

УДК 535.34+535.36+536.214

И. Н. Майборода, Н. Г. Кокодий, В. А. Тиманюк, В. П. Бабенко

ЭФФЕКТ СИЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТОНКИХ ПРОВОДЯЩИХ ВОЛОКНАХ И СОЗДАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ЭТОЙ ОСНОВЕ

В тонком проводящем волокне, диаметр которого намного меньше длины волны, очень сильно поглощается микроволновое излучение. Этот эффект может быть использован для создания защиты от электромагнитного излучения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: микроволновое излучение, волокно, поглощение, рассеяние, экран.

Постановка проблемы. В настоящее время в зоне проведения АТО все чаще используются разнообразные малогабаритные средства радиолокационной разведки, которые переносятся отдельными военнослужащими или БПЛА. Поэтому возникает потребность в защите наших подразделений от таких радиолокационных средств разведки.

Анализ последних достижений и публикаций. Взаимодействие плоской электромагнитной волны с проводящим цилиндром описано в ряде фундаментальных работ [1–3] и многочисленных статьях. Но и сейчас проводятся исследования этого явления и обнаруживаются новые физические эффекты. Так, в работах [4, 5] было показано, что поглощение и рассеяние излучения очень сильно увеличивается, когда диаметр проводящего цилиндра (например, металлической проволоки или графитового волокна) на несколько порядков меньше длины волны.

Целью статьи является изложение результатов исследований зависимости фактора поглощения излучения в тонких проводящих волокнах для создания защитных покрытий техники, вооружения, сооружений и личного состава от обнаружения радиолокационными средствами разведки.

Изложение основного материала. Зависимость фактора эффективности поглощения (ФЭП) излучения Q_{abs} в платиновой проволоке от ее диаметра в случае, когда электрический вектор волны параллелен оси цилиндра (E -волна), показана на рис. 1. Фактор эффективности поглощения показывает во сколько раз эффективный диаметр цилиндра больше геометрического диаметра. При некоторых значениях $\frac{D}{\lambda}$ (D – диаметр проволоки, λ – длина волны излучения) существует максимум поглощения. Когда длина волны возрастает, максимум сдвигается в сторону больших диаметров и увеличивается. При $\lambda = 8$ мм фактор эффективности поглощения в максимуме достигает 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).

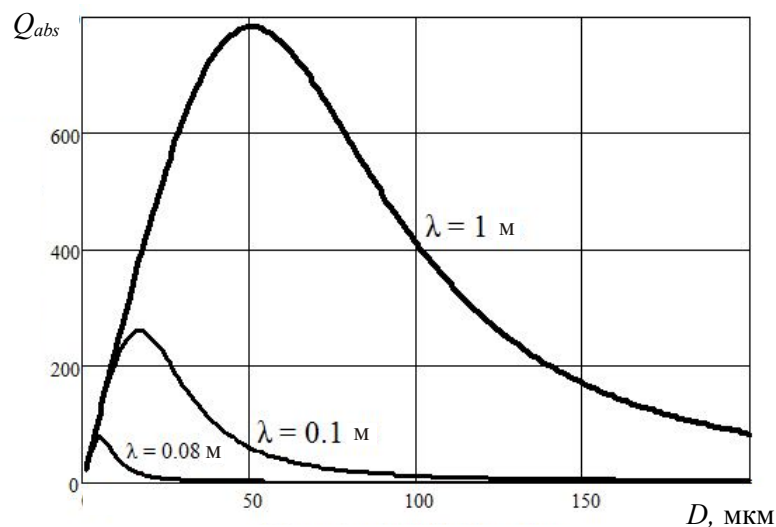


Рис. 1. Фактор эффективности поглощения графитового волокна

В случае H -волны (магнитный вектор волны параллелен оси волокна) ФЭП очень мал – не более 0,01.

Для произвольного направления поляризации волны

$$Q_{abs} = Q_{abs}^E \cos^2 \varphi + Q_{abs}^H \sin^2 \varphi, \quad (1)$$

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

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

Эффект сильного поглощения излучения в тонких проводящих волокнах может быть использован для создания защитных покрытий в микроволновом диапазоне. Основа экрана – пленка из материала, прозрачного в данном диапазоне длин волн (резины, полиэтилена, фторопласта и др.). Толщина пленки – от 1 до 5 мм. Между двумя слоями пленки хаотично располагаются отрезки волокна (рис. 2).



