

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 538.61.331.45

<https://doi.org/10.31713/vt1201924>

**Багрій М. М., Тихенко О. М., к.т.н.** (Національний авіаційний університет), **Левченко Л. О., к.е.н., Колумбет В. П.** (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського») **Резник Д. В., к.т.н.** (Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського)

### **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ**

**У статті обґрунтовано використання захисного одягу для захисту від впливу електромагнітних полів та розробка матеріалів для одягу з вдосконаленими властивостями. Розглянуто конструкції структури та фізико-механічні властивості матеріалів для одягу. Сформульовано мету та задачі дослідження захисних властивостей текстильного матеріалу для захисту від впливу електромагнітних полів з використанням залізорудного пилу. Після аналізу отриманих результатів вимірювань визначено позитивний ефект щодо захисних рівнів магнітного та електромагнітного полів. Визначено наступні дослідження щодо можливості подальшого зменшення розмірів металевих та металовмісних частинок залізорудного пилу.**

**Ключові слова.** захисні властивості, електромагнітне поле, екранування, залізорудний пил, колоїдний розчин, напруженість магнітного поля.

Для захисту людини від дії виробничих факторів використовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), які включають в себе спеціальний одяг, взуття, засоби захисту голови, рук, обличчя, очей, засоби захисту органів дихання. Актуальними залишаються питання пов'язані з розробкою спеціального захисного одягу та текстильних матеріалів для захисту від впливу електромагнітних полів. Це пояснюється зміною амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів, які потребують екранування, та необхідністю підвищення зручності використання одягу.

Одним з можливих шляхів вирішення таких задач є розроблення однорідного текстильного матеріалу з відповідними захисними властивостями та прийнятними механічними характеристиками.

**Аналіз літературних даних.** На сьогоднішній день більшість одягу для захисту від впливу електромагнітних полів виготовлено з текстильних матеріалів, у які імплантовано тонкі металеві дроти. Зокрема, одяг з таких матеріалів використовується у галузі енергетики.

Текстильний матеріал досить жорсткий і розрахований на використання в умовах впливу електромагнітних полів промислової частоти великих напруженостей. Металеві дроти за тривалої експлуатації (дії механічних впливів) втрачають пружність та розриваються, відповідно одяг втрачає захисні функції.

Такі захисні властивості текстильних матеріалів вдосконалюються за рахунок зменшення товщини металевих дротів [1].

Але, вироби з таких матеріалів мають велику вартість, і тому не придатні для широкого використання. Більш придатний тонкий матеріал з вмістом металізованих волокон [2].

Його захисні властивості розраховані тільки для захисту від випромінювань ультрависоких та надвисоких частот, притаманних рідким установкам. Більш універсальним є матеріал з вмістом вологи [3]. Але викликає сумніви стабільність захисних властивостей через імовірність деградації матеріалу внаслідок втрати вологи. Деградація матеріалів, у тому числі й багат шарових, є загальною проблемою довгострокового використання захисних конструкцій.

Тому структура захисного матеріалу повинна бути максимально простою за задовільних захисних властивостей.

Дослідження [4] свідчать, що використання нанозаліза у вигляді магнітної рідини забезпечує великі коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти та електромагнітного поля ультрависокої частоти. Але отримані показники надлишкові, тобто для більшості виробничих умов такі коефіцієнти екранування не потрібні, а вартість магнітної рідини дуже висока, зокрема у пропонуваній кількостях.

Розробка [5] свідчить, що достатні, а за великих концентрацій металевої та металовмісної субстанції, великі коефіцієнти екранування можна отримати при використанні залізородного пилу, а відповідно у якості носія (матриці) використовується пінолатекс, непридатний для виготовлення одягу. Отримані результати, зокрема універсальність щодо частоти екранованого поля та низька вартість, обумовлює доцільність досліджень щодо використання залізородного пилу для виготовлення захисного покриття на основі текстильного матеріалу.

**Мета роботи** – розроблення та дослідження захисних властиво-

стей текстильного матеріалу для захисту від впливу електромагнітних полів з використанням залізорудного пилу.

**Матеріали і методи дослідження.** Враховуючи, що для виготовлення захисного одягу важливим є стійкість до термічних впливів, для проведення експериментів було обрано тканину з льону, яка виготовляється серійно. (Артикул 11110, 11119, розривне навантаження: по основі – 170 Н, по утку – 105, стійкість до стирання 70000). У якості екрануючої субстанції використовувався залізорудний пил різної дисперсності, яку досліджено раніше [6]. Було виготовлено серію зразків на основі залізорудного пилу дисперсністю 5-10 мкм, 15-25 мкм, 50-100 мкм.

