

УДК 538.61.331.45

к.е.н., доцент Левченко Л.О.,  
larlevch@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7227-9472,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
к.т.н., доцент Тихенко О.М., okstih@ua.fm, ORCID: 0000-0001-6459-6497,  
Національний авіаційний університет, м. Київ,  
Колумбет В.П., vksvarog@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0871-9402,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
Багрій М.М., baw1973@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3543-4741,  
Національний авіаційний університет, м. Київ

## **ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ШИРОКОГО ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ВИРОБАМИ НА ОСНОВІ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ**

*Предметом дослідження є захисні властивості текстильних матеріалів від негативного впливу електромагнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот.*

*Метою дослідження є проектування, розробка та застосування текстильних матеріалів із заданими захисними властивостями для виготовлення засобів індивідуального та колективного захисту персоналу в умовах підвищення рівнів електромагнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот.*

*Завданням дослідження є аналіз захисних властивостей металополімерного матеріалу на основі залізорудного пилу. Такий матеріал має прийнятний коефіцієнт екранування за малих коефіцієнтів відбиття.*

*У роботі представлено експериментальні дослідження захисних властивостей текстильного матеріалу, просоченого екрануючою субстанцією. У якості екрануючої субстанції використано колоїдний розчин нанозаліза на основі рицинової олії. Середній розмір наночастинок заліза – 10 нм.*

*За рахунок того, що волокна мають пористу структуру, частинки нанозаліза після обробки колоїдним розчином, добре проникли та закріпилися в структурі текстильних волокон. Це надало текстильному матеріалу екрануючих властивостей без зміни фізико-механічних властивостей (жорсткість, гігроскопічність, зносостійкість).*

*Вимірювання здійснювалися для електромагнітного спектра (1,8 ГГц) з використанням повіреного вимірювача електричних і магнітних полів ПЗ-31.*

Коефіцієнт екранування магнітного поля вимірювався з використанням повіреного приладу ПЗ-50.

Екрануюча поверхня була геометрично замкнена навколо вимірювальної системи, що обумовлено квазістаціонарністю вимірюваного поля. Результати вимірювання показали, що коефіцієнт екранування зростає зі збільшенням шарів матеріалу (1 шар – 1,1; 2 шари – 1,7; 3 шари – 3,7; 4 шари – 9,6). Аналогічні вимірювання проведено для магнітного поля промислової частоти. Отримані результати показують, що задані захисні властивості текстильного матеріалу є ефективними для зниження дії впливу магнітних полів наднизької частоти.

Зроблено висновок, що текстильний матеріал з заданими екрануючими властивостями придатний для виготовлення спеціального захисного одягу для персоналу, що працює в умовах підвищення рівнів електромагнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот.

Ключові слова: захисні властивості, електромагнітні поля, текстильний матеріал, нанозалізо, коефіцієнт екранування, колоїдний розчин.

**Постановка проблеми.** Сталою тенденцією розвитку промислових технологій є розширення частотного спектра та зміна амплітуд електромагнітних полів техногенного походження, які впливають на працюючих та призводять до некоректної роботи електронного обладнання – комп'ютерної техніки телекомунікаційних систем і мереж, діагностичного обладнання тощо.

Це вказує на проблему розроблення відповідних засобів захисту від електромагнітних впливів. Найбільш ефективним з них є екранування електромагнітних полів.

Це потребує створення сучасних захисних матеріалів з достатніми коефіцієнтами екранування у широкому діапазоні частот, зручних у використанні та прийнятної вартості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематиці розроблення та дослідження захисних матеріалів для екранування електромагнітних полів приділяється багато уваги. Це пояснюється незадовільними властивостями традиційних металевих електромагнітних екранів.

За високих коефіцієнтів екранування, значний внесок у них дає захист за рахунок відбиття, що неприйнятне для екранування високочастотних полів, особливо у обмежених просторах [1].

Цей недолік притаманний також сучасним електромагнітним екранам, виготовленим з аморфного магнітом'якого металевих сплаву [2].

Сучасною тенденцією у розробленні та застосуванні матеріалів для екранування електромагнітних полів є проектування композитних екранів з діелектричної полімерної матриці та провідного наповнювача [3, 4].

Але вони мають великі товщини і вагу та придатні для виготовлення колективних засобів захисту та технічного захисту інформації (екранування приміщень). Частина досліджень присвячено розробленню тканин для екранування електромагнітних полів [5]. Використання таких матеріалів для виготовлення індивідуальних засобів захисту проблематичне.

