

О. Г. Левченко<sup>1</sup>, В. А. Глива<sup>1</sup>, О. М. Тихенко<sup>2</sup>, О. Ю. Арламов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РІДИННИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

**Анотація.** Досліджено захисні властивості рідинних екологічно безпечних матеріалів для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Матеріали виготовлялися на основі концентрату залізної руди, у якості матриці були використані водно-дисперсна та геополімерна фарби. Випробування захисних властивостей для електричних та магнітних складових електромагнітного поля промислової частоти показали, що коефіцієнти екранування електричного поля за концентрації екрануючої речовини 15–60 % (за вагою) – 1,1–8,6; магнітного поля – 1,2–5,3. Коефіцієнти екранування матеріалу на основі водно-дисперсної фарби нижчі за геополімерну, що можна пояснити окисленням залізовмісної компоненти і зниження електричної провідності. Коефіцієнти екранування електромагнітного поля частотою 2,45 ГГц складають 1,2–7,9.

**Ключові слова:** рідинні композиційні матеріали, електромагнітне поле, екранування, захисні властивості, коефіцієнт екранування, концентрат залізної руди.

### Вступ

Використання електромагнітної енергії в різноманітних галузях діяльності людини призвело до того, що антропогенні електромагнітні випромінювання у десятки тисяч разів перевищують природний електромагнітний фон. В останні роки спостерігається стає підвищення електромагнітного навантаження на виробниче середовище і довкілля в цілому. Загальновідомо, що несприятливі фізичні фактори, зокрема електромагнітне випромінювання, прямо або опосередковано можуть завдати шкоди здоров'ю людини. Всесвітня організація охорони здоров'я вимагає максимального зниження рівнів електромагнітних полів за принципом ALAR (as low as reasonably – настільки низький, наскільки це розумно досяжно), який раніше стосувався тільки іонізуючих випромінювань. Застосування цього принципу передбачає встановлення розумного рівня небезпеки настільки низьким, наскільки це може бути досягнуто практично з урахуванням соціальних чинників.

На сьогоднішній день, в умовах розширення частотного спектра електромагнітних полів та збільшення їх амплітуд, найбільш дієвим засобом їх зниження є екранування захисними матеріалами, перспективними для цього є композиційні захисні матеріали, розробленню та дослідженню захисних властивостей яких приділяється багато уваги. Але існуючі технології їх вироблення складні, компоненти мають високу вартість, що призводить до великої вартості кінцевого продукту й унеможливає його застосування для облицювання поверхонь великих площ. Крім того, композиційні екрануючі матеріали для захисту людей від впливу електромагнітного випромінювання повинні бути екологічно безпечними. Для вирішення задач екранування окремих приміщень, частин будівель, доцільно дослідити можливість вироблення і застосування екрануючих матеріалів на рідинних носіях. Такі матеріали є більш практичними під час нанесення на поверхні будь-якої форми

з мінімальною кількістю відходів і регулюванням товщини захисного шару.

Тому доцільно дослідити можливості застосування екологічно безпечних рідинних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для екранування електромагнітних полів в приміщеннях доцільно застосовувати рідинні захисні матеріали, які можна наносити на поверхні будь-якої форми з потрібною товщиною. Саме такий підхід використаний у роботі [1], де наведено результати досліджень композиційних матеріалів типу шпатлівки з вмістом вольфраму (70 %), нікелю (18,6 %) та вуглецю (11,4 %). Але такий матеріал призначений для захисту від іонізуючих випромінювань і розроблений для заміщення свинцю. У дослідженні [2] запропоновано матеріал на основі карбону та аерогелю. Однак, за прийнятних захисних властивостей механічні властивості покриттів незадовільні. Розробка [3] і наведені коефіцієнти екранування свідчать про можливість виготовлення захисних шпатлівок та штукатурок введенням у них магнітного та діелектричного наповнювача. Але їх товщини – до 10 мм, а покриття двохшарове. Це ускладнює практичне застосування і підвищує вартість робіт. Грунтовні дослідження [4, 5] показали, що застосування дрібнодисперсного графіту та графітислової сажі у якості наповнювача полімерної матриці забезпечує високі коефіцієнти екранування у широких смугах частот. Але ці наповнювачі (особливо графітислова сажа) виробляється у малих обсягах і дорогавартісна. Полімерна матриця не завжди забезпечує зручність облицювання поверхонь складної конфігурації. У роботі [6] наведені результати досліджень реологічних та адсорбційних властивостей водно-дисперсних та синтетичних фарб на основі геополімерів.

