

Л.О. Левченко

М.М. Багрій

Н.В. Караєва

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ З ВМІСТОМ ФЕРОМАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК

Мета роботи – розроблення й дослідження захисних властивостей текстильного матеріалу для екранування електромагнітних полів та придатного для виготовлення спеціального одягу.

Методи дослідження. Вимірювання коефіцієнта екранування здійснювалося диференційно за електричною та магнітною складовою електромагнітного поля промислової частоти з використанням каліброваного приладу ВЕ-метр згідно інструкції з експлуатації.

Результати. Проведено дослідження екрануючих властивостей текстильного матеріалу на льняній основі, просоченого магнітною рідиною на основі етилового спирту. Основною задачею було отримання матеріалу з необхідними захисними властивостями. Вибір льняної тканини обумовлений рядом переваг, основною з яких є велика пористість структури волокна (80% хімічного складу - целюлоза), що сприяє закріпленню екрануючих частинок в структурі волокна. Дослідження коефіцієнтів екранування електричного та магнітного поля у залежності від кількості шарів матеріалу підтверджують перспективність використання в якості екрануючих матеріалів магнітної рідини на основі етилового спирту. Отримані коефіцієнти екранування магнітного поля дали змогу з використанням співвідношення для сферичного екрана визначити ефективну магнітну проникність. В результаті розрахунків встановлено, що за зміни кількості шарів від 1 до 5 ефективна магнітна проникність змінювалася від 90 до 780, у той час як характерна магнітна проникність магнітної рідини ≈ 100 . Наведене свідчить про цільну укладку феромагнітних частинок у текстильному матеріалі, що призводить до підвищення магнітних властивостей навіть за малих витрат магнітної рідини. Аналіз перевірки ефективності розробленого захисного матеріалу свідчить, що навіть одношаровий матеріал з невеликим вмістом екрануючої субстанції знижує рівень магнітного поля промислової частоти у 1,5 рази.

Наукова новизна. Розроблений матеріал відповідає за своїми захисними властивостями чинним вимогам до екранування електромагнітних полів у виробничих умовах і його застосуванню для вироблення спеціального захисного одягу.

Практична значимість. Визначення ефективної магнітної проникності матеріалу у залежності від його товщини (концентрації магнітних частинок) дозволяє проектувати та виготовляти текстильні захисні матеріали з заданими коефіцієнтами екранування у залежності від електромагнітної обстановки у реальних виробничих умовах.

Ключові слова: екранування, магнітна рідина, феромагнітні наночастинки, магнітне поле, магнітна проникність, спектральний склад, захисний одяг.

Вступ.

Аналіз стану розроблення та впровадження матеріалів для екранування електромагнітних полів свідчить, що більшість досліджень та прикладних розробок стосується засобів колективного захисту.

Існуючі матеріали для виготовлення захисного одягу незручні у використанні через наявність вплетених у тканину дротів.

Матеріали з мікропроводами містять до третини срібла, мають велику вартість і не стійкі до механічних, термічних та хімічних впливів, що обов'язково відбувається за виготовлення з такого матеріалу спеціального одягу.

Тобто, постає задача дослідження можливостей отримання дешевого у виробництві, функціонального та ефективного щодо екранування

електромагнітних полів матеріалу для виготовлення захисного одягу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Навіть сучасні матеріали, такі як аморфні магнітотопки сплави не зовсім прийнятні для виготовлення захисного одягу і використовуються для захисту електрозварювальників, які мало пересуваються під час роботи [1]. В останні роки розроблено низку матеріалів на основі феритів [2, 3]. Їх недоліками є велика товщина для забезпечення потрібного екранування електромагнітних полів та складна амплітудно-частотна залежність захисних властивостей через резонансне поглинання електромагнітної енергії. Дослідження й розробки, наведені у роботах [4, 5] мають вузьке спрямування й призначені для захисту від вузькосмугового

поля, при чому, в основному, за рахунок відбиття електромагнітних хвиль. У роботах [6, 7] представлено використання металовмісних наночастинок як наповнювача у полімерному матеріалі. Це забезпечує великі коефіцієнти екранування полів. Але технологічний процес передбачає велику товщину (1 – 3 мм) та жорсткість. Такий матеріал, як зазначено у роботі, є модельним. У роботі [9] у якості екрануючої субстанції застосовано магнітну рідину, яка є колоїдним розчином з вмістом металевих частинок нанорозмірів. Товщина екрануючого шару не перевищувала 0,5 мм за прийнятних коефіцієнтів екранування. Але рідина наносилась на паперову пористу поверхню, тобто цей матеріал теж можна вважати модельним. Таким чином, актуальним є розроблення та дослідження захисного матеріалу, придатного для застосування у реальних умовах, зокрема, для виготовлення спеціального одягу персоналу, що працює в умовах впливу електричних та магнітних полів промислової частоти.

