

О.М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ РІДКИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Досліджено захисні та реологічні властивості композиційних матеріалів на основі водно-дисперсної фарби й залізородного концентрату. Обґрунтовано особливості застосування рідких сумішей для екранування магнітного поля промислової частоти та електромагнітного поля ультрависокої частоти. З'ясовано, що при концентрації наповнювача близько 30 %, як реологічні характеристики суміші, так і коефіцієнти екранування електромагнітних полів незадовільні. Різке підвищення коефіцієнтів екранування відбувається при концентрації наповнювача 40 %. При цьому суміш має прийнятні адгезивні властивості. Встановлено, що можливим шляхом підвищення коефіцієнтів екранування є підвищення дисперсності наповнювача, що сприятиме стабільності колоїдної суміші й покращенню реологічних властивостей.

**Ключові слова:** коефіцієнт екранування, залізородний концентрат, рідкі композиції.

### Постановка проблеми

Пріоритетним напрямом досліджень і розробок у галузі екранування електромагнітних полів та випромінювань широкого частотного діапазону є створення матеріалів, придатних для облицювання поверхонь великих площ та складних конфігурацій. При цьому, з огляду на великі витрати матеріалів, важливим фактором їх широкого застосування є вартість продукції. Значною мірою витрати матеріалів обумовлені необхідними ступенями зниження рівнів електромагнітних полів. Тобто, однією з вимог до сучасних екрануючих матеріалів є можливість регулювання захисних властивостей за рахунок складу матеріалу, товщини, кількості шарів тощо. Найбільш прийнятними субстанціями є рідкі екрануючі суміші, які задовольняють зазначеним умовам. Але при цьому виникає низка проблем. Для ефективного екранування у рідку матрицю (лако-фарбовий виріб) додається провідна екрануюча субстанція – дрібнодисперсний метал або металовмісні частинки, графіт, графітизована сажа тощо. Ці добавки за певних концентрацій можуть погіршувати властивості носія – адгезії з поверхнею, тріщиноутворення, деградацію під впливом фізичних факторів тощо. Тому потребує дослідження вплив концентрації екрануючих речовин як на ефективність захисту людей, так і на фізико-хімічні властивості кінцевого матеріалу з метою їх оптимізації на прийнятному рівні.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробленню рідких матеріалів для екранування електромагнітних полів приділяється багато уваги. Більша частина досліджень й прикладних розробок

стосується захисту від електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот [1, 2]. За достатньої ефективності, вони не прийнятні для екранування магнітних полів наднизької (промислової) частоти і низькотехнологічні для застосування у реальних умовах експлуатації. Більш прийнятними є матеріали на основі полімерів та вуглецевих наповнювачів [3, 4]. Їх перевагою є екранування електромагнітних полів широких смуг. Але застосування графітних волокон та графітизованої сажі робить ці матеріали досить дорогими, що обмежує їх застосування. Зниження вартості матеріалів можливе за рахунок застосування серійних носіїв (фарба). Дослідження [5, 6] свідчать про можливість використання водно-дисперсних та геополімерних фарб у якості матриці екрануючої суміші. Але потребує досліджень вплив екрануючої субстанції на адгезивні, когезійні та інші властивості носія. У роботі [7] показано ефективність застосування концентрату залізної руди у полімерній матриці для екранування магнітного поля промислової частоти та її гармонік і електромагнітних полів ультрависоких частот, що надає можливість використати цей матеріал для виготовлення рідкої композиції на основі фарби. Це надасть можливість певним чином оптимізувати склад і ефективність рідкого матеріалу для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

### Постановка завдання

Мета роботи – дослідити вплив концентрації екрануючої субстанції у рідкій матриці на коефіцієнти екранування електромагнітних полів та фізико-механічні властивості композиції, що

дозволить оптимізувати споживацькі якості кінцевого продукту.

### Викладення основного матеріалу

У якості матриці обрано екологічно безпечну водно-дисперсну фарбу. Наповнювачем, який екранує електромагнітне поле є концентрат залізної руди. Густина фарби – 1,03 г/см<sup>3</sup> (концентрація сухої

речовини – 32,5 %). Густина залізорудного концентрату (нашипна) – 1,88 г/см<sup>3</sup>.

