

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2020.3.13>

УДК 537.86-
022.513.2

**БУТЕНКО О. О., ЧЕРНИШ О. В.,
ХОМЕНКО В. Г., ТВЕРДОХЛІБ В. С., БАРСУКОВ В. З.**
Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ НАНОМАТЕРІАЛІВ НА ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ КОМПОЗИТАМИ

Мета. Використання наноматеріалів в складі композитів для підвищення ефективності захисного покриття від впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ).

Методика. Дослідження зразків проводились за допомогою обладнання для вимірювання екрануючих властивостей матеріалів компанії Keusom Corp. (Японія). Ультразвукове диспергування наноматеріалів було виконано за допомогою ультразвукового диспергатора УЗДН-А1200Т. Питомий опір композитних покриттів виміряний з використанням стандартизованої 4-х електродної комірки ST2558B-F01 для вимірювання електропровідності матеріалів.

Результати. Визначений вплив різних наноматеріалів на захисні властивості тонких вуглець-полімерних покриттів. Досліджені наступні наноматеріали: оксид та карбід бору, оксид нанозаліза, вуглецеві нанотрубки та графен. Встановлена залежність питомого опору покриття та ефективності екранування від типу наноматеріалу в композитному зразку. Експериментально доведено, що методика приготування фарби з використанням ультразвукового диспергування може у 2,5 рази покращити захист від ЕМВ. Встановлено, що графен має незначну перевагу у екрануванні ЕМВ у порівнянні з іншими вуглецевими матеріалами. Отримані результати вказують, що такі неелектропровідні матеріали як оксиди нанозаліза, бору та карбід бору можуть бути досить ефективними для створення радіопоглинаючих композитних матеріалів.

Наукова новизна. В роботі пропонується новий підхід для одержання тонких захисних покриттів від ЕМВ з використанням наноматеріалів, таких як карбід бору, оксид бору, оксид нанозаліза, деяких типів вуглецевих нанотрубок та графенів. В роботі запропонований унікальний алгоритм ультразвукового диспергування матеріалів для виготовлення композитних зразків. Вперше проведений аналіз радіопоглинаючих властивостей покриттів на основі вітчизняних матеріалів з використанням міжнародних стандартизованих методів дослідження.

Практична значимість. Композиційні покриття насамперед можуть застосовуватися для захисту людини від електромагнітного випромінювання. Матеріали можуть знайти широке використання для вирішення проблем екранування приміщень, обладнання, у військовій та медичній галузі тощо.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, наноматеріали, радіоекрануючі композиційні матеріали, захисні покриття.

Вступ. Динаміка розвитку сучасного світу пов'язана зі збільшенням кількості електронного обладнання, що призводить до зростання електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у навколишнє середовище. ЕМВ негативно впливає на здоров'я людини, створює проблеми під час роботи різного обладнання, загрожує інформаційній безпеці. Сьогодні, окрім захисту людей та електронного обладнання від впливу електромагнітних полів, необхідним є забезпечення безперебійного функціонування засобів бездротового зв'язку [1]. Персонал, який працює в умовах впливу електричних, магнітних та електромагнітних полів, повинен бути забезпечений засобами колективного та індивідуального захисту відповідно до державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [2]. Слід зазначити, що найбільш небезпечними для людини є магнітні поля наднизької частоти (гармонік та інтергармонік), а також електромагнітні випромінювання ультрависоких частот, які притаманні засобам бездротового зв'язку та радіотехнічним

об'єктам різного призначення. Найпоширеніший захист від ЕМВ здійснюють, як правило, за допомогою спеціальних екранів на основі композиційних матеріалів.

Наноматеріали дозволяють створювати нові композиційні матеріали з рекордними характеристиками. Завдяки своїм властивостям наноматеріали широко застосовуються в різних галузях науки і техніки. Найбільш успішне застосування знаходять наночастки (НЧ) металів та їх оксидів, вуглецевих нанотрубок та напівпровідників при виготовленні сенсорних пристроїв, компонентів нано- та мікроелектроніки, сепараційних матеріалів [3-6]. Останнім часом, дослідженням наноматеріалів присвячено багато робіт [7-9]. Очікується, що використання наноматеріалів в композитних матеріалах дозволить вирішити низку важливих завдань, а саме, поєднання явища розсіювання електромагнітних хвиль та магнітних і діелектричних втрат, що дозволяє варіювати властивостями таких матеріалів в широкому діапазоні частот. Для таких матеріалів найчастіше використовують магнітні наночастинки оксиду заліза, зокрема, магнетит (Fe_3O_4) [10-11].