Все це надає підстави припустити, що такі фарби можливо використовувати у якості основи металовмісних композицій для екранування електромагнітних полів. Доцільним також є проведення дослід-

жень щодо їх коефіцієнтів екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів найбільш поширених частот.

Проведений аналіз дозволяє дійти висновку, що більшість композиційних матеріалів проектується для вузького призначення. За функціональними можливостями та вартістю вони не пристосовані для облицювання поверхонь великих площ та складних конфігурацій. Фактологічний матеріал щодо захисних властивостей рідинних матеріалів на стандартних лакофарбових носіях відсутній.

Відомі аналітичні співвідношення щодо визначення магнітних та електрофізичних сумішей не адаптовані до прогнозування магнітних, електрофізичних властивостей рідинних композиційних матеріалів.

Вирішення наведених задач дозволить сформулювати загальні засади проектування ширококутових екологічно безпечних електромагнітних екранів на рідинному носії.

**Постановка завдання. Мета роботи** – дослідження умов застосування та ефективності екологічно безпечних рідинних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів.

### Виклад основного матеріалу

Для зручності нанесення захисного матеріалу на поверхні у якості матриці було обрано готові фарби двох типів. Перша – акрилова водно-дисперсійна фарба VD-AK-22W (Білорусь) ( $\rho=1,03 \text{ г/см}^3$ ), друга – геополімерна фарба МК 3/18-9.20 (Україна) ( $\rho=1,15 \text{ г/см}^3$ ).

Водно-дисперсійні матеріали не мають у своєму складі органічних розчинників, тому вони вважаються екологічними та нешкідливими для здоров'я. Акрилові водно-дисперсійні фарби стійкі до вологи, температурних перепадів, впливу ультрафіолетового випромінювання. До того ж, таке покриття пропускає повітря, але при тому є досить еластичним і немарким. У разі необхідності стіни, пофарбовані подібним складом, можна без проблем відмити. Акрилова фарба не стирається і не розтріскується, а її лугостійкість має важливе значення при обробці бетонних стін.

Геополімери гарантують екологічну безпеку, оскільки створюються на базі компонентів геологічного походження, та не містять синтетичних домішок. Інноваційні технології виробництва геополімерних матеріалів забезпечують їх ексклюзивні властивості: безпеку для здоров'я людини, надвисоку міцність, стійкість до впливу агресивного середовища, зміни температур.

У якості екрануючого наповнювача використовувався дрібнодисперсний концентрат залізної руди, отриманий методом флотації на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті (вміст Fe – 68–72 %,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – 20–22 %,  $\rho=6,24 \text{ г/см}^3$ ).

Відомо [7], що ефективність екранування залежить від дисперсності наповнювача. Дисперсність визначалася експериментально седиментаційним методом. Середній розмір частинок залізородного концентрату після подрібнення складав 22–23 мкм.

Екрануючі суміші виготовлялися перемішуванням фарби з потрібною кількістю наповнювача у лабораторному дисольвері. Було виготовлено два типи екрануючого захисного матеріалу:

– водно-дисперсійна фарба з додаванням залізородного концентрату у вагових кількостях 15, 30, 45, 60 % (матеріал № 1);

– геополімерна фарба з додаванням залізородного концентрату у вагових кількостях 15, 30, 45, 60 % (матеріал № 2);

Усі отримані матеріали наносилися на поверхні. Після висихання товщина захисного шару складала 0,22–0,25.

Властивості захисних матеріалів значно залежать не тільки від хімічного складу та фізичного стану матеріалів, а й амплітуди і частоти поля, що екранується.

Вимірювання напруженості електричної та магнітної складових електромагнітного поля промислової частоти здійснювалося каліброваним вимірювачем. ВЕ-метр модифікації «АТ-004» та «50 Hz» з блоком управління «НТМ-термінал» (Російська Федерація) згідно інструкції з експлуатації.