Рис. 2. Защитный экран, в котором использованы отрезки проводящих волокон

В таблице приведены значения ФЭП Q_{abs} и рассеяния Q_{sca} волокон из графита и некоторых металлов. Диаметр волокон 10 мкм, длина волны излучения 1 см. Из таблицы видно, что у графита поглощение намного больше, чем у металлов, а рассеяние меньше, чем поглощение, в то время как у металлов рассеяние больше, чем поглощение.

Рассеяние электромагнитного излучения часто оказывает отрицательное влияние, связанное с формированием переотраженной волны, воздействующей на экранируемый объект. Кроме того, оно может помочь противнику выявить наш объект внешними средствами обнаружения.

Т а б л и ц а

Поглощение и рассеяние некоторых проводящих волокон

Материал	Q_{abs}^E	Q_{sca}^E	Q_{abs}^H	Q_{sca}^H
Pt	2,71	40,8	$8,44 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-7}$
Ni	2,16	41,1	$6,95 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$
Cu	1,05	41,8	$3,95 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-7}$
W	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	45,3	29,4	$5,02 \cdot 10^{-4}$	$7,69 \cdot 10^{-8}$

Расчет ослабления излучения в экране. Пусть экран имеет площадь S_0 . В нем находятся отрезки волокна диаметром D и длиной L в количестве N на 1 м². На экран падает пучок излучения мощностью P_0 с длиной волны λ . Тогда на отрезки волокна попадет мощность

$$P = I \cdot D \cdot L \cdot N, \text{ где } I = P_0 / S_0.$$

Поглощенная в них мощность

$$P_{abs} = Q_{abs} \cdot P.$$

Рассеянная мощность

$$P_{sca} = Q_{sca} \cdot P.$$

Прошедшая через экран мощность

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

где $S = D \cdot L \cdot N$ – геометрическое поперечное сечение отрезков волокна.

Потери мощности в экране

$$A = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0} = 10 \cdot \lg \left[1 - \frac{S}{S_0} (Q_{abs} + Q_{sca}) \right]. \quad (3)$$

Потери мощности складываются из поглощения, которое определяется фактором Q_{abs} , и рассеяния, которое определяется фактором Q_{sca} .

Оценим ослабление излучения экраном при следующих данных.

Площадь экрана $S_0 = 1 \text{ м}^2$.

Длина графитового волокна $L = 0,5 \text{ мм}$, диаметр $D = 10 \text{ мкм}$, концентрация $N = 500 \text{ шт./см}^2$.

Длина волны излучения $\lambda = 1 \text{ см}$.

Фактор эффективности поглощения $Q_{abs}^E = 45,3$, $Q_{abs}^H = 5,0 \cdot 10^{-4}$; фактор эффективности рассеяния $Q_{sca}^E = 29,4$, $Q_{sca}^H = 7,7 \cdot 10^{-8}$.

В соответствии с формулой (2) для неполяризованного излучения принимаем

$$Q_{abs} = 22,5, \quad Q_{sca} = 15,0.$$

Оценивание с помощью формулы (3) дает такой результат: $A = 12 \text{ дБ}$. Из них 65 % ослабления приходится на поглощение, 35 % на – рассеяние.

Расчет проведен для условий, когда не учитывается взаимодействие элементов с излучением, рассеянным соседними волокнами, то есть когда расстояния между волокнами большие. В образцах, подобных показанному на рис. 2, концентрация волокон большая, и ослабление излучения больше.

Для проведения эксперимента был использован образец, показанный на рис. 2. Измерялось пропускание и отражение излучения с помощью волноводного рефлектометра в диапазоне частот от 12 до 18 ГГц. На рис. 3 сплошной линией с кружками показана зависимость ослабления излучения от частоты.