Постановка завдання. Оцінити вплив наночасток оксиду нанозаліза, оксиду та карбїду бору, вуглецевих нанотрубок і графену на електропровідність та екрануючі властивості від ЕМВ композитних покриттів.

Результати дослідження. На сьогоднішній день найбільш ефективними матеріалами для захисту від ЕМВ безумовно є композитні матеріали різної структури. Нами раніше показано у роботі [12], що керування захисними властивостями покриття здійснюється зміною концентрації вуглецевих матеріалів у діелектричній матриці. Але діапазон керованості невеликий. При цьому головною технологічною задачею є рівномірність розподілу вуглецевих матеріалів в полімерній матриці. Найбільш ефективним методом покращення характеристик захисного покриття є додавання у діелектричну матрицю дрібнодисперсного графіту. Подальше покращення результатів можливе за рахунок додавання у покриття наноматеріалів. Проте і у цьому випадку виникають певні технологічні труднощі, а саме рівномірність розподілу наноматеріалів в об'ємі захисного покриття. Дослідження свідчать, що одним із можливих напрямів вирішення зазначеної проблеми є використання ультразвукової обробки наноматеріалів.

Для вивчення впливу наноматеріалів у базове композитне вуглець-полімерне захисне покриття [13] були додані різні наноматеріали. В якості полімерного зв'язуючого застосовувався полівінілбутираль, а в якості основного вуглецевого наповнювача композитного матеріалу були використані вітчизняні графітові матеріали марок КГП С-1 та ГАК-1. Для виготовлення дослідних зразків захисних покриттів були використані зарубіжні та вітчизняні наноматеріали, а саме: оксид бору, карбід бору та оксид нанозаліза [14] (Табл.1).

Відомо, що ефективність екранування залежить від відбиття та поглинання електромагнітної хвилі матеріалами та визначається співвідношенням хвильового опору розповсюдження хвилі та хвильового опору матеріалу екрана. Отже, меншому опору матеріалу відповідають більші коефіцієнти відбиття. Відомо, що коефіцієнти відбиття залежать виключно від електрофізичних характеристик матеріалу захисного покриття і не залежать від його товщини. Щодо коефіцієнтів поглинання, то цей показник є критичним.

Таблиця 1

Наноматеріали композитних матеріалів

Матеріал	Позначення	Виробник
Карбід бору	B ₄ C(1/0)	Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ
Карбід бору	B ₄ C(10/5)	Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ
Карбід бору	B ₄ C(20/7)	Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ
Оксид бору	B ₂ O ₃ №8,9/1	Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ
Оксид нанозаліза №1	Fe-1	Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м.Сєверодонецьк
Оксид нанозаліза №2	Fe-2	Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м.Сєверодонецьк
Оксид нанозаліза №3	Fe-3	Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м.Сєверодонецьк
Графен (98%)	G250-H	Компанія Sinocarbon, Китай
Графен (98%)	G1000-H	Компанія Sinocarbon, Китай
Графен	xGnP-C-750	Компанія XG sciences, Китай
Вуглецеві нанотрубки	C 150 P	Компанія Bayer, Німеччина
Вуглецеві нанотрубки Graphistrength	C100	Компанія ARKEMA, Франція

При обиранні товщини покриття слід враховувати еквівалентну глибину проникнення хвилі у товщину захисного покриття. Нами виготовлені та досліджені покриття товщиною 60-200 мкм, що повинні ефективно працювати в частотному діапазоні від 500 Мгц до 18 Ггц. Враховуючи вище наведене, особлива увага була приділена змінам питомого опору покриття після введення наноматеріалів. Зразок поміщали в чотирьох-електродну комірку ST2558B-F01, що містила чотири контакти, як зображено на Рис.1. Електропровідність захисних покриттів вимірювалась на постійному струмі [15]. Через два контакти проходить струм, а за допомогою інших двох вимірюється падіння напруги.