Мета роботи – розроблення й дослідження захисних властивостей текстильного матеріалу для екранування електромагнітних полів та придатного для виготовлення спеціального одягу.

Методики дослідження.

У якості основи захисного матеріалу обрано льняну тканину. Це обумовлене низкою міркувань: тканина має високу температуру горіння (190 – 230 °C), відповідно низьку горючість, високу міцність (в 3 – 5 разів перевищує міцність на розрив порівняно з х/б волокнами) при довготривалій експлуатації, високу гігроскопічність (12 – 17% в нормальному стані), що забезпечує гігієнічні властивості при експлуатації, велику пористість структури волокон (80% хімічного складу волокна - целюлоза), що сприяє закріпленню екрануючих частинок в структурі волокна. Джерелом феромагнітних наночастинок була магнітна рідина на основі етилового спирту (виробник – ТОВ «Ферогідродинаміка» м. Миколаїв, Україна). Переважний розмір наночастинок складає 10 нм. Вимірювання коефіцієнта екранування здійснювалося окремо за електричною та магнітною складовою електромагнітного

синтез металевих частинок у матеріалі під час його виготовлення, що обумовлює досить велику товщину за високої вартості технології. Але такий напрям досліджень є перспективним. Наприклад, у роботі [8] наночастинки заліза розчинялися у полімері. Недоліком матеріалу поля промислової частоти з використанням каліброваного приладу ВЕ-метр. Максимальна основна похибка вимірювань не перевищувала 3%. Перевагою приладу є передача сигналу від вимірювальної антени до приладу радіоканалом. Електромагнітне поле є квазістаціонарним, тому для коректності результатів захисний екран повинен бути геометрично замкненим. Вимірювальна антена вміщувалася усередину оболонки будь-якої форми, результати вимірювань фіксувалися приладом, розташованим за межами суттєвого впливу джерела поля.

Виклад основного матеріалу.

Для отримання захисного матеріалу льняна тканина просочувалася магнітною рідиною під тиском. Витрати рідини складали 50–60 г/м². Вимірювалися коефіцієнти екранування електричного та магнітного поля у залежності від кількості шарів матеріалу (табл. 1). Коефіцієнтом екранування вважається відношення напруженості поля джерела до напруженості поля у екранованій зоні.

Таблиця 1 – Ефективність екранування електромагнітного поля промислової частоти текстильним матеріалом з вмістом феромагнітних наночастинок*

n	Е, В/м			В, мкТл		
	Е _{дж}	Е _е	К _е	В _{дж}	В _е	К _е
1	720	525	1,42	146	76	1,92
2	720	290	2,48	146	29	5,03
3	720	190	3,78	146	18	8,11

*Е_{дж}, В_{дж} – напруженість електричного та індукція магнітного поля джерела; Е_е, В_е – напруженість електричного та індукція магнітного поля джерела у зоні захищеної екраном; К_е – коефіцієнт екранування; n – кількість шарів матеріалу.

Отримані захисні властивості за таких витрат магнітної рідини можна вважати задовільними, що підтверджує перспективність такої технології.

Але у такому вигляді матеріал не може бути використаний для виготовлення захисного одягу. Це пояснюється тим, що навіть застосування етилового спирту для вироблення магнітної рідини, вимагає, для запобігання злипання наночастинок у колоїдному розчині, додавання до нього поверхнево-активних речовин – жирної олеїнової кислоти, яку необхідно нейтралізувати.

Це можливо у два способи: нейтралізація кислоти лужним розчином та обробка тканини синтетичним миючим засобом. Зміну коефіцієнтів екранування порівняно з вихідним матеріалом у результаті двох обробок наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Ефективність екранування електромагнітного поля промислової частоти текстильним матеріалом*.

n	E, В/м				
	E _{дж}	E _л	K _л	E _п	K _п
1	770	592	1,3	476	1,69
2	770	355	2,2	325	2,3

Продовження таблиці 2

n	B, мкТл				
	B _{дж}	B _л	K _л	B _п	K _п
1	1,9	1,23	1,5	1,1	1,7
2	1,9	1,01	3,1	0,4	4,7

* E_л, B_л – напруженість електричного та індукція магнітного поля за екраном, обробленим лужним розчином; E_п, B_п – напруженість електричного та індукція магнітного поля за екраном обробленим синтетичним миючим засобом.