Для визначення коефіцієнтів екранування електромагнітних полів ультрависоких частот використовувався калібрований вимірювач щільності потоку енергії ПЗ-31 (Російська Федерація) згідно інструкції з експлуатації.

Результати вимірювання коефіцієнтів екранування електричного поля промислової частоти напруженістю 178–180 В/м рідинними екологічно безпечними матеріалами представлені на рис. 1. Результати вимірювання коефіцієнтів екранування магнітного поля промислової частоти індукцією 280–285 мкТ наведено на рис. 2.

Результати вимірювань коефіцієнтів екранування електромагнітного поля частотою 2,45 ГГц щільністю потоку енергії 178–182 мкВт/см<sup>2</sup> наведено на рис. 3.

Для високочастотних випромінювань важливим є внесок захисту за рахунок відбиття електромагнітних хвиль у загальний коефіцієнт екранування Коефіцієнти відбиття наведено на рис. 4.

Функції залежності коефіцієнта екранування від вмісту екрануючого матеріалу у процесі проектування захисного матеріалу надають можливість однозначно визначити вміст екрануючого наповнювача у діелектричній матриці для отримання необхідного коефіцієнта екранування як низькочастотного, так і високочастотного електромагнітного поля.

Наведені результати свідчать, що розроблені матеріали придатні для захисту людей від електромагнітних впливів як у виробничих, так і побутових умовах, принаймні за вмісту екрануючої субстанції більше 45 % (за вагою). Вміст наповнювачів за об'ємом є набагато меншим через значні відмінності густин металовмісного наповнювача й використаних фарб.

Тому наповнювач суттєво не впливає на зчеплення фарби з поверхнею, що є важливим для практичного застосування отриманих захисних матеріалів.

Аналіз результатів вимірювань, наведених на рис. 1–3, свідчить, що загальні коефіцієнти екранування за вмістом наповнювача 45 % і 60 % (за вагою) цілком прийнятні для практичного застосування розроблених сумішей.

Деяко нижчі коефіцієнти екранування матеріалу на основі водно-дисперсної фарби можна пояснити частковим окисленням наповнювача у присутності води. Цей ефект не проявляється за таких же концентрацій залізорудного концентрату у геополімерній фарбі.

Проведене дослідження має певні обмеження. Вимірювання загальних коефіцієнтів екранування та коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль виконано для типових частот і обмежених концентрацій екрануючої субстанції у діелектричній матриці.

За наявності даних про електромагнітну обстановку у конкретних умовах і необхідних ступенях екранування (порівняння з гранично допустимими значеннями) можливе попереднє розрахункове оцінювання складу екрануючої суміші для виготовлення захисного екрана.

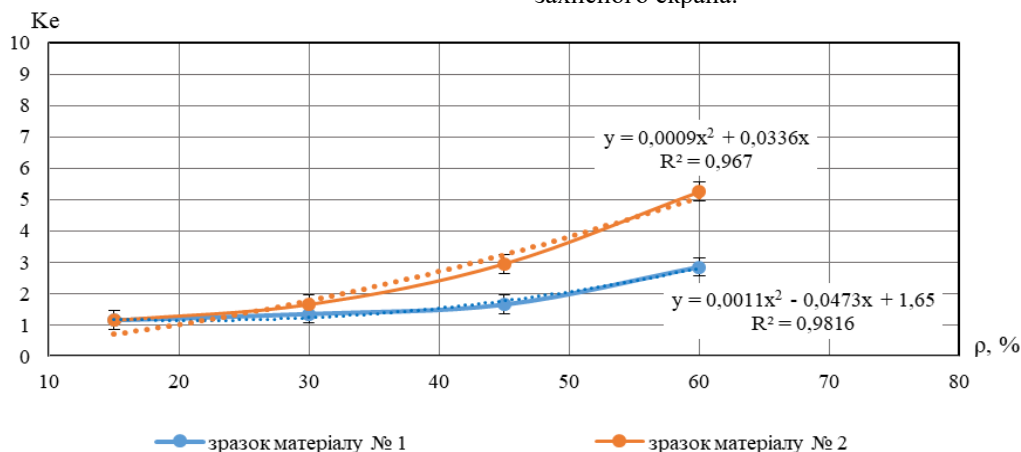


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів екранування  $K_e$  електричного поля промислової частоти від вмісту екрануючої субстанції

