

**В. В. Козловський**, д-р. техн. наук, проф.  
Національний авіаційний університет  
orcid.org/0000-0002-8301-5501  
e-mail: vvkzeos@gmail.com

**В. А. Глива**, д-р. техн. наук, проф.  
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»  
orcid.org/0000-0003-1257-3351  
e-mail: glyva.valentin@gmail.com

**О. В. Ходаковський**, канд. техн. наук, доц.  
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»  
orcid.org/0000-0002-3930-0030  
e-mail: dzgeron@gmail.com

## ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЛЮДЕЙ

### Вступ

Розвиток технологій розроблення, виробництва та експлуатації електричного та електронного обладнання дозволяє підвищити його продуктивність, знизити енергоспоживання тощо. Поряд з цим, використання сучасного обладнання має наслідком зміни електромагнітної обстановки у виробничому середовищі та довкіллі. Це обумовлене розширенням частотного спектра електромагнітних полів комплексу технічних засобів, зростанням амплітуд електричних та магнітних складових гармонік електромагнітного поля промислової частоти. Наведене потребує розроблення та впровадження сучасних заходів і засобів захисту людей у виробничих та побутових умовах від впливу електромагнітних полів. Це відповідає Стратегії сталого розвитку «Україна 2020» і є однією з цілей реалізації Стратегії.

Екранування електромагнітних полів є актуальною проблемою захисту здоров'я, інформаційної безпеки, електромагнітної сумісності та електромагнітної екології житлових приміщень, захисту приміщень для серверів та іншого електронного обладнання.

Швидкий розвиток мобільного зв'язку, Інтернету, збільшення кількості електричних мереж значно збільшує забруднення навколишнього середовища. Електротранспорт, побутові електроприлади, комп'ютерні мережі також дають суттєвий внесок щодо забруднення навколишнього середовища. Наведені електромагнітні поля все частіше викликають помилки в роботі ІТ-обладнання, впливають на якість зв'язку.

Одночасно з цим існує реальна можливість за допомогою спеціальних засобів, які використовують побічні електромагнітні випромінювання електронних приладів, знімати конфіденційну інформацію з серверів, втручатися у роботу інформаційних систем, прослуховувати переговори або знищувати дані на електронних носіях умисно, а також з необережності.

Традиційні матеріали для екранування електромагнітних полів, рекомендовані національними нормативними актами, у таких умовах недостатньо ефективні та універсальні.

Найбільш перспективними захисними матеріалами є композитні металополімерні матеріали, що підтверджено низкою вітчизняних та закордонних досліджень. Але більшість розробок виконано на модельних матеріалах, непридатних для практичного використання. Тому актуальними є задачі розроблення технологій виготовлення та дослідження захисних властивостей композитних матеріалів малої вартості, придатних для облицювання поверхонь великих площ з прийнятними коефіцієнтами екранування.

### Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Розробленню сучасних матеріалів для екранування електромагнітних полів та виготовленню екранів різних конструкцій присвячено багато досліджень та прикладних розробок. Це пояснюється недостатньою ефективністю екрануючих поверхонь, які традиційно використовуються, зокрема великими коефіцієнтами відбиття електромагнітних хвиль ультрависоких та вищих час-

тот, що дедалі більше використовуються для засобів бездротового зв'язку.

Праця [1] присвячена розробленню та дослідженню властивостей електромагнітних екранів на основі феромагнетиків, але більшість їх коефіцієнтів екранування забезпечується за рахунок відбиття електромагнітних хвиль, що може погіршувати електромагнітну обстановку поза зоною, яку вони захищають. При цьому їх власне намагнічування може підвищувати рівні магнітних полів наднизької частоти. Дослідження [2] стосується захисту від потужного електромагнітного випромінювання радіолокаторів і має спеціальне призначення.

Розробки вузького застосування досить поширені. Так, праця [3] присвячена розробленню та дослідженню захисних властивостей матеріалів для зниження рівнів електромагнітних полів засобів обчислювальної техніки. А дослідження [4] — для захисту від впливу випромінювань телефонів мобільного зв'язку.

Значна кількість досліджень і розробок присвячена металополімерним захисним матеріалам на основі дрібнодисперсних металевих частинок. Але такі матеріали мають велику вартість через складність технологій отримання металевих частинок нанорозмірів, які потім ще вміщуються у полімерну матрицю [5].