Просочення тканини здійснювалося водним колоїдним розчином залізорудного пилу з додаванням 3-5% суспензії полівінілацетату. Визначення захисних властивостей здійснювалося розрахунком коефіцієнта екранування (відношення напруженостей полів перед екраном і у захищеній зоні).

Враховуючи квазістаціонарність магнітного поля промислової частоти, для випробувань використовувався геометрично замкнений екран. Для визначення коефіцієнтів екранування електромагнітного випромінювання частотами 2,4-2,6 ГГц застосовувався плоский екран, вміщений у металевий проріз, що унеможливило проходження випромінювання поза екраном за рахунок дифракційних явищ. Для вимірювання напруженості магнітного поля промислової частоти використовувався калібрований прилад ПЗ-50, для вимірювання густини потоку енергії випромінювань ультрависокої частоти – калібрований прилад ПЗ-31 згідно з інструкціями з експлуатації.

**Результати досліджень.** Визначити фактичну кількість залізорудного пилу, який залишився на волокнах тканини після обробки, досить важко, тому для отримання кількісних даних щодо коефіцієнтів екранування змінювалася кількість шарів матеріалу.

У табл. 1 наведені результати вимірювань коефіцієнтів екранування матеріалом електромагнітного випромінювання частотами 2,4-2,6 ГГц у залежності від кількості його шарів та дисперсності залізорудного пилу, яким просочена тканина.

Таблиця 1

Залежність коефіцієнтів екранування електромагнітного випромінювання ультрависокої частоти у залежності від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізорудного пилу

Кількість шарів	D, мкм		
	5-10	15-25	50-100
1	1,75	1,45	1,15
2	2,20	1,75	1,30
3	2,85	1,90	1,50
4	3,25	2,25	1,85
5	3,80	2,60	2,05

Аналогічні дослідження було проведено щодо магнітного поля промислової частоти 50 Гц, результати яких наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Залежність коефіцієнтів екранування магнітного поля промислової частоти у залежності від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізорудного пилу

Кількість шарів	D, мкм		
	5-10	15-25	50-100
1	1,50	1,30	1,05
2	1,90	1,45	1,10
3	2,20	1,85	1,25
4	2,85	2,05	1,45
5	3,15	2,35	1,85

Аналіз отриманих результатів свідчить, що навіть за малих товщин матеріалу та значення ефективної магнітної проникності залізорудного пилу спостерігається певний позитивний ефект щодо зниження рівнів магнітного та електромагнітного поля.

Досвід обстежень електромагнітної обстановки на підприємствах з різною номенклатурою електричного та електронного обладнання свідчить, що навіть на підприємствах енергетики, біля потужного електротехнічного обладнання та поблизу радіотехнічних об'єктів цивільної авіації, мобільного зв'язку рівень електромагнітних полів майже ніколи не перевищують гранично допустимі у 2-3 рази.

Тому цілком можливо використовувати отриманий текстильний матеріал для виготовлення спеціального захисного одягу. При цьому ступені захисту від низькочастотних та високочастотних впливів приблизно однакові. Але одно- та двошарові покриття не завжди достатні.

Необхідно врахувати, що спеціальний захисний одяг повинен також забезпечити терморегуляцію і повинен бути достатньо міцний. Для цього можливо застосовувати термозахисну прокладку між двома шарами пакету захисного матеріалу.

У разі, якщо він буде завтовшки 1 см, цей зазор буде додатковим захистом для частот випромінювання 7,5 ГГц (так званий чвертьхвильовий захист).

Можна звернути увагу, що зі зменшенням розмірів екрануючих частинок коефіцієнти екранування зростають. Тому доцільно у подальшому розглянути можливість подальшого підвищення дисперсності металевої та металовмісної субстанції до нанорозмірів. До того ж, це підвищить зчеплення частинок з волокнами текстильних матеріалів. Це важливо з огляду на необхідність частого прання спеціального захисного одягу. Головною проблемою є отримання металевих частинок нанорозмірів прийнятної вартості або зменшення їх загальної кількості при виготовленні захисного текстильного матеріалу.

#### **Висновки**

1. Дослідження довели, що дрібнодисперсний залізорудний пил придатний для виготовлення текстильного матеріалу для екранування магнітних полів наднизької частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот.

2. Коефіцієнт екранування підвищується зі зростанням дисперсності залізорудного пилу. При цьому використання кількох шарів текстильного матеріалу підвищує коефіцієнт екранування.

3. Доцільно дослідити можливості подальшого зменшення розмірів частинок. Це потребує отримання металевих та металовмісних частинок нанорозмірів прийнятної вартості або зменшення маси екрануючої субстанції на одиницю площі текстильного матеріалу.

4. При розробленні текстильного матеріалу з захисними властивостями, слід врахувати необхідність забезпечення певних фізико-механічних властивостей матеріалу – механічної міцності та терморегуляції.