Обговорення результатів.

Як видно з наведених результатів, нейтралізація олеїнової кислоти лугом додатково вимиває екрануючу речовину.

Однак при застосуванні миючого засобу обсяг вимивання з матеріалу наночастинок екрануючої речовини значно менший у порівнянні із застосуванням лугу, що спрощує технологію отримання захисного матеріалу для використання в реальних виробничих умовах.

Але головною задачею є отримання матеріалу з необхідними захисними властивостями. Наприклад, для магнітного поля цей показник можна попередньо розрахувати, але для цього необхідно мати

значення відносної магнітної проникності μ . У даному випадку вона невідома через новизну матеріалу і відсутність даних про його електрофізичні та магнітні властивості у довідковій літературі.

Визначити та інтерполювати значення магнітної проникності можна на основі експерименту. Існують співвідношення та пакети програм Comsol, які дозволяють виконати необхідні розрахунки для сфери. З цією метою було виготовлено сферичні магнітні екрани з різною товщиною захисного шару (кількість шарів матеріалу).

Виходячи з отриманих коефіцієнтів екранування магнітного поля визначалася ефективна магнітна проникність матеріалу для кожного випадку. Це здійснювалося з використанням відомого співвідношення для сферичного екрана:

$$K_e = \frac{B_o}{B_e} = \frac{(2\mu + 1)(\mu + 2) - 2(\mu - 1)^2 a^3 / v^3}{9\mu}$$

де: а, в – радіуси внутрішньої та зовнішньої сфер відповідно.

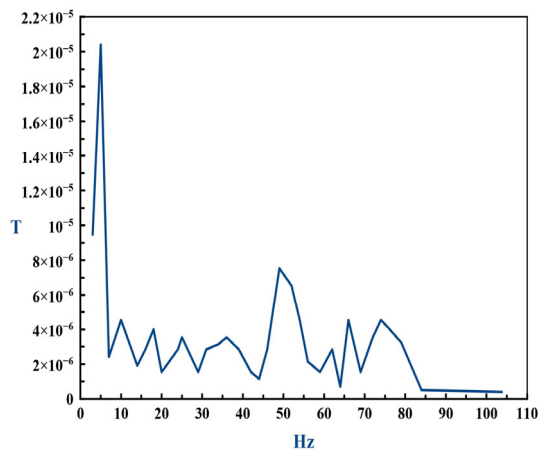
У результаті розрахунків встановлено, що за зміни кількості шарів від 1 до 5 ефективна магнітна проникність змінювалася від 90 до 780, у той час як характерна магнітна проникність магнітної рідини ≈ 100 . Наведене свідчить про щільну укладку феромагнітних частинок у текстильному матеріалі, що призводить до підвищення магнітних властивостей навіть за малих витрат магнітної рідини. Отримані дані спрощують та прискорюють процес проектування захисного матеріалу у залежності від умов його майбутнього застосування.

Для перевірки ефективності розробленого захисного матеріалу було проведено його випробування у виробничих умовах. Враховуючи переважну спрямованість виробу для енергетичної галузі, визначалися ступені зниження магнітного поля наднизької частоти складного спектрального складу, що відповідає більшості реальних умов. Вимірювання здійснювалися каліброваним аналізатором електричного спектра Spectran NF 5035 (рис. 1).

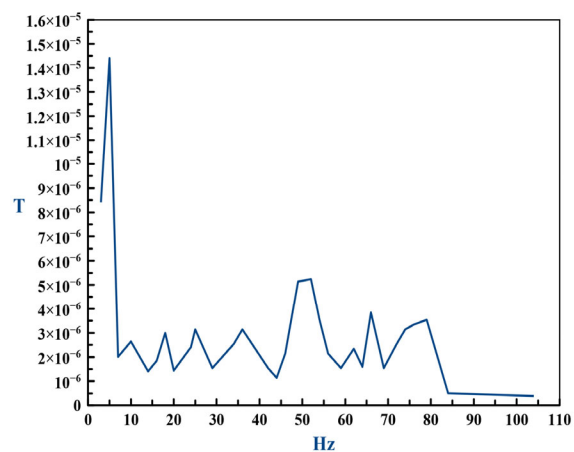
Аналіз отриманих даних свідчить, що навіть одношаровий матеріал з невеликим вмістом екрануючої субстанції знижує

рівень магнітного поля промислової частоти у 1,5 рази, що збігається з результатами лабораторних досліджень. Крім того, важливим є аналогічне зниження амплітуд інтергармонік. Слід зауважити, що екранування магнітної складової

електромагнітного поля є найбільш складною задачею, тому захист від електричної складової відбувається автоматично, що видно з наведених вище таблиць.



