

УДК 678.011:53

СЕНИК І. В., БАРСУКОВ В. З., КОРОТАШ І. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**ВПЛИВ РІЗНИХ ВУГЛЕ-ГРАФІТОВИХ ДОБАВОК НА
ХАРАКТЕР ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВТРАТ
ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ**

***Мета.** Дослідити залежності електромагнітних втрат композитів, які сформовані на основі полівінілхлоридної матриці та різних вугле-графітових добавок, в діапазоні надвисоких частот.*

***Методика.** Дослідження електромагнітних втрат проводили за допомогою хвилевого методу з використанням рупорних антен.*

***Результати.** В результаті досліджень встановлено концентраційні залежності питомого опору та електромагнітних втрат композитів, сформованих на основі різних графітових та вуглецевих матеріалів.*

***Наукова новизна.** Досліджено та порівняно вплив вуглецевих та графітових матеріалів різного походження на коефіцієнти пропускання, відбивання та поглинання електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у НВЧ-діапазоні.*

***Практична значимість.** Отримані результати відображують можливість застосування кращих композитних матеріалів при формуванні захисних покриттів та екранів від електромагнітного випромінювання у НВЧ-діапазоні.*

***Ключові слова:** вугле-графітові добавки, полівінілхлоридна матриця, електромагнітні втрати, питомий опір, коефіцієнти поглинання, відбивання, пропускання, НВЧ-діапазон.*

Вступ. При виготовленні захисних екранів від електромагнітного випромінювання у НВЧ-діапазоні широке застосування можуть знайти різноманітні вуглецеві та графітові композитні матеріали (технічний вуглець, графіт, сажі, вуглецеві та графітизовані волокна, в тому числі металізовані та різні текстильні форми з таких матеріалів (нитки, джгути, стрічки та тканини).

При певній концентрації вугле-графітових матеріалів в полімерній матриці досягається так званий «порог перколяції», коли окремі частинки графіту або вуглецю утворюють замкнутий скелет (кластер) електропровідності [1-2]. Композити, що складаються з дисперсного поглинаючого наповнювача, зв'язаного рідким полімером, являють собою складні системи, адже технологія виготовлення таких зразків вимагає рівномірного розподілу різних за щільністю компонентів в матриці полімеру. При досягненні або перевищенні «порогу перколяції» вуглець-полімерний композит стає електропровідним і здатен екранувати електромагнітне випромінювання подібно металам, утворюючи так звану «клітку Фарадея». Кількість добавки графіту або вуглецю, яка необхідна для досягнення «порогу перколяції», залежить від густини добавки, її природи та структури.

В залежності від природи і кількості електропровідного вуглецевого компоненту можна конструювати як екрани відбивання, так і поглинаючі покриття. Відзначається велика різноманітність електропровідних матеріалів, однак високочастотні електромагнітні характеристики їх вивчені недостатньо повно [3].

Методика експерименту. Технологія виготовлення експериментальних зразків. Експериментальні зразки містили вуглецеві та графітові добавки різного походження, а саме:

комерційні зразки графітізована сажа «PUREBLACK®» та терморозширений графіт АВG 1010 (виробник - Superior Graphite Co. Чикаго, Іллінойс, США), експериментальний зразок дрібнодисперсного графіту «Drill – 200 mesh» (виробник - Focus Graphite Inc., Оттава, Канада) та вітчизняний колоїдний графітовий препарат марки С1 (виробник - Заваллівський графіт, Україна). В якості полімерної матриці було використано полівінілхлорид (ПВХ), який пластифікували диоктилфталатом (ДОФ): 100 г ПВХ розчиняли в 60 г пластифікатора; після цього вуглецевий наповнювач (5-20%) додавали до готового пластикату та перемішували протягом 1 години. Процес перемішування - один з ключових етапів, оскільки дуже важливо розбити всі агломерати як полімерного порошку, так і струмопровідних добавок для рівномірного їх поширення в системі та запобігання їх негативного впливу на фізико-механічні, електродинамічні властивості плівок та зовнішній вигляд. Формували плівку способом заливання кінцевого композиту у форму, пластифікацію проводили протягом 3 хв при 200 °С.

Плівки, сформовані такими способами, відзначалися рівномірною товщиною, еластичністю, пористістю, гнучкістю та гладкою поверхнею.

