающую и приемную антенны;
- измеритель мощности ЭМИ.

ГКЧ соединялся с передающей антенной посредством волновода, измеритель мощности с приемной антенной – посредством кабеля.

Для управления параметрами ГКЧ (амплитудой и частотой) использовалось специальное программное обеспечение. Согласно сведениям, представленным в разделе «Технические данные» руководства по эксплуатации измерителя мощности ЭМИ, погрешность установки его параметров посредством данного программного обеспечения составляет $\pm 0,1 \dots \pm 0,5 \%$.

Порядок соединения устройств ИИС и расположение исследуемых образцов в процессе измерений показаны на рис. 5.

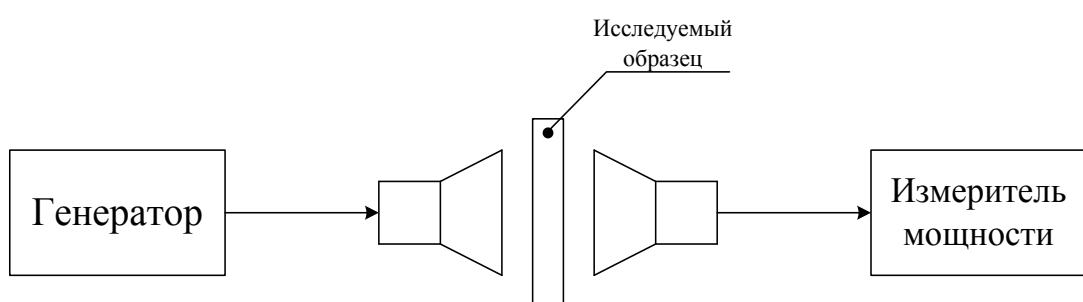


Рис. 5. Структурная схема установки для измерения уровня мощности ЭМИ, пропускаемого конструкциями экранов

Перед проведением измерений выполнялась калибровка ИИС, при которой передающая и приемная антенны устанавливались друг напротив друга. Цель калибровки заключалась в том, чтобы поочередно для каждой из выбранных для проведения измерений частот определить, какого уровня мощности ЭМИ (в дБ) следует сгенерировать и подать на передающую antennу, чтобы зарегистрировать на приемной antennе ЭМИ уровня мощности 1 мВт, 2 мВт, 3 мВт, 4 мВт либо 5 мВт (максимальное значение уровня мощности, которое может быть зарегистрировано измерителем мощности составляет 10 мВт).

В процессе измерений на каждой из частот указанного диапазона генерировалось ЭМИ с уровнем, определенным на этапе калибровке, после чего снимались показания измерителя мощности.

6. Результаты и обсуждение

На основании измеренных значений магнитной индукции образцов ШОВГ выполнены расчеты их относительной магнитной проницаемости. По данным расчета построены графические зависимости относительной магнитной проницаемости ШОВГ от температуры окружающей среды (рис. 6) и величины индукции внешнего магнитного поля (рис. 7).

Для описания характера изменения магнитных свойств материала при изменении температуры окружающей среды используется температурный коэффициент магнитной проницаемости ($T\mu$) [13]:

$$T\mu = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1},$$

где μ_1 и μ_2 – значения относительной магнитной проницаемости материала при температурах T_1 и T_2 соответственно.

Относительная магнитная проницаемость ШОВГ изменяется с изменением температуры окружающей среды. В диапазоне отрицательных температур (169 К...6 К) среднее значение температурного коэффициента магнитной проницаемости ($T\mu$) ШОВГ составляет $0,055 \text{ K}^{-1}$. В области гелиевых температур (27 К...6 К) значение относительной магнитной проницаемости ШОВГ начинает резко возрастать и $T\mu$ при этом составляет $0,2 \text{ K}^{-1}$. Подобное поведение присуще температурным зависимостям относительной магнитной проницаемости ферримагнетиков (в частности, ферритов) [14].

Установлено, что относительная магнитная проницаемость ШОВГ увеличивается по мере увеличения индукции внешнего магнитного поля и зависит от размера его фракций. Значение начальной относительной магнитной проницаемости (при $B=0$) для ШОВГ с размером фракций 5 мкм составляет 0,28, с размером фракций 20 мкм – 0,53, с размером фракций 30 мкм – 1,1; значения максимальной относительной магнитной проницаемости (μ_{\max}) равны 4,04; 7,18; 41,1 соответственно. Кроме того, для ШОВГ характерны явления остаточной намагниченности. Изложенное позволяет сделать вывод о том, что ШОВГ является ферримагнитным порошком.

На основании измеренных значений коэффициентов передачи и отражения изготовленных конструкций экранов ЭМИ, а также уровней мощности ЭМИ, проходящего через каждую из них, построены графические зависимости, представленные на рис. 8–12.

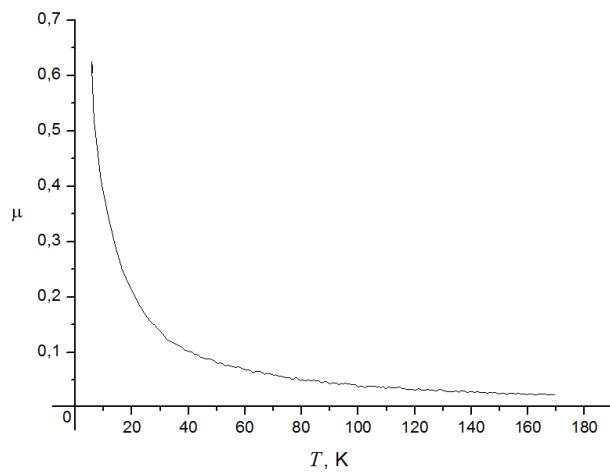
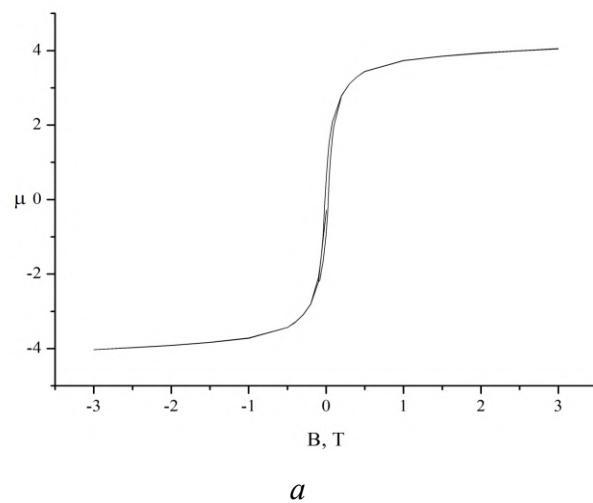
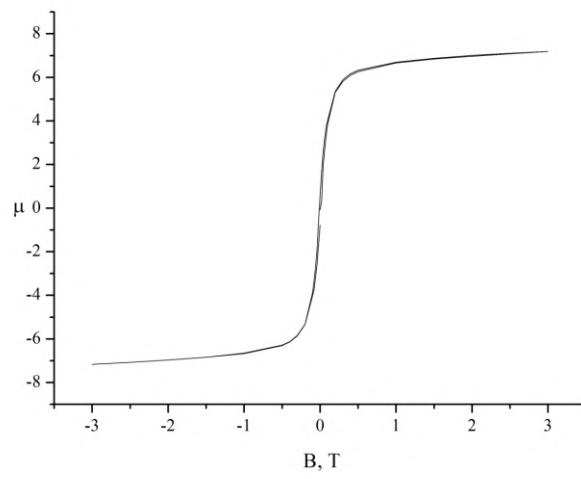


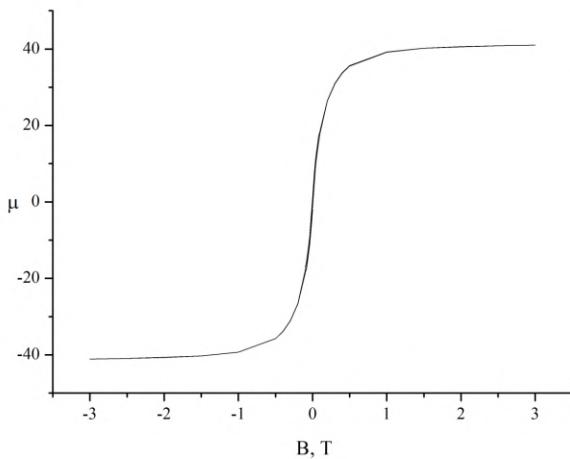
Рис. 6. Зависимости относительной магнитной проницаемости ШОВГ с размером фракций 5 мкм от величины температуры окружающей среды



a



δ̂



б

Рис. 12. Зависимость относительной магнитной проницаемости от величины индукции внешнего магнитного поля для ШОВГ с размером фракций 5 мкм (*а*), 20 мкм (*б*), 30 мкм (*в*)

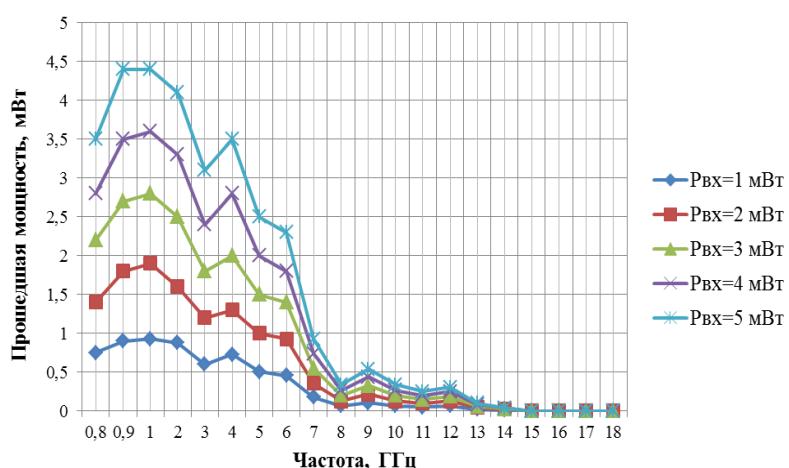


Рис. 6. Частотные зависимости уровней мощности ЭМИ, прошедшего через конструкцию экрана, изготовленную на основе ШОВГ с размером фракций 5 мкм

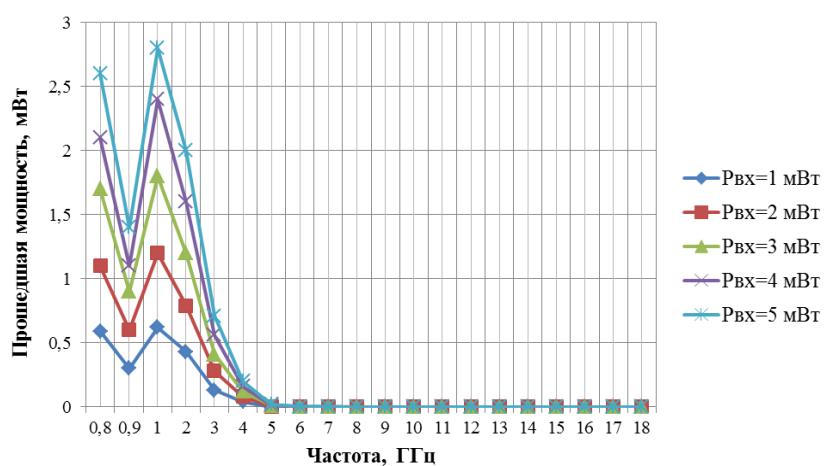


Рис. 7. Частотные зависимости уровней мощности ЭМИ, прошедшего через конструкцию экрана, изготовленную на основе ШОВГ с размером фракций 20 мкм

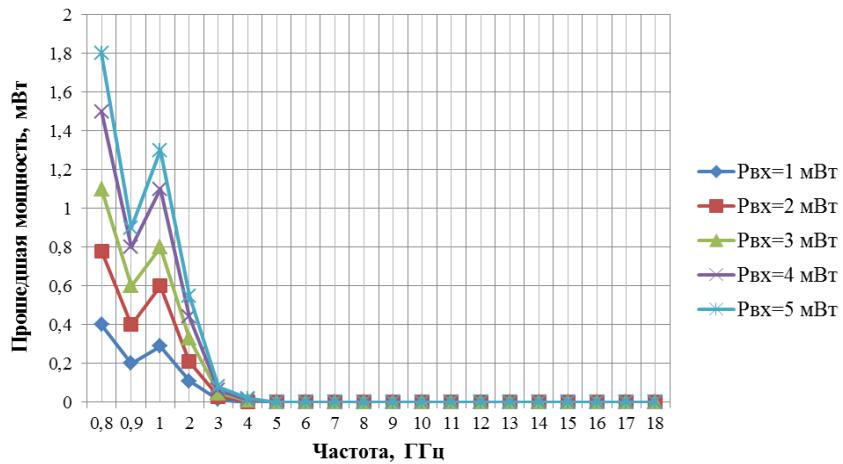


Рис. 8. Частотные зависимости уровней мощности ЭМИ, прошедшего через конструкцию экрана, изготовленную на основе ШОВГ с размером фракций 30 мкм

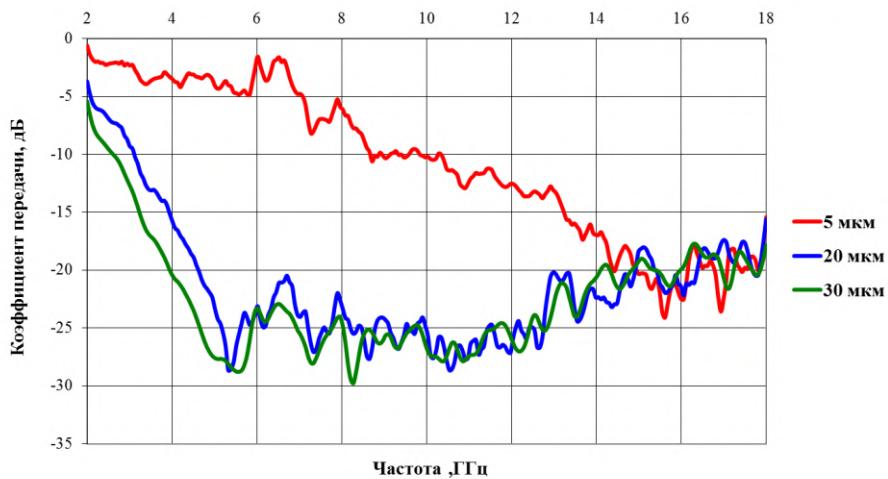


Рис. 9. Частотные зависимости коэффициентов передачи разработанных конструкций экранов ЭМИ

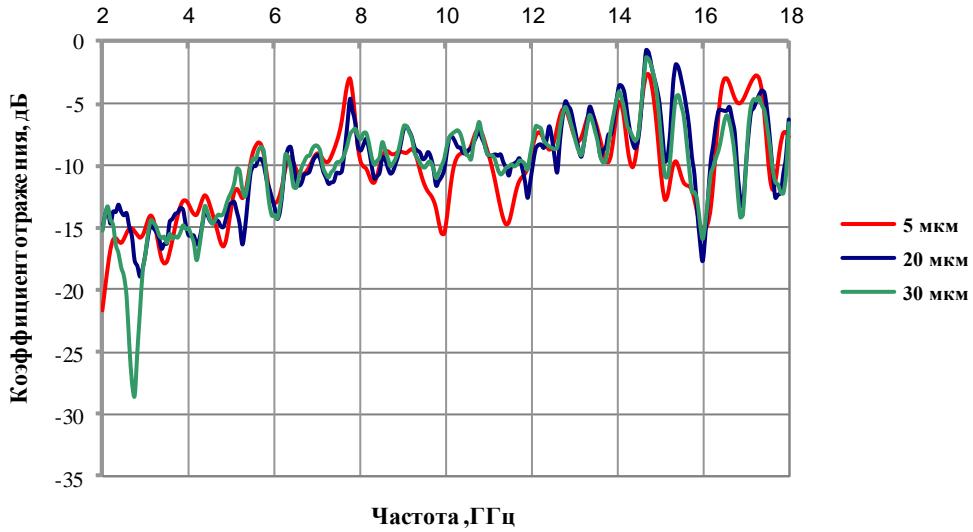


Рис. 10. Частотные зависимости коэффициентов отражения разработанных конструкций экранов ЭМИ

Таким образом, магнитные свойства и размер фракций порошкообразного ШОВГ в большей степени оказывают влияние на значения коэффициентов передачи изготавливаемых на их основе конструкций экранов ЭМИ, чем на значения коэффициентов отражения.

