

УДК 535.42+535.44+535:621.373.826+536.5
PACS 42.25.Fx

Н. Г. Кокодій^{1,3}, А. О. Натарова², В. А. Тиманюк³, І. А. Приз¹

¹Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
4, пл. Свободы, Харьков, 61022, Украина

E-mail: kokodiyng@gmail.com

²Харьковский национальный университет воздушных сил имени И. Кожедуба
77/79, ул. Сумская, Харьков, 61023, Украина

E-mail: anastasiia.pak@gmail.com

³Национальный фармацевтический университет
53, ул. Пушкинская, Харьков, 61002, Украина

ГИБКИЕ ЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКОН

Наличие средств радиосвязи, телевидения, радиолокации, дистанционных систем обработки информации привело к появлению интенсивного электромагнитного фона в нашем окружении. Во многих случаях он является причиной нарушения правильного функционирования биологических объектов, помехой при работе радиоэлектронных устройств – систем передачи информации и военной техники. Поэтому существует необходимость защиты объектов от электромагнитного излучения. Особое внимание уделяется разработке экранов и покрытий, эффективность которых достигается за счет поглощения электромагнитного излучения, так как отражение электромагнитного излучения часто оказывает отрицательное влияние, связанное с формированием переотраженной волны, воздействующей на экранируемый объект. Кроме того, оно может помочь выявить объект внешними средствами обнаружения в тех случаях, когда это нежелательно. Эффект аномально большого поглощения СВЧ-излучения проводящими волокнами наблюдается, когда на волокно падает электромагнитная волна, электрический вектор которой параллелен оси волокна. Возможность использования этого эффекта для создания защитных экранов рассмотрена в данной работе. Исследование показало, что электромагнитное излучение очень сильно поглощается и рассеивается тонкими проводящими волокнами, если электрический вектор волны параллелен оси волокна: значения факторов эффективности поглощения и рассеяния могут достигать нескольких сотен и даже тысяч, т. е. эффективные сечения поглощения и рассеяния могут в несколько сотен или тысяч раз превышать геометрическое сечение волокна. Это размерный эффект, природа которого, возможно, связана с эффективным возбуждением токов при некоторых соотношениях между диаметром волокна и длиной волны излучения. Также в работе экспериментально доказаны преимущества графитовых волокон перед металлическими как материала для поглощающих экранов. Результаты исследования могут быть использованы для создания защитных экранов в СВЧ-диапазоне. Ил. 6. Табл. 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: СВЧ-излучение, тонкое волокно, поглощение, защитный экран.

Развитие средств радиосвязи, телевидения, радиолокации, дистанционных систем обработки информации привело к появлению интенсивного электромагнитного фона в нашем окружении. Во многих случаях он является причиной нарушения правильного функционирования биологических объектов, помехой при работе радиоэлектронных устройств – систем передачи информации и военной техники. Это обстоятельство обусловило необходимость защиты объектов от электромагнитного излучения.

При разработке защитных экранов используются различные материалы, обладающие способностью поглощать или отражать электромагнитное излучение.

Металлические экраны характеризуются высокой эффективностью на радиочастотах. Они изготавливаются в виде листов, сеток и могут быть нанесены в виде тонкопленочных покрытий. Их недостаток – высокий коэффициент отражения. Отражение электромагнитного излучения часто оказывает отрицательное влияние, связанное с формированием переотраженной волны, воздействующей на экранируемый объект. Кроме того, оно может помочь выявить объект внешними средствами обнаружения в тех случаях, когда

это нежелательно. Поэтому особое внимание уделяется разработке экранов и покрытий, эффективность которых достигается за счет поглощения электромагнитного излучения.

В статье [1] предложены методы создания экранов электромагнитного излучения на основе машинно-вязаных полотен, содержащих структуры из микропровода. Это позволяет осуществить необходимое распределение проводящего материала в объеме полотна. Исследовались образцы полотен, содержащие микропровода из нержавеющей стали диаметром 55 и 80 мкм, а также сетчатый экран из таких микропроводов. Измерения эффективности экранирования проводились в частотных диапазонах 30...4 100 МГц и 37,5...142 ГГц. В этих диапазонах работают многие радиоэлектронные устройства (телевидение, радиосвязь). В полосе частот 100...400 МГц эффективность экранирования достигает 4 дБ, это объясняется переизлучением энергии. Этот эффект слабеет с увеличением диаметра микропровода. Образец полотна с диаметром провода 80 мкм имеет более сглаженную амплитудно-частотную характеристику. На низких частотах эффективность экранов можно повысить с помощью использования материалов с высокой

электропроводностью. Более эффективными на низких частотах являются экраны с микропроводами большого диаметра, но при увеличении частоты эффективность экранов с различным диаметром микропроводов становится одинаковой.