У попередній роботі [8] показано, що ефективність композиційного матеріалу (загальний коефіцієнт екранування та коефіцієнт відбиття електромагнітних хвиль) залежить від дисперсності екрануючого наповнювача. Тому було виконано гранулометричний аналіз залізорудного концентрату (рис. 1).

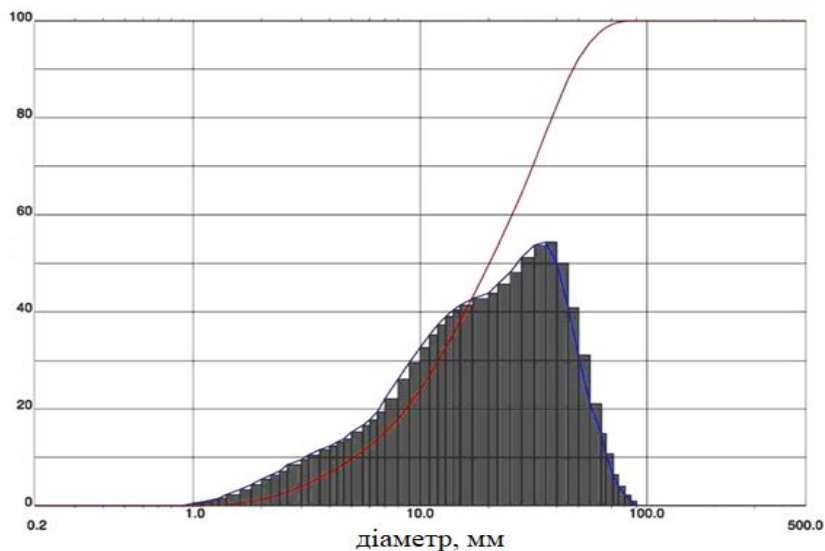


Рис. 1. Гранулометричний аналіз залізорудного концентрату

Аналіз свідчить, що переважний розмір залізовмісних частинок складає 23–24 мкм, що є цілком прийнятно для їх рівномірного розподілу у тілі матриці й дозволяє розглядати частинки як точкові об’єкти. Останнє є важливим за потреби розрахункового оцінювання електрофізичних властивостей кінцевого матеріалу (формула Оделевського, формула Максвелла Гарнетта).

Було виготовлено серію сумішей з різним вмістом (за вагою) залізорудного концентрату (до 60 %).

Випробування захисних властивостей здійснювалося з використанням каліброваних приладів ВЕ-

метр АТ-004 з функцією вимірювання напруженостей електричного та магнітного поля промислової частоти. Коефіцієнти екранування електромагнітного поля ультрависокої частоти (2,45 ГГц) вимірювалися за допомогою каліброваного приладу ПЗ-31. Застосовувалися методики вимірювання описані у [8]. Реологічні властивості захисних сумішей визначалися за методиками описаними у [5, 6].

На першому етапі досліджувалися зміни фізичних характеристик композицій у залежності від вагового вмісту наповнювача. На рис. 2, 3 наведено зміну густини та поверхневого натягу сумішей.

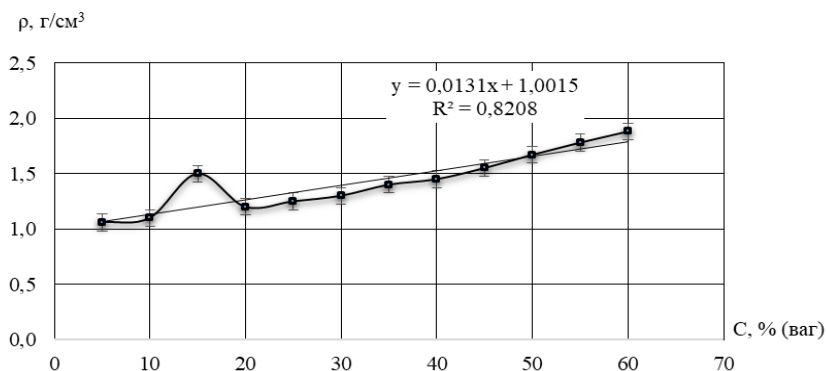


Рис. 2. Залежність густини композицій від вагового вмісту залізорудного концентрату