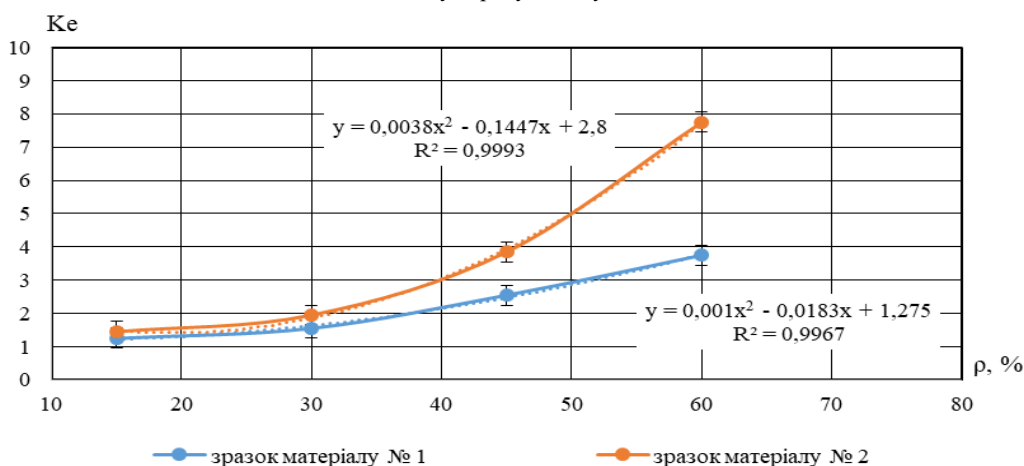


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів екранування  $K_e$  магнітного поля промислової частоти від вмісту екрануючої субстанції

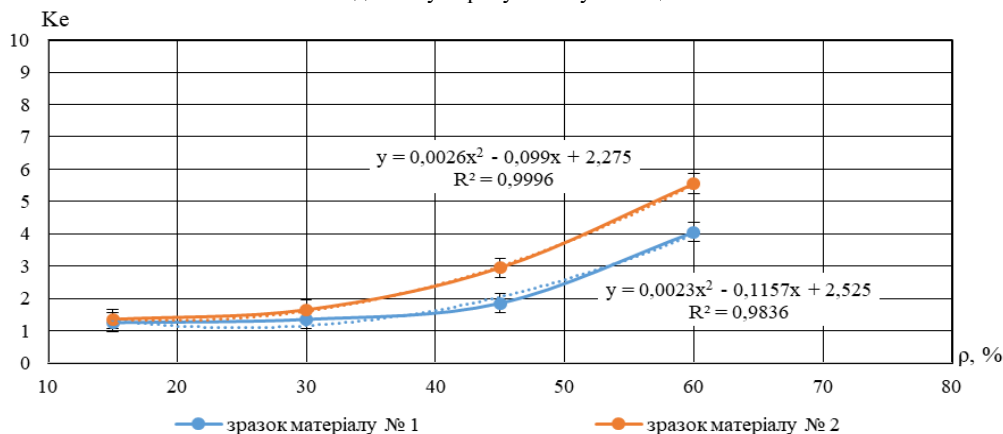


Рис. 3. Залежність коефіцієнтів екранування  $K_e$  електромагнітного поля ультрависокої частоти від вмісту екрануючої субстанції

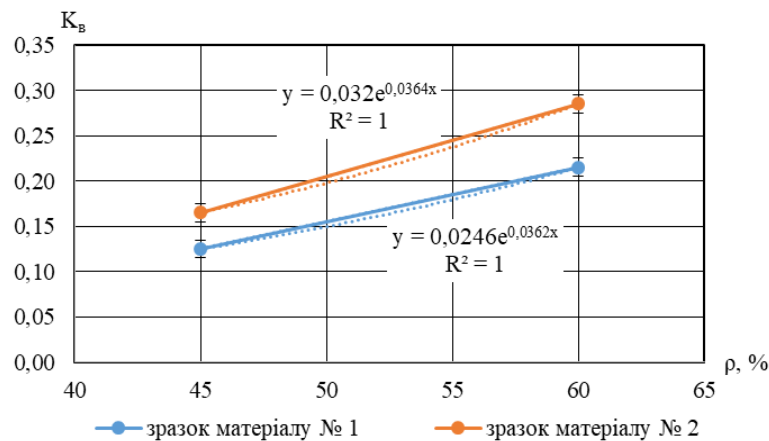


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів відбиття  $K_B$  електромагнітного поля ультрависокої частоти від вмісту екрануючої субстанції