У праці [6] наведено технологію отримання наночастинок безпосереднім синтезом під час полімеризації, але вироблення таким способом захисного матеріалу великої площі практично неможливе.

Багато досліджень стосуються захисних матеріалів для екранування електромагнітного поля широкого діапазону. Але вони або метастабільні через вміст вологи [7], або дуже громіздкі [8], що ускладнює їх практичне використання.

Зниження вартості матеріалу і спрощення технології виготовлення може бути досягнуто за рахунок використання виробничих відходів у якості екрануючого наповнювача. У праці [8] наведено результати розроблення, вироблення та випробувань захисних властивостей електромагнітних екранів на основі відходів виробництва чавуну.

Розміри частинок, які забезпечують екранування прийнятні — 5–30 мкм, але їх вміст у відходах малий ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — до 11.5%,  $\text{FeO}$  — до 4,5 %), тому для забезпечення прийнятних коефіцієнтів екранування — до 10 дБ використовується конструкція клиноподібної форми, що збільшує товщину екрана і робить його непридатним для облицювання поверхонь приміщень будь-якого призначення. При цьому коефіцієнти відбиття складають до 3 дБ, що для діапазонів

ультрависоких і вищих частот, для яких розроблялися екрани, не відповідає сучасним потребам.

Наші попередні дослідження [9] свідчать що коефіцієнти екранування зростають, а коефіцієнти відбиття знижуються зі зменшенням розмірів металевих та металовмісних частинок у полімерній матриці. За вмісту частинок нанорозмірів у 11–12 % (за вагою) забезпечуються коефіцієнти екранування до 10 дБ та коефіцієнти відбиття до 0,3. Підвищення дисперсності частинок у 2–4 рази знижує коефіцієнти відбиття на 0,15–0,20, що особливо важливо для захисту від високочастотних випромінювань. При цьому коефіцієнти екранування складають 7–8 дБ. Товщина екрана складала 5 мм. Наведене свідчить, що за використання наночастинок металеві субстанції можна знижувати рівні електромагнітних випромінювань у 8–10 разів. Досвід натурних вимірювань електромагнітних полів і випромінювань свідчить, що навіть у виробничих умовах, при експлуатації потужного електротехнічного обладнання та радіотехнічних об'єктів цивільної авіації рівні цього фізичного фактору майже ніколи не перевищують гранично допустимі більш ніж у 3–4 рази.

Тому для виготовлення захисних матеріалів доцільно використовувати металеві та металовмісні частинки більших розмірів, які є відходами виробничих процесів. У праці [10] запропоновано виготовлення металополімерного матеріалу на основі дрібнодисперсного пилу залізної руди. Показано, що вміст  $\text{Fe}$  та  $\text{FeO}$  у ньому становить до 57 та 15 % відповідно. При цьому дисперсність пилу залежно від місця його відбору у аспіраційній системі становить від 2,5 до 60 мкм. Екрани з цієї субстанції виготовлялися з використанням матриці з полівінілацетату. Коефіцієнти екранування таких екранів з вмістом металеві субстанції 10 % складають 2–5, а коефіцієнти відбиття — 0,2–0,5. Але наведені у працях [9; 10] результати досліджень стосуються електромагнітних екранів, виготовлених на основі модельних полімерів, які не пристосовані для використання у реальних виробничих та побутових умовах. Таким чином, постає проблема розроблення технології, вироблення та дослідження захисних властивостей екрануючого металополімерного матеріалу, спроектованого на принципах розумної достатності захисту, технологічності та економічності доцільності впровадження.

#### **Мета та задачі дослідження**

Мета роботи – розроблення технології вироблення, виготовлення та дослідження захисних властивостей композитного металополімерного матеріалу для екранування електромагнітних полів найбільш критичних частот.

Для досягнення мети визначені такі задачі:

– розробити технологію виготовлення металополімерного екрана на основі залізородного пилю;

– виготовити електромагнітні екрани на основі залізних та залізвмісних частинок з різними їх концентраціями у полімерній матриці, придатні для використання у реальних умовах;

– дослідити захисні властивості електромагнітних екранів для різних частот і частотних діапазонів, найбільш критичних для виробничих та побутових умов;

– визначити методологію прогнозування захисних властивостей електромагнітних екранів на стадіях їх проектування з урахуванням частотно-амплітудних характеристик електромагнітного поля, що потребує екранування.