Методика вимірювань питомого електропровідного опору. Класичні методи з використанням 2-х або 3-х електродної комірки як правило не враховують контактні опори між електродами та зразком, які в даному випадку можуть вносити суттєві похибки в виміри. Тому вимірювання опору наповнених композитів проводили за чотирьох-електродним методом [4]. З досліджуваного матеріалу вирізали зразки розміром 10x30 мм, через які за допомогою двох силових електродів пропускали фіксований струм, а за допомогою двох вимірювальних електродів визначали падіння напруги цифровим високоомним вольтметром. Експериментальні дослідження питомого електричного опору даних зразків представлені та описані в роботі [5].

Вимірювання блокування ЕМВ. Оцінка електромагнітних втрат при проходженні електромагнітної хвилі через зразок композитного матеріалу, який був закріплений між рупорними антенами (рис. 1), здійснюється шляхом порівняння вимірних значень модулів коефіцієнта відображення і коефіцієнта передачі. Дослідження на здатність поглинання електромагнітного випромінювання виконувалися в діапазоні частот від 17 до 27 ГГц.

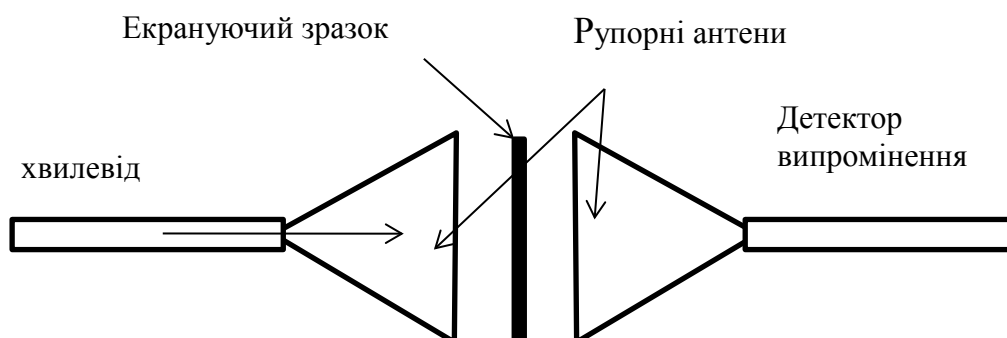


Рис.1. Схематичне зображення рупорної установки для вимірювання екрануючих властивостей матеріалів

Результати досліджень. В композиційних матеріалах при зміні концентрації провідної компоненти, струм змінюється немонотонно. При невисокому наповненні системи струмопровідними добавками електропровідність залишається низькою аж до моменту

формування «перколяційного порогу» провідності, де спостерігається її різке зростання на кілька порядків.

Залежність електромагнітних властивостей композитних систем з дисперсними наповнювачами залежить не тільки від концентраційних параметрів, а також і від морфології, природи та структури сформованих композитів. Важливо відмітити, що для діамантних матеріалів, до яких відносять і вуглець-вмісні структури, поглинання викликається тільки діелектричними втратами.

Саме структура і властивості різних матеріалів-наповнювачів обумовлюють, в основному, такі властивості як екранування, поглинання і відбивання ЕМВ. Завдяки цьому, слід враховувати не тільки тип матеріала-наповнювача (вуглець, сажа, графіт та ін.), але часто і технологію приготування такого матеріалу.

Для формування якісних захисних покриттів чи екранів від ЕМВ необхідно також враховувати робочий частотний діапазон, в якому буде забезпечуватися захист, адже для екранування в низькій області частот необхідно збільшувати магнітну компоненту композиту та формувати товсті покриття, в той час як для захисту в НВЧ діапазоні достатньо тонких (плівкових) матеріалів з високою електропровідністю. В наведених нижче концентраційних залежностях ми використовували середні значення для кожного з вивчених композитних матеріалів в діапазоні частот від 17 до 27 ГГц.

Ефективність екранування оцінюється ступенем ослаблення складових електромагнітного поля, яке визначається як співвідношення діючих значень напруженості полів в даній точці простору при відсутності і наявності екрану.