а)



б)

Рис.1 Спектри магнітного поля наднизької частоти у виробничому приміщенні а) спектр магнітного поля джерела; б) спектр магнітного поля у зоні, захищеній одним шаром текстильного матеріалу

Важливим для забезпечення гігієнічних вимог до матеріалу є мінімальне зниження природного магнітного поля.

Відомо, що варіації геомагнітного поля мають частоту кілька герц.

А зниження його рівня у виробничих умовах більш, ніж удвічі заборонено. Як показано на рис.1, у даному випадку коливання природного поля мають частоту 5 Гц і відповідають за амплітудою допустимому зниженню горизонтальної складової геомагнітного поля. При цьому захисний матеріал змінює цей показник у межах похибки вимірювань.

Таким чином, розроблений матеріал відповідає за своїми захисними властивостями чинним вимогам до екранування електромагнітних полів у виробничих умовах і його застосуванню для вироблення спеціального захисного одягу.

Висновки.

Отримані результати свідчать про доцільність виготовлення спеціального одягу для захисту працюючих від впливу електромагнітних полів промислової

частоти з текстильного матеріалу, просоченого магнітною рідиною.

Застосування льняної тканини з пористими волокнами дозволяє незворотно закріпити наночастинки у матеріалі. Для вимивання технологічної рідини – олеїнової кислоти достатньо обробити матеріал синтетичним миючим засобом. Наступні термохімічні обробки суттєво не впливають на захисні властивості матеріалу.

Визначення ефективної магнітної проникності матеріалу у залежності від його товщини (концентрації магнітних частинок) експериментальним методом свідчить про її зміну у межах 90 – 780. Це дозволяє проектувати та виготовляти текстильні захисні матеріали з заданими коефіцієнтами екранування у залежності від електромагнітної обстановки у реальних виробничих умовах.

Список літератури

1. 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.
2. Patil N., Velhal N., Pawar R., Puri V. Electric, magnetic and high frequency properties of screen-printed ferrite-ferroelectric composite thick films on alumina

substrate. *Microelectronics International*. 2015, Iss. 32(1), pp. 25–31.

3. Kasar V., Pawar A.A Novel Approach to Electromagnetic Interference Shielding for Cell Phones. *International Journal of Science and Research*, 2014, Iss. 3, pp. 1869–1872.

4. Singh J. Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2015, Iss.3, pp. 10022–10027.

5. Fionov A.S., Yurkov G.Y., Popko O.V., Kosobudskii I.D., Taratanov N.A., Potemkina O.V. Polymer nanocomposites: synthesis and physical properties. *Advances in Composite Materials or Medicine and Nanotechnology. Rijeka, Croatia: IN-TECH Education and Publishing*. 2011, pp. 343–364.

6. Таранов Н.А., Юрков Г.Ю., Кособудский И.Д. Синтез ренийсодержащих наночастиц на поверхности микрогранул политетрафторэтилена. *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2010, № 44, С. 95–101.

7. Богуш В.А., Борботько Т.В., Насонов Н.В. и др. Экраны электромагнитного излучения на основе магнитных материалов. Технологии. Конструкции. Применение. Минск: Бестпринт. 2016. 222 с.

8. Glyva V., Kovalenko V., Levchenko L., Tykhenko O. Research into protective properties of electromagnetic screens based on the metal-containing nanostructures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, № 3/12 (87), pp. 50–56.

9. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. A Thin Electromagnetic Shield of a Composite Structure made on the Basis of a Magnetic Fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2018, № 4, pp. 14–18.

References

1. Levchenko O.G., Levchuk V.K., Timoshenko O.N. (2011). Shielding materials and personal protective equipment of the welder from magnetic fields [*Ekraniruyushchie materialy i sredstva individualnoy zashchityi svarschika ot magnitnykh poley*]. *Avtomaticheskaya svarka*, No. 3, pp. 49–55. (in Russian).

2. Patil N., Velhal N., Pawar R., Puri V. (2015). Electric, magnetic and high frequency properties of screen

printed ferrite-ferroelectric composite thick films on alumina substrate. *Microelectronics International*, 2015, Iss. 32(1), pp. 25–31. (in English).