## Висновки

1. Для виготовлення екологічно безпечних рідинних композиційних для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів найбільш поширених частот доцільне використання серійних фарб з додаванням у якості екрануючої субстанції концентрату залізної руди.

2. Вміст екрануючої субстанції до 60 % (за ва-

гою) для використаних наповнювачів відповідає вмісту за об'ємом до 28 % і суттєво не впливає на адгезію суміші до поверхонь, на які нанесені композиційні матеріали.

3. Загальні коефіцієнти екранування електромагнітного поля промислової частоти шарів суміші завтовшки 0,22–0,25 mm за вмісту екрануючої субстанції 15–60 % (за вагою) для водно-дисперсної фарби складають 1,1–2,9; для геополімерної фарби – 1,1–5,3.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tahmasebi Birgani M. J., Zabihzadeh M., Aliakbari S., Behrouz M. A., Hosseini S. M. Evaluation of Putty Metal for Internal Shielding for Patient Protection in Electron Therapy by Monte Carlo Study, Jundishapur J Nat Pharm Prod. Online ahead of Print; 14(2):e12589. DOI: <https://dx.doi.org/10.5812/jjnpp.12589>
2. Liying Zhang, Shuguang Bi and Ming Liu (December 2nd 2018). Lightweight Electromagnetic Interference Shielding Materials and Their Mechanisms, Electromagnetic Materials and Devices, Man-Gui Han, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82270
3. Беляев А. А., Беспалова Е. Е., Лепешкин В. В. Радиопоглощающие материалы на основе отделочных строительных материалов для защиты от СВЧ излучения базовых станций сотовой связи. *Труды ВИАМ*. 2015. № 6. С. 80–88.
4. Barsukov V., Senyk I., Kryukova O., Butenko O. Composite Carbon-Polymer Materials for Electromagnetic Radiation Shielding. *Materials Today: Proceedings*, 2018, V. 5, No 8, Part 1, pp. 15909–15914. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.063>
5. Senyk, I., Kuryptia, Y., Barsukov, V., Butenko, O., Khomenko, V. Development and application of thin wide-band screening composite materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 2020, 21(4), pp. 771–778.
6. Guzii S., Kryvenko P., Guzii O., and Yushkevich S. Determining the effect of the composition of an aluminosilicate binder on the rheotechnological properties of adhesives for wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 6/6 (102) PP. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185728>
7. Glyva V., Podkopaev S., L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, Iss. 1/5 (91). PP. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123622>

Received (Надійшла) 22.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.04.2022

## Features of application of environmentally safe of liquid compositional materials for screening electromagnetic fields

Oleg Levchenko, Valentyn Glyva, Oksana Tykhenko, Oleksandr Arlamov

**Abstract.** The protective properties of liquid environmentally friendly materials for shielding electric, magnetic and electromagnetic fields of a wide frequency range have been studied. Materials were made on the basis of iron ore concentrate, water-dispersed and geopolymer paints were used as a matrix. Tests of protective properties for electric and magnetic components of the electromagnetic field of industrial frequency have shown that the coefficients of shielding of the electric field at the concentration of the shielding substance 15–60% (by weight) - 1,1–8,6; magnetic field - 1.2–5.3. The shielding coefficients of the material based on water-dispersed paint are lower than the geopolymer, which can be explained by the oxidation of the iron-containing component and the decrease in electrical conductivity. The shielding coefficients of the electromagnetic field with a frequency of 2.45 GHz are 1.2–7.9.

**Keywords:** liquid composite materials, electromagnetic field, shielding, protective properties, shielding coefficient, iron ore concentrate.