В частности, если для изготовления конструкции экрана ЭМИ вместо ШОВГ с размером фракций 5 мкм использовать ШОВГ с размером фракций 20 мкм, то значения ее коэффициентов передачи в диапазоне частот 0,7...14 ГГц уменьшаются с -1...-20 дБ до -5...-30 дБ, а в диапазоне 14...18 ГГц практически не изменяются. При этом приращение значений коэффициентов отражения в диапазоне частот 0,7...18 ГГц по модулю будет составлять не более 3 дБ.

При падении электромагнитных волн (ЭМВ) на границу раздела двух сред (воздух – поверхность конструкции экрана ЭМИ), значения диэлектрической и магнитной проницаемостей которых отличаются, имеют место явления отражения и преломления волн, при котором последние частично проходят во вторую среду. Геометрические неоднородности поверхности конструкции экрана ЭМИ влияют на поляризацию отраженной волны, которая не совпадает с поляризацией падающей волны. Данное явление носит название деполяризации (рассеяния) отраженных волн. Его взаимосвязь с наличием у поверхности экрана ЭМИ неоднородностей можно доказать в том случае, если рассмотреть рассеянное поле как сумму полей, излучаемых равномерной и неравномерной частями электрического тока [15]. Дальнейшее их ослабление обусловлено явлением поглощения их энергии материалом второй среды.

ды [16]. Оно связано с тем, что ЭМВ в процессе своего распространения в среде вызывают, независимо от ее природы, вынужденные колебания свободных и связанных зарядов, магнитных диполей, квадрупольей. Это приводит к созданию первичного и вторичного ЭМИ. Характер параметров последнего зависит от электрических и магнитных свойств среды, величин коэффициента ее преломления, а также длины ЭМВ. В случае если среда содержит наполнитель в виде частиц определенного размера, параметры вторичного ЭМИ определяются также соотношением размера частиц (l) и расстояния между ними (d) с длиной падающей волны (λ). Если наполнителем среды являются микродисперсные ферро- или ферримагнетики, то в ней возможно наличие агломератов частиц. В подобных случаях размер единичного препятствия для ЭМВ следует считать несколько большим, чем размер частицы. Однако, как правило, при проведении теоретического анализа вследствие случайного характера распределения ферро- и ферримагнитных частиц в среде принимается упорядоченная структура их размещения – в виде кубической решетки, в узлах которой размещены данные частицы.

Когда размер частиц много меньше длины волны, т.е. d/λ мало, распространение волны в среде определяется величиной l/λ , которая может быть больше или меньше 1.

Случай, при котором $l/\lambda \geq 1$, соответствует малонаполненным средам, когда расстояние между частицами больше длины волны. При этом волны свободно проникают через слои частиц и почти не взаимодействуют с ними, т. е. фазовый сдвиг волн после их прохождения через частицы крайне незначителен. Рассеянием волны на частицах можно пренебречь и, следовательно, фазовый фронт волны не изменяет своего положения относительно направления распространения в любой точке материала. При этом среду можно считать радиопрозрачной.

Случай, при котором расстояние между частицами меньше длины волны ($l/\lambda \leq 1$) аналогичен дифракции волн на мелкой решетке. При этом как коэффициент поглощения, так и коэффициент отражения ЭМВ зависят от размера частиц, расстояния между частицами и слоями частиц.

В случае, когда расстояние между частицами много меньше длины волны ($l/\lambda \ll 1$), решетка частиц очень мелка и волны воспринимают ее как целое. Подобной структуре распространения частиц будет соответствовать материал с некоторыми распределенными равномерно по объему макропараметрами относительных магнитной (μ^*) и диэлектрической (ϵ^*) проницаемостей. Это соответствие можно объяснить на основании теории дифракции ЭМВ на многослойной мелкой и частой решетке, тем более что в общем случае частицы распределены по объему материала хаотично. При этом распространение волны в среде, содержащей

частицы наполнителя (сосредоточенные μ^* и ϵ^*), эквивалентно распространению волны в среде с равномерно распределенными μ^* и ϵ^* .

Вторая возможная ситуация соответствует случаю, когда d/λ сравнимо с 1 или велико, т. е. когда размер частиц соизмерим с длиной волны или больше ее. В этом случае для распространяющихся ЭМВ каждая частица будет представлять препятствие. Распространение волн в такой среде описывается законами их дифракции на единичном препятствии. Например, для единичной частицы после прохождения через нее волн будут наблюдаться кольца Френеля. Суперпозиция волн, как прошедших, так и отраженных от каждой частицы, будет давать сложную картину, характеризуемую, в общем случае, одной закономерностью: при увеличении содержания наполнителя будет расти коэффициент отражения (если частицы имеют коэффициент преломления n^* существенно отличный от n свободного пространства) [17].

В рассматриваемом случае в ходе проведения измерений коэффициентов передачи и отражения разработанных конструкций экранов ЭМИ длина ЭМВ в зависимости от их частоты составляла 0,017...428,6 м, т. е. превышала размер частиц ШОВГ, а также расстояние, которое могло образоваться между этими частицами.

Таким образом, явление взаимодействия ЭМВ с разработанными конструкциями аналогично их дифракции на мелкой решетке.

Заключение

Порошкообразный ШОВГ по своим магнитным свойствам относится к ферримагнетикам: величины его относительной магнитной проницаемости ниже 10^2 , но при этом они зависят от величины внешнего магнитного поля, характеризуются малыми значениями индукции насыщения, не превышающими 3 Тл, и достаточно высокой температурной стабильностью. Магнитные характеристики ШОВГ зависят от того, на какой ступени очистки был отобран данный порошкообразный материал, т. к. ступень очистки определяет размер его фракций. На основе порошкообразного ШОВГ можно формировать различные экранирующие конструкции, которые будут обеспечивать эффективное ослабление энергии ЭМИ, обусловленное ее потерями на магнитную проницаемость [18, 19]. Один из вариантов – предложенные в рамках настоящей работы конструкции, формируемые путем засыпания порошка ШОВГ в емкости, выполненные из радиопрозрачного материала. Такие конструкции могут монтироваться на стены безэховых камер, в которых осуществляется тестирование и настройка чувствительного к внешним ЭМИ и высокоточного оборудования: спутниковых систем, георадаров, корабельных радиобуев и др. С использованием этой же технологии на основе порошкообразного ШОВГ возможно реализовать многослойные экранирующие конст-

рукции градиентного типа. В таких конструкциях относительная магнитная проницаемость будет увеличиваться по мере перехода электромагнитной волны от одного слоя к другому. При этом в качестве первого слоя должна выступать конструкция, заполненная порошком ШОВГ, обладающим наименьшим значением относительной магнитной проницаемости (с размером фракций 5 мкм), второго и третьего – порошком ШОВГ с размером фракций 20 и 30 мкм соответственно. При этом будет улучшено согласование волновых сопротивлений начальной среды распространения электромагнитных волн (т. е. воздуха) и материала подобной экранирующей конструкции, что приведет к уменьшению ее коэффициента отражения и расширению рабочего диапазона частот относительно соответствующих параметров однослоиных конструкций [20]. Кроме того, ШОВГ может быть использован:

1. В качестве наполнителя при изготовлении конструкций плоских одно- и многослойных экранов ЭМИ композиционного типа [21–24], характеризующихся в зависимости от типа связующего (раствор портландцемента, силикон и т. д.) различными физическими свойствами.
2. При изготовлении покрытий либо заполняющих растворов для конструкций экранов ЭМИ с геометрически неоднородной поверхностью [25].
3. При формировании строительных материалов.

Библиографический список

1. Баканов Г.Ф., Соколов С.С., Суходольский В.Ю. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств. – М.: Академия, 2007. – 368 с.
2. Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. – М.: Наука, 1973. – 593 с.
3. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиртовича. – Ленинград: Машиностроение, 1978г. – 758 с.
4. Благонравов Б.П., Грачев В.А., Сухарчук Ю.С.и др. Печи в литейном производстве: Атлас конструкций – М.: Машиностроение, 1989. – 156 с.
5. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Соколов В.Б. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов очистки ваграночных газов // Доклады БГУИР. – 2012. – № 1 (63). – С. 70–75.
6. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Соколов В.Б., Борбелько Т.В. Экраны электромагнитного излучения на основе ферримагнитных материалов / Материалы Международного научно-технического семинара «Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое ко-

- дирование и безопасность данных». Минск, январь-декабрь 2012 г. – Минск, БГУИР, 2012. – С. 75–79.
7. Великанов Д.А., Юркин Г.Ю., Патрин Г.С. Стабилизация параметров механических колебаний образца в вибрационном магнитометре // Научное приборостроение. – 2008. – № 3 (18). – С. 86–94.
 8. Мишин Д.Д. Благонравов Б.П., Грачев В.А., Сухарчук Ю.С. и др. Печи в литейном производстве: Атлас конструкций – М.: Машиностроение, 1989. – 156 с.
 9. Материалы микроэлектронной техники / Под ред. В.М. Андреева. – М.: Радио и связь, 1999. – 352 с.
 10. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. – М.: Высш. шк., 1986. – 352 с.
 11. Восновский С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 1032 с.
 12. Белов К.П. Магнитные превращения. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 260 с.
 13. Ивлев Ю.Н. Химия радиоматериалов: курс лекций. Часть 1. – М., 2002. – 135 с.
 14. Смит Я., Вейн Х. Ферриты. – М.: Иностранная литература, 1962. – 504 с.
 15. Уфимцев П.Я. Метод краевых волн в физической теории дифракции. – М. : Советское радио, 1962. – 244 с.
 16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред: Учеб. пособие. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1987. – 607 с.
 17. Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С. В.. Физические основы технологии Stealth – СПб.: ВВМ, 2007. – 356 с.
 18. Козловский В.В., Софиенко И.И. // Вісник ДУІКТ. – 2009. – № 7 (3). – С. 233–245.
 19. Бойправ О.В., Неамах М.Р. Использование шлама очистки ваграночных газов для изготовления экранов электромагнитного излучения // Материалы 12-ой Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века». Минск, МГЭУ им. А.Д.Сахарова, 17 – 18 мая 2012 г. – Минск, 2012. – С. 303–304.
 20. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Тимофеева И.А. Экраны электромагнитного излучения на основе мелкодисперсных порошкообразных материалов // Материалы 8-ой международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2012». Севастополь, 23 – 27 апреля 2012 г. – Севастополь, 2012. – С. 388.
 21. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Аль-Саиди Р.Т. Композиционные материалы для экранирования электромагнитных излучений // Материалы международной научно-технической

- конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии». Могилев, Белорусско-российский университет, 19 – 20 апреля 2012 г. – Могилев, ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2012. – С. 110–111.
22. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Степанова Е.А., Борбелько Т.В. Материалы на основе мелкофракционных металлокодергящих порошков для ослабления электромагнитных излучений // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск, 19 – 21 сентября 2012 г. – Минск, ФТИ НАН Беларуси, 2012. – С. 293–297.
23. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Лыньков Л.М., Борбелько Т.В., Соколов В.Б. Многослойные экраны электромагнитного излучения на основе мелкодисперсных порошкообразных материалов для защиты серверных комнат // Безопасность информационных технологий. – 2012.– №1. – С. 48–50.
24. Бойправ О.В., Неамах М.Р., Борбелько Т.В. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения на основе шлама очистки ваграночных газов // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами». Минск, 21 ноября 2012 г. – Минск, 2012. – С. 67–68.
25. Бойправ, О. В., Неамах М.Р., Аль-Саиди Р.Т. Экраны электромагнитного излучения с геометрически неоднородной поверхностью на основе порошкообразных материалов // Материалы I Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники». Гомель, 17 апреля 2012 г. – Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – С. 16–18.

УДК 621.385.6-049.65

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

Г.А. ПУХИР, М.Ш. МАХМУД, Н.В. НАСОНОВА, Л.М. ЛЫНЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 26 сентября 2011

Представлены результаты исследования влияния наличия в составе поглощающего материала на основе порошкообразного шунгита магнитных включений на значения характеристик ослабления и отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8...11,5 ГГц. Приведены значения экранирующих характеристик в указанном частотном диапазоне образцов экранов на основе магнитных порошковых компонентов. Проведен сравнительный анализ исследуемых образцов. Предложено использование порошкообразного шунгита с добавками феррита для создания поглотителей электромагнитного излучения.