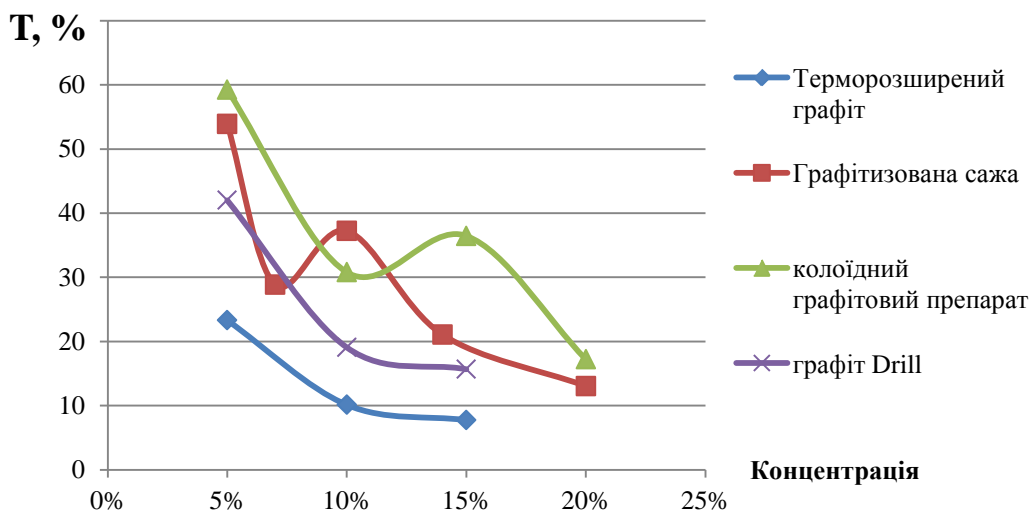


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта пропускання ЕМВ (у відсотках) зразком Т в залежності від концентрації та типу наповнювача

На рис.2 видно, що величина Т з ростом вмісту графітового наповнювача в цілому зменшується від кількості наповнювача. Цей ефект викликаний значним зростанням коефіцієнта відбиття (рис.3), який досягає величини в 40-55% при максимальному вмісті порошків в цій серії зразків. Цей ефект можна пояснити формуванням провідних шляхів в товщі зразка.

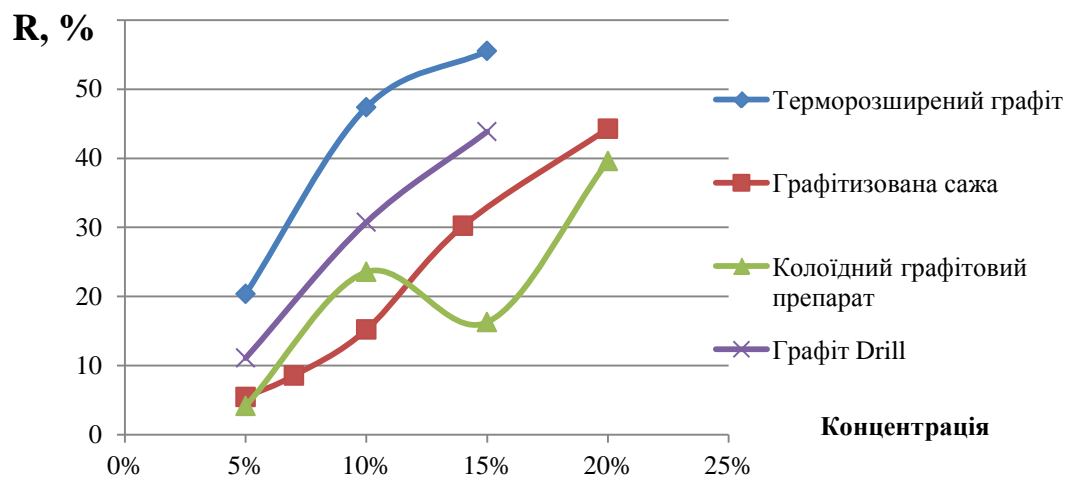


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта відбивання ЕМВ (у відсотках) зразком R в залежності від концентрації та типу наповнювача

Очевидно, що з ростом струмопровідності композиту зростає фактор відбиття електромагнітної хвилі який перешкоджає її поширенню в зовнішнє середовище тим самим зменшуючи електромагнітний фон. Однак, поверхнєве відбиття перешкоджає проникненню ЕМ-хвилі і в товщу зразка, і, як видно на рис. 4., при досягненні максимального значення поглинаючі властивості композитів починають спадати.