### **Методи і методики досліджень захисних властивостей електромагнітних екранів**

Методи і методики вимірювання захисних властивостей електромагнітних екранів для різних частот або частотних діапазонів суттєво відрізняються. Це зумовлене не тільки використанням різних вимірювальних приладів, а й різними методиками.

У низькочастотній частині електромагнітного спектра критичними є магнітні поля промислової частоти 50 Гц та її гармонік та інтергармонік.

Для вимірювання значень магнітного поля промислової частоти використовувався повірений вимірювач напруженостей електричного і магнітного полів промислової частоти ПЗ–50 згідно інструкції з експлуатації.

Для визначення амплітуд гармонік та інтергармонік магнітного поля промислової частоти, а також усього спектрального складу магнітного поля наднизької частоти використовувався повірений аналізатор спектра Spectran 5030 згідно інструкції з експлуатації.

Для електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот критичними, з точки зору впливу на людей, є випромінювання засобів бездротового зв'язку, а саме: 1,8 ГГц, 2,4 ГГц, 2,6 ГГц, 5,1 ГГц. Для вимірювання щільностей потоків енергії від високочастотних джерел використовувався прилад ПЗ–41 згідно інструкції з експлуатації. Цей прилад також дає змогу виміряти інтегральне значення щільностей потоку енергії у потрібному місці діапазону частот 0,3–30 ГГц, що необхідно в умовах впливу багатьох високочастотних джерел електромагнітних випромінювань.

Для визначення коефіцієнтів екранування захисними матеріалами магнітних полів наднизьких частот виготовлялися геометрично замкнені екрани у формі циліндра.

У загальному випадку розміри такого екрана можуть впливати на результати вимірювань у разі використання для його виготовлення феромагнітного матеріалу через намагнічування у зовнішньому магнітному полі. Але випробування показали, що за використання для виготовлення екрана заліза та його окислів у малих кількостях (до 15 % за вагою) такий вплив незначний і не перевищує похибки вимірювальної апаратури.

Для всіх вимірювань похибка не перевищувала 20 %.

Визначення коефіцієнтів екранування електромагнітних випромінювань ультрависоких частот здійснювалося таким чином. Виготовлялися електромагнітні екрани розмірами 0,75×0,75 м. Вони вміщувалися у проріз відповідної форми у металевому листі, що гарантувало неможливість проникнення випромінювання поза екраном. Екран розташовувався між джерелом електромагнітного випромінювання та вимірювальною антеною. Похибка вимірювань також не перевищувала 20 %.

Для розроблення засобів захисту від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот обов'язковим є визначення внеску у загальний коефіцієнт екранування за рахунок відбиття електромагнітних хвиль.

При проведенні усіх експериментів фон зовнішніх магнітного та електромагнітного полів перебував з межами чутливості апаратури.

### **Технологія виготовлення електромагнітних екранів на основі залізородного пилю та пінолатексу**

Збагачення залізної руди супроводжується виділенням великої кількості пилю, який відводиться і поглинається фільтрами у аспіраційних системах.

За використання шестирядного волоконного фільтру на перших завісах затримуються частинки більших розмірів.

Для проведення досліджень було відібрано металевий та металовмісний пил з 1–2, 3–4 та 5–6 завіс шестирядного волоконного фільтра.

Проаналізувавши вимоги до матеріалу, провівши ряд випробувань різних матеріалів, як основи (матриці) майбутніх електромагнітних екранів, було прийняте рішення зупинитися на композитному матеріалі який в своїй основі має пінолатекс.

На основі проведених досліджень розроблено матеріал та режими формування виробу електромагнітних екранів з композитного матеріалу із заданими властивостями.

Основними перевагами пінолатексу, що привели нас до обрання саме цього матеріалу, як до

основи майбутніх електромагнітних екранів визначено таке: пружність, гідрофобність, відсутність деградації за довготривалої експлуатації, можливість вироблення у будь-якому вигляді (листи, рулони), добра адгезія при облицюванні поверхонь та можливість додавання екрануючої субстанції (Fe, FeO, CaO) у потрібних кількостях без суттєвих змін перелічених властивостей.

Процес виготовлення складається з кількох етапів. Найважливішими з них є додавання у стандартну суміш екрануючих частинок потрібної кількості та дисперсності, а також прокатка матеріалу крізь вальці з необхідним зазором з вулканізацією поверхневого шару глибиною 1,0–1,5 мм.