Це пояснює неможливість забезпечення цілісності нанодротів, вплетених у тканину. До того ж такі матеріали мають складну технологію виготовлення і велику вартість. Анонсовані практичні розробки екрануючих тканин на основі нейлону, бавовни та поліестера, Silver-Silk, Silver-TULLE. Вони, за описами, мають екрануючі властивості 25-60 дБ. Але ці тканини містять до 20 % срібної нитки, що робить їх дуже дорогими. Ці матеріали не витримують частого прання. При цьому ефективність екранування є надлишковою навіть для найжорсткіших виробничих умов.

У роботі [6] розроблено і досліджено захисні властивості металополімерного матеріалу на основі залізорудного пилу. Цей матеріал має прийнятні коефіцієнти екранування за малих коефіцієнтів відбиття. Але він має велику товщину. З цього дослідження видно, що коефіцієнти екранування підвищуються зі збільшенням дисперсності металевого наповнювача.

У дослідженні [7] отримано і досліджено захисні властивості тонкого електромагнітного екрана з використанням нанозаліза у вигляді магнітної рідини. Ця рідина наносилася на тверду пористу поверхню. Не дивлячись на високу ефективність і малу товщину екранованого шару, загальна товщина суттєва через наявність підкладки.

Тому доцільно дослідити можливості використання наночастинок феромагнетика для просочення придатної для цього тканини, закріплення частинок на ній та дослідження її захисних властивостей.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є розроблення текстильного матеріалу для екранування електромагнітних полів, дослідження його захисних властивостей та визначення умов виготовлення з нього засобів індивідуального захисту.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення досліджень було обрано у якості основного матеріалу тканину, яка широко використовується для виробництва спеціального одягу. Її перевагою є висока міцність та низька горючість порівняно з синтетичними матеріалами.

У якості екрануючої субстанції використовувалося нанозалізо у вигляді колоїдного розчину на основі рицинової олії. Середній розмір частинок заліза

складав 10 нм. Тканина просочувалася розчином й сушилася. Через малі розміри частинок заліза вони добре зчіплювалися з натуральними пористими волокнами тканини. Витрати рідини складами не більше  $50 \text{ г/м}^2$  площі тканини. Нанесення залізовмісного розчину не впливало на фізико-механічні властивості тканини, у першу чергу – жорсткість (рис.1).

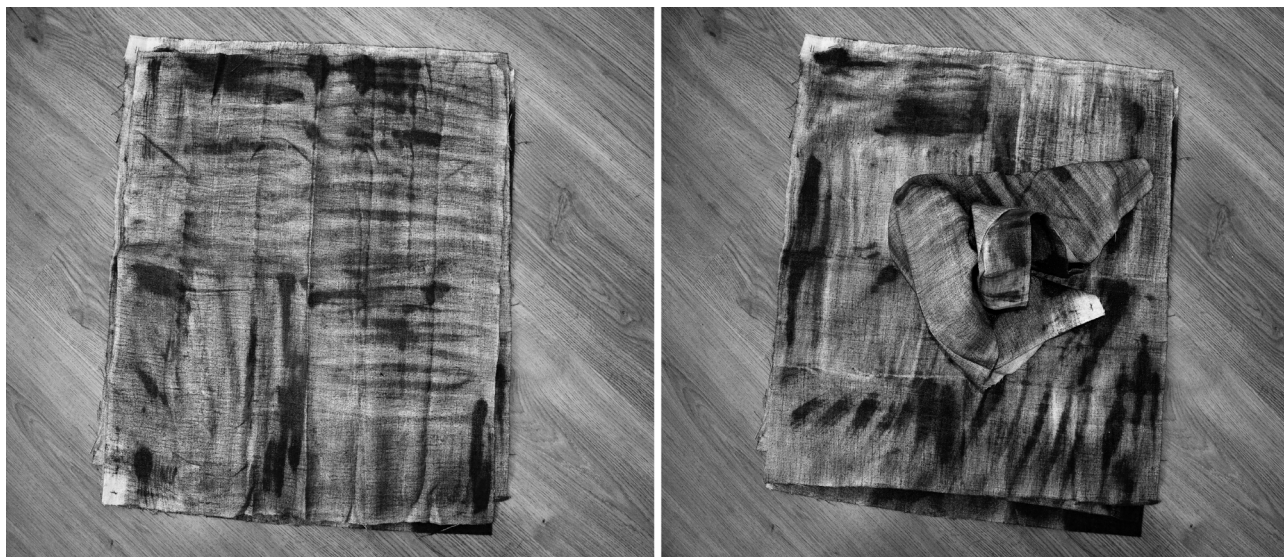


Рис.1. Зовнішній вигляд захисного матеріалу на основі льняного полотна та нанозаліза