При создании защитных экранов интерес представляет использование волокнистых материалов, производимых текстильной промышленностью [2]. Достоинством является высокая технологичность изделий и высокая производительность современного вязального оборудования.

Максимальное значение эффективности экранирования в радиочастотном диапазоне не превышает 30 дБ вне зависимости от свойств материала микропровода. Перечень применяемых материалов ограничен довольно узкой полосой частот, в которой характеристики стабильны.

Полотна с микропроводом подавляют электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, в основном, за счет отражения.

В работе [3] описана возможность создания радиопоглощающих экранов в диапазоне частот 1...10 ГГц на основе плоских (толщиной до 2 мм) листов резины, заполненных отрезками микропровода длиной 1...3 мм и диаметром 1...3 мкм. Материал микропровода – сплав FeSiMnC с магнитной проницаемостью $\mu_{эф} \sim 100$.

Исследованы радиопоглощающие свойства такого экрана в диапазоне частот 8...10 ГГц. На некоторых частотах затухание достигало 30 дБ. Однако частотная характеристика затухания очень неравномерна.

Автором работы [3] указано, что недостаток экрана – высокая электропроводность материала микропровода. Это не позволяет существенно повысить концентрацию отрезков микропровода в композите, так как при этом увеличивается отражение излучения от экрана. Исследуемые образцы содержали 5...8 г микропровода на 100 г резины.

В исследованиях, проведенных в Харьковском национальном университете имени В. Н. Каразина, был обнаружен эффект аномально большого поглощения СВЧ-излучения очень тонкими проводящими волокнами [4, 5]. Он наблюдается, когда на волокно падает электромагнитная волна, электрический вектор которой параллелен оси волокна. Эффективный диаметр волокна может в несколько сотен раз превышать геометрический диаметр. Это размерный эффект, природа которого, возможно, связана с эффективным возбуждением токов при некоторых соотношениях между диаметром волокна и длиной волны излучения. Возможность использования этого эффекта для создания защитных экранов рассмотрена в данной работе.

1. Дифракция электромагнитной волны и поглощение излучения в тонком цилиндре. Геометрия задачи показана на рис. 1.

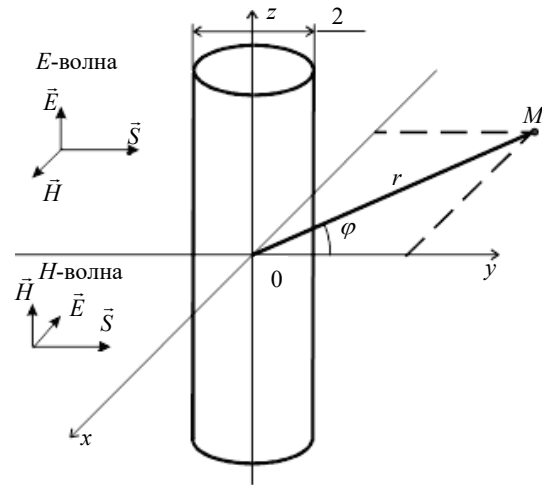


Рис. 1. Геометрия задачи

На круговой цилиндр падает плоская электромагнитная волна. Ее волновой вектор перпендикулярен оси цилиндра. Рассмотрены два случая поляризации волны: *E*-волна (электрический вектор параллелен оси цилиндра) и *H*-волна (магнитный вектор параллелен оси цилиндра).

Взаимодействие электромагнитной волны с объектом удобно характеризовать безразмерными факторами [6–8]:

$Q_{sca} = \frac{P_{sca}}{P}$ – фактор эффективности рассеяния (ФЭР);

$Q_{abs} = \frac{P_{abs}}{P}$ – фактор эффективности поглощения (ФЭП);

$Q = Q_{sca} + Q_{abs}$ – фактор эффективности ослабления (ФЭО).

Здесь P – мощность излучения, попавшего на цилиндр; P_{sca} – мощность рассеянного излучения; P_{abs} – мощность поглощенного излучения.