Розроблена технологія є достатньо складною. Тому для проектування електромагнітного екрана бажано попередньо визначити необхідні технологічні параметри розрахунковими методами. Але запропонований нами у попередній роботі [9] математичний апарат не пристосований для прогнозування коефіцієнтів поглинання та відбиття даного матеріалу. Це ж стосується ефектної магнітної проникності – головного показника щодо екранування магнітного поля наднизької частоти.

#### Дослідження захисних властивостей металополімерних електромагнітних екранів та обговорення результатів

Для проведення випробувань було виготовлено електромагнітні екрани товщиною 5 мм з різною концентрацією (за вагою) металеві та металовмісної субстанції.

Дослідження проводилися з використанням у якості наповнювача залізородних частинок різної дисперсності: 5–10 мкм, 15–25 мкм, 50–100 мкм.

Частота екранованого електромагнітного поля — 1,8 ГГц. Ця частота обрана, виходячи з її найбільшого, на сьогодні, використання у засобах бездротового зв'язку.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що підвищення дисперсності екрануючої субстанції у 2–3 рази гарантовано підвищує коефіцієнт екранування у два рази. При цьому суттєво (до 0,1) знижується коефіцієнт відбиття.

З досліджених матеріалів було виготовлено геометрично замкнені конструкції для визначення ефективності екранування магнітної складової електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц. Враховуючи квазістаціонарність такого поля, вимірювання коефіцієнта відбиття не має сенсу.

Наведене свідчить, що розроблений екран дозволяє гарантовано знизити рівні магнітних полів наднизьких частот удвічі за вмісту наповнювача на 12 %.

Визначення питомої провідності матеріалу здійснювалося за рахунок вимірювання зворотної величини — питомого опору методом подвійного мосту.

Вимірювання діелектричної провідності виконувалися за мостовою схемою, яка дозволяла отримувати окремо значення електричної ємності від 10 пФ до 10 мкФ та активної складової повного електричного опору (10 Ом – 10 МОм) за  $\text{tg}\delta \leq 1000$  (рис. 1).

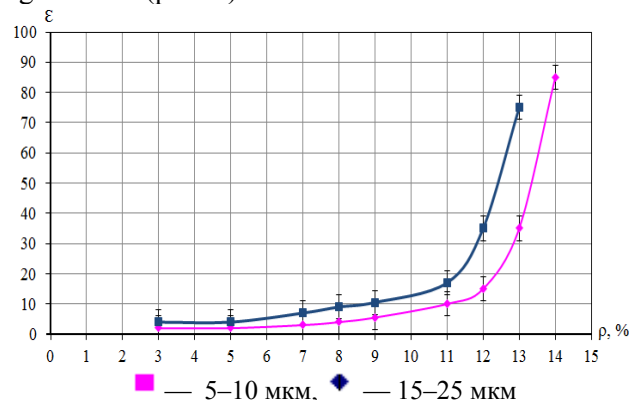


Рис. 1. Залежність діелектричної проникності  $\epsilon$  металополімерних екранів від вмісту  $\rho$  та дисперсності екрануючої субстанції

Отримані дані є основою для прогнозування ефективності електромагнітних екранів залежно від параметрів електромагнітного поля, яке потребує екранування. Кількісні значення питомої провідності та відносної діелектричної проникності використовуються для визначення комплексної діелектричної проникності та її дійсної та уявної складових, необхідних для розрахунків коефіцієнтів поглинання та відбиття електромагнітних хвиль з використанням раніше розробленого математичного апарату [9].

Для розрахункового прогнозування захисних властивостей екрана, для екранування магнітного поля наднизької частоти, необхідні відомості про магнітні проникності матеріалів. Їх пряме визначення складне через залежність від щільності розташування залізних та залізновмісних частинок та складність суміші.

Доцільно визначити цей показник, виходячи з експериментальних даних, враховуючи функціональний зв'язок цих показників.

Розглянемо циліндричний магнітний екран внутрішнім радіусом  $a$ , зовнішнім —  $b$ , який перебуває у зовнішньому квазістаціонарному магнітному полі напруженістю  $H_0$  (рис. 2).