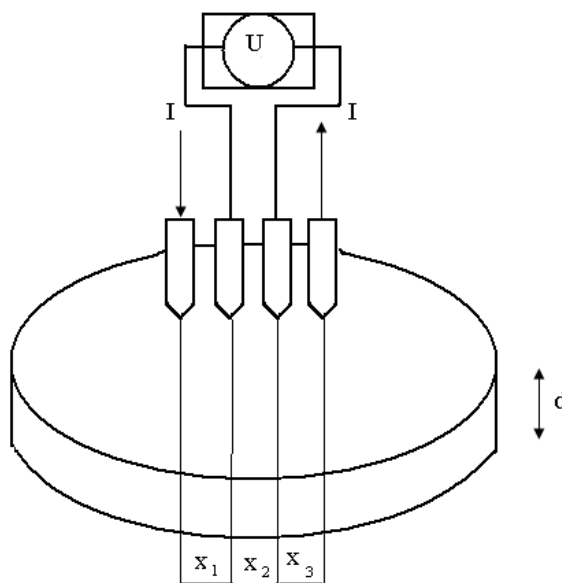


Рис.1. Схематичне зображення вимірювання опору зразка

Відповідно до теорії чотиризондового методу досліджувані зразки покриття можна вважати тонкими, так як має місце співвідношення $< 0,4$ між їх товщиною d і відстанню між електродами комірки (X_2), розташованих уздовж однієї лінії. У такому випадку згідно з цією теорією, питомий опір зразків може бути визначено за формулою:

$$\rho = \pi / \ln 2 (V / I) d = 4.532 (V / I) d,$$

де V -падіння напруги, I -сила струму, d - товщина покриття.

Згідно наведених в Табл.2 даних можна відмітити, що введення наноматеріалів має значний вплив на питомий опір покриття. Дещо кращі показники питомого опору одержанні для покриття навіть після введення неелектропровідних матеріалів, а саме оксиду нанозаліза та карбїду бору і кремнію. Це питання потребує подальшого дослідження. Можливо, наноматеріал покращує структурування електропровідних матеріалів в полімерній основі композиту. Як видно з наведених в Табл.2 даних, менший питомий опір мають покриття з такими наноматеріалами, як вуглецеві нанотрубки (за винятком зразку С100) та графен. Слід зазначити, що питомий опір покриття залежить від процесу диспергування наноматеріалів.

В даній роботі насамперед приділяється увага вуглець-полімерним захисним матеріалам. Відомо, що такі екрани мають складні співвідношення відбивальних та поглинальних властивостей [16], а їх визначення залежить від методів дослідження.

Таблиця 2

Характеристики захисних покриттів від ЕМВ з різними наноматеріалами

№ п/п	Наноматеріал	Екранування, дВ	Питомий опір, Ом·см
Композиційний склад: 16,67* сажа Pure Black; 50* графіт КГП С-1; 16,67 наноматеріал; 16,67 полівінілбутираль			
1	B ₄ C(1/0)	-18,0	0,33
2	B ₄ C(10/5)	-20,0	0,22
3	B ₄ C(20/7)	-20,5	0,27
4	B ₆ O №8,9/1	-18,6	0,64
5	нанозаліза оксид Fe-1	-21,5	0,20
6	нанозаліза оксид Fe-2	-19,7	0,40
7	нанозаліза оксид Fe-3	-19,2	0,41
Композиційний склад: 22,22 сажа Pure Black; 55,56 графіту ГАК-1; 2,22 наноматеріал; 20 полівінілбутираль			
8	графен G250-Н	-21,7	0,27
9	графен 1000-Н	-23,0	0,18
Композиційний склад фарби: 20 сажа Pure Black; 50 графіт КГП С-1; 10 наноматеріал; 20 полівінілбутираль			
10	графен xGnP-С-750	-20,4	0,32
11	Вуглецеві нанотрубки С100	-7,4	1,47
12	Вуглецеві нанотрубки 150 Р	-18,6	0,28
* - цифри відображають вміст матеріалу в масових відсотках			

В роботі був використаний стандартизований і широко використовуваний метод вимірювання ефективності екранування матеріалів тонких зразків (до 2 мм). Суть цього методу полягає у використанні векторного аналізатора електричних ланцюгів і компактних