ФЭП можно вычислить как разность ФЭО и ФЭР:

$$Q_{abs}^E = Q^E - Q_{sca}^E \quad (1)$$

Для *E*-волны:

$$Q^E = \frac{2}{\rho} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \text{Re}(b_l),$$

$$Q_{sca}^E = \frac{2}{\rho} \sum_{l=-\infty}^{\infty} |b_l|^2,$$

$$\text{где } b_l = \frac{m J_1'(m \rho) J_1(\rho) - J_1(m \rho) J_1'(\rho)}{m J_1'(m \rho) H_1^{(2)}(\rho) - J_1(m \rho) H_1^{(2)}(\rho)},$$

$\rho = \pi D / \lambda$; D – диаметр цилиндра; λ – длина волны излучения; m – относительный комплексный показатель преломления; $J_l(z)$ и $H_l^{(2)}(z)$ – функции Бесселя и Ханкеля; φ – угол рассеяния, отсчитываемый от направления распространения излучения.

Для H -волны формулы имеют такой же вид, но вместо коэффициентов b_l в них стоят коэффициенты a_l :

$$Q^H = \frac{2}{\rho} \sum_{l=-\infty}^{\infty} \operatorname{Re}(a_l),$$

$$Q_{sca}^H = \frac{2}{\rho} \sum_{l=-\infty}^{\infty} |a_l|^2,$$

$$Q_{abs}^H = Q^H - Q_{sca}^H, \quad (2)$$

$$a_l = \frac{m J_l(m \rho) J_l'(\rho) - J_l'(m \rho) J_l(\rho)}{m J_l(m \rho) H_l^{(2)'}(\rho) - J_l'(m \rho) H_l^{(2)}(\rho)}.$$

На рис. 2 показаны графики зависимости ФЭП излучения графитового волокна от его диаметра при разных длинах волн излучения. Комплексный показатель преломления графита вычислялся по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sigma \lambda}{4\pi c \varepsilon_0}} (1 - i),$$

где $\sigma = 1,04 \cdot 10^5$ (Ом·м) $^{-1}$ – удельная проводимость графита; λ – длина волны излучения; c – скорость света в свободном пространстве; ε_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица. Эта формула следует из известных соотношений, описывающих распространение электромагнитной волны в средах с высокой проводимостью [9]. Она справедлива для длин волн $\lambda > 5$ мкм.

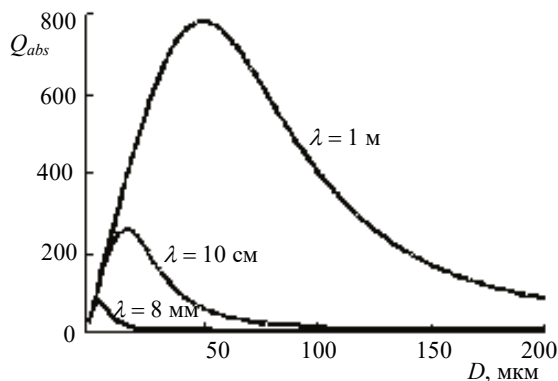


Рис. 2. Фактор эффективности поглощения графитового волокна

Фактор эффективности поглощения зависит от соотношения между диаметром волокна D и длиной волны λ . При некоторых значениях ве-

личины D/λ наблюдается максимум поглощения. При $\lambda = 8$ мм ФЭП в максимуме достигает величины 78 для диаметра волокна 5 мкм, при $\lambda = 10$ см он составляет 260 для диаметра волокна 15 мкм, а при $\lambda = 1$ м равен 780 для диаметра волокна 50 мкм.

Для случая H -волны (магнитный вектор волны параллелен оси волокна) ФЭП очень мал – не превышает 0,01.

При произвольном направлении поляризации волны

$$Q_{abs} = Q_{abs}^E \cos^2 \varphi + Q_{abs}^H \sin^2 \varphi,$$

где Q_{abs}^E и Q_{abs}^H – ФЭП для E -волны и H -волны соответственно, φ – угол между электрическим вектором и осью цилиндра.