Зауважимо, що відносна проникність матеріалу екрана  $\mu$ . Магнітні проникності поза екраном та усередині екрана дорівнюють одиниці. Циліндричний екран вважаємо достатньо довгим уздовж осі  $Z$  (перпендикулярно площині рисунку).

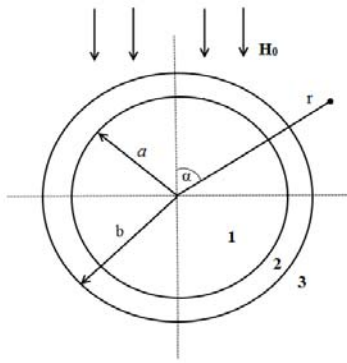


Рис. 2. Схема до розрахунку коефіцієнта екранування магнітного поля наднизької частоти циліндричним екраном

Через відсутність електричного струму в усіх трьох зонах (1, 2, 3), магнітне поле у них описується рівнянням Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi = 0, \quad (1)$$

де  $\varphi$  — скалярний магнітний потенціал.

Значення  $\varphi$  залежить тільки від координат  $r$  та  $\alpha$  циліндричної системи координат. Рівняння (1) у цих координатах має вигляд:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{r^2 \partial \alpha^2} = 0.$$

Розв'язок цього рівняння методом Фур'є надає:

$$\text{— для першої зони: } \varphi_1 = \left( C_1 r + \frac{C_2}{r} \right) \cos \alpha;$$

$$\text{— для другої зони: } \varphi_2 = \left( C_3 r + \frac{C_4}{r} \right) \cos \alpha;$$

$$\text{— для третьої зони: } \varphi_3 = \left( C_5 + \frac{C_6}{r} \right) \cos \alpha.$$

Стала інтегрування, з точністю до якої визначається потенціал, прийнята такою, що дорівнює нулю.

Для визначення шести сталих ( $C_1 - C_6$ ) складемо відповідні рівняння.

Порівняємо  $\varphi_3$  з виразом на нескінченній відстані  $\varphi = H_0 r \cos \alpha$ . Це рівняння дає  $C_5 = H_0$ .

У зоні 1 за  $r=0$   $\varphi$  повинне залишатися кінцевим. Це може бути тільки у випадку, коли у виразі буде відсутня складова  $\frac{C_2}{r}$ . Це відбувається за  $C_2 = 0$ . Рівність  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$  при

$$r = a \text{ дає рівняння } C_1 a = C_3 a + \frac{C_4}{a}$$

Значення  $\varphi$  на межі зон 2 та 3 ( $r = b$ ) можна визначити з рівняння:  $C_5 b + \frac{C_6}{b} = C_3 b + \frac{C_4}{b}$

Рівність нормальних складових індукції  $B_r = -\mu_a \frac{\partial \varphi}{\partial r}$  на межі цих зон (за  $r = a$ ):

$$C_1 = \left( C_3 - \frac{C_4}{a^2} \right) \mu,$$

де  $\mu$  — шукана відносна магнітна проникність екрана.

Рівність нормальних складових індукції за  $r = b$  можна визначити з рівняння:

$$C_5 - \frac{C_6}{b^2} = \left( C_3 - \frac{C_4}{b^2} \right) \mu.$$

Спільне розв'язання цих двох рівнянь дає вираз для потенціалу у зоні 1:

$$\varphi_1 = H_0 \frac{2qb^2}{\Delta} r \cos \alpha.$$

Напруженість магнітного поля у зоні 1:

$$H_1 = \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = H_0 \frac{2qb^2}{\Delta}.$$

Коефіцієнтом екранування вважається відношення напруженостей поля поза екраном та у зоні, захищеної екраном, тому

$$K_s = \frac{H_0}{H_1} = \frac{\Delta}{2qb^2} \approx \frac{\mu(b^2 - a^2)}{4b^2}.$$

Таким чином, маючи експериментальні дані щодо коефіцієнтів екранування, можемо визначити магнітні проникності захисних матеріалів, що є головним показником для розрахункового прогнозування захисних властивостей магнітних екранів у низькочастотній області спектра.

Наведені результати дозволяють дійти висновку, що електромагнітні екрани на основі залізорудного пилу мають суттєві переваги порівняно з іншими металополімерними захисними матеріалами.

Отримані дані щодо електрофізичних та магнітних властивостей матеріалу залежно від вмісту та дисперсності металеві та металовмісної субстанції достатні для розрахункового прогнозування ступенів захисту під час розроблення організаційно-технічних заходів з електромагнітної безпеки.