ТЕМ-комірок (Transversal ElectroMagnetic Cell). Методику вимірювання регламентують два стандарти: ASTM ES7 [17] і ASTM D4935. Слід відмітити, що стандарт ASTM ES7-83 був основою вказаного метода. ТЕМ-комірки, відповідають вимогам цього стандарту, мають безперервний провідник, а тестований зразок повинен бути круглої форми з круглим отвором в центрі. На сьогоднішній день за цим стандартом розроблена велика кількість моделей ТЕМ-комірок, що дозволяють проводити вимірювання в діапазоні до 3 ГГц. Пізніше був прийнятий інший стандарт: ASTM D4935-99, який перевидавався в 2010 і 2018 роках і є чинним в даний час. Особливість стандарту в тому, що ТЕМ-комірки мають поперечний розріз, в якому закріплюється тестований зразок. Зразок може бути круглої або прямокутної форми, в залежності від форми поперечного перерізу ТЕМ-комірки. Незважаючи на кілька редакцій документа ASTM D4935, він стандартизує досить вузький діапазон частот: від 30 МГц до 1,5 ГГц. Пов'язано це з тим, що в ТЕМ-комірках, що мають конструкцію описану в стандарті, з ростом частоти спостерігаються різні паразитні процеси, які унеможливають точні вимірювання ефективності екранування. У роботі нами використані удосконалені ТЕМ-комірки (Рис.2) компанії KEYCOM Corp. (Японія). Компанії KEYCOM Corp. вдалося шляхом модифікації конструкцій ТЕМ-комірки розширити частотний діапазон до 18 ГГц.

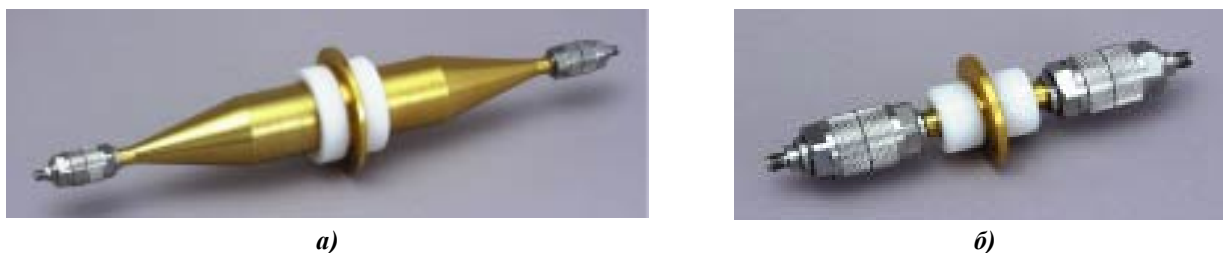


Рис.2. ТЕМ-комірки компанії KEYCOM Corp. (Японія): а) ТЕМ- комірка для проведення вимірювання в діапазоні частот 45 МГц- 3 ГГц відповідно до стандарту ASTM D4935, б): ТЕМ- комірка для проведення вимірювання в діапазоні частот 500 МГц 18 ГГц відповідно до стандартів ASTM D4935 та ASTM ES7

Вимірювальний комплекс базується на векторному аналізаторі Anritsu MS46122A-020. Цей векторний аналізатор працює в частотному діапазоні від 1 МГц до 20 ГГц і забезпечує динамічний діапазон більше 100 дБ. Структурна схема підключення ТЕМ-комірки до векторного аналізатора показана на Рис.3. Тестований зразок круглої форми затискається між двома половинами ТЕМ-комірки.

Для управління векторним аналізатором і розрахунку ефективності екранування матеріалів використане спеціалізоване програмне забезпечення DMP-11 компанії KEYCOM Corp. Основні завдання програми DMP-11 полягають в управлінні векторним аналізатором ланцюгів, реєстрації результатів вимірювань та первинної обробки результатів за спеціальними формулами, що враховують параметри використовуваної ТЕМ-комірки.

Ефективність екранування матеріалу була досліджена шляхом вимірювання рівня передачі сигналу на еталонному та досліджуваному зразках та розрахована як різниця передачі сигналу між ними. Еталонні та досліджувані зразки бути з одного матеріалу і товщини. Такий метод забезпечує високу точність результатів вимірювань. Типова частотна залежність ефективності екранування покриття наведена на Рис.4.