Ключевые слова: магнитные порошки, шунгит, экранирующие свойства, ферриты.

Введение

В современной технике для защиты различных объектов от нежелательного воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) и локализации таких излучений в определенной зоне широко используются экранирующие конструкции из различных по составу и свойствам материалов. Выбор состава и параметров экранов зависит от предъявляемых к ним требований по различным критериям: рабочий диапазон частот, массогабаритные характеристики, стоимость, технологичность, срок службы при стабильной эффективности защиты и т.д. Поиск новых решений в создании высокоэффективных широкополосных экранирующих конструкций – актуальная задача современной науки и техники.

Порошкообразные углеродсодержащие материалы широко используются для создания конструкций экранов электромагнитного излучения с пониженными массогабаритными характеристиками и устойчивостью к коррозии. В [1, 2] показана эффективность использования для этих целей шунгитовых минералов. При этом актуальной задачей остается снижение доли отраженной энергии от поверхности экранов электромагнитного излучения. Следовательно, целью данной работы является исследование защитных свойств экранов ЭМИ на основе магнитных порошковых компонентов в составе композита.

Эксперимент

Исследования проводились путем изготовления экспериментальных образцов, основу состава которых представляет магнитный порошок (феррит), шунгит и их сочетание. Герметизация образцов производилась с помощью полимерной пленки. В составе исследуемых образцов наличие жидкостных компонентов составляло не более 10% по объему при толщине образцов порядка 3 мм.

Для увеличения эффективности экрана, представляющего собой композиционный материал на основе шунгита, возможно добавлять магнитные включения для внесения дополнительных магнитных потерь. Это также позволит сократить долю отраженной от экрана энергии.

Дополнительное ослабление электромагнитного излучения вносит наличие в составе поглотителя водосодержащих компонентов [3, 4].

В работе был использован шунгит, состоящий на 68% из силикатов в форме оксида кремния и 29% глобулярного графитоподобного углерода, порошковые магнитные материалы – ферриты, вода, трикотажное полотно и связующее вещество. Порошкообразный шунгит с диаметром частиц порядка 10 мкм смешивался с порошкообразным NiZn-ферритом, состоящим из аналогичного размера частиц в процентном соотношении шунгит/магнитный порошок 70:30 соответственно. Для получения однородной структуры в полученную смесь порошков добавлялось небольшое количество воды до получения однородной вязкой массы. Герметизация образцов осуществлялась с помощью полиэтилена.

Для измерения экранирующих характеристик использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, который обеспечивает выделение и детектирование уровней падающей и отраженной волн электромагнитного излучения, прошедших и отраженных от образца. Калибровка оборудования перед началом измерений экранирующих характеристик производилась по стандартной методике. Для исследуемых образцов экспериментально были получены значения коэффициента передачи, который по абсолютной величине равен ослаблению ЭМИ, и коэффициента стоячей волны по напряжению, переведенного в коэффициент отражения в диапазоне частот 8...11,5 ГГц.

Обсуждение результатов

Как видно из рис. 1, а, исследуемые композиты на основе магнитного порошка (образец №1), шунгита и их комбинации жидкостными включениями позволяют снизить уровень ЭМИ в среднем на 20 дБ. Существенного отличия между значениями ослабления для каждого из образцов не наблюдается. Максимальное ослабление до 25 дБ обеспечивает образец, в составе которого имеется порошкообразный шунгит без добавления магнитного порошка. Во всем измеряемом частотном диапазоне наблюдаются стабильные характеристики ослабления с небольшим колебанием относительно среднего значения до 5 дБ.

Коэффициент отражения исследуемых образцов также зависит от свойств компонентов конкретного образца. Проведенный анализ полученных характеристик коэффициента отражения позволяет сделать вывод о том, что коэффициент отражения от поверхности экрана на основе магнитного порошка с жидкими включениями, герметизированного полимерной пленкой, составляет –2 дБ, что обусловлено свойствами проводящих металлических и жидкостных включений. Образец поглотителя ЭМИ на основе порошкового шунгита характеризуется коэффициентом отражения в исследуемом диапазоне частот в размере –2...–3 дБ. Для образца поглощающего ЭМИ композита на основе комбинации порошкового шунгита и феррита характерен коэффициент отражения порядка –6 дБ в частотном диапазоне 8...11,5 ГГц.

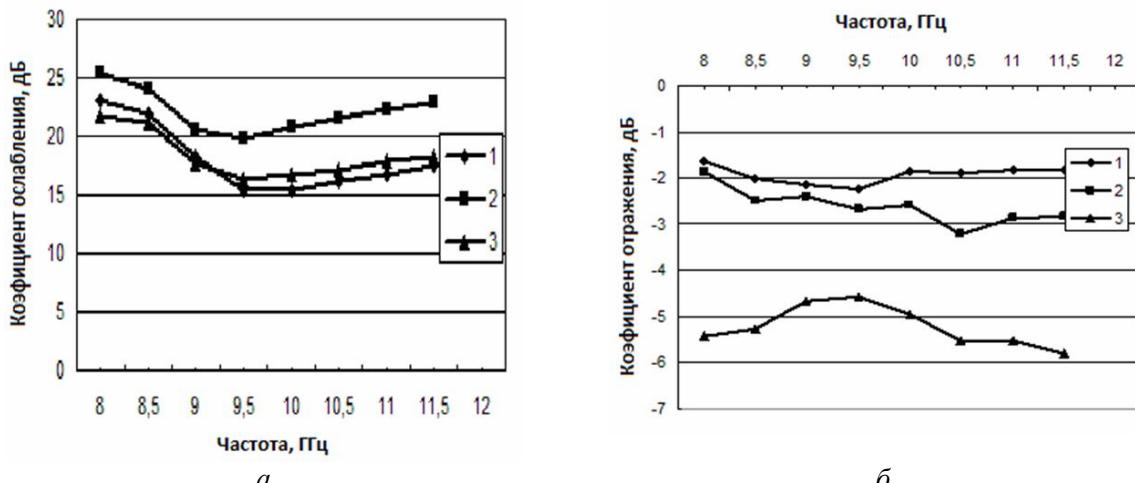


Рис. 1. Экранирующие характеристики образцов защитных экранов ЭМИ в диапазоне 8...12 ГГц: ослабление (а) и коэффициент отражения (б), выполненных на основе различных порошков с жидкостными включениями: 1 – магнитный порошок; 2 – шунгит; 3 – шунгит с добавлением феррита

Проведенные исследования измеренных экранирующих характеристик позволяют сделать вывод о том, что как магнитные порошки, так и порошкообразный шунгит обладают способностью ослаблять электромагнитные волны в СВЧ-диапазоне. Наличие в составе шунгитового поглощающего ЭМИ композиционного материала магнитных включений влияет на отражательную способность экрана. Установлено значительное снижение коэффициента отражения (рис. 1,б) для образца, герметизированного полиэтиленом, в составе которого 70% шунгит и 30% NiZn-феррит при достаточно высоком уровне ослабления порядка 20 дБ. Данное пропорциональное соотношение магнитных и диэлектрических компонентов было обосновано в работе [5].

Заключение

Как показали исследования, магнитные порошковые материалы способны вносить ослабления ЭМИ в диапазоне СВЧ. Обладая определенной частотно зависимой магнитной проницаемостью, такие компоненты способны вносить магнитные потери энергии электромагнитной волны. Сочетание свойств таких составляющих конструкции экрана с диэлектрическими свойствами других компонентов позволяет согласовать волновые параметры экрана и окружающей его среды, что позволит снизить долю отражаемой энергии от поверхности такой защитной конструкции, что, в свою очередь, особо актуально в случае необходимости локализации ЭМИ в пространстве.

Снижение коэффициента отражения для образцов с определенным соотношением порошковых компонентов можно объяснить подбором значений магнитной и диэлектрической составляющих композита, что позволяет снизить значение волнового сопротивления среды экрана. Дополнительное ослабление за счет поглощения электромагнитного излучения композиционным материалом достигается путем введения водосодержащих компонентов.

Таким образом, можно сделать вывод, что исследуемые образцы обеспечивают снижение уровня ЭМИ в диапазоне 8...11,5 ГГц за счет наличия эффектов поглощения и отражения электромагнитных волн магнитными материалами. Исследуя магнитные и диэлектрические свойства компонентов поглотителей электромагнитного излучения на основе порошкового шунгита можно моделировать экранирующие конструкции с требуемыми значениями параметров ослабления и отражения. Также можно предположить возможность моделирования многослойных конструкций экранов с участием магнитных слоев на основе ферритовых порошков. Проведенный сравнительный анализ защитных свойств образцов экранов ЭМИ позволяет выбрать оптимальный состав наполнителя экрана электромагнитного излучения, исходя из требуемых условий эксплуатации такого экрана.

PROTECTIVE PROPERTIES OF SCREENS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF A MICROWAVE RANGE ON THE BASIS OF THE COMBINED, DIELECTRIC AND MAGNETIC POWDER COMPONENTS

H.A. PUKHIR, M.SH. MAHMOUD, N.V. NASONOVA, L.M. LYNKOV

Abstract

Investigation results of the magnetic impurities in electromagnetic shield structure based on shungite effect on the values of electromagnetic attenuation and reflection in the range of 8...11,5 GHz are shown. In a specified frequency range the values of the shielding characteristics of electromagnetic radiation (EMR) absorbing sample on the basis of magnetic powder components are given. A comparative analysis of the samples was made. Using of powdery shungite with ferromagnetic impurities for designing electromagnetic absorbers with high shielding efficiency was made.

Литература

1. *Борботъко Т.В., Калинин Ю.К., Колбун Н.В. и др.* Углеродсодержащие минералы и области их применения. Минск, 2009.
2. *Криштопова Е.А., Борботъко Т.В., Лыньков Л.М.* // Докл. БГУИР. 2007. №6. С. 3–7.
3. *Пухир Г.А.* // Материалы, докл. Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 45-летию МРТИ-БГУИР. 2009. С. 177–178.
4. *Украинец Е.А., Колбун Н.В.* // Докл. БГУИР. 2003. №4. С. 115–118.
5. *Pukhir H.A., Mahmoud M.Sh.* // Proceedings of XXX-th General Assembly of the International Union of Radio Science in, Istanbul, Turkey, 13–20 August 2011 (CD–R).



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

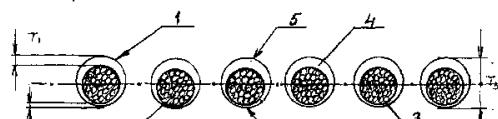
(21), (22) Заявка: 98113242/14, 02.07.1998
(24) Дата начала действия патента: 02.07.1998
(46) Дата публикации: 20.11.1999
(56) Ссылки: 2074748 С1, 10.03.97. 2066212 С1,
10.04.96. 2071366 С1, 10.01.97. 2055450 С1,
27.02.96.
(98) Адрес для переписки:
117454, Москва, ул.Удальцова, 61, кв.27,
Ильиной В.К.

(71) Заявитель:
Капитонов Владимир Иванович
(72) Изобретатель: Капитонов В.И.,
Ильина В.К.
(73) Патентообладатель:
Капитонов Владимир Иванович

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПАТОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИООБЪЕКТ

(57) Реферат:
Изобретение относится к средствам защиты от излучения различной природы и может быть использовано в самых различных областях народного хозяйства, таких как защита человека от патогенного влияния ионизирующих и неионизирующих излучений техногенного, земного и космического излучений. Задача изобретения - создание устройства для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект (техногенного, "земного", космического и т.д.), имеющих небольшую стоимость, малую материалоемкость, технологичность в изготовлении, легкость, гибкость, воздухопроницаемость, удобство в эксплуатации, допускающие длительное применение вследствие безвредности для организма человека. Устройство для нейтрализации патогенного влияния излучений выполнено в виде накладки из тканого материала из синтетических волокон

или нитей, покрытого электропроводным металлическим слоем, включающим никель, его максимальная толщина с одной стороны материала больше максимальной толщины с другой стороны. Накладка может быть снабжена защитными слоями. Накладка устанавливается по меньшей мере с одной стороны от источника излучения. Технический результат - повышение эффективности. Эффективность предлагаемого защитного устройства для человека подтверждена наиболее информативными для изучения влияний излучений в настоящее время методами электропунктурной диагностики по Р. Фоллю и вегетативного резонансного теста. 7 з.п.ф-лы, 4 ил.



Фиг.1



RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 98113242/14, 02.07.1998

(24) Effective date for property rights: 02.07.1998

(46) Date of publication: 20.11.1999

(98) Mail address:
117454, Moskva, ul.Udal'tsova, 61, kv.27,
Il'inoy V.K.

(71) Applicant:
Kapitonov Vladimir Ivanovich

(72) Inventor: Kapitonov V.I.,
Il'ina V.K.

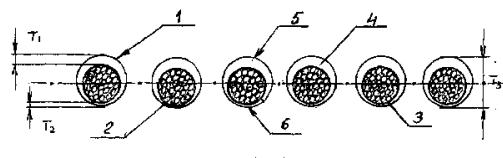
(73) Proprietor:
Kapitonov Vladimir Ivanovich

(54) DEVICE FOR NEUTRALIZATION OF PATHOGENIC EFFECT OF RADIATION ON BIOLOGICAL OBJECT

(57) Abstract:

FIELD: means of protection from radiation of various nature; applicable in various branches of national economy, such as protection of man from pathogenic effect of ionizing and nonionizing radiation of technogenic, earth and cosmic radiations. SUBSTANCE: device is made in form of strap from woven material of synthetic fiber or threads coated with conducting metal layer including nickel, its maximum thickness from one side of material is larger than maximum thickness on the other side. Strap may be provided with protective layers. Strap is arranged from, at least, one side from source of radiation. Efficiency of claimed

protective device for man is confirmed by methods of R. Foll's electropuncturing diagnosis and vegetative resonance test. EFFECT: higher efficiency due to low cost, small material consumption, adaptability to manufacture, light weight, flexibility, air permeability, convenience in use, suitable for prolonged application owing to its harmlessness to human body. 8 cl, 4 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к средствам защиты от излучения различной природы и может быть использовано в самых различных областях народного хозяйства, таких как защита человека от патогенного влияния ионизирующих и неионизирующих излучений техногенного, "земного" и космического излучения и т.д.