Вимірювання здійснювалися для високочастотної області електромагнітного спектра (1,8 ГГц) з використанням повіреного вимірювача електричних і магнітних полів ПЗ-31 згідно інструкції з експлуатації.

Коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти виконувалися з використанням повіреного приладу ПЗ-50 згідно інструкції з експлуатації. У цьому випадку екрануюча поверхня була геометрично замкнена навколо вимірювальної антени, що обумовлене квазістаціонарністю вимірюваного поля. Коефіцієнти екранування  $K_e$  у залежності від кількості шарів екрануючого матеріалу  $n$  наведено у табл.1 ( $W_d$  та  $W_e$  – густини потоку енергії джерела та у екранованій зоні).

Таблиця 1

Ефективність екранування матеріла електромагнітного поля ультрависокої частоти

$n$	$W_d, \text{мкВт/см}^2$	$W_e, \text{мкВт/см}^2$	$K_e$
1	200-300	210-230	$\sim 1,1$
2	250-300	140-150	$\sim 1,7$
3	250-300	55-80	$\sim 3,7$
4	250-300	20-30~	$\sim 9,6$

Як видно з таблиці, коефіцієнт екранування різко зростає зі збільшенням шарів матеріалу. Це пояснюється не загальною товщиною захисного шару, а підвищенням загальної кількості металевих частинок на одиницю площі.

Не дивлячись на відносно невеликі значення коефіцієнтів екранування, навіть значення 1,7-3,7 достатні для більшості виробничих умов. До того ж поверхнева концентрація наночастинок (до 50 г/м<sup>2</sup>) дуже мала і може бути підвищена без змін механічних властивостей матеріалу.

Аналогічні випробування були виконані для магнітного поля промислової частоти (табл. 2).

Таблиця 2

Ефективність екранування матеріалом магнітного поля  
промислової частоти

n	B <sub>д</sub> , мкТл	B <sub>е</sub> , мкТл	K <sub>е</sub>
1	60	58-59	1,03
2	60	52-53	1,15
3	60	38-40	1,54
4	60	20-21	3,00

Отримані результати свідчать, що розроблений матеріал є достатньо ефективний і для зниження рівнів магнітних полів наднизької частоти.

Експериментальні дані, принаймні для магнітних полів наднизької частоти, надають можливість певним чином автоматизувати процес проектування захисних конструкцій та керування захисними властивостями матеріалу. Для цього розраховується ефективна магнітна проникність матеріалу  $\mu_{\text{еф}}$  та екстраполюється її значення.

Це реалізується, виходячи з відомої функції визначення коефіцієнта екранування для магнітного екрана сферичної форми:

$$B_e = \frac{9\mu}{(2\mu + 1)(\mu + 2) - 2(\mu - 1)^2 \frac{a^3}{b^3}} B_d, \quad (1)$$

де:  $B_e$  – індукція магнітного поля усередині екрана,  
 $B_d$  – індукція магнітного поля джерела,  
 $\mu$  – відносна магнітна проникність матеріалу оболонки,  
 $a, b$  – внутрішній та зовнішній радіуси сферичного екрана.

$$K_e = \frac{B_d}{B_e} = \frac{(2\mu + 1)(\mu + 2) - 2(\mu - 1)^2 \frac{a^3}{b^3}}{9\mu} \quad (2)$$

Наведений розрахунок є коректним, виходячи з того, що процеси у матеріалі екрана, які відбуваються у низькочастотному магнітному полі, можна розглядати у магнітостатичному наближенні.

Враховуючи механічні властивості матеріалу та його технологічність щодо вироблення та оброблення як текстильного матеріалу, він придатний для виготовлення спеціального захисного одягу.

Його перевагою є універсальність, тобто можливість використання як у галузі електроенергетики, так і зв'язку, а також під час роботи з джерелами високочастотних електромагнітних полів іншого призначення, наприклад, на аеродромах цивільної авіації, а також під час обслуговування та ремонту радіоелектронного обладнання літальних апаратів різних конструкцій та призначення.