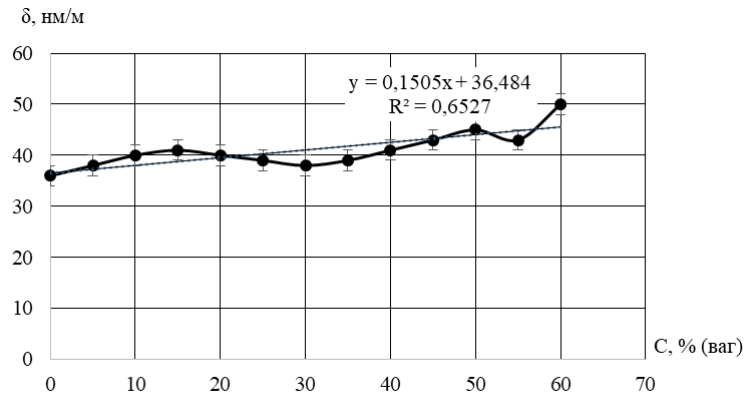


Рис. 3. Залежність поверхневого натягу композиції від вагового вмісту залізорудного концентрату

Дані рис. 2 передбачувані і логічні, з огляду на співвідношення густин компонентів сумішей.

Але результати, наведені на рис. 3, свідчать, що за вмісту наповнювача біля 30 % відбувається зниження поверхневого натягу, що свідчить про певну неоднорідність або нестабільність суміші, що може впливати на стабільність покриття у процесі нанесення та експлуатації.

Було досліджено співвідношення работ сил адгезії, когезії та сил змочування сумішей за різних концентрацій наповнювача (табл. 1).

Таблиця 1

Відношення работ сил адгезії та когезії ( $\frac{W_k}{W_w}$ ) і сил адгезії ( $\frac{W_a}{W_w}$ ) та змочування за різних концентрацій залізорудного пилю (поверхня – гіпсокартон)

C, % (ваг.)	0	15	30	45	60
$\frac{W_k}{W_a}$	1,41	1,40	1,55	1,51	1,96
$\frac{W_a}{W_w}$	3,40	3,34	4,49	4,12	5,12

Наведені дані свідчать, що за визначеними показниками суміш із вмістом наповнювача 30 % поводить себе дещо аномально. Можна припустити, що за наближення до цієї концентрації колоїдний розчин стає нестабільним. Про це також свідчить той факт, що з концентрації приблизно 40 % суміш більше схожа на шпаклівку та наноситься на поверхню в інший спосіб.

Виготовлено екрануючий захисний матеріал: водно-дисперсійна фарба з додаванням залізорудного концентрату у вагових кількостях 15, 30, 45, 60 %. Було виміряно коефіцієнти екранування електромагнітного поля промислової частоти й ультрависокої частоти з різним вмістом наповнювача. Враховуючи простоту екранування електричної складової низькочастотного електромагнітного поля, вимірювалися коефіцієнти екранування магнітної складової електромагнітного поля промислової частоти (рис. 4).

Зміну коефіцієнта екранування електромагнітного поля частотою 2,45 ГГц наведено на рис. 5.

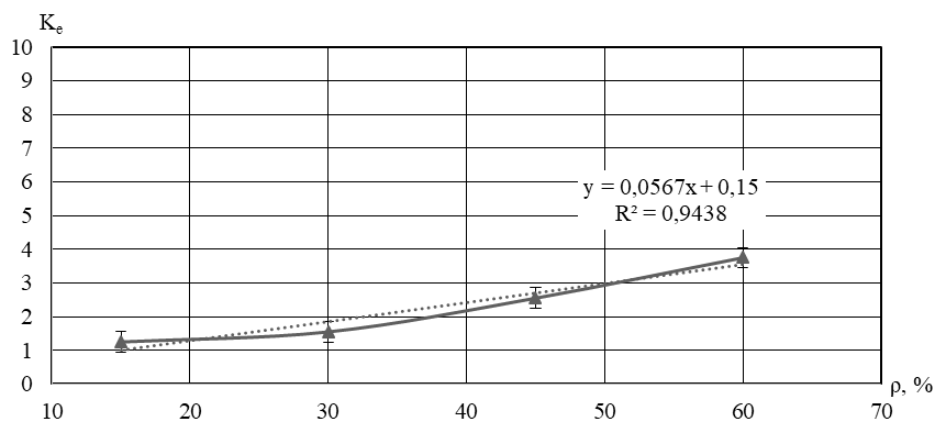


Рис. 4. Залежність коефіцієнтів екранування  $K_e$  магнітного поля промислової частоти від вмісту екрануючої субстанції