Известен материал для экранирования электромагнитного излучения, содержащий гибкую рулонную основу и электропроводное покрытие, включающее послойно нанесенные сульфидный и металлический слои, при этом сульфидный слой состоит из соединений сульфидов металлов, выбранных из группы: кадмий, свинец, олово, серебро, медь, никель, кобальт, железо, цинк или марганец, а металлический токопроводящий слой состоит из, по меньшей мере, одного слоя одного из металлов: никеля, меди, кобальта, железа, свинца, цинка, олова, кадмия, серебра или их сплавов (см., например, патент РФ N 2055450, кл. H 05 K 9/00, 1995 г.)

Материал обеспечивает электромагнитную совместимость приборов и оборудования в широком диапазоне частот. Однако он недостаточно эффективен при защите биообъекта от воздействия излучений различной природы, а именно: от негативных воздействий на биообъект ионизирующих и неионизирующих излучений, в том числе и действия электромагнитных полей техногенного происхождения, "земного" и космического, которые не объективизируются рутинными клинико-лабораторными методами исследования, но могут быть выявлены электропунктурной диагностикой по методу Р. Фолля и вегетативным резонансным тестом (см., например, книгу "Электромагнитная безопасность в офисе и дома". Ю.В. Готовский и др., Москва, 1998 г., с. 94 - 95).

В настоящее время имеются достоверные данные о влиянии на биообъект излучений техногенного происхождения, сопровождающих работу электронного оборудования, космических излучений и излучений геопатогенных зон (так называемого "земного излучения"), ведущих к возникновению у человека нейроциркуляторной дистонии, то есть разбалансировка электрофизической активности клеток головного мозга, что в свою очередь является причиной гормонального дисбаланса, сердечной аритмии, язвенных болезней, нарушений иммунной системы и т.д., а также болезнями животных и растений.

Известно устройство для нейтрализации влияния излучений на биообъект, выполненное в виде диэлектрической основы, покрытой электропроводным слоем и размещенной в защитном пластмассовом слое (см., например, патент РФ N 2074748, кл. A 61 N 1/16, 1997 год).

В результате взаимодействия полей устройства и поля источника излучения результирующее поле деструктурируется, чем уменьшается вредное влияние излучения на биообъект.

Однако известное устройство имеет сравнительно большую стоимость, материалоемкость, им неудобно пользоваться. Кроме того, оно не обеспечивает достаточно эффективную защиту пользователя. Длительное

применение устройства на расстоянии менее 30 см от тела человека (а для 10-20% пользователей и кратковременное) не рекомендуется, так как не является безвредным для организма человека.

Задача изобретения - создание материала и устройства для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект (техногенного, "земного", космического и т.д.), имеющих небольшую стоимость, малую материалоемкость, технологичность в изготовлении, легкость, гибкость, воздухопроницаемость, удобство в эксплуатации, допускающие длительное применение вследствие безвредности для организма человека.

Она достигается тем, что в материале для нейтрализации патогенного влияния излучения на биообъект, содержащем диэлектрическую основу и металлический слой, основа выполнена в виде ткани, металлический слой включает никель, а максимальная толщина металлического слоя с одной стороны основы больше максимальной толщины слоя с другой стороны основы.

Между основой и металлическими слоями может быть расположен электропроводный неметаллический слой из сульфидов металлов.

Металлический слой может быть выполнен с включением, по меньшей мере, одного металла, выбранного из группы: железо, медь, кобальт, магний, серебро, хром, цинк, алюминий, свинец.

Максимальная толщина слоя с одной стороны ткани может быть равна 2,6-4 мкм, а с другой стороны - 2,0-2,5 мкм при толщине ткани 280-320 мкм.

Ткань предпочтительно выполнена из синтетических нитей или волокон.

Устройство для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект, включающее диэлектрическую основу, покрытую электропроводным слоем, выполнено в виде накладки для размещения, по меньшей мере, с одной стороны от источника излучения, основа выполнена в виде ткани, металлический слой включает никель, а его максимальная толщина с одной стороны ткани больше максимальной толщины с другой стороны ткани.

Между основой и металлическим слоем может быть расположен электропроводный неметаллический слой из сульфидов металлов.

Металлический слой может включать дополнительно, по меньшей мере, один металл, выбранный из группы: железо, медь, кобальт, магний, серебро, хром, цинк, алюминий, свинец.

Большая максимальная толщина металлического слоя предпочтительно равна 2,6 - 4 мкм, а меньшая - 2,0 - 2,5 мкм при толщине ткани 280-320 мкм.

Ткань может быть выполнена из синтетических нитей или волокон.

Устройство может быть снабжено защитными слоями.

Защитные слои могут быть выполнены из полимера.

Защитные слои могут быть выполнены из ткани.

На фиг. 1 изображено сечение материала для нейтрализации патогенного влияния

излучений на биообъект.

На фиг. 2. изображено сечение устройства для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект.

На фиг. 3 - телефон с предлагаемым устройством.

На фиг. 4 - видеодисплейный терминал с предлагаемым устройством.

Материал для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект выполнен в виде ткани 1, предпочтительно из синтетических волокон или нитей 2, покрытых электропроводным неметаллическим слоем 3, например из сульфидов металлов и металлическим слоем 4, включающим никель, имеющим различную максимальную толщину с разных сторон 5 и 6 ткани 1.

Толщина T_1 слоя 4 со стороны 5 ткани 1 может быть равна 2,6 - 4 мкм, а со стороны 6 - T_2 равна 2,0 - 2,5 мкм при толщине ткани Тз - 280- 320 мкм.

Металлический слой 4 помимо никеля может включать дополнительно один или несколько металлов из группы: железо, медь, кобальт, магний, серебро, хром, цинк, алюминий, свинец.

Предпочтительно выполнение материала из длинномерной широкополосной ткани из синтетических нитей, покрываемой слоем из соединений сульфидов металлов, выбранных из группы: кадмий, свинец, олово, серебро, медь, никель, кобальт, железо, цинк, марганец, а затем металлизированной.

Металлизация ткани может быть осуществлена любым из известных способов, например электролизом, электровакуумным или плазменным распылением металлов, химическим осаждением металлов из растворов и т.п.

Высокие значения магнитной и электрической составляющих полученного материала обеспечивают защиту биообъекта от патогенного влияния излучений в широком диапазоне частот.

Полученный материал может использоваться в конструкциях для обеспечения электромагнитной совместимости приборов и для изготовления устройств для нейтрализации патогенного влияния излучений.

Устройство для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект выполнено в виде накладки 7, содержащей дизелектрическую основу, в виде ткани 9 из, например, синтетических волокон или нитей 10, покрытой электропроводным неметаллическим слоем, а затем металлическим слоем 12, включающим никель, имеющим различную максимальную толщину с разных сторон 13 и 14 ткани 9. Большая максимальная толщина слоя 12 со стороны 13 равна 2,6 - 4,0 мкм, меньшая - со стороны 14 равна 2,0 - 2,5 мкм при толщине ткани 9, равной 280 - 320 мкм.

Металлический слой 12 помимо никеля может включать дополнительно один или несколько металлов из группы: железо, медь, кобальт, магний, серебро, хром, цинк, алюминий, свинец.

Устройство может включать защитные, декоративные слои 15, которые могут быть выполнены из полимера, хлопковых, шелковых и синтетических нитей, например, из лавсаны, каприона и т.д. Материал и устройство могут быть выполнены

ламинированными или пропитанными латексом, резиной, пено- и полиуританом, а также выполненными с покрытием в виде искусственной кожи или строительных материалов типа пенобетона и т. п.

В зависимости от конкретного вида оборудования и вида излучения, цели и места применения устройство может быть выполнено в различных вариантах. Оно может располагаться под различными приборами - источниками электромагнитного излучения, например, как на фиг. 3 - под переносным сотовым телефоном или над и под видеодисплейным терминалом (см. фиг. 4), или оно может быть выполнено в виде чехлов для оборудования, элементов корпусов, вкладок в корпуса, штор, настенных покрытий, защитных костюмов, фартуков, жилетов, головных уборов и т.п. для операторов электронного оборудования.

Для защиты от "земного излучения" устройство может быть выполнено в виде напольного покрытия, накидок на мебель, подматрациников и т.д.

Желательно снабдить устройство заземлением 16 или выполнить его с острыми углами 17 для предотвращения накопления статического электричества.

Эффективность предлагаемого защитного устройства для человека подтверждена наиболее информативными для изучения влияний излучений в настоящее время методами электропунктурной диагностики по Р. Фоллю и вегетативного резонансного теста (см., например, книгу "Электромагнитная безопасность в офисе и дома". Ю.В. Готовский и др., Москва, 1998 г., с. 113 - 120).

Были проведены предварительные испытания для определения влияния на человека излучений переносного сотового телефона (выходная мощность 1,5/7 Вт) с выносной трубкой (без предлагаемого устройства), которые подтвердили высокое патогенное влияние излучения от антенной части телефона на пользователя и окружающих в режиме ожидания вызова, и еще более значительное - в режиме разговора.

Испытания предлагаемого устройства, которое устанавливалось так, чтобы сторона с максимальной толщиной была обращена к источнику излучения (оно подкладывалось под antennную часть переносного сотового телефона, см. фиг. 3), подтвердили его высокую эффективность.

Показатели отклонения от нормы пробантов (в зависимости от расстояния от antennной части до пробанта) уменьшились в 2-4 раза по сравнению с показателями предварительных испытаний. Укладка устройства другой стороной (меньшей толщины металлического слоя) не обеспечивает защиту пробанта и даже ухудшает показатели, т.е. патогенное влияние увеличивается.

Устройство с равнотолщинным металлическим слоем с обеих сторон ткани не показало защитных свойств.

На видеодисплейные терминалы и телевизоры устройство укладывалось снизу или сверху и на боковые части так, чтобы сторона его с большей толщиной металлического слоя была обращена к источнику (см. фиг. 4).

Во всех случаях достигнуто уменьшение

патогенного влияния на пробанта не менее чем в 2 раза, а в некоторых - и полная компенсация негативного влияния излучения.

Высокие защитные качества предлагаемого устройства от влияния "земного излучения" подтверждены следующими опытами.

Устройства в виде напольного покрытия располагали в геопатогенной зоне и вне ее, большей толщиной металлического покрытия вверх и вниз. На эти участки устанавливались кюветы с 30 зернами растений в каждой, через несколько дней проверяли количество проросших зерен. В результате установлено, что в кюветах, установленных на устройстве с большей толщиной металлического слоя, направленной вверх, проросло 27 зерен. На устройстве с большей толщиной металлического слоя, направленной вниз, проросло 5 зерен, на устройстве с одинаковой толщиной металлического слоя с обеих сторон - 13 зерен, на геопатогенной зоне без защитного устройства проросло 7 зерен.

Формула изобретения:

1. Устройство для нейтрализации патогенного влияния излучений на биообъект, включающее диэлектрическую основу, покрытую электропроводным металлическим слоем, отличающееся тем, что оно выполнено в виде накладки для размещения по меньшей

мере с одной стороны от источника излучения, основа выполнена в виде ткани, металлический слой включает никель, а его максимальная толщина с одной стороны основы излучения больше максимальной толщины с другой стороны основы.

2. Устройство по п.6, отличающееся тем, что между основой и металлическим слоем расположен электропроводный неметаллический слой из сульфидов металлов.

3. Устройство по п.6, отличающееся тем, что металлический слой включает дополнительно по меньшей мере один металл, выбранный из группы: железо, медь, кобальт, магний, серебро, хром, цинк, алюминий, свинец.

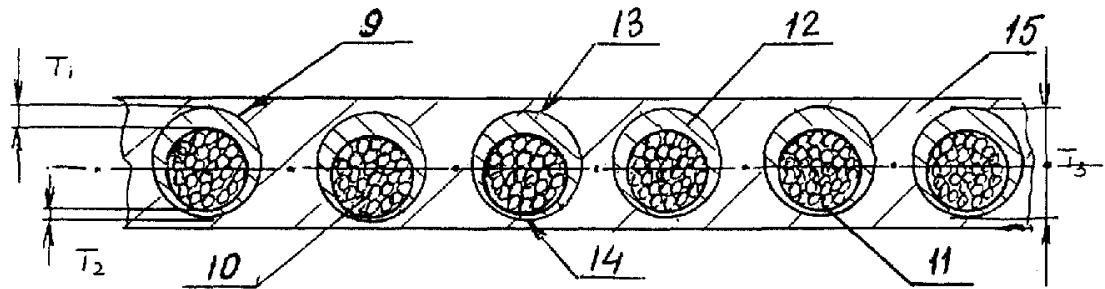
4. Устройство по п.6, отличающееся тем, что большая максимальная толщина металлического слоя равна 2,6 - 4 мкм, а меньшая - 2,0 - 2,5 мкм при толщине ткани 280 - 320 мкм.

5. Устройство по п.6, отличающееся тем, что ткань выполнена из синтетических нитей или волокон.