**Висновки.** Велика дисперсність використаного залізовмісного матеріалу надає можливість його імплантації у волокна натурального текстильного матеріалу без використання додаткових закріплювачів.

Це дозволяє зберегти гнучкість тканини та виготовлення з неї потрібних захисних конструкцій на стандартному обладнанні.

Перевагою матеріалу є його прийнятні коефіцієнти екранування як у високочастотній області електромагнітного спектра (1,1–9,6), так і щодо магнітних полів наднизької частоти (1,03–3,00).

Такий матеріал придатний для виготовлення спеціального захисного одягу для персоналу, що працює в умовах підвищення рівнів електромагнітних полів промислової частоти (електроенергетична галузь) та електромагнітних полів ультрависоких частот (бездротовий зв'язок, радіотехнічні обладнання цивільної авіації тощо).

### Література

1. Коваленко В.В., Тихенко О.М., Колумбет В.П. Інноваційні підходи до підвищення ефективності екранування високочастотних електромагнітних випромінювань. *Системи. обробки інформації*. 2016. Вип. 3. - С. 238–240.
2. Левченко О.Г., Левчук В.К., Тимошенко О.Н. Экранирующие материалы и средства индивидуальной защиты сварщика от магнитных полей. *Автоматическая сварка*. 2011. № 3. - С. 49–55.
3. Broadband metamaterial absorber based on coupling resistive frequency selective surface / Liang Kui Sun, Hai Feng Cheng, Yong Jiang Zhou, Jun Wang. *Optics Express*. 2012. Vol. 20, Iss. 4. P. 4675–4680.
4. Low-Cost Metamaterial Absorbers for Sub-GHz Wireless Systems / Filippo Costa, Simone Genovesi, Agostino Monorchio, Giuliano Manara. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2014. Vol. 13. P. 27–30.

5. Ахмед А.А. Экраны электромагнитного излучения на основе модифицированных хлопкополиэфирных тканых полотен с наноструктурированным микропроводом: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.19. - Минск, 2016. - 22 с.

6. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust / Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 1/5 (91). P. 10–17.

7. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid / Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. P. 14–18.

к.э.н., доцент Левченко Л.А., Колумбет В.П.,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,  
к.т.н., доцент Тихенко О.Н., Багрий М.М.,  
Национальный авиационный университет, г. Киев

## **ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ШИРОКОГО ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ИЗДЕЛИЯМИ НА ОСНОВЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Предметом исследования являются защитные свойства текстильных материалов от негативного воздействия электромагнитных полей промышленной частоты и электромагнитных полей ультравысокой частоты.

Целью исследования является проектирование, разработка и применение текстильных материалов с заданными защитными свойствами для изготовления средств индивидуальной и коллективной защиты персонала в условиях повышения уровней электромагнитных полей промышленной частоты и электромагнитных полей ультравысокой частоты.

Задачей исследования является анализ защитных свойств металлополимерного материала на основе железорудной пыли. Такой материал имеет приемлемый коэффициент экранирования при малых коэффициентах отражения.

В работе представлены экспериментальные исследования защитных свойств текстильного материала, пропитанного экранирующей субстанцией.

В качестве экранирующей субстанции использовался коллоидный раствор наножелеза на основе касторового масла. Средний размер наночастиц железа - 10 нм. За счет того, что волокна имеют пористую структуру, частицы

наножелеза после обработки коллоидным раствором, хорошо проникли и закрепились в структуре текстильных волокон. Это придало текстильному у экранирующих свойств без изменения физико-механических свойств (жесткость, гигроскопичность, износостойкость).

Измерения проводились для электромагнитного спектра (1,8 ГГц) с использованием поверенного измерителя электрических и магнитных полей ПЗ-31. Коэффициент экранирования магнитного поля измерялся с использованием поверенного прибора ПЗ-50. Экранирующая поверхность была геометрически замкнутая вокруг измерительной системы, что обусловлено квазистационарностью измеряемого поля.

Результаты измерения показали, что коэффициент экранирования растет с увеличением слоев материала (1 слой - 1,1, 2 слоя - 1,7; 3 слоя - 3,7; 4 слоя - 9,6). Аналогичные измерения проведены для магнитного поля промышленной частоты.