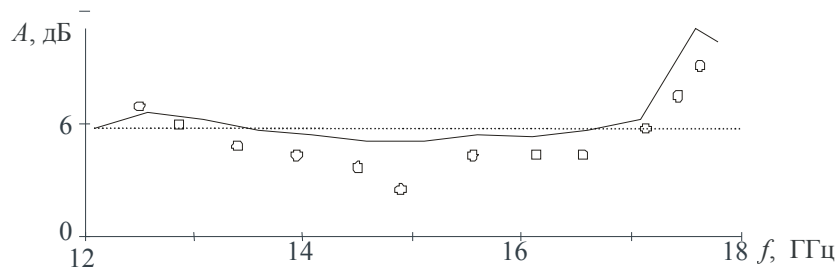


Рис. 3. Ослабление излучения защитным экраном

Ослабление почти одинаково во всем диапазоне частот. Среднее значение (штриховая линия) составляет 6,3 дБ (коэффициент пропускания 0,24). Коэффициент отражения от образца 0,21. На поглощение приходится 55 % падающей мощности, 21 % – отражается.

Выводы

Используя эффект сильного поглощения микроволн в тонких проводящих волокнах, можно создать защитные экраны для электромагнитного излучения в микроволновом диапазоне длин волн.

Преимущества таких экранов:

- используется дешевый материал – графит;
- поглощение микроволнового излучения в графите значительно больше, чем в металлах, а рассеяние меньше;
- отрезки графитового волокна располагаются хаотично, поэтому поляризация падающего электромагнитного излучения не играет роли;
- предприятиями Украины освоены технологии изготовления графитовых волокон и изделий из них.

Список использованных источников

1. H. C. van de Hulst. Light scattering by small particles. N.Y. : John Willey&Sons, Inc., London : Chapman&Hall, Ltd., 1957. – 536 p.
2. M. Kerker. The scattering of light and other electromagnetic radiation. N.Y. : Academic Press, 1969. – 666 p.

3. C. F. Bohren, D. R. Huffman. Absorption and scattering of light by small particles. John Wiley&Sons, N. Y., Toronto, Singapore, 1984. – 664 p.

4. Фактор эффективности поглощения тонкого металлического цилиндра в микроволновом диапазоне [Текст] / В. М. Кузьмичев, Н. Г. Кокодий, Б. В. Сафронов, В. П. Балкашин // Радиотехника и электроника. – 2003. – Т. 48, № 11. – С. 1349–1351.

5. Кокодий, Н. Г. Поглощение СВЧ излучения очень тонким двухслойным цилиндром [Текст] / Н. Г. Кокодий // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т. 51, № 2. – С. 1–4.

Стаття надійшла до редакції 01.06.2016 р.

УДК 535.34+535.36+536.214

І. М. Майборода, М. Г. Кокодій, В. О. Тиманюк, В. П. Бабенко

ЭФЕКТ СИЛЬНОГО ПОГЛИНАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ТОНКИХ ПРОВІДНИХ ВОЛОКНАХ І СТВОРЕННЯ НА ЇХ ОСНОВІ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ

У тонкому провідному волокні, діаметр якого набагато менший від довжини хвилі, дуже сильно поглинається микроволнове випромінювання. Цей ефект може бути використаний для створення захисту від електромагнітного випромінювання.

К л ю ч о в і с л о в а: микровхвильове випромінювання, волокно, поглинання, розсіяння, екран.

UDC 535.34+535.36+536.214

I. M. Mayboroda, M. H. Kokodyi, V. O. Tymaniuk, V. P. Babenko

EFFECT OF POWERFUL ABSORPTION OF MICROWAVE ELECTROMAGNETION RADIATION IN THIN CONDUCTING FIBRES AND CREATION, ON THIS BASIS, PROTECTIVE SCREENS

In a thin conducting fibre, diameter of which is less wave-length, the electromagnetic radiation absorbing very strong. This effect can be used for creation of protective screens in the microwave range of wave-lengths.

K e y w o r d s: microwave radiation, fibre, absorption, scattering, screen.

Майборода Ігор Миколайович – кандидат військових наук, доцент, завідувачий кафедрою управління діями підрозділів із засобами військового зв'язку Національної академії Національної гвардії України.

Кокодій Микола Григорович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Тиманюк Володимир Олександрович – кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувачий кафедрою фізики Національного фармацевтичного університету.

Бабенко Валерій Павлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри управління діями підрозділів із засобами військового зв'язку Національної академії Національної гвардії України.