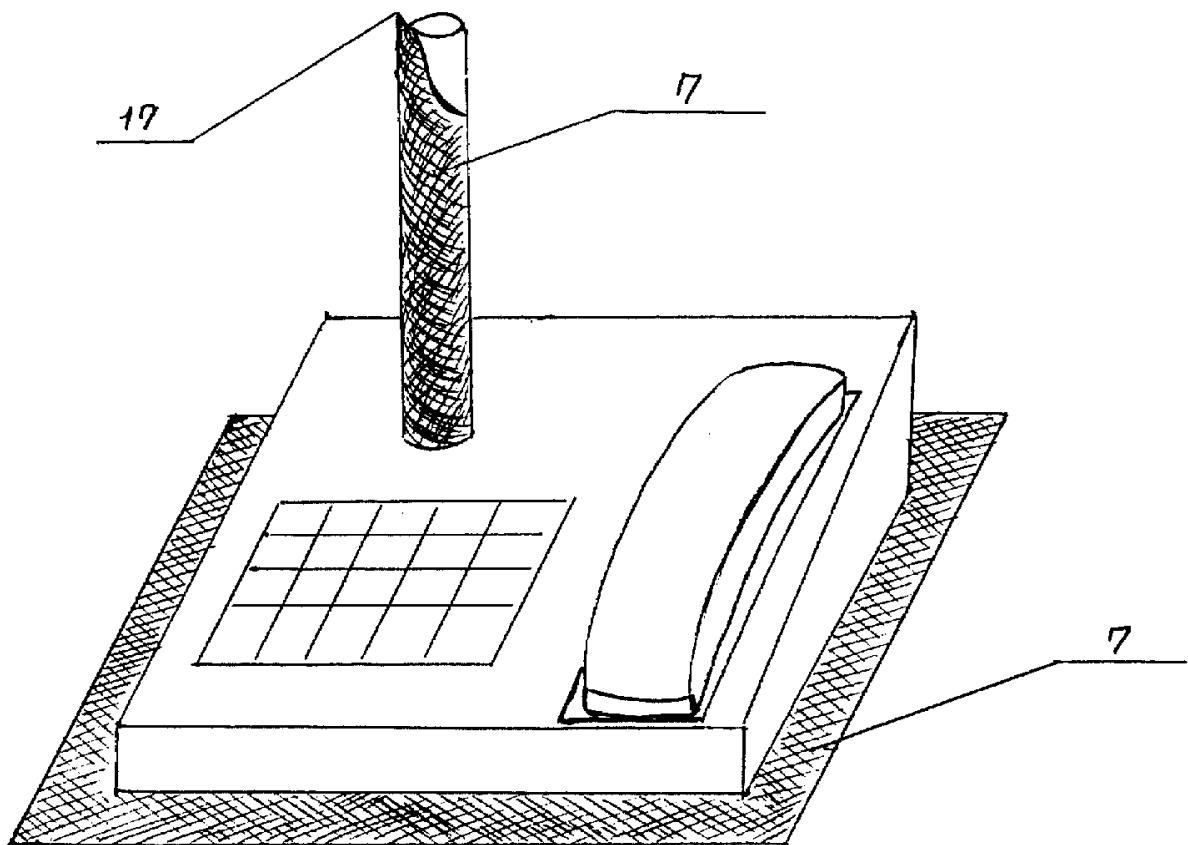
6. Устройство по п. 6, отличающееся тем, что оно снабжено защитными слоями.

7. Устройство по п.11, отличающееся тем, что защитные слои выполнены из полимера.

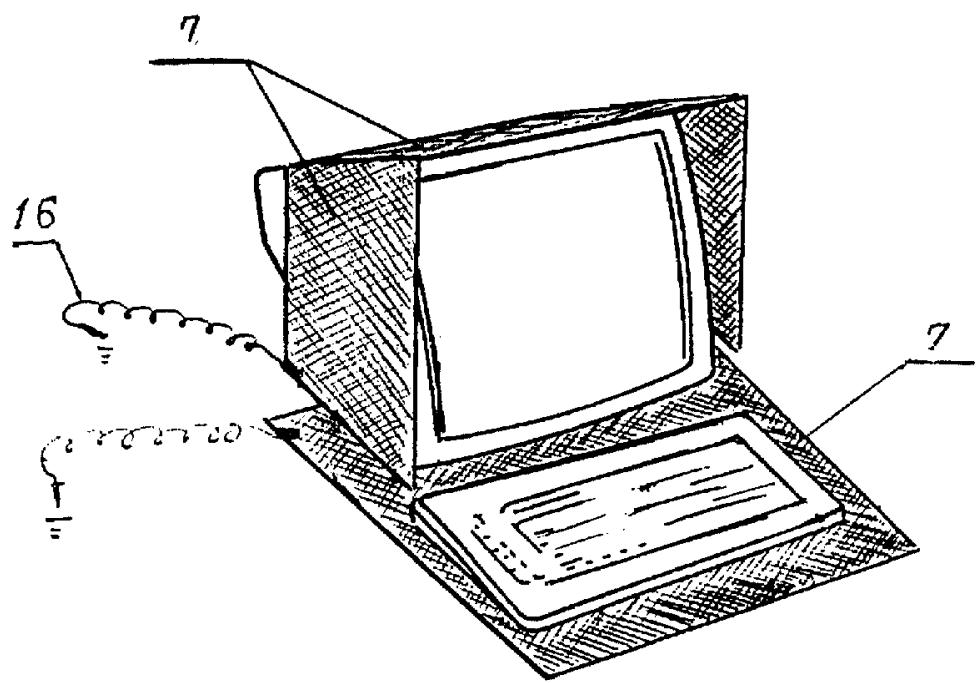
8. Устройство по п.11, отличающееся тем, что защитные слои выполнены из ткани.



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4

PCT

ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ
С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)



(51) Международная классификация изобретения 5: H05K 9/00, G12B 17/02		A1	(11) Номер международной публикации: WO 95/07602 (43) Дата международной публикации: 16 марта 1995 (16.03.95)
(21) Номер международной заявки: PCT/RU94/00052		(74) Агент: ВСЕСОЮЗНЫЙ ЦЕНТР ПАТЕНТНЫХ УСЛУГ «ПАТИС»; 117279 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 55а (RU) [ALL-UNION CENTRE OF PATENT SERVICES «PATIS», Moscow (RU)].	
(22) Дата международной подачи: 17 марта 1994 (17.03.94)		(81) Указанные государства: AU, CA, JP, KR, US, европейский патент (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(30) Данные о приоритете: PCT/RU93/00214 6 сентября 1993 (06.09.93) WO (34) Страны, для которых была подана региональная или международная заявка:		Опубликована <i>С отчетом о международном поиске.</i>	
(71)(72) Заявители и изобретатели: КАПИТОНОВ Владимир Иванович [RU/RU]; 107014 Москва, ул. Жебрунова, д. 1, кв. 96 (RU) [KAPITONOV, Vladimir Ivanovich, Moscow (RU)]. МАРЕИЧЕВ Анатолий Васильевич [RU/RU]; 127562 Москва, ул. Каргопольская, д. 10, кв. 226 (RU) [MAREICHEV, Anatoly Vasilievich, Moscow (RU)].			

(54) Title: MATERIAL PROVIDING PROTECTION FROM RADIATION

(54) Название изобретения: МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

(57) Abstract

The proposed material comprises a non-metal base and, overlaid thereon, an electroconductive covering consisting of at least one non-metal and one metal layer, both being electroconductive, the non-metal layer being the one closest to the base. If more than two electroconductive layers are provided, they can be combined in different ways in the covering and may have different compositions, such as metal or metal alloys.

Материал содержит неметаллическую основу и нанесенное на нее электропроводное покрытие, состоящее по меньшей мере из одного неметаллического и одного металлического электропроводных слоев. Первым от основы является неметаллический слой. При наличии более двух электропроводных слоев возможны различные комбинации их расположения в покрытии и различные варианты их состава, например из металлов или сплавов металлов.

ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ

Коды, используемые для обозначения стран-членов РСТ на титульных листах брошюрок, в которых публикуются международные заявки в соответствии с РСТ.

AT	Австрия	FI	Финляндия	MR	Марокко
AU	Австралия	FR	Франция	MW	Мавритания
BB	Барбадос	GA	Габон	NE	Нигер
BE	Бельгия	GB	Великобритания	NL	Нидерланды
BF	Буркина Фасо	GN	Гвинея	NO	Норвегия
BG	Болгария	GR	Греция	NZ	Новая Зеландия
BJ	Бенин	HU	Венгрия	PL	Польша
BR	Бразилия	IE	Ирландия	PT	Португалия
CA	Канада	IT	Италия	RO	Румыния
CF	Центральноафриканская Республика	JP	Япония	RU	Российская Федерация
BY	Беларусь	KP	Корейская Народно-Демократическая Республика	SD	Судан
CG	Конго	KR	Корейская Республика	SE	Швеция
CH	Швейцария	KZ	Казахстан	SI	Словения
CI	Кот д'Ивуар	LI	Лихтенштейн	SK	Словакия
CM	Камерун	LK	Шри Ланка	SN	Сенегал
CN	Китай	LU	Люксембург	TD	Чад
CS	Чехословакия	LV	Латвия	TG	Того
CZ	Чешская Республика	MC	Монако	UA	Украина
DE	Германия	MG	Мадагаскар	US	Соединенные Штаты Америки
DK	Дания	ML	Мали	UZ	Узбекистан
ES	Испания	MN	Монголия	VN	Вьетнам

МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Область техники

Настоящее изобретение относится к средствам защиты от излучений, а более точно - к материалу для защиты от воздействия излучений.

Предшествующий уровень техники

Известен материал для защиты от излучений (US, A, 2996710), например, электромагнитной природы, содержащий диэлектрическую основу, например, из неопрена, на которую нанесен слой металла, в качестве которого используется никель.

Известный материал не может быть использован при малых толщинах для надежного экранирования источников электромагнитных излучений с частотами ниже 10 МГц из-за слабо выраженных магнитных свойств покрытия.

Известен материал для защиты от излучений электромагнитной природы (US, A, 4439768), содержащий диэлектрическую основу в виде ткани с нанесенным на нее металлическим электропроводным покрытием, например никелем.

Известный материал при малых толщинах обеспечивает малое ослабление электромагнитного поля в диапазоне частот от 0,1 до 5 МГц вследствие слабых магнитных свойств покрытия.

Раскрытие изобретения

В основу настоящего изобретения положена задача создания материала для защиты от воздействия излучения с таким составом покрытия, который обеспечивал бы сочетание высоких магнитных и электрических составляющих характеристик материала при минимальной массе покрытия за счет создания металлического слоя с высокими магнитными свойствами, а также чередования в покрытии слоев, имеющих высокое и низкое электрическое сопротивление.

- 2 -

Поставленная задача решается тем, что в материале для защиты от воздействия излучения, содержащем неметаллическую основу с нанесенным на нее электропроводным покрытием, согласно изобретению, электропроводное покрытие содержит по меньшей мере один неметаллический и один металлический электропроводные слои, причем первым от основы слоем является неметаллический электропроводный слой.

Использование в покрытии неметаллического электро-
проводного слоя, обладающего относительно высоким
электрическим сопротивлением, в сочетании с низкоомным
металлическим слоем позволяет значительно повысить
защитные свойства предлагаемого материала в широком
диапазоне частот.

15 При использовании предлагаемого материала для защиты от мягких рентгеновских излучений целесообразно, чтобы электропроводное покрытие дополнительно содержало бы неметаллический неэлектропроводный слой, являющийся последним слоем покрытия и выполненный из диэлектрического материала. Кроме того, этот дополнительный слой повышает коррозионную и механическую стойкость материала, придавая ему пыле-влагонепроницаемые и электроизоляционные свойства.

Предпочтительно, чтобы первый от основы неметаллический электропроводный слой содержал бы соединения сульфидов металлов, выбранных из I, II, III, I_U, U_I, U_{II}, U_{III} групп периодической системы элементов. Именно такой состав указанного слоя обеспечивает заданное равномерное по слою электрическое сопротивление, позволяющее повысить поглощающие свойства материала и одновременно обеспечить высокую прочность сцепления с неметаллической основой.

Благоприятно, чтобы при наличии в покрытии двух и более неметаллических электропроводных слоев они, за исключением первого от основы слоя, содержали бы оксиды металлов, выбранных из группы, включающей медь, серебро, олово, висмут, свинец, никель, кобальт, железо, хром,

- 3 -

алюминий, марганец, индий, цинк, сурьму.

Использование оксидов в покрытии способствует дополнительному поглощающему эффекту, а также защите материала от коррозии, приданию ему ближепоглощающих свойств при использовании их во внешнем слое и улучшению адгезионных свойств с последующим диэлектрическим слоем.

Для повышения защитного эффекта от излучения, в том числе и теплового излучения, а также придания покрытию износостойких, коррозионных и декоративных свойств желательно, чтобы при наличии в покрытии двух и более неметаллических электропроводных слоев они, за исключением первого от основы слоя, содержали бы нитриды металлов, выбранных из группы, включающей титан, хром, вольфрам, ниобий, цирконий.

Согласно изобретению, по меньшей мере один металлический электропроводный слой может быть выполнен из металла или из сплава по меньшей мере двух металлов, выбранных из I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII групп периодической системы элементов.

При наличии в покрытии двух и более металлических электропроводных слоев одни из них выполнены из металла, выбранного из I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII групп периодической системы элементов, а другие слои выполнены из сплавов по меньшей мере двух указанных металлов.

Такое выполнение металлических электропроводных слоев создает комплекс свойств с высокими магнитными и электрическими составляющими, благодаря которым повышаются защитные характеристики материала.

Лучший вариант осуществления
изобретения

Предлагаемый материал для защиты воздействия излучения содержит неметаллическую основу и нанесенные на нее электропроводные покрытие, состоящее, например, из одного неметаллического и одного металлического электропроводных слоев. Первым от основы слоем является

- 4 -

неметаллический слой, который состоит из сульфидов металлов, выбранных из группы, включающей серебро, медь, никель, кобальт, железо, цинк, висмут, кадмий, марганец, хром, и может быть получен следующим 5 образом. Материал выдерживают в аммиачном растворе солей металлов до полного намокания, промывают в воде, выдерживают в растворе сульфидов металлов и промывают в воде.

Металлический электропроводный слой может содержать 10 один из чистых металлов: никель, медь, серебро, кобальт, железо, золото, палладий, олово, свинец, цинк, кадмий, хром, индий. Этот слой наносят электролизом из электролитов, содержащих ионы соответствующих металлов, например из раствора, содержащего сернокислый никель- 15 200 г/л, хлористый никель- 40 г/л, борную кислоту-30 г/л при температуре 20°C и плотности тока 1 A/dm².

Металлический слой может быть нанесен по гальваническому слою и другими способами, например химическим осаждением из растворов, металлизацией распылением 20 металла в вакууме, металлизацией распыленной расплавленной струей металла и другими методами.

Внешний слой металла целесообразно в зависимости от условий эксплуатации и назначения материала выполнять из необходимого вещества, например:

- 25 - для повышения коррозионной стойкости наносят покрытия: полиэтиленовое, резиновое, оксидное, сульфидное, хроматное, алюминиевое, хромовое и другие ;
- для повышения электропроводности наносят один из 30 слоев: медный, серебряный, золотой, алюминиевый;
- для улучшения паяемости наносят слой из сплава олово-висмут ;
- для повышения теплоотражательных свойств наносят либо слой алюминия, либо слой хрома ;
- для создания светопоглощающих свойств наносят 35 покрытия: сульфидное, оксидное, лакокрасочное, резиновое ;
- для повышения износостойкости наносят, например

- 5 -

либо слой хрома, либо слой нитрида титана.

В качестве материала основы может быть использована ткань, бумага, пленка, губчатый и нетканый синтетические материалы.