Полученные результаты показывают, что заданные защитные свойства текстильного материала эффективны для снижения воздействия магнитных полей сверхнизкой частоты.

Сделан вывод, что текстильный материал с заданными экранирующими свойствами пригоден для изготовления специальной защитной одежды для персонала, работающего в условиях повышенного уровня электромагнитных полей промышленной частоты и электромагнитных полей ультравысокой частоты.

PhD of economic of Economic Sciences Levchenko L.O.,  
Senior Lecturer, Columbet V. P., National Technical University  
of Ukraine, «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,  
PhD, Associate Professor Tykhenko O.M., Bahrii M.M.,  
National Aviation University, Kyiv

## **SHIELDING ELECTROMAGNETIC FIELDS WIDE FREQUENCY SPECTRUM OF A BASED ON TEXTILES PRODUCTS**

The subject of the study is the protective properties of textile materials from the negative effects of electromagnetic fields of industrial frequency and electromagnetic fields of ultrahigh frequencies.

The purpose of the study is to design, develop and use textile materials with specified protective properties for the production personal and collective protection personnel in conditions of increasing levels of electromagnetic fields of industrial frequency and electromagnetic fields of ultrahigh frequencies.



The purpose of the study is to analyze the protective properties of metal-polymer material on the basis of iron ore dust. Such material has an acceptable shielding factor for small reflection coefficients.

In work presents experimental studies of protective properties of textile material impregnated with shielding substance. As a shaving substance, a colloidal solution of nano-cast iron based on using castor oil. The average size of iron nanoparticles is 10 nm. Due to the fact that the fibers have a porous structure, the particles of the nanoparticle after treatment with a colloidal solution, have well penetrated and consolidated in the structure of textile fibers. This has provided textiles of shielding properties without changing the physical and mechanical properties (rigidity, hygroscopicity, wear resistance).

The measurements were carried out for the electromagnetic spectrum (1.8 GHz) using the proprietary meter for electric and magnetic fields PO-31. The coefficient of shielding of the magnetic field was measured using a proven device PO-50. The screening surface was geometrically locked around the measuring system due to the quasi-stationary dimension of the field.

The results of the measurements showed that the shrinkage factor increases with increasing material layers (1 layer - 1.1; 2 layers - 1.7; 3 layers - 3.7; 4 layers - 9.6). Similar measurements made for the magnetic field of the industrial frequency.

The obtained results show that the given protective properties of a textile material are effective for reducing the effect of magnetic fields of ultralow frequency.

It is concluded that the textile material with given shielding properties is suitable for the manufacture of special protective clothing for personnel working in conditions of increasing the levels of electromagnetic fields of industrial frequency and electromagnetic fields of ultrahigh frequencies.

### **References**

1. Kovalenko, V.V., Tykhenko, O.M., & Kolumbet, V.P. (2016). Innovatsiyni pidkhody do pidvyshchennya efektyvnosti ekranuvannya vysokochastotnykh elektromahnitnykh vyprominyuvan. *Systemy obrobky informatsiyi*, 3, 238–240.
2. Levchenko, O.G., Levchuk, V.K., & Timoshenko, O.N. (2011). Ekraniruyushchiye materialy i sredstva individualnoy zashchity svarshchika ot magnitnykh poley. *Avtomaticheskaya svarka*, 3, 49–55.
3. Liang, Kui Sun, Hai, Feng Cheng, Yong, Jiang Zhou, & Jun, Wang (2012). Broadband metamaterial absorber based on coupling resistive frequency selective surface. *Optics Express*, 4, 4675–4680.
4. Filippo Costa, Simone Genovesi, Agostino Monorchio, & Giuliano Manara (2014). Low-Cost Metamaterial Absorbers for Sub-GHz Wireless Systems. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 13, 27–30.

5. Akhmed, A.A. (2016). Ekrany elektromagnitnogo izlucheniya na osnove modifitsirovannykh khlopkopoliefirnykh tkanykh poloten s nanostrukturirovannym mikroprovodom: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: 05.13.19, Minsk, 22.

6. 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: 10.15587/1729-4061.2018.123622.

7. Glyva, V., Podoltsev, A., Bolibrukh, B. & Radionov, A.V. (2018). A Thin Electromagnetic Shield of a Composite Structure Made On the Basis of a Magnetic Fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*, 4, 14-18. doi: 10.15407/technd2018.04.014.