#### Висновки

1. Висока дисперсність та хімічний склад залізорудного пилу дозволяють використовувати його у якості екрануючого наповнювача у мета-

лополімерних електромагнітних екранах. Його низька вартість обумовлює економічну доцільність виготовлення захисних поверхонь великих площ.

2. Технологія виготовлення матеріалу для екранування електромагнітних полів у вигляді пінолатексу дозволяє керувати захисними властивостями як вмістом провідної субстанції, так і за рахунок використання частинок різної дисперсності.

3. Випробування розроблених матеріалів свідчить, що за вмісту металевих та металовмісних частинок у полімерній матриці 12 % коефіцієнт екранування для частинок розмірами 50–100 мкм складає 2,5 за коефіцієнта відбиття 0,23. Для частинок розмірами 5–10 мкм ці показники складають 12 та 0,1 відповідно. Значне підвищення захисних властивостей з підвищенням дисперсності частинок (особливо зниження коефіцієнта відбиття) обумовлене також структурою пінолатексу.

4. Визначені електрофізичні властивості розробленого захисного матеріалу (питома провідність та діелектрична проникність) та спосіб визначення магнітної проникності залежно від дисперсності та вагового вмісту екрануючої субстанції є вихідними даними для розрахункового прогнозування за відомими співвідношеннями захисних властивостей матеріалів на стадіях проектних робіт з електромагнітної безпеки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Экраны электромагнитного излучения на основе магнитных материалов. Технологии. Конструкции. Применение [Текст] / В. А. Богуш, Т. В. Борботько, Н. В. Насонов и др. — Минск : Бестпринт, 2016. — 222 с.

2. **Mei Li**. An Ultrathin and Broadband Radar Absorber Using Resistive FSS [Text] / Li Mei, ShaoQiu Xiao, Yan-Ying Bai, Bing-Zhong Wang // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. — 2012. № 11. — P. 748–751.

3. **Singh J.** Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference [Text] / J. Singh // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. — 2015. Vol. 3. — P. 10022–10027.

4. **Kasar V.** Novel Approach to Electromagnetic Interference Shielding for Cell Phones [Text] / V. Kasar, A. Pawar // International Journal of Science and Research. — 2014. — Vol. 3. — P. 1869–1872.

5. **Jalali M.** Electromagnetic shielding of polymer—matrix composites with metallic nanoparticles / M. Jalali, S. Dauterstedt, A. Michaud, R. Wuthrich // Composites Part B: Engineering. — 2011. — P. 1420–1426.

6. **Fionov A. S.** Polymer nanocomposites: synthesis and physical properties [Text] / A. S. Fionov, G. Y. Yurkov, O. V. Popkov, I. D. Kosobudskii, N. A. Taratanov, O. V. Potemkina // Advances in Composite Materials or Medicine and Nanotechnology. Rijeka, Croatia: IN-TECH Education and Publishing. — 2011. — P. 343–364.

7. **Аль-Адеми Я.Т.А.** Широкодиапазонные конструкции экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащей целлюлозы [Текст] / Я.Т.А. Аль-Адеми, А.А.А. Ахмед, Т.А. Пулко, Н. В. Насонова, Л. Н. Лыньков // Труды МАИ. — 2014. — № 77. — С. 1–15.

8. Экран электромагнитного излучения на основе порошкообразных отходов производства чугуна [Текст] / О. В. Бойправ, Т. В. Борботько, Л. М. Линьков, В. Б. Соколов // Труды МАИ. — 2014. — Вып. 67. — С. 3–19.

9. **Glyva V.** Research into protective properties of electromagnetic screens based on the metal-containing nanostructures / V. Glyva, V. Kovalenko, L. Levchenko, O. Tykhenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2017. — Iss. 3/12 (87). — P. 50–55.

10. Дослідження захисних властивостей електромагнітних екранів на основі дрібно-дисперсного заліза та його сполук [Текст] / В. А. Глива, О. Є. Лапшин, В. В. Коваленко, М. В. Худик // Вісті Донецького гірничого інституту. — 2017. — № 1(40). м. С. 123–127.