Ниже в таблице приведены примеры различных сочетаний в виде электропроводных слоев покрытия на тканевой основе и их защитные характеристики.

Таблица

№ при- мера	Виды слоев						Характеристики материала
	1-й слой	2-й слой	3-й слой	4-й слой	5-й слой	7	
I	2	3	4	5	6		
1	Суль- фиды сереб- ра, кадмия, хрома	желе- зо 2 мкм	медь I мкм	суль- фид меди I мкм	-		Ослабление магнит- ного поля в час- тотах 50 Гц-30 МГц, от 5 до 50 дБ
2	Суль- фиды сереб- ра, кадмия, хрома	желе- зо I мкм	никель I мкм	медь 2 мкм	хромат меди I мкм		"-
3	Суль- фиды цинка, меди	ни- кель I мкм	медь I мкм	никель- железо кобальт 2 мкм	влю- миний I мкм		Ослабление маг- нитного поля в частотах от 50 Гц до 30 Мгц от 8 до 60 дБ
4	Суль- фиды цинка, меди	никель I мкм	медь I мкм	никель железо- кобальт 2 мкм	нитрид титана I мкм		"-

- 6 -

Продолжение таблицы

	1	2	3	4	5	6	7
5	Сульфиды цинка, марганца, никеля	кобальт никель 2 мкм	меди серебро I мкм	серебро I мкм	сульфид серебра I мкм	Ослабление электрическо- го поля свы- ше 90 дБ, магнитного в частотах 50 Гц-30МГц до 60 дБ Ослабление СВЧ до 80 дБ	
6	Сульфид меди,	никель железо 2 мкм висмут	меди I мкм	золото палла- дий I мкм	-	-"-	
7	Сульфиды железа, серебра	железо- цинк, кадмий 3 мкм	меди I мкм	поли- этилен 30 мкм	-	Ослабление маг- нитного поля в частотах 50Гц- 30 МГц от 3 до 50 дБ	
8	Сульфид серебра	никель- железо I мкм	олово- никель I мкм	олово- висмут I мкм	-	Ослабление маг- нитного поля в частотах 50Гц- 30 МГц от 2 до 50 дБ	
9	Сульфи- ды цин- ка, мар- ганца	железо- никель 2 мкм	меди I мкм	оксид и сульфид I мкм	Материал имеет светопроницае- мость 42%, ослабление электрического поля в часто- тах 50 Гц- - 30 МГц от 55 до 60 дБ;		

- 7 -

Продолжение таблицы

	I	2	3	4	5	6	7
I0	Сульфиды кобальта, цинка	никель- кадмий 2 мкм	хром I мкм	оксид хрома I мкм	-		магнитного по- ля от I до 30 дБ Ослабление электромагнит- ного поля в частотах 50Гц-30МГц от 60 до 80 дБ
II	Сульфиды кобальта, цинка	никель- кобальт 2 мкм	свинец- индий 3 мкм	резина 3 мкм	-		Ослабление электромагнит- ного поля от 50до 70 дБ и в 2 раза от μ - излучений
I2	Сульфиды кобальта, цинка	железо 2 мкм	никель - 2 мкм	-	-	-	Ослабление низ- ких частот электромагнит- ных излучений, 100% локализа- ция геопатоген- ных зон
I3	Сульфиды меди, индия	никель- цирний (2%) 2 мкм	медь I мкм	-	-		Ослабление маг- нитного поля в частотах 50Гц-30 МГц от 5 до 40 дБ Коэффициент теп- лового экрани- рования при 50° равен 0,7

- 8 -

Продолжение таблицы

I	2	3	4	5	6	7
I4	Сульфиды меди, сурьмы, олова	железо-кобальт (10%) самарий (1%)	медь 2 мкм 3 мкм	-	-	Ослабление магнитного поля в частотах 50Гц-30МГц от 9 до 60 дБ, электромагнитного поля в частотах 300-1200 мГц от 99 до 70дБ, электрического поля в частотах 50-30 МГц более 110 дБ
I5	Сульфиды меди, свинца	железо-лантан (1%) лантаноидов (лантана, самария, церия, неодима)	медь 1 мкм 2мкм	-	-	Ослабление магнитного поля в частотах 50Гц-30МГц от 5 до 50 дБ
I6	Сульфиды золота, никеля, кобальта	никель-марганец	диоксид марганца 2 мкм	-	-	Ослабление магнитного поля в частотах 50Гц-30 МГц от 2 до 40 дБ
I7	Сульфиды меди, висмута	железо-рений (до 2%)	родий- 2 мкм	-	-	Ослабление электрического поля на 90 дБ Повышение износостойкости, отражательной способности

- 9 -

Продолжение таблицы

	1	2	3	4	5	6	7
I8	Сульфиды меди, свинца	никель 2 мкм	медь- галий 1 мкм	-	-	Ослабление электрическо- го поля на 90 дБ	
I9	Сульфиды меди, мо- либдена	медь- никель 2мкм	палла- дий 1 мкм	-	-	Ослабление электрического поля на 90 дБ Повышение хими- ческой стой- кости	
20	Сульфиды серебра, палладия	медь, никель 2 мкм	-	-	-	Ослабление электрического поля на 90 дБ, коэффициент теплового экра- нирования при 50°C равен 0,75	

В таблице приведены различные варианты выполнения электропроводного покрытия. Количество слоев покрытий более пяти практически нецелесообразно ввиду повышения трудоемкости, а также из-за того, что для дальнейшего повышения защитного эффекта целесообразнее увеличивать толщину указанных слоев покрытий. В целом толщина защитного покрытия может колебаться от 0,5 до 100 мкм и более, однако наибольшее применение находит материал с покрытием толщиной от 2 до 15 мкм ввиду его достаточной экранной эффективности в сочетании с гибкостью, воздухопроница-

- 10 -

мостью, прозрачностью, низкой материалоемкостью и технологичностью

5 В некоторых случаях достаточно наличие только двух электропроводных слоев: одного с высоким электросопротивлением и одного с низким электросопротивлением (примеры I2, 20). Металлическое покрытие может быть нанесено в несколько слоев, включающих отдельные металлы (примеры I, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, I0, I3, I4, I5, I7, I8, I9) и сплавы металлов (примеры 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, I0, II, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, 20), причем сплавы могут содержать два и более металлов. Возможно включение в состав покрытия слоев, состоящих из отдельных металлов, и слоев, состоящих из сплавов (примеры 3, 4, 5, 6, 7, 9, I0, I3, I4, I5, I7, I8, I9).

10 15 В примере 3 алюминий может быть заменен на титан или цирконий.

В примерах I, 9, I0 покрытие содержит четыре электропроводных слоя, из которых два неметаллических – первый и последний.

20 25 В примерах 4 и 5 покрытие содержит пять электропроводных слоев, из которых два неметаллических – первый и последний.

В примерах 2, 7, II последним является слой неэлектропроводный.

25 30 Неметаллические электропроводные слои имеют электрическое сопротивление в пределах от 3 от 100000 Ом/см², а металлические электропроводные слои имеют электрическое сопротивление в пределах от 0,001 до 1 Ом/см².

Предлагаемый материал отличают:

- 30 35 - высокие защитные характеристики от электромагнитных полей в широком диапазоне частот от 50 Гц до 30 ГГц ;
- высокая отражательная способность радиочастот широкого диапазона на уровне 99% ;
- высокая электропроводимость, позволяющая использовать материал в конструкциях и изделиях, связанных с решением проблем устранения статического электричества ;

- II -

- 12 -

покрытиях в жилых и производственно-бытовых помещениях ;

5 - в средствах и устройствах для защиты людей, приборов, трубопроводов и других видов оборудования от теплового излучения как изнутри, так и извне ;

10 - в устройствах и средствах защиты людей и приборов от интенсивного электрического и электромагнитного излучений, например в зонах линий высоковольтных электропередач, электростанций и атомных станций, вблизи излучателей морских и аэропортов, аэродромов ;

15 - при создании и приеме направленных излучений в устройствах, например в системах средств связи, таких как спутниковые антенны, радары, ретрансляторы, в рефлекторах и приемниках солнечной энергии ;

20 - в средствах и устройствах медицинского назначения, как например, электроды для снятия электро- и энцефалограмм, оборудовании реанимационных и сердечно-сосудистых отделений и палат, в устройствах, связанных с лечением гнойничковых и мокнущих ран, в виде простыней под матрацы, ковры для локализации геопотогенных зон ;

25 - фильтров для экранов дисплеев и спецодежды операторов видеотерминалов и работающих с СВЧ-техникой, различных компрессионных накладок на суставы и мышцы для снятия болевых синдромов ;

30 - в средствах защиты от мягкого радиационного излучения в виде штор, занавесей, халатов, комбинезонов, фартуков, обивочного материала ;

35 - при оборудовании беззеховых камер и экранированных комнат, передвижных лабораторий и других сборно-разборных помещений ;

 - при разработке и использовании в различных моделях спортивной одежды специального назначения, например, для фехтовальщиков, альпинистов, спелеологов ;

- I3 -

- как основа для создания гибких печатных плат, электрических нагревателей, легких электропроводящих кабелей и шнурков ;
- 5 - средств индивидуальной защиты в системе пожаро-
безопасности.

- 14 -

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

- I. Материал для защиты от воздействия излучения, содержащий неметаллическую основу с нанесенным на нее электропроводным покрытием, отличающийся тем, что 5 электропроводное покрытие содержит по меньшей мере один неметаллический и один металлический электропроводные слои, причем первым от основы слоем является неметаллический электропроводный слой.
- 10 2. Материал для защиты от воздействия излучения по п. I, отличающийся тем, что он дополнительно содержит неметаллический неэлектропроводный слой, являющийся последним слоем покрытия.
- 15 3. Материал для защиты от воздействия излучения по п. I, отличающийся тем, что первый от основы неметаллический электропроводный слой содержит соединения сульфидов металлов, выбранных из I, II, III, IV, V, VI, VII групп периодической системы элементов.
- 20 4. Материал для защиты от воздействия излучения по п. I, отличающийся тем, что при наличии в покрытии двух и более неметаллических электропроводных слоев они, за исключением первого от основы слоя, содержат оксиды металлов, выбранных из группы, включающей медь, серебро, олово, висмут, свинец, никель, кобальт, железо, хром, алюминий, марганец, индий, цинк, сурьму.
- 25 5. Материал для защиты от воздействия излучений по п. I, отличающийся тем, что при наличии в покрытии двух и более неметаллических электропроводных слоев они, за исключением первого от основы слоя, содержат нитриды металлов, выбранных из группы, включающей титан, хром, вольфрам, ниобий, цирконий.
- 30 6. Материал для защиты от воздействия излучения по п. I, отличающийся тем, что по меньшей мере один металлический электропроводный слой выполнен из металла, выбранного из I, II, III, IV, V, VI, VII групп периодической системы элементов.

- 15 -

7. Материал для защиты от воздействия излучения по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере один металлический электропроводный слой выполнен из сплава по меньшей мере двух металлов, выбранных из I, II, III, IV, V, VI, VII групп периодической системы элементов.

8. Материал для защиты от воздействия излучений по п.1, отличающийся тем, что при наличии в покрытии двух и более металлических электропроводных слоев одни из них выполнены из металла, выбранного из I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII групп периодической системы элементов, а другие слои выполнены из сплавов по меньшей мере двух указанных металлов.

9. Материал для защиты от воздействия излучения по п.2, отличающийся тем, что неметаллический неэлектропроводный слой выполнен из диэлектрического материала.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 94/00052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. cl. 5 H05K 9/00, G12B 17/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. cl. 5 H05K 9/00, G12B 17/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	RU, S, 2000680 (MAREICHEV A.V. et al) 7 September 1993 (07.09.93), the abstract ---	3, 4, 6-8
A	US, A, 3752899 (METEX CORPORATION), 14 August 1973 (14.08.73), fig. 1. the claims nos. 1-6, column 3	1-2, 6, 9
A	US, A, 4218578 (BURR-BROWN RESEARCH CORP.), 19 August 1980 (19.08.80), the abstract. the claims Nos. 1-8.	1-2, 4, 6, 7, 8
A	US, A, 4514586 (ENTHONE, INC.), 30 April 1985 (30.04.85), the claims nos. 1,2,4, columns 2,3	1-2, 6, 7, 8, 9

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 July 1994 (26.07.94)Date of mailing of the international search report
23 August 1994 (23.08.94)Name and mailing address of the ISA/
EUROPEAN PATENT OFFICE
Facsimile No.Authorized officer
Telephone No.

ОТЧЁТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU94/00052

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

H05K 9/00, G12B 17/02

Согласно Международной патентной классификации (МКИ-5)

В. ОБЛАСТИ ПОИСКА: H05K 9/00, G12B 17/02

Проверенный минимум документации (Система классификации и индексы): МКИ-5

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, поисковые термины):

С. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №.
A	RU, С, 2000680 (МАРЕЧЕВ А.В. и другие) 7 сентября 1993 (07.09.93), реферат	3, 4, 6-8
A	US, A, 3752899 (METEX CORPORATION), 14 августа 1973 (14.08.73), фиг.1,	1-2, 6, 9

последующие документы указаны в продолжении графы С данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов: "A" -документ, определяющий общий уровень техники. "E" -более ранний документ, но опубликованный на дату международной подачи или после нее. "O" -документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д. "Р" -документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета.	"T"-более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения. "X"-документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну и изобретательский уровень. "Y"-документ, порочащий изобретательский уровень в сочетании с одним или несколькими документами той же категории. "&" -документ, являющийся патентом-аналогом.
--	--

Дата действительного завершения международного поиска 26 июля 1994 (26.07.94)	Дата отправки настоящего отчета о международном поиске 23 августа 1994 (23.08.94)
Наименование и адрес Международного поискового органа: Всероссийский научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы, Россия, 121858, Москва, Бережковская наб. 30-1 факс (095)243-33-37, телетайп 114818 ПОДАЧА	Уполномоченное лицо: Ю.Алешин тел. (095)240-58-88

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №.