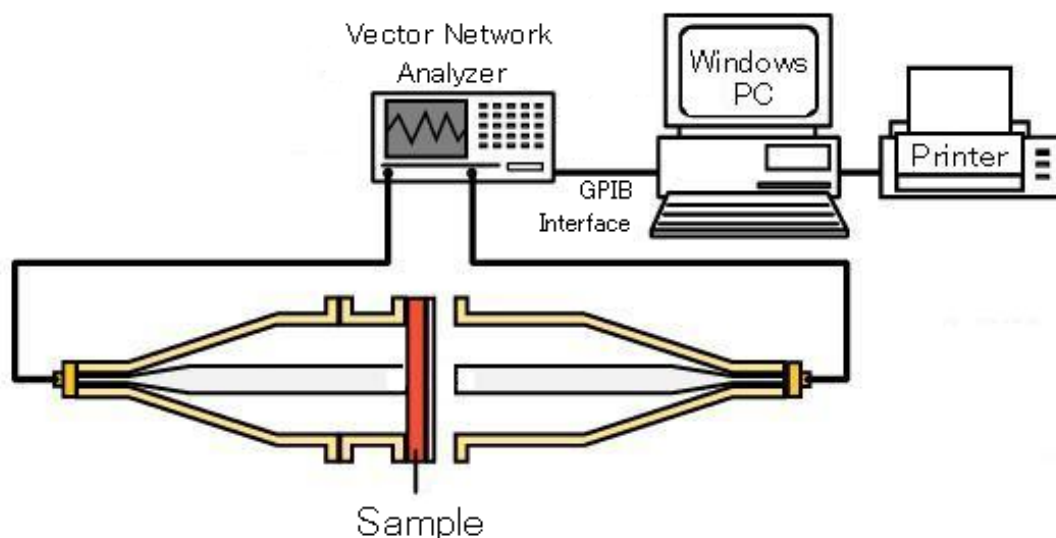


Рис.3. Структурна схема підключення ТЕМ-комірки до векторного аналізатора (<https://www.keycom.co.jp/eproducts/sem/sem01/page.html>)

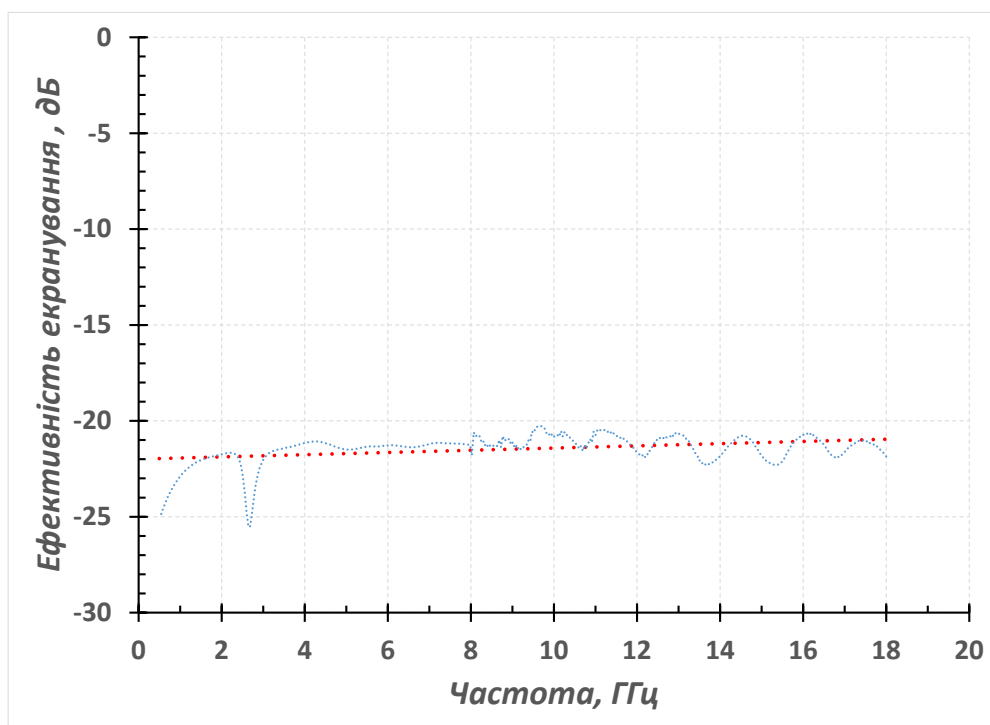


Рис.4. Частотна залежність ефективності екранування покриття, що містив 16,67% графітенованої сажі, 50% графіту КГП С-1 та 16,67% наночастинок оксиду заліза та 16,67% ПВБ

Ефективність екранування несуттєво змінюється в діапазоні частот до 18 ГГц. Для спрощення аналізу результатів вимірювання були розраховані узагальнені середні значення ефективності екранування в діапазоні частот 500 МГц до 18 ГГц. Одержані результати наведені в Табл. 2.

Аналіз результатів досліджень вказує на цілком високу ефективність запропонованих покриттів при частотах до 18 ГГц. Розроблені матеріали забезпечують ефективність екранування на рівні 15 – 30 дБ.