**Козловський В. В., Глива В. А., Ходаковський О. В.**

#### ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗОРУДНОГО ПИЛУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЛЮДЕЙ

*На основі дослідження хімічного складу та дисперсності залізорудного пилу обґрунтовано доцільність його використання у якості наповнювача для виготовлення композитних металополімерних електромагнітних екранів. Розроблено технологію виготовлення захисних екрануючих матеріалів з керованими захисними властивостями. Досліджено захисні властивості розроблених матеріалів. Встановлено, що збільшення дисперсності металевих та металовмісних частинок у 10–20 разів підвищує загальний коефіцієнт екранування електромагнітного поля надвисокої частоти у 6–8 разів. При цьому коефіцієнт відбиття електромагнітних хвиль знижується з 0,25 до 0,10. Гарантований коефіцієнт екранування магнітного поля промислової частоти за вмісту екрануючої субстанції 12 % складає 1,8–2,2. З'ясовано, що різке підвищення захисних властивостей відбувається за вмісту провідної субстанції 11–12 %. Отримано залежності питомої електричної провідності та діелектричної проникності від вмісту та дисперсності металевої та металовмісної субстанції у полімерній*

матриці. Ці дані є основою для розрахункового прогнозування захисних властивостей електромагнітних екранів у залежності від умов їх використання.

**Ключові слова:** електромагнітний екран, залізорудний пил, коефіцієнт екранування, коефіцієнт відбиття, електрофізичні властивості.

**Козловський В. В., Глива В. А., Ходаковський А. В.**

### **ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПЫЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ И ЛЮДЕЙ**

*На основе исследования химического состава и дисперсности железорудного пыли обоснована целесообразность его использования в качестве наполнителя для изготовления композитных металлополимерных электромагнитных экранов. Разработана технология изготовления защитных экранирующих материалов с управляемыми защитными свойствами. Исследованы защитные свойства разработанных материалов. Установлено, что увеличение дисперсности металлических и металлосодержащих частиц в 10—20 раз повышает общий коэффициент экранирования электромагнитного поля сверхвысокой частоты в 6—8 раз. При этом коэффициент отражения электромагнитных волн снижается с 0,25 до 0,10. Гарантированный коэффициент экранирования магнитного поля промышленной частоты при содержании экранирующей субстанции 12 % составляет 1,8—2,2. Выяснено, что резкое повышение защитных свойств происходит при содержании ведущей субстанции 11—12 %. Получены зависимости удельной электрической проводимости и диэлектрической проницаемости от содержания и дисперсности металлической и металлосодержащего субстанции в полимерной матрице. Эти данные являются основой для расчетного прогнозирования защитных свойств электромагнитных экранов в зависимости от условий их использования.*

**Ключевые слова:** электромагнитный экран, железорудная пыль, коэффициент экранирования, коэффициент отражения, электрофизические свойства.

**Kozlovsky V. V., Gliva V. A., Khodakovsky A. V.**

### **PROTECTIVE PROPERTIES OF ELECTROMAGNETIC SCREENS ON THE BASIS OF IRON OER DUST AND THEIR APPLICATION FOR PROTECTION OF INFORMATION AND PEOPLE**

*Based on the study of the chemical composition and dispersion of iron ore dust, the feasibility of its use as a filler for the manufacture of composite metal—polymer electromagnetic screens was substantiated. The technology of manufacturing protective shielding materials with guided protective properties has been developed. The protective properties of the developed materials are investigated. It was established that an increase in the dispersion of metal and metal—containing particles by 10—20 times increases the overall coefficient of shielding of a high—frequency electromagnetic field by 6—8 times. In this case, the reflection coefficient of electromagnetic waves is reduced from 0.25 to 0.10. The guaranteed shielding coefficient of the magnetic field of the industrial frequency for the contents of the shielding substance is 12% and is 1.8—2.2. It was found out that the sharp increase of protective properties occurs in the content of the lead substance 11—12%. The dependences of the specific electrical conductivity and dielectric constant on the content and dispersion of the metal and metal—containing substance in the polymer matrix are obtained. These data are the basis for the estimated prediction of the protective properties of electromagnetic screens, depending on the conditions of their use.*

**Keywords:** electromagnetic screen, iron-iron dust, shielding coefficient, coefficient of reflection, electrophysical properties.

Стаття надійшла до редакції 04.09.2018 р.

Прийнято до друку 18.09.2018 р.

Рецензент – д-р техн. наук, проф. Мачалін І. О.