PCT/RU 94/00052

С. (Продолжение) ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория *)	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №.
A	п.п. 1-6 формулы, колонка 3 US, A, 4218578 (BURR-BROWN RESEARCH CORP.), 19 августа 1980 (19.08.80) реферат, п.п. 1-8 формулы	1-2, 4, 6, 7, 8
A	US, A, 4514586 (ENTHONE, INC.), 30 апреля 1985 (30.04.85), п.п. 1, 2, 4 формулы, колонки 2, 3	1-2, 6, 7, 8, 9

Форма PCT/ISA/210 (продолжение второго листа) (июль 1992)



РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2003107998/12, 26.03.2003

(24) Дата начала действия патента: 26.03.2003

(46) Дата публикации: 27.05.2004

(56) Ссылки: RU 2110628 С1, 10.05.1998. US 4557968 A, 10.12.1985. RU 2046853 С1, 27.10.1995. SU 1585405 A1, 15.08.1990.

(98) Адрес для переписки:
105005, Москва, ул. М. Почтовая, 2/2,
ТЕКС-ЦЕНТР, Н.М. Леваковой

(72) Изобретатель: Левакова Н.М. (RU),
Пазина И.П. (RU), Горынина Е.М.
(RU), Фатхутдинов Р.Х. (RU), Тарасов Л.А.
(RU), Комлев Р.А. (RU)

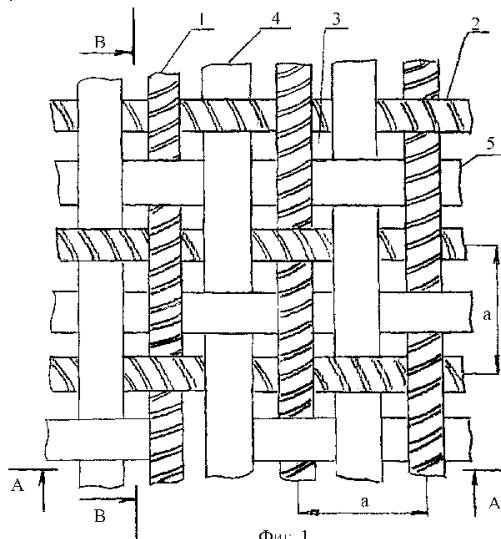
(73) Патентообладатель:
Левакова Наталия Марковна (RU)

(54) ТКАНЬ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ

(57) Реферат:

Ткань может быть использована для защиты человека от электромагнитных излучений. Ткань для защиты человека от электромагнитных излучений выполнена на базе простого переплетения из образующих электропроводящую решетку с квадратными ячейками токопроводящих основных и уточных нитей, чередующихся соответственно с фоновыми синтетическими основными нитями и фоновыми уточными нитями, представляющими собой пряжу, содержащую хлопковое волокно, с расположением основных перекрытий на лицевой стороне ткани, а уточных перекрытий на изнаночной стороне. Токопроводящие нити, образующие электропроводящую решетку, расположены с шагом, находящимся в интервале от $0,5 \times 0,5$ мм до 2×2 мм. Соотношение токопроводящих и фоновых нитей находится в пределах 25-50:75-50 вес.%. Ткань отличается улучшенными защитными свойствами. З з.п.

ф-лы, 3 ил., 1 табл.



Фиг. 1



RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2003107998/12, 26.03.2003

(24) Effective date for property rights: 26.03.2003

(46) Date of publication: 27.05.2004

(98) Mail address:

105005, Moskva, ul. M. Pochtovaja, 2/2,
TEKS-TsENTR, N.M. Levakovoj

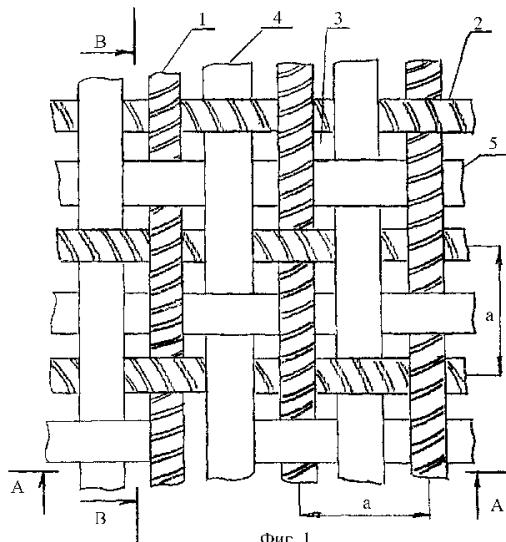
(72) Inventor: Levakova N.M. (RU),
Pazina I.P. (RU), Gorynina E.M.
(RU), Fatkhutdinov R.Kh. (RU), Tarasov L.A.
(RU), Komlev R.A. (RU)

(73) Proprietor:
Levakova Natalija Markovna (RU), 103045,
Moskva, Daev per., d.25/29, kv.10

(54) FABRIC FOR SPECIAL-PURPOSE CLOTHING

(57) Abstract:

FIELD: manufacture of fabric for protecting individual from electromagnetic radiation. SUBSTANCE: fabric has base manufactured from current-conducting warp and weft threads and made by plain weaving to form current-conducting grid of square cells. Warp and weft threads are arranged in alternation with background synthetic warp and background weft threads making yarn including cotton filament. Warp overlaps are arranged on face side of fabric and weft overlaps are arranged on reverse side of fabric. Current-conducting threads defining current-conducting grid are arranged at pitch of from 0.5x0.5 mm to 2x2 mm. Current-conducting and background thread ratio is within the range of 25-50:75-50 wt%. EFFECT: improved protective properties of fabric.



Изобретение относится к техническим тканям и может быть использовано в качестве ткани, предназначенной для защиты человека от электромагнитных излучений.

Известна ткань для защиты от излучения электромагнитной энергии радиочастотного диапазона, которая вырабатывается из вискозной пряжи с метанином (Совершенствование технологии производства шелковых тканей. М.: ЦНИИТЭИЛегпром, 1982, с.109-111).

Данная ткань обладает высокими гигиеническими свойствами благодаря наличию вискозной пряжи, а экранирующие свойства обеспечивает метанит, который представляет собой два слоя полизилентерафталатной пленки (ПЭТФ), между которыми расположен слой алюминия, напыленного вакуумным способом.

Однако данная ткань имеет ограниченное применение и низкие эксплуатационные характеристики, т.к. при физико-механических воздействиях нарушается целостность электропроводного слоя и резко ухудшаются радиозащитные свойства.

Известна также экранирующая ткань "Восход", представляющая собой ткань, на которую наносится несколько слоев различных материалов (Ж. "Спецодежда и Охрана труда", 2002, №1, с.44-48).

Ткань обладает необходимыми экранирующими свойствами, однако, ввиду плохой адгезии металла к ткани в процессе эксплуатации происходит осыпание покрытия, в результате чего снижается эффективность экранирующих свойств ткани.

Наиболее близким аналогом заявленной ткани является ткань для защиты человека от электромагнитных излучений, выполненная на базе простого переплетения из образующих электропроводящую решетку с квадратными ячейками токопроводящих основных и уточных нитей, чередующихся соответственно с фоновыми синтетическими основными нитями и фоновыми уточными нитями, представляющими собой пряжу, содержащую хлопковое волокно, с расположением основных перекрытий на лицевой стороне ткани, а уточных перекрытий на изнаночной стороне (RU 2110628 С1, 10.05.1998).

Данная ткань имеет хорошие защитные, гигиенические и эксплуатационные свойства, высокую износостойкость и хороший внешний вид. Однако данная ткань не обеспечивает достаточную защиту от электромагнитных излучений.

Технический результат, достигаемый в предлагаемой ткани, заключается в улучшении защитных от электромагнитных излучений свойств ткани. Данный технический результат достигается тем, что в ткани для защиты человека от электромагнитных излучений, выполненной на базе простого переплетения из образующих электропроводящую решетку с квадратными ячейками токопроводящих основных и уточных нитей, чередующихся соответственно с фоновыми синтетическими основными нитями и фоновыми уточными нитями, представляющими собой пряжу, содержащую хлопковое волокно, с расположением основных перекрытий на лицевой стороне ткани, а уточных перекрытий на изнаночной стороне, согласно изобретению токопроводящие нити, образующие

электропроводящую решетку, расположены с шагом, находящимся в интервале от 0,5x0,5 мм до 2x2 мм, при этом отношение токопроводящих и фоновых нитей находится в пределах 25-50:75-50 вес.%. Наилучший технический результат достигается, если диаметр токопроводящих нитей составляет 0,8-0,9 диаметра фоновых нитей.

Целесообразно, чтобы в ткани отношение основных и уточных токопроводящих нитей составляло 50:50 вес.%.

Отношение основных и уточных фоновых нитей находится в пределах 40-60:60-40 вес.%.

Шаг расположения нитей в ткани выбирается в зависимости от диапазона длин (частот) волн электромагнитного излучения. Поскольку диаметр токопроводящих нитей меньше диаметра фоновых нитей, то они не нарушают лицевой и изнаночной поверхности ткани, контактирующей с телом человека в процессе эксплуатации. Вместе с тем токопроводящие нити, формирующие решетку, выполняющую функцию электромагнитного экрана, не подвергаются разрушению вследствие истирающих воздействий в процессе эксплуатации.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами, где на фиг.1 изображена геометрическая модель строения ткани, на фиг.2 - разрез ткани вдоль уточных нитей, на фиг.3 - разрез ткани вдоль основных нитей.

Ткань содержит основные 1 и уточные 2 токопроводящие нити, формирующие квадратные ячейки 3 со стороной квадрата "а". Ткань содержит также фоновые основные нити 4 и уточные нити 5, чередующиеся с соответствующими токопроводящими нитями.

На прилагаемых чертежах ткань выполнена саржевым переплетением, однако, возможно также выполнение ее полотняным или атласным переплетением.

В таблице представлены примеры выполнения ткани.

Пример 1.

Была выработана ткань саржевого переплетения (саржа 1/3). В качестве токопроводящей нити использовалась комбинированная нить с удельным электрическим сопротивлением 10^3 Ом, содержащая металлическую нить с удельным электрическим сопротивлением 10^2 Ом, которая включена в ткань в основе и утке с шагом 2x2 мм. Диаметр токопроводящих нитей составляет 0,8-0,9 диаметра фоновых нитей. Фоновые основные нити представляют собой полизэфирные текстурированные нити, а уточные нити - хлопчатобумажную пряжу. Соотношение токопроводящих нитей к фоновым нитям составляет 25 к 75 вес.%.

Ткань подвергалась отварке, крашению.

Пример 2.

Ткань, выработанная по примеру 1, содержит токопроводящие нити, которые расположены в ткани с шагом 1x1 мм, переплетение ткани полотняное, фоновые основные нити - полиамидные комплексные нити, уточные нити - хлопчатобумажная пряжа. Соотношение токопроводящих к фоновым нитям составляет 40 к 60 вес.%.

Ткань подвергалась отварке, крашению.

Пример 3.

Ткань, выработанная по примеру 2, атласного переплетения, фоновые основные нити - полизэфирные комплексные нити,

уточные нити - хлопкополиэфирная пряжа. Соотношение токопроводящих нитей к фоновым нитям составляет 50 к 50 вес.%. Ткань подвергалась отварке, крашению.

Пример	Плотность, г/м ²	Гарнiture, штук в полотне (60x20)	Вес ткани, г/м ²	Состоит из, линий, диаметр которых, м	Стойкость ткани к электромагнитному излучению, циклы сопротивления	Поглощаемое количество энергии, мДж/см ²	Ширина полотна, см	
							диаметр токопроводящих нитей, мм	диаметр фоновых нитей, мм
Пример 1	233	2000	660	110	17500	10 ³	67	2x2
Пример 2	260	2450	700	970	19000	10 ³	75	1x1
Пример 3	287	2400	750	495	20200	10 ³	89	0,5x0,5
Пример 4	265	2400	690	495	21300	10 ³	90	0,5x0,5
Ближайший аналог	250	2220	650	495	18000	10 ³	5	16x16

Пример 4.

Ткань, выработанная по примеру 3, содержит токопроводящие основные и уточные нити с шагом 0,5x0,5 мм. Соотношение токопроводящих нитей к фоновым нитям составляет 50 к 50 вес.%. Ткань подвергалась отварке, крашению.

Анализ данных таблицы показывает, что предлагаемая ткань значительно превосходит ближайший аналог по коэффициенту отражения волн электромагнитного излучения, по стойкости ткани к истиранию и воздухопроницаемости, разрывной нагрузки ткани по основе и утку при сохранении других физико-механических свойств ткани, в частности в процессах отварки и крашения.

Формула изобретения:

1. Ткань для защиты человека от

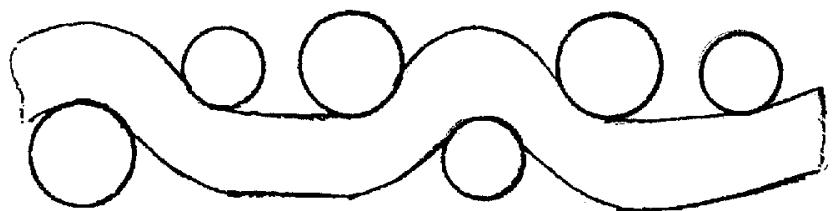
электромагнитных излучений, выполненная на базе простого переплетения из образующих электропроводящую решетку с квадратными ячейками токопроводящих основных и уточных нитей, чередующихся соответственно с фоновыми синтетическими основными нитями и фоновыми уточными нитями, представляющими собой пряжу, содержащую хлопковое волокно, с расположением основных перекрытий на лицевой стороне ткани, а уточных перекрытий на изнаночной стороне, отличающаяся тем, что токопроводящие нити, образующие электропроводящую решетку, расположены с шагом, находящимся в интервале от 0,5x0,5 мм до 2x2 мм, при этом отношение токопроводящих и фоновых нитей находится в пределах 25-50:75-50 вес.%.

2. Ткань по п.1, отличающаяся тем, что диаметр токопроводящих нитей составляет 0,8-0,9 диаметра фоновых нитей.

3. Ткань по любому из пп.1 и 2, отличающаяся тем, что отношение основных и уточных токопроводящих нитей составляет 50:50 вес.%.

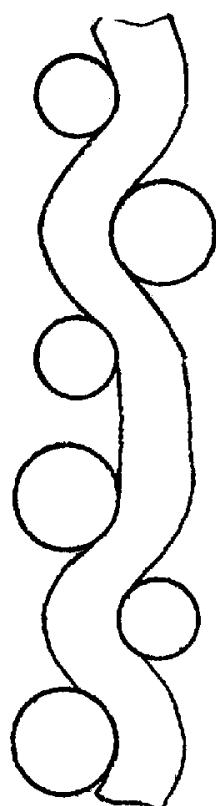
4. Ткань по любому из пп.1-3, отличающаяся тем, что отношение основных и уточных фоновых нитей находится в пределах 40-60:60-40 вес.%.