Для неполяризованного излучения

$$Q_{abs} = \frac{Q_{abs}^E + Q_{abs}^H}{2}. \quad (3)$$

На рис. 3, а показано, как поглощение излучения тонким графитовым волокном зависит от длины волны. Видно, что, начиная с некоторой длины волны, поглощение становится постоянным. Для волокна диаметром 10 мкм это выполняется при $\lambda \geq 50$ мм, для диаметра 5 мкм – при $\lambda \geq 10$ мм. Здесь поглощение меньше, чем для диаметра 10 мкм, но все равно его значение большое (больше 100). Независимость поглощения от длины волны – важное свойство защитного экрана.

На рис. 3, б показана зависимость рассеяния такого волокна от длины волны. ФЭР значительно меньше ФЭП. Это также достоинство в отношении применения графитовых волокон для создания защитных экранов для СВЧ-излучения.

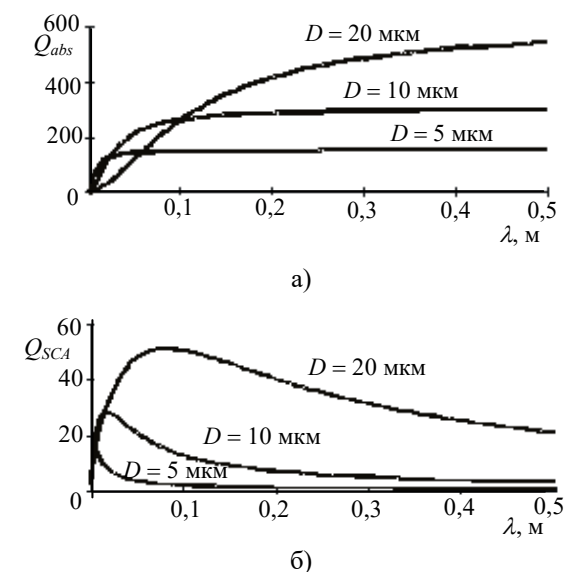


Рис. 3. Графики зависимости поглощения (а) и рассеяния (б) СВЧ-излучения графитовым волокном от длины волны

Ниже в табл. 1 приведены значения ФЭП и ФЭР графитового волокна диаметром 10 мкм для E - и H -поляризации при длине волны излучения 10 мм и данные для некоторых металлических проволок такого же диаметра. В графите поглощение намного больше, чем в металлах; рассеяние – меньше, чем поглощение. В металлах – рассеяние больше, чем поглощение. Данные показывают также, что поглощение и рассеяние H -волны очень мало.

Таблица 1
Факторы эффективности поглощения и рассеяния для некоторых материалов

Материал	Q_{abs}^E	Q_{sca}^E	Q_{abs}^H	Q_{sca}^H
Платина	2,71	40,8	$8,44 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-7}$
Никель	2,16	41,1	$6,95 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$
Медь	1,05	41,8	$3,95 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-7}$
Вольфрам	1,90	41,3	$6,21 \cdot 10^{-4}$	$1,06 \cdot 10^{-7}$
Нихром	9,52	38,2	$1,86 \cdot 10^{-3}$	$0,87 \cdot 10^{-7}$
Графит	60,1	21,5	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-8}$

2. Защитный экран СВЧ-излучения.

Отрезки графитового волокна диаметром 10...15 мкм и длиной 1...5 мм помещаются между двумя пленками из полиэтилена толщиной 0,1 мм. Количество отрезков волокна на 1 см^2 – от 50 до 500. Фотография фрагмента образца в увеличенном виде представлена на рис. 4.

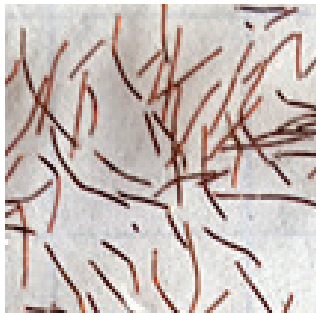


Рис. 4. Экран СВЧ-излучения на основе отрезков графитового волокна

Пусть экран площадью S_0 содержит отрезки графита длиной L и диаметром D в количестве N шт./ м^2 . Мощность падающего на экран излучения – P_0 .

Мощность излучения P , попавшего на графит, равна

$$P = I D L N,$$

где $I = P_0 / S_0$ – интенсивность падающего излучения.

В графите поглотится мощность $P_{abs} = Q_{abs} P$ и рассеется мощность $P_{sca} = Q_{sca} P$. Через экран пройдет мощность

$$P_1 = P_0 - (P_{abs} + P_{sca}) = P_0 \left[1 - \frac{S}{S_0} (Q_{abs} + Q_{sca}) \right],$$

где $S = D L N$ – площадь экрана, занятая волокном.