Отже одержані матеріали можуть бути успішно використані для виготовлення захисних покриттів та екранів необхідних для захисту людини від шкідливого впливу електромагнітного поля радіохвиль. Значення ефективності екранування вказує на незначний вплив наночастинок кремнію та бору на захисні властивості. Найбільш ефективним покриттям є композитні матеріали, що містили оксид нанозаліза, вуглецеві нанотрубки та графен. Не виникає сумніву щодо факту, що високу ефективність екранування ЕМВ мають покриття, що містять наноматеріали. Перспективним, на наш погляд, є пошук можливостей враховувати не тільки ваговий вміст вуглецевих та нанорозмірних матеріалів у полімерній основі, а й особливості їх просторового розподілу у матеріалі. Наноматеріали можуть мати високу ефективність заповнення композитного матеріалу. Це дає змогу створювати нові ефективні композитні матеріали для захисту від впливу електромагнітного випромінювання.

Висновки. Ефективність екранування залежить від хвильового опору розповсюдження хвилі та хвильового опору матеріалу захисного покриття. Тому для підвищення ефективності захисного покриття від впливу електромагнітного випромінювання слід використовувати композитні матеріали з найменшим питомим опором. Встановлено, що застосування в якості наповнювачів неелектропровідних матеріалів, а саме оксиду нанозаліза та карбїду бору і кремнію зменшує в 2-3 рази питомий опір композитного покриття. Вказані матеріали покращують структурування електропровідних матеріалів в полімерній основі композиту. Однак, не встановлений вплив природи та складу сполук бору та кремнію на електрофізичні характеристики композитів. Найменший питомий опір мають покриття на основі вуглецевих наноматеріалів - вуглецеві нанотрубки та графен. Використання даних матеріалів у композитних покриттях дає змогу підвищити ефективність екранування до 30 дБ на частотах до 18ГГц.

Подяка. Автори вдячні к.т.н. Олександрю Боримському (Інститут надтвердих матеріалів НАН України, м. Київ) і доценту Олені Корчугановій (Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк) за представлені зразки наноматеріалів, а також МОН України (держбюджетна тема 16.02.48 ДБ) і програмі НАТО «Наука заради миру» за фінансову підтримку досліджень в рамках проекту SpS G5477.

Література

1. Sukach, S., Riznik, D., Zachepa, N., Chencheyov, V. (2020). Normalization of the Magnetic Fields of Electrical Equipment in Case of Unauthorized Influence on Critical Information Infrastructure Facilities. *Soft Target Protection*, 337–349. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-024-1755-5_28
2. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>.
3. S. Taccola, F. Greco, A. Zucca et al, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 5 6324 (2013).
4. T.K. Mahto, A.R. Chowdhuri, S.K. Sahu, J

References

1. Sukach, S., Riznik, D., Zachepa, N., Chencheyov, V. (2020). Normalization of the Magnetic Fields of Electrical Equipment in Case of Unauthorized Influence on Critical Information Infrastructure Facilities. *Soft Target Protection*, 337-349. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-024-1755-5_28
2. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>.
3. S. Taccola, F. Greco, A. Zucca. (2013). *ACS Appl. Mater. Interfaces*, (5) 6324.
4. T.K. Mahto, A.R. Chowdhuri, S.K. Sahu. (2014). *J Appl. Polym. Sci.*, 131 40840.
5. Hitoshi Sakamoto, Sho Igarashi, Kazuma Niime,