A-A



Фиг. 2

B-B



Фиг. 3

**(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)**

**(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности**
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
04 марта 2010 (04.03.2010)



PCT



(10) Номер международной публикации

WO 2010/024718 A1

(51) Международная патентная классификация:
G21F 3/00 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2009/000389

(22) Дата международной подачи:
04 августа 2009 (04.08.2009)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:
2008134066 20 августа 2008 (20.08.2008) RU

(72) Изобретатель; и

(71) Заявитель : КАДЫРОВ, Рашит Накипович (KADYROV, Rashit Nakipovich) [RU/RU]; ул. Красноармейская, 51, кв. 125, Кострома, 156025, Kostroma (RU).

(74) Агент: САЛМИНА, Ольга Борисовна (SALMINA, Olga Borisovna); а/я 1, Москва, 121096, Moscow (RU).

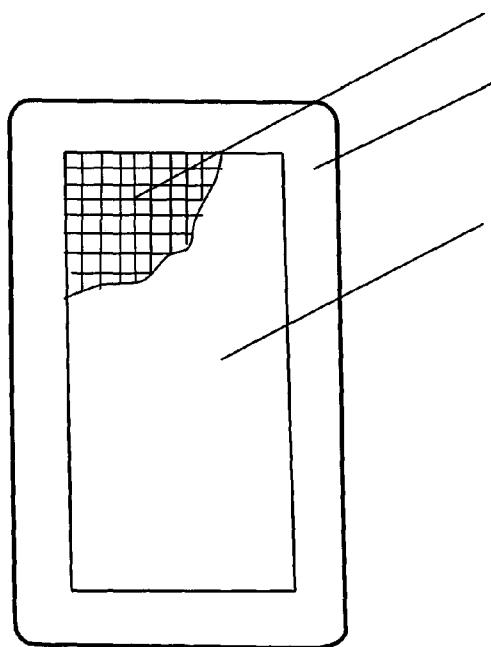
(81) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), европейский патент (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[продолжение на следующей странице]

(54) Title: TEXTILE PROTECTIVE SCREEN

(54) Название изобретения : ТЕКСТИЛЬНЫЙ ЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН



ФИГ. 1

защитный экран выполнен из заламинированного текстильного полотна, при этом текстильное полотно содержит токопроводящие нити.

3 (57) Abstract: The invention relates to means for protecting a person against the negative effect of low-power SHF and UHF electromagnetic radiation. The technical result consists in protecting the most vulnerable and sensitive to electromagnetic radiation organs of a human body, namely, the reproductive system, the heart, neuroganglions etc. The inventive textile protective screen effectively reduces the general negative impact of the environment on a human being. The production of the textile protective screen requires the low consumption of electrically conductive fabric, and said screen can be used with different types of clothes. The technical result is achieved by that the textile protective screen is made of a laminated textile fabric which contains current conducting yarns.

(57) Реферат: Изобретение относится к средствам защиты человека от негативного воздействия электромагнитного излучения СВЧ и УВЧ диапазонов малой мощности. Техническим результатом является обеспечение защиты наиболее уязвимых чувствительных к воздействию электромагнитного излучения органов человека, а именно: репродуктивной системы, сердца, нервных узлов и т.д. Текстильный защитный экран эффективно снижает общее негативное воздействие на человека окружающей среды. Его изготовление требует меньшего расхода токопроводящей ткани, и он может использоваться с различными видами одежды. Данный технический результат обеспечивается тем, что текстильный

ТЕКСТИЛЬНЫЙ ЗАЩИТНЫЙ ЭКРАН

Область техники

5

Изобретение относится к средствам защиты человека от негативного воздействия электромагнитного излучения СВЧ и УВЧ диапазонов малой мощности, в частности, сотовых телефонов, а более конкретно, к тканям, трикотажам, включающим диэлектрические и электропроводные компоненты для нейтрализации вредного воздействия электромагнитного излучения.

10

15

Предшествующий уровень техники

15

При вызове и получении вызова сотовый телефон излучает сильное электромагнитное излучение. Да и в режиме ожидания сотовый телефон время от времени посыпает сигнал на antennную вышку. В зависимости от дальности расстояния до вышки излучение автоматически меняется и может быть очень большим. Так как многие носят телефоны в кармане, то излучение действует на организм человека. А людям с вживленными кардиостимуляторами носить сотовый телефон в области груди нельзя.

20

25

Если экранировать сотовый телефон полностью, то он не будет принимать вызов. Поэтому существует ряд

сложных технических решений по обеспечению экранирования излучений самой трубы.

Например, в патенте Великобритании (GB2330726, от 1999-04-28, H01Q1/24) раскрыт чехол для сотового телефона, выполненный в несколько слоев. Один из слоев является экранирующим и расположен со стороны, прилегающей к телу человека.

Недостатком известного чехла является то, что он крепится к совершенно определенным местам тела человека и часто ломается. Кроме того, не всегда после разговора или иных действий телефон убирается в чехол, он может быть положен, например, и в карман одежды. Так как телефон постоянно излучает электромагнитные волны, в том числе и в режиме BLUETOOTH, отсутствие защиты, например для людей с кардиостимуляторами может привести к нежелательным последствиям.

Известен способ изготовления экранирующего корпуса, при котором предусмотрен заполняющий зазор между первой и второй деталями корпуса уплотняющий и экранирующий профиль. Экранирующий профиль выполнен из материала под давлением из имеющего иглу или форсунку координатного устройства нанесения. Он наносится непосредственно на первую деталь корпуса, а затем за счет адгезии с ней эластично затвердевает. Причем уплотняющий и экранирующий профиль формируется путем

одновременного нанесения, по меньшей мере, первого материала, обеспечивающего хорошее уплотнение, и второго материала, обеспечивающего хорошее экранирующее действие.

5 Недостатком данного способа является обязательное наличие окон для получения сигнала. И тот же сотовый телефон может лежать в кармане не защищенной стороной к телу человека, не говоря уже об антенне телефона (патент РФ №2192717, от 05.03.1998, H05K9/00).

10 Наиболее близким аналогом к заявляемому решению является защитная экранирующая одежда от электромагнитного излучения. Она представляет собой комбинезон, выполненный из двухслойной (многослойной) токопроводящей (металлизированной) ткани с межслойной изоляцией. На каждый слой ткани подан электрический потенциал. Изоляция между внутренней и внешней поверхностью (между слоями) изготовлена из нетканого материала с добавлением пеноматериалов. Дополнительно в комплект одежды входит накидка, изготовленная из текстильного материала. На поверхности накидки размещены регистрирующие и компенсирующие катушки, соединенные с источником питания (заявка на изобретение РФ №2004100971, от 12.01.2004, A41D13/00).

15

20

25 Недостатком такой одежды является то, что она может эффективно защищать только при значительных

электромагнитных излучениях. Однако такая одежда из-за громоздкости не комфортна и непригодна для повседневного ношения. Кроме того, если надевать этот комбинезон непосредственно на тело это оказывает раздражающее воздействие на кожу, так как металлические нити соприкасаются с кожей и со временем окисляются. Окисление металлических нитей приводит к снижению экранирующих свойств одежды. При этом изготовление такого изделия требует большого расхода материала.

10

Раскрытие изобретения

Техническим результатом, который достигается в заявляемом текстильном защитном экране, является обеспечение избирательной защиты наиболее уязвимых чувствительных к воздействию электромагнитного излучения органов человека. В частности предлагаемое техническое решение обеспечивает защиту репродуктивной системы, сердца, нервных узлов, а так же эффективно снижает общее негативное воздействие на человека окружающей среды. Изготовление текстильного защитного экрана требует меньшего расхода токопроводящей ткани, и такой экран может использоваться с различными видами одежды. Кроме того, такой текстильный защитный экран может выглядеть в одежде как ее деталь или элемент.

25

Данный технический результат обеспечивается тем, что текстильный защитный экран выполнен из заламинированного текстильного полотна, при этом текстильное полотно содержит токопроводящие нити.

Текстильный защитный экран, дополнительно может содержать слой металлизированной пленки или бумаги, или картона, наложенный на текстильное полотно. В этом случае часть излучения будет гаситься в ткани, а часть отражаться от металлизированного покрытия, что еще более повышает степень защиты.

Краткое описание фигур чертежей

На фиг. 1 представлен самый простой вариант защитного экрана, где:

- 1 – текстильное полотно;
- 2 – прозрачная пластиковая пластина
- 3 – токопроводящие нити.

Лучший вариант осуществления изобретения

Из текстильного полотна 1 с токопроводящими нитями 3 вырезается деталь по размеру, например, кармана одежды или чехла от телефона. Затем эта деталь помещается между двумя прозрачными пластиковыми пластинами 2,

6

которые затем ламинируются. Такая "карточка" вставляется в карман или в чехол между сотовым телефоном и телом человека. Таким образом, текстильный защитный экран располагается между телом человека и сотовым телефоном и полностью экранирует излучение, но при этом не мешает приёму сигнала.

5 Текстильный защитный экран, может иметь средства крепления в кармане, например, текстильную липучку.

10

Промышленная применимость

15

20

Данный текстильный защитный экран является простым в изготовлении, может в зависимости от обстоятельств перекладываться с одного места на другое и долговечен в эксплуатации. Он удобен и прост в применении, не требует от рядового пользователя дополнительных знаний и технических умений. Надежно обеспечивает защиту человека от электромагнитного излучения бытовых приборов, в частности сотового телефона, в условиях его повседневной жизни и деятельности.

25

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

5

1. Текстильный защитный экран, выполненный из заламинированного текстильного полотна, при этом текстильное полотно содержит токопроводящие нити.

10

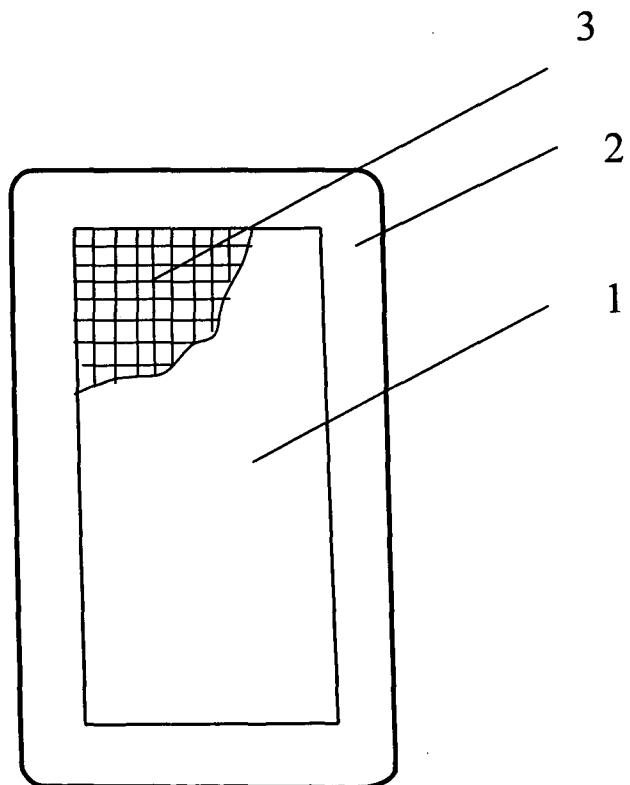
2. Текстильный защитный экран по п. 1, дополнительно содержащий слой металлизированной пленки или бумаги, или картона, наложенный на текстильное полотно.

15

20

25

1/1



ФИГ. 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/RU 2009/000389

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21F 3/00 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21F 3/00, 3/02, G12B 17/00, 17/02, H05K 9/00, A41D 13/00, 13/008, D03D 1/00, 15/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

RUPTO, Esp@senet, DEPATISNET, PatSearch

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	RU 2138933 C1 (KAPITONOV VLADIMIR IVANOVICH) 27.09.1999, p. 3, the claims p. 1, 2,	1, 2
Y	RU 2229544 C1 (LEVAKOVA NATALIYA MARKOVNA) 27.05.2004, the abstract	1, 2
A	RU 2198442 C2 (GEBR. KNAUF VESTDOICHE GIPSVERKE) 10.02.2003, the claims p. 5	1, 2
A	FR 2745690 A1 (EGIS S.A.R.L. SOCIETE A RESPONSABILITE LIMITEE) 12.09.1997	1, 2

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 December 2009 (23.12.2009)

Date of mailing of the international search report

29 December 2009 (29.12.2009)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

RU

Facsimile No.

Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Международная заявка №
PCT/RU 2009/000389

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

G21F 3/00 (2006.01)

Согласно Международной патентной классификации МПК

B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации):
G21F 3/00, 3/02, G12B 17/00, 17/02, H05K 9/00, A41D 13/00, 13/008, D03D 1/00, 15/00

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки:

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины):

RUPTO, Esp@cenet, DEPATISNET, PatSearch

C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
Y	RU 2138933 C1 (КАПИТОНОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ) 27.09.1999, с. 3, формулапп. 1, 2,	1, 2
Y	RU 2229544 C1 (ЛЕВАКОВА НАТАЛИЯ МАРКОВНА) 27.05.2004, реферат	1, 2
A	RU 2198442 C2 (ГЕБР. КНАУФ ВЕСТДОЙЧЕ ГИПСВЕРКЕ) 10.02.2003, формула п. 5	1, 2
A	FR 2745690 A1 (EGIS S.A.R.L. SOCIETE A RESPONSABILITE LIMITEE) 12.09.1997	1, 2

последующие документы указаны в продолжении графы С.

данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:

- A документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным
- E более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее
- L документ, подвергающий сомнению притязание (я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)
- O документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.
- P документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета

- T более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение
- X документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности
- Y документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста
- & документ, являющийся патентом-аналогом

Дата действительного завершения международного поиска: 23 декабря 2009 (23.12.2009)	Дата отправки настоящего отчета о международном поиске: 29 декабря 2009 (29.12.2009)
Наименование и адрес ISA/RU ФГУ ФИПС РФ, 123995, Москва, Г-59, ГСП-5, Бережковская наб., 30, 1 Факс: (499) 243-3337	Уполномоченное лицо: С. Шмакова Телефон № (499) 240-25-91

Форма PCT/ISA/210 (второй лист)(июль 2009)