1. Ахмед А. А. Экраны электромагнитного излучения на основе модифицированных хлопкополиэфирных тканых полотен с наноструктурированным микропроводом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.19. Минск, 2016. 22 с. 2. An Ultrathin and Broadband Radar Absorber Using Resistive FSS / Mei Li, ShaoQiu Xiao, Yan-Ying Bai, Bing-Zhong Wang. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2012. № 11. P. 748–751. 3. Широкодиапазонные конструкции экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащей целлюлозы / 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. 4. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust /

V. Glyva, S. Podkopaev, L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 1/5 (91). PP. 10–17. URL: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061>. (дата звернення 26.03.2019). **5.** Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen / V. Glyva, J. Lyashok, I. Matvieieva, V. Frolov, L. Levchenko, O. Tykhenko, O. Panova, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov, K. Nikolaiev. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. No 5 (96). PP. 54–61. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150778>. (дата звернення 26.03.2019). **6.** A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid / V. A. Glyva, A. D. Podoltsev, B. V. Bolibruxh, A. V. Radionov. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. PP. С. 14–18. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014> (дата звернення 26.03.2019).

## REFERENCES:

1. Akhmed A. A. Ekраны elektromahnytnoho izlucheniia na osnove modifitsirovannykh khlopkopoliefirnykh tkanykh poloten s nanostrukturirovannym mikroprovodom : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.19. Minsk, 2016. 22 s.
2. An Ultrathin and Broadband Radar Absorber Using Resistive FSS / Mei Li, ShaoQiu Xiao, Yan-Ying Bai, Bing-Zhong Wang. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2012. № 11. P. 748–751.
3. Shirokodiapazonnye konstruksii ekranov elektromahnitnoho izlucheniia na osnove vlahosoderzhashchei tseliulozy / Ya.T.A. Al-Ademy, A.A.A. Akhmed, T. A. Pulko, N. V. Nasonova, L. N. Lynkov. *Trudy MAY*. 2014. № 77. S. 1–15.
4. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust / V. Glyva, S. Podkopaev, L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 1/5 (91). PP. 10–17. URL: <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061>. (data zvernennia 26.03.2019).
5. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen / V. Glyva, J. Lyashok, I. Matvieieva, V. Frolov, L. Levchenko, O. Tykhenko, O. Panova, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov, K. Nikolaiev. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. No 5 (96). PP. 54–61. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150778>. (дата звернення 26.03.2019).
6. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid / V. A. Glyva, A. D. Podoltsev, B. V. Bolibruxh, A. V. Radionov. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. RR. S. 14–18. URL: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014> (data zvernennia 26.03.2019).

Рецензент: д.т.н., професор Глива В. А. (Національний авіаційний університет, м. Київ)

**Bahrii M. M., Tykhenko O. M., Candidate of Engineering (Ph.D.)** (National Aviation University), **Levchenko L. O., Candidate of Economics (Ph.D.)** (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»), **Rieznyk D. V., Candidate of Engineering (Ph.D.)** (Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University)

## **DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF PROPERTIES OF TEXTILE MATERIAL FOR PROTECTION FROM THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS**

The article substantiates the use of protective clothing for protection against the effects of electromagnetic fields and the development of materials for clothing with advanced properties. Constructions of structures and physical-mechanical properties of materials for clothes are considered. The purpose and tasks of research of protective properties of a textile material for protection against influence of electromagnetic fields with use of iron-ore dust are formulated. After analyzing the measured results, a positive effect on the protective levels of the magnetic and electromagnetic fields was determined. The following investigations concerning the possibility of further reduction of the size of metal and metal-containing particles of iron ore dust are determined.

**Keywords.** protective properties, electromagnetic field, shielding, iron ore dust, colloidal solution, magnetic field strength.

---

**Багрий М. М., Тихенко О. Н., к.т.н.** (Национальный авиационный университет), **Левченко Л. А., к.э.н., Колумбет В. П.** (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»), **Резник Д. В., к.т.н.** (Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского)

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

**В статье обосновано использование защитной одежды для защиты от воздействия электромагнитных полей и разработка материалов для одежды с усовершенствованными свойствами. Рассмотрены конструкции структуры и физико-механические свойства материалов для одежды. Сформулированы цель и задачи исследования защитных свойств текстильного материала для защиты от воздействия электромагнитных полей с использованием железорудной пыли. После анализа полученных результатов измерений определен положительный эффект в отношении защитных уровней магнитного и электромагнитного полей. Определены следующие исследования о возможности дальнейшего уменьшения размеров металлических и металлосодержащих частиц железорудной пыли.**  
*Ключевые слова:* защитные свойства, электромагнитное поле, экранирование, железорудная пыль, коллоидный раствор, напряженность магнитного поля.

---