- Appl. Polym. Sci., 131 40840 (2014).
5. Hitoshi Sakamoto, Sho Igarashi, Kazuma Niume, Masayuki Nagai, Organic Electronics, 12 1247 (2011).
6. Peichao Lian, Xuefeng Zhu, Shuzhao Liang, Zhong Li, Weishen Yang, Haihui Wang, Electrochimica Acta, 56 4532 (2011).
7. T.T. Tung, J.F. Feller, T. Kim et al, J Polym. Sci. Part A: Polym. Chem. 50 927 (2012).
8. J. W. Liu, J. Cheng, R. C. Che, J. J. Xu, M. M. Liu, Z.W. Liu, J. Phys. Chem. C 117 489 (2013).
9. J. Deng, C. He, Y. Peng et al, Synth. Met. 139 295 (2003).
10. M. Park, J. Cheng, J. Choi et al, Colloids Surf. B Biointerfaces, 102 238 (2013).
11. M. Khairy, Synth. Met. 189 34 (2014).
12. I. V. Сенік, В. З. Барсуков, І. В. Короташ, О. А. Крюкова. Вплив різних вугле-графітових добавок на характер електромагнітних втрат полімерних композитів // Вісник КНУТД. – 2016. № 2. с. 183-188.
13. Барсуков В.З., Сенік І.В., Хоменко В.Г., Савченко Б.М., Крюкова О.А. Композиція для формування композиційного матеріалу для захисту від ЕМВ та спосіб одержання композиційного матеріалу на субстраті, Патент України на винахід, №117949, 2018.
14. Kamila Abuzarova and Olena Korchuganova 2020. Nanosized Iron Oxhydroxide: Properties, Application, Preparation. J. Phys.: Conf. Ser. 1534 012002
15. Luscheykin G.A. Methods for studying the electrical properties of polymers. Moscow: Publishing house chemistry.-1988.-P.19-21
16. Козловський В.В., Софієнко І.І. Екранирующие свойства современных материалов // Вісник ДУІКТ, 7(3), 2009. – С. 233–245.
17. ASTM-ES7, Test method for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of planar materials, ASTM, 1983.
- Masayuki Nagai. (2011). *Organic Electronics*. 12 1247.
6. Peichao Lian, Xuefeng Zhu, Shuzhao Liang, Zhong Li, Weishen Yang, Haihui Wang. (2011). *Electrochimica Acta*. 56 4532.
7. T.T. Tung, J.F. Feller, T. Kim. (2012). *J Polym. Sci. Part A: Polym. Chem*. 50 927.
8. J. W. Liu, J. Cheng, R. C. Che, J. J. Xu, M. M. Liu, Z.W. Liu. (2013). *J. Phys. Chem*. 117 489.
9. J. Deng, C. He, Y. Peng. (2003). *Synth. Met*. 139 295.
10. M. Park, J. Cheng, J. Choi. (2013). *Colloids Surf. B Biointerfaces*. 102 238.
11. M. Khairy. (2014). *Synth. Met*. (189), 34.
12. I. V. Senyk, V. Z. Barsukov, I. V. Korotash, O. A. Kriukova. (2016). Vplyv riznykh vuhle-hrafitovykh dobavok na kharakter elektromahnitnykh vtrat polimernykh kompozytiv [Influence of various carbon-graphite additives on the nature of electromagnetic losses of polymer composites]. *Visnyk KNUVD*, (2), 183-188. [in Ukrainian].
13. Barsukov V.Z., Senyk I.V., Khomenko V.H., Savchenko B.M., Kriukova O.A. (2018). Kompozytsiia dlia formuvannia kompozytsiinoho materialu dlia zakhystu vid EMV ta sposib oderzhannia kompozytsiinoho materialu na substrati [Composition for forming a composite material for protection against EMP and method for producing a composite material on a substrate]. *Patent of Ukraine for invention №117949* [in Ukrainian].
14. Abuzarova K., Korchuganova O. (2020). Nanosized Iron Oxhydroxide: Properties, Application, Preparation. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1534 012002
15. Luscheykin G.A. (1988). Methods for studying the electrical properties of polymers. Moscow: *Publishing house chemistry*. 19-21.
16. Kozlovskiy V.V., Sofienko I.I. (2009). Ekraniruyushchie svoystva sovremennyih materialov. [Shielding properties of modern materials]. *Visnik DUKT*, 7(3). 233–245. [in Russian].
17. ASTM-ES7. (1983). Test method for measuring the electromagnetic shielding effectiveness of planar materials, ASTM.

CHERNYSH OKSANA

Scopus Author ID: 56818919300
orcid.org/0000-0002-9402-1595

ResearcherID: X-2552-2018; chernish.ov@knuvd.edu.ua
Dpatment of Electrochemical PowerEngineering and
Chemistry
Kyiv National University of Technologies and Design

BUTENKO OKSANA

Scopus Author ID: 57207988484
orcid.org/0000-0002-4513-3355

ResearcherID: AAH-4024-2019; butenco@bigmir.net
Dpatment of Electrochemical PowerEngineering and
Chemistry
Kyiv National University of Technologies and Design

TVERDOHLIB VIKTOR

orcid.org/0000-0002-5764-9842

tverdoxlib.vs@knutd.edu.ua

Department of Electrochemical Power Engineering and
Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

KHOMENKO VOLODYMYR

Scopus Author ID: 7004402598

orcid.org/0000-0003-0013-8010

ResearcherID: X-2214-2018; v.khomenko@i.ua

Department of Electrochemical Power Engineering and
Chemistry

Kyiv National University of Technologies and Design

BARSUKOV VIACHESLAV

Scopus Author ID: 8590938100

orcid.org/0000-0002-3041-2474 ResearcherID: O-6308-2017; v-barsukov@i.ua

Department of Electrochemical Power Engineering and Chemistry, Kyiv National University of Technologies and Design

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТАМИ

БУТЕНКО О. А., ЧЕРНЫШ О.В.,

ХОМЕНКО В. Г., ТВЕРДОХЛЕБ В.С., БАРСУКОВ В. З.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Использование наноматериалов в качестве композиционного материала для повышения эффективности защитного покрытия от воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ).