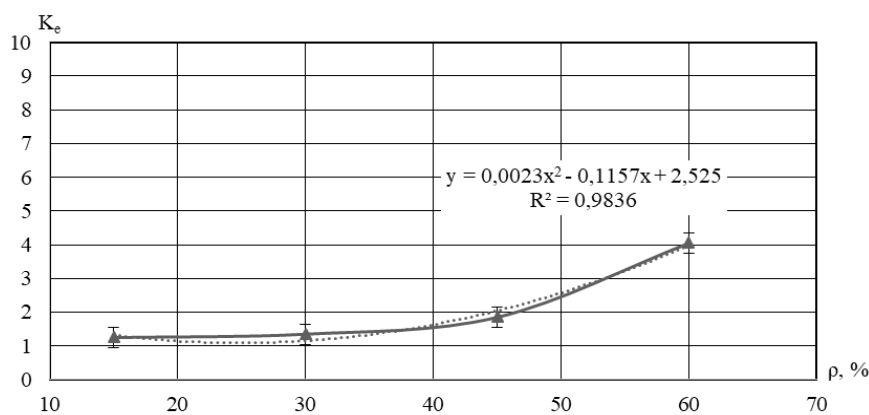


Рис. 5. Залежність коефіцієнтів екранування  $K_e$  електромагнітного поля ультрависокої частоти від вмісту екрануючої субстанції

Аналіз отриманих результатів свідчить, що різке підвищення коефіцієнтів екранування відбувається за концентрацій екрануючої субстанції більшої за 40 %. Враховуючи дані, наведені на рис. 2 та у таблиці 1, можна дійти висновку, що суміші досліджених складів ефективні для вирішення задач електромагнітного екранування й мають прийнятні фізичні характеристики за концентрацій металовмісного порошку більших за 40 %. Враховуючи залежність захисних властивостей від дисперсності наповнювача, перспективним шляхом підвищення коефіцієнтів екранування є підвищення дисперсності наповнювача, що позитивно вплине й на реологічні характеристики колоїдної композиції.

### Висновки

1. Дослідження захисних характеристик й реологічних властивостей композиційних матеріалів на основі водно-дисперсної фарби й залізорудного концентрату свідчить про можливість їх застосування для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

2. Встановлено, що композиційні суміші з вмістом екрануючої субстанції приблизно 30 % мають найгірші реологічні властивості, що ускладнює їх практичне застосування.

3. Різке підвищення коефіцієнтів екранування як магнітного поля промислової частоти, так і електромагнітного поля ультрависокої частоти відбувається за вмісту залізорудного концентрату більше 40 % (за вагою). При цьому фізичні характеристики сумішей мають прийнятні адгезивні властивості.

### Література

1. 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.

2. Yadav R.S., Kuritka I., Vilcakova J., Machovsky M., Skoda D., Urbanek P., Masar G., Kalina L., Havlica J. Polypropylene Nanocomposite Filled with Spinel Ferrite  $NiFe_2O_4$  Nanoparticles and In-Situ Thermally-Reduced Graphene Oxide for Electromagnetic Interference Shielding Application. *Nanomaterials* 2019, Vol. 9, P. 621. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9040621>

3. 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.

4. Barsukov V., Senyk I., Kryukova O., Butenko O. Composite Carbon-Polymer Materials for Electro-magnetic 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. Guzii S., Kryvenko P., Guzii O., Yushkevych 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. 30–37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185728>

6. Guzii S., Krivenko P., Bondarenko O., Kopylova T. Study on physico-mechanical properties of the modified alkaline aluminosilicate adhesive-bonded timber elements. *J. SSP*. 2019. Vol. 296. PP. 112–117. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.296.112>

7. Glyva V., Kasatkina N., Nazarenko V., Burdeina N., Karaieva N., Levchenko L., Panova O., Tykhenko O., Khalmuradov B., Khodakovskyy O. Development and research of protective properties of composite materials for screening electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2/12 (104). PP. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330>

8. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B. 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>

## References

1. Beliaev, A.A., Bespalova, E.E. & Lepeshkyn, V.V. (2015). Radyopohloshchayushchye materyaly na osnove otdelochnykh stroytelnykh materyalov dlia zashchyty ot SVCh yzlucheniya bazovkh stantsiyi sotovoi sviaty. Trudy VYAM, 6, 80–88.
2. Yadav, R.S., Kuritka, I., Vilcakova, J., Machovsky, M., Skoda, D., Urbanek, P., Masar, G., Kalina, L. & Havlica, J. (2019). Polypropylene Nanocomposite Filled with Spinel Ferrite NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles and In-Situ Thermally-Reduced Graphene Oxide for Electromagnetic Interference Shielding Application. Nanomaterials, 9, 621. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9040621>
3. Senyk, I., Kuryptia, Y., Barsukov, V., Butenko, O. & Khomenko, V. (2020). Development and application of thin wide-band screening composite materials. *Physics and Chemistry of Solid State*, 21(4), 771–778.
4. Barsukov, V., Senyk, I., Kryukova, O. & Butenko, O. (2018). Composite Carbon-Polymer Materials for Electromagnetic Radiation Shielding. *Materials Today: Proceedings*, 5, 8, 15909–15914. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.063>
5. Guzii, S., Kryvenko, P., Guzii, O. & Yushkevych S. (2019). Determining the effect of the composition of an aluminosilicate binder on the rheotechnological properties of adhesives for wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/6(102), 30–37. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185728>
6. Guzii, S., Krivenko, P., Bondarenko, O. & Kopylova, T. (2019). Study on physico-mechanical properties of the modified alkaline aluminosilicate adhesive-bonded timber elements. *J. SSP*, 296, 112–117. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.296.112>
7. Glyva, V., Kasatkina, N., Nazarenko, V., Burdeina, N., Karaieva, N., Levchenko, L., Panova, O., Tykhenko, O., Khalmuradov, B., & Khodakovskyy, O. (2020). Development and study of protective properties of the composite materials for shielding the electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/12 (104), 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330>
8. Glyva, V., Podkopaev, S., Levchenko, L., Karaieva, N., Nikolaiev, K., Tykhenko, O., Khodakovskyy, O., & Khalmuradov, B. (2018). Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(5 (91), 10–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123622>

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Глива, Національний авіаційний університет, Україна.

**Автор:** ТИХЕНКО Оксана Миколаївна  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології  
Національний авіаційний університет  
E-mail – [okstih@ua.fm](mailto:okstih@ua.fm)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6459-6497>

## SUBSTANTIATION OF APPLICATION FEATURES OF LIQUID MIXTURES FOR SCREENING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

O. Tykhenko

National Aviation University, Ukraine

*The protective and rheological properties of composite materials based on water-dispersed paint and iron ore concentrate were studied. Features of liquid mixtures application for shielding of magnetic field of industrial frequency and electromagnetic field of ultrahigh frequency were substantiated. The study of the protective characteristics and rheological properties of composite materials based on water-dispersed paint and iron ore concentrate indicates the possibility of their use for shielding electromagnetic fields of a wide frequency range. It was found that the efficiency of the composite material (total shielding coefficient and reflection coefficient of electromagnetic waves) depends on the dispersion of the shielding filler, so the particle size analysis of iron ore concentrate was performed. The analysis shows that the predominant size of iron-containing particles is 23–24 μm, which is quite acceptable for their uniform distribution in the body of the matrix. Shielding protective material was made of water-dispersion paint with the addition of iron ore concentrate in weight quantities of 15, 30, 45, 60%. The shielding coefficients of the electromagnetic field of industrial frequency and ultrahigh frequency with different filler content were measured. It was found that if the concentration of filler exceeds 30%, both the rheological characteristics of the mixture and the shielding coefficients of electromagnetic fields are unsatisfactory. A dramatic increase in shielding coefficients occurs at a filler concentration of 40%. This mixture has acceptable adhesive properties. It was established that the shielding coefficients could be enhanced if the dispersion of the filler is increased, which will contribute to the stability of the colloidal mixture and improve the rheological properties.*

**Keywords:** *shielding coefficient, iron ore concentrate, liquid compositions.*