Ослабление излучения экраном равно:

$$A = 10 \lg \frac{P_1}{P_0} = 10 \lg \left[1 - \frac{S}{S_0} (Q_{abs} + Q_{sca}) \right]. \quad (4)$$

Формула (4) учитывает потери мощности в экране, вызванные и поглощением, и рассеянием излучения.

Оценим защитные свойства экрана площадью 1 м^2 с графитовыми волокнами длиной 3 мм и диаметром 10 мкм. Плотность волокон в экране – 80 шт./см^2 . Длина волны излучения – 10 мм. Значения ФЭП и ФЭР в этих условиях такие:

$$Q_{abs}^E = 60, \quad Q_{abs}^H = 3 \cdot 10^{-4},$$

$$Q_{sca}^E = 20, \quad Q_{sca}^H = 8 \cdot 10^{-8}.$$

Расчеты по формуле (4) показывают, что ослабление излучения экраном составляет 18 дБ, т. е. через него проходит около 2 % энергии падающего излучения. Поглощается – 72 %, рассеивается – 26 % энергии.

3. Экспериментальное исследование характеристик защитного экрана. Измерения ослабления экраном СВЧ-излучения проводились в волноводах с помощью рефлектометров типа Р2-67. Условия измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Диапазон частот, ГГц	Сечение волновода, мм
1	2,8...4,1	25 × 58
2	3,07...5,50	25 × 58
3	6,0...8,5	12 × 28
4	8,0...11,0	12 × 28
5	8,0...12,0	10 × 23
6	12,0...18,0	8 × 16

Во всех экспериментах использовалась волна H_{10} .

Исследуемый образец (полиэтиленовая пленка с отрезками графитовых волокон между слоями – рис. 4) помещался между фланцами отрезков волновода. Измерялось ослабление S в децибелах, вносимое образцом в волновод, и коэффициент стоячей волны r в относительных единицах или децибелах. Вычислялись коэффициент пропускания T и коэффициент отражения R :

$$T = 10^{\frac{S}{10}}, \quad R = \left(\frac{r-1}{r+1} \right)^2 \quad \text{или} \quad R = 10^{\frac{r}{10}}.$$

На рис. 5 показаны измеренные характеристики одного из образцов в диапазоне частот

12...18 ГГц (длины волн в волноводе 2...4 см). Ослабление излучения – 18 дБ (практически неизменное во всем диапазоне). Отражение от экрана – около 60 %.

На рис. 6 показана измеренная характеристика ослабления образца в более широком диапазоне длин волн 2...18 см. В каждом из участков диапазона, перекрываемом одним из приборов (указано цифрами), она почти постоянна. Отличия вызваны неоднородностью расположения отрезков графитового волокна на площади экрана (рис. 4), различием условий взаимодействия в волноводах разного сечения при одной и той же длине волны. Такое явление описано в работе [5].

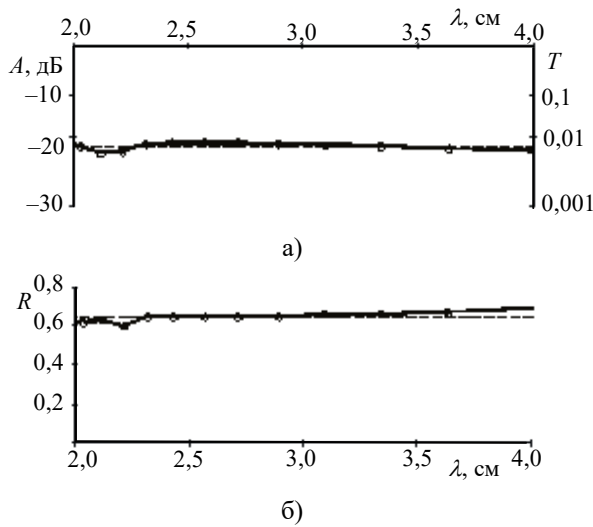


Рис. 5. Ослабление (а) и отражение (б) излучения экраном в диапазоне длин волн 2...4 см