Методика. Исследования образцов проводили с помощью оборудования компании Keusot Corp. (Япония), разработанного для измерения экранирующих свойств материалов. Ультразвуковое диспергирование наноматериалов было выполнено с помощью ультразвукового диспергатора УЗДН-А1200Т. Удельное сопротивление композитных покрытий измерено с использованием стандартизированной 4-х электродной ячейки ST2558B-F01 для измерения электропроводности материалов.

Результаты. Установлено влияние различных наноматериалов на защитные свойства тонких углерод-полимерных покрытий. Исследованы следующие наноматериалы: оксид и карбид бора, оксида наножелеза, углеродные нанотрубки и графен. Установлена зависимость удельного сопротивления покрытия и эффективности экранирования от типа наноматериала в композитном образце. Экспериментально доказано, что методика приготовления краски с использованием ультразвукового диспергирования может в 2,5 раза улучшить защиту от ЭМИ. Установлено, что графен имеет незначительное преимущество в экранировании ЭМИ по сравнению с другими углеродными материалами. Полученные результаты указывают на то, что неэлектропроводные материалы, такие как оксиды наножелеза, бора и карбид бора, могут быть достаточно эффективными для создания радиопоглощающих композитных материалов.

Научная новизна. В работе предлагается новый подход получения тонких защитных покрытий от ЭМИ с использованием таких наноматериалов как карбид бора, оксид бора, оксид наножелеза, некоторых типов углеродных нанотрубок и графена. В работе предложен уникальный алгоритм ультразвукового диспергирования наноматериалов для изготовления композитных материалов. Впервые проведен анализ радиопоглощающих свойств покрытий на основе отечественных материалов с использованием международных стандартизированных методов исследования.

Практическая значимость. Композиционные покрытия прежде всего могут применяться для защиты человека от электромагнитного излучения. Материалы могут найти широкое применение для решения проблем экранирования помещений, оборудования, в военной и медицинской отраслях.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, наноматериалы радиозащитные композиционные материалы, защитные покрытия.

FEATURES OF THE INFLUENCE OF NANOMATERIALS ON SHIELDING OF ELECTROMAGNETIC RADIATION BY COMPOSITES

BUTENKO O.O., CHERNYSH O.V.,
KHOMENKO V.G., TVERDOKHLIB V.S., BARSUKOV V.Z.
Kyiv National University of Technologies and Design

Goal. *The use of nanomaterials as a composite material to improve the efficiency of a protective coating for shielding against electromagnetic interference.*

Methodology. *Samples were studied using equipment from Keycom Corp. (Japan) developed for measuring the shielding effect. Ultrasonic dispersion of nanomaterials was performed using a UZDN-A1200T ultrasonic disperser. The resistivity of the composite coatings was measured using a ST2558B-F01 standardized 4-electrode cell.*

Results. *The influence of various nanomaterials on the protective properties of thin carbon-polymer coatings has been established. The following nanomaterials have been investigated: boron oxide and carbide, iron oxide, carbon nanotubes, and graphene. The dependence of the resistivity of the coating and the shielding effect on the type of nanomaterial in the composite sample has been established. It has been experimentally proved that the ultrasonic dispersion can improve the shielding effect by 2.5 times. It has been found that graphene has a slight advantage compared to other carbon materials. Also, our results have been established that non-conductive materials such as nano-oxides of iron, boron, and boron carbide can be quite effective for creating radio-absorbing composite materials.*

Scientific novelty. *The paper proposes a new approach to obtain thin protective coatings against electromagnetic radiation using nanomaterials such as boron carbide, boron oxide, iron oxide, some types of carbon nanotubes, and graphene. The paper proposes a unique algorithm for the ultrasonic dispersion of nanomaterials for the manufacture of composite materials. For the first time, an analysis of the shielding effect of coatings based on domestic materials using international standardized research methods has been carried out.*

Practical significance. *Composite coatings can primarily be used to protect humans from electromagnetic radiation. The materials can be widely used to solve the problems of shielding premises, equipment, in the military, and medical industries.*

Key words: *electromagnetic radiation, nanomaterials, radio-screened composite materials, protective coatings.*