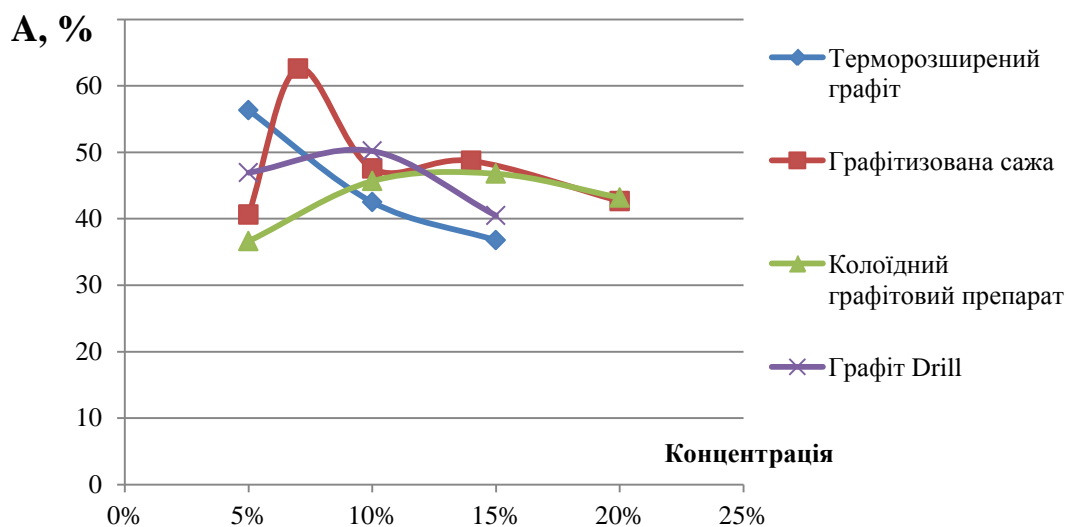


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта поглинання ЕМВ (у відсотках) зразком А в залежності від концентрації та типу наповнювача

Коефіцієнт поглинання А обчислювався за вимірним значенням R і T зі співвідношення $A = 100 - R - T$.

Варто відмітити, що при зростанні концентрації активної фази в композитах, коефіцієнт поглинання А слабо змінюється для композитів, наповнених колоїдним графітовим препаратом (КГП С-1) та дрібнодисперсним графітом марки Drill -200 (рис.4).

Висновки. В ході проведених досліджень було встановлено вплив електропровідного наповнювача та концентраційні залежності електромагнітних втрат для кожного вуглецевого наповнювача неруйнівним методом з використанням рупорних антен.

Найменший коефіцієнт пропускання електромагнітного випромінювання серед досліджених матеріалів (< 10%) продемонстрував терморозширений графіт, причому це досягається головним чином за рахунок його найбільшого коефіцієнту відбивання (> 50%). Це може бути пов'язано із дуже специфічною «розкритою пелюстковою» структурою частинок цього матеріалу, утвореною в результаті швидкого термолізу інтеркальованого графіту (дивись [6], рис. 4). Для достатньо ефективного екранування НВЧ випромінювання концентрація цього типу графіту в композиті повинна складати не менше 15%.

Встановлено, що природа вуглецевої добавки меншою мірою впливає на коефіцієнт поглинання, який для більшості досліджених вугле-графітових матеріалів залишається на рівні 50 % \pm (10-12) % в дослідженому діапазоні концентрацій 5 – 20 %. Разом з цим, графітизована сажа «PUREBLACK®» демонструє найбільший коефіцієнт поглинання ~ 62% при її вмісті в складі композита 7,5%, що також може бути пов'язано із специфічними наноструктурними особливостями цього добре електропровідного вуглецевого матеріалу з розвинутою внутрішньою поверхнею 50-65 м²/г [7].

Таким чином, отримані результати розподілу електромагнітних втрат вуглецевих полімерних композитів дають змогу прогнозувати перспективність застосування графіт-вуглецевих матеріалів у складі гнучких поглинаючих та екрануючих екранів для НВЧ-випромінювання.

Автори висловлюють **подяку** д.т.н. Савченку Б. М. за допомогу у виготовленні зразків та к.т.н. Твердохлібу В. С. за допомогу у проведенні досліджень.