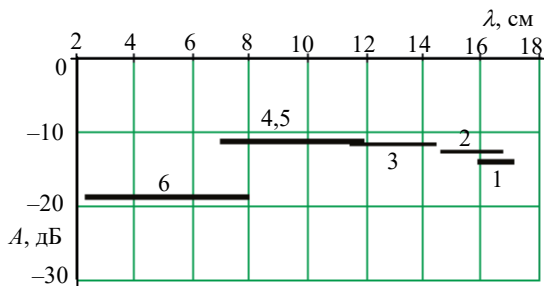


Рис. 6. Ослабление излучения экраном в диапазоне длин волн 2...18 см

Выводы. Электромагнитное излучение очень сильно поглощается и рассеивается тонкими проводящими волокнами, если электрический вектор волны параллелен оси волокна: значения факторов эффективности поглощения и рассеяния могут достигать нескольких сотен и даже тысяч, то есть эффективные сечения поглощения и рассеяния могут в несколько сотен или тысяч раз превышать геометрические сечения волокна.

Поглощение излучения в СВЧ-диапазоне монотонно зависит от длины волны излучения.

В работе экспериментально показано преимущества графитовых волокон перед металлическими как материала для поглощающих экранов.

Библиографический список

1. Лыньков Л. М., Борботько Т. В., Богуш В. А., Колбун Н. В. Конструкции гибких поглотителей электромагнитной энергии СВЧ диапазона. Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. 2003. Т. 1, № 1. С. 92–101.
2. Лыньков Л. М., Богуш В. А., Борботько Т. В., Украинец Е. А., Колбун Н. В. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения. Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. 2004. Т. 2, № 3. С. 152–167.
3. Баранов С. А. Использование микропровода с естественным ферромагнитным резонансом для радиопоглощающих покрытий. Письма в журн. техн. физики. 1998. Т. 24, № 14. С. 21–23.
4. Кузьмичев В. М., Кокодий Н. Г., Сафронов Б. В., Балкашин В. П. Фактор эффективности поглощения тонкого металлического цилиндра в микроволновом диапазоне. Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48, № 11. С. 1349–1351.
5. Кокодий Н. Г. Поглощение микроволнового излучения очень тонким двухслойным цилиндром. Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51, № 2. С. 1–4.
6. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. Москва: Иностран. лит., 1961. 536 с.
7. Kerker M. The scattering of light and other electromagnetic radiation. N. Y.: Academic Press, 1969. 666 p.
8. Bohren C. F., Huffman D. R. Absorption and scattering of light by small particles. N. Y.-Toronto-Singapore: John Wiley&Sons, 1984. 664 p.
9. Соколов А. В. Оптические свойства металлов. Москва: Изд-во физ.-мат. лит., 1961. 464 с.

REFERENCES

1. LYNKOV, L. M., BORBOTKO, T. V., BOGUSH, V. A., KOLBUN, N. V. 2003. The designs of flexible absorbers of electromagnetic energy of microwave range. Lectures of Belarusian state university of informatics and radioelectronics. Vol. 1, no. 1, pp. 92–101.
2. LYNKOV, L. M., BOGUSH, V. A., BORBOTKO, T. V., UKRAINETZ, E. A., KOLBUN, N. V., 2004. New materials for electromagnetic radiation screens. Lectures of Belarusian state university of informatics and radioelectronics. Vol. 2, no. 3, pp. 152–167.
3. BARANOV, S. A., 1998. Use of a microconductor with natural ferromagnetic resonance for radio-absorbing materials. Tech. Phys. Lett. July, vol. 24, Iss. 7, pp. 549–550.
4. KUZMICHEV, V. M., KOKODIY, N. G., SAFRONOV, B. V., BALKASHYN, V. P., 2003. Factor of absorption efficiency of a thin metal cylinder in the microwave range. J. Commun. Technol. Electron. Vol. 48, N 11. P. 1349–1351.
5. SHI, He, SHULGA, S. N., KOKODIY, N. G., GOROBETS, N. N., KIJKO, V. I., BUTRYM, A. Yu., ZHENG, Yu, 2011. Interaction of electromagnetic waves in a waveguide with very thin wires. J. Commun. Technol. Electron. Oct., vol. 56, Iss. 10, pp. 1193–1196.
6. Van de HULST, H. C., 1957. Light Scattering by Small Particles. New York: John Wiley & Sons.
7. KERKER, M., 1969. The scattering of light and other electromagnetic radiation. New York: Academic Press.
8. BOHREN, C. F., HUFFMAN, D. R., 1984. Absorption and scattering of light by small particles, N.Y.-Toronto-Singapore: John Wiley&Sons.

9. SOKOLOV, A. V., 1961. Optical properties of metals. Moscow: Fiz.-mat. lit. Publ. (in Russian).

Рукопись поступила 07.02.2017.

N. G. Kokodiy, A. O. Natarova,
V. A. Timanyuk, I. A. Priz

FLEXIBLE PROTECTING SCREENS FOR MICROWAVE BAND ON THE BASIS OF THIN CONDUCTING FIBERS

The availability of radio communication, television, radiolocation, remote information processing systems led to the appearance of an intense electromagnetic background in our environment. In many cases, it is the cause of the disturbance of the correct functioning of biological objects, a hindrance to the operation of radioelectronic devices – information transmission systems and military equipment. Therefore, there is a need to protect objects from electromagnetic radiation. Particular attention is given to the development of screens and coatings, the effectiveness of which is achieved through the absorption of electromagnetic radiation, since the reflection of electromagnetic radiation often has a negative effect associated with the formation of a re-reflected wave effecting the screened object. In addition, it can help to identify an object by external sensors in cases where it is undesirable. The effect of an anomalously large absorption of microwave radiation by conducting fibers is observed when electric vector of an electromagnetic wave which falls on a fiber is parallel to the axis of the fiber. The possibility of using this effect to create protective screens is considered in this paper. The study showed that electromagnetic radiation is very strongly absorbed and dissipated by thin conducting fibers if the electric vector of the wave is parallel to the fiber axis: the values of the absorption and scattering efficiency factors can reach several hundred and even thousand, that is, the effective absorption and scattering cross sections can be in several hundred or thousand times higher than the geometric cross sections of the fiber. This is a size effect, the nature of which, perhaps, is related to the effective excitation of currents at certain ratios between the fiber diameter and the wavelength of the radiation. Also in the work, the advantages of graphite fibers in front of metal ones as a material for absorbing screens have been experimentally proved. The results of the study can be used to create protective screens in the microwave range.

Key words: microwave radiation, thin fiber, absorption, protective screen.

М. Г. Кокодій, А. О. Натарова,
В. А. Тиманюк, І. О. Приз

ГНУЧКІ ЗАХИСНІ ЕКРАНИ ДЛЯ НВЧ-ДІАПАЗОНУ НА ОСНОВІ ТОНКИХ ПРОВІДНИХ ВОЛОКОН

Наявність засобів радіозв'язку, телебачення, радіолокації, дистанційних систем обробки інформації привело до появи інтенсивного електромагнітного фону в нашому оточенні. У багатьох випадках він є причиною порушення правильного функціонування біологічних об'єктів, завадою при роботі радіоелектронних пристроїв – систем передачі інформації і військової техніки. Тому існує необхідність захисту об'єктів від електромагнітного випромінювання. Особлива увага приділяється розробці екранів і покриттів, ефективність яких досягається за рахунок поглинання електромагнітного випромінювання, тому що відбиття електромагнітного випромінювання часто чинить негативний вплив, пов'язаний з формуванням перевідбиттів хвилі, що впливає на об'єкт, який екранується. Крім того, воно може допомогти виявити об'єкт зовнішніми засобами виявлення в тих випадках, коли це небажано. Ефект аномально великого поглинання НВЧ-випромінювання спостерігається, коли на волокно падає електромагнітна хвиля, електричний вектор якої паралельний осі волокна. Можливість використання цього ефекту для створення захисних екранів розглянута в даній роботі. Дослідження показало, що електромагнітне випромінювання дуже сильно поглинається і розсіюється тонкими волокнами, якщо електричний вектор хвилі паралельний осі волокна: значення факторів ефективності поглинання і розсіювання можуть досягати декількох сотень і навіть тисяч, тобто ефективні перерізи поглинання і розсіювання можуть у кілька сотень або тисяч разів перевищувати геометричний переріз волокна. Це розмірний ефект, природа якого, можливо, пов'язана з ефективним збудженням струмів при деяких співвідношеннях між діаметром волокна і довжиною хвилі випромінювання. Також у роботі експериментально доведено переваги графітових волокон перед металевими в якості матеріалу для поглинаючих екранів. Результати дослідження можуть бути використані для створення захисних екранів у НВЧ-діапазоні.

Ключові слова: НВЧ-випромінювання, тонке волокно, поглинання, захисний екран.