Список використаної літератури

1. Москалюк О. А. Электропроводность полипропиленовых волокон с дисперсными углеродными наполнителями / О. А. Москалюк, А. Н. Алешин, Е. С. Цобкалло, А. В. Крестинин, В. Е. Юдин // Физика твердого тела. – 2012. – Т.54, – №10. – 1993–1998 с.
2. Мамуня Є. П. Перколяційні ефекти провідності в полімерних нанокompозитах з бінарним наповнювачем / Є. П. Мамуня, В. В. Левченко, G. Voiteux, Є. В. Лебедєв // Доповіді Національної академії наук України. № 2. – 2014. – С. 79-84.
3. Землянхун Ю. П. Электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов, активно взаимодействующих с электромагнитным излучением миллиметрового диапазона : дис. ... кандидата технических наук: 01.04.03 / Землянхун Юрий Петрович. – Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» ; науч. рук. Суслев В. И. – Томск. – 2014. – 118 с.
4. Lusheykin G. A. Methods for studying the electrical properties of polymers. Moscow: Publishing house Chemistry, – 1988. – P. 19-21.
5. Барсуков В. З. Гнучкі електропровідні плівки для фотоелектричних і фото електрохімічних пристроїв / В. З. Барсуков, І. В. Сенік, Б. М. Савченко, Ю. В. Шпак, Д. Р. Драган // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – № 22 (1131). – С. 6-9.

6. Белова М.Ю. Графит, ИГ и ТРГ (краткий обзор). – 2007. –17 с. Электронный ресурс: <http://www.sealur.ru/pdf/useful/reports/grafit.pdf>.
7. Barsukov I.V. Novel materials for electrochemical power sources – introduction of PUREBLACK[®] Carbons / Barsukov I. V., Gallego M. A., Doninger J. E. // J. Power Sources. – 2006. – № 2 – P. 288-299.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕ-ГРАФИТОВЫХ ДОБАВОК НА ХАРАКТЕР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА

СЕНИК И.В., БАРСУКОВ В.З., КОРОТАШ И. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. Исследовать зависимости электромагнитных потерь композитов, которые сформированы на основе поливинилхлоридной матрицы и различных угле-графитовых добавок, в диапазоне сверхвысоких частот.

Методика. Исследование электромагнитных потерь проводили с помощью волнового метода с использованием рупорных антенн.

Результаты. В результате исследований получены концентрационные зависимости удельного сопротивления и электромагнитных потерь композитов, сформированных на основе различных графитовых и углеродных материалов.

Научная новизна. Исследовано и сравнено влияние углеродных и графитовых материалов различного происхождения на коэффициенты пропускания, отражения и поглощения электромагнитного излучения (ЭМИ) в СВЧ-диапазоне.

Практическая значимость. Полученные результаты отражают возможность применения лучших композитных материалов при формировании защитных покрытий и экранов от электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне.

Ключевые слова: угле-графитовые добавки, поливинилхлоридная матрица, электромагнитные потери, удельное сопротивление, коэффициенты поглощения, отражения, пропускания, СВЧ-диапазон.

THE INFLUENCE OF DIFFERENT CARBON-GRAPHITE ADDITIVES ON TYPE OF ELECTROMAGNETIC LOSSES OF POLYMER COMPOSITES

SENYK I.V., BARSUKOV V.Z., KOROTASH I. V.

Kyiv national university of technologies and design

Purpose: To investigate the dependence of electromagnetic losses of composites, which are based on PVC matrix and various carbon-graphite additives, in microwave frequencies.

Methodology: The study of electromagnetic losses was carried out by wave-method using horn antennas.

Findings: The concentration dependence of the resistivity and the electromagnetic losses of composites, formed with various carbon and graphite materials, were obtained as the result of work.

Originality: It was investigated and compared the effect of carbon and graphite materials of different origin on transmission, reflection and absorption of electromagnetic radiation (EMR) in the microwave range.

Practical value: The results show the possibility of using the best composite materials in the formation of protective coatings and shields against from electromagnetic radiation in the microwave range.

Keywords: carbon-graphite additives, PVC matrix, electromagnetic losses, resistivity, coefficients of absorption, reflection, transmission, microwave range.