3. Kasar V., Pawar A. A Novel. (2014). Approach to Electromagnetic Interference Shielding for Cell Phones. *International Journal of Science and Research*, Iss. 3, pp. 1869–1872. (in English).

4. Singh J. (2015). Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, Iss.3, pp. 10022–10027. (in English).

5. Fionov A.S., Yurkov G.Y., Popko O.V., Kosobudskii I.D., Taratanov N.A., Potemkina O.V. (2011). Polymer nanocomposites: synthesis and physical properties. *Advances in Composite Materials or Medicine and Nanotechnology. Rijeka, Croatia: IN-TECH Education and Publishing*, pp. 343–364. (in English).

6. Taranov N.A., Yurkov G.Y., Kosobudskiy I.D. (2010). Synthesis of rhenium-containing nanoparticles on the surface of polytetrafluoroethylene microspheres. [*Sintez reniysoderzhashchikh nanochastits na poverhnosti mikrogranul politetraftoretilena*]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, No 44, pp. 95–101. (in Russian).

7. Bogush V.A., Borbotko T.V., Nasonov N.V. (2016). Screens of electromagnetic radiation based on magnetic materials. [*Ekranii elektromagnitnogo izlucheniya na osnove magnitnykh materialov*]. *Tehnologii. Konstruktsii. Primenenie*. Минск: Bestprint. 222 p. (in Russian).

8. Glyva V., Kovalenko V., Levchenko L., Tykhenko O. (2017) Research into protective properties of electromagnetic screens based on the metal-containing nanostructures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, No 3/12 (87), pp. 50–56. (in English).

9. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. (2018). A Thin Electromagnetic Shield of a Composite Structure made on the Basis of a Magnetic Fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*, No 4, pp. 14–18. (in English).

Надійшла до редакції 01.12.2019

Рецензент канд. физ.-мат. наук С.І. Конопелько

Левченко Лариса Олексіївна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; (пр-т Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056).

e-mail: larlevch@ukr.net

Багрий Марія Михайлівна – провідний фахівець Факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій; Національний авіаційний університет; (пр-т Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03058).

e-mail: baw1973@ukr.net

Караєва Наталія Веніамінівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; (пр-т Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056).

e-mail: nv_karaeva@ukr.net

RESEARCH OF ELECTROMAGNETIC FIELD SCREENING TEXTILE MATERIAL WITH THE CONTENT OF FERROMAGNETIC NANOPARTICLES

The purpose of the work is the development and research of the protective properties of textile material for shielding electromagnetic fields and material which for manufacturing of special clothing

Research methods. Measurement of the shielding coefficient was carried out separately on the electrical and magnetic component of the electromagnetic field of industrial frequency using a calibrated instrument BE- meter according to the instruction manual.

Results. Were investigated the screening properties of a linen-based textile material impregnated with a magnetic fluid based on ethyl alcohol. The main task was to obtain a material with the necessary protective properties. The choice of linen is due to a number of advantages, the main of which is the large porosity of the fiber structure (80% of the chemical composition is cellulose), which helps to secure the shielding particles in the fiber structure. Studies of the shielding coefficients of electric and magnetic fields, depending on the number of layers of material confirm the prospect of using as a shielding material a magnetic fluid based on ethyl alcohol. The obtained magnetic field shielding coefficients made it possible to determine the effective magnetic permeability using a spherical screen ratio. As a result of the calculations, that with changes in the number of layers from 1 to 5 the effective magnetic permeability varied from 90 to 780, while the characteristic magnetic permeability of the magnetic fluid is ≈ 100 . The above indicates a dense packing of ferromagnetic particles in textile material, which leads to an increase in magnetic properties even at small the cost of the magnetic fluid. An analysis of the performance testing of the developed protective material shows that even a single-layer material with a low content of shielding substance reduces the magnetic field level of the industrial frequency by 1,5 times.

Scientific novelty. The developed material is responsible for its protective properties to the current requirements for shielding electromagnetic fields in production conditions and its application for the production of special protective clothing.

Practical importance. Determination of the effective magnetic permeability of the material, depending on its thickness (concentration of magnetic particles) allows you to design and manufacture textile protective materials with specified shielding coefficients, depending on the electromagnetic environment in real production conditions.

Keywords: shielding, magnetic fluid, ferromagnetic nanoparticles, magnetic field, magnetic permeability, spectral composition, protective clothing.

Levchenko L. – Associate Professor, Ph.d., Associate Professor of the Department of Automation of Projection of Power Processes and Systems; National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Peremohy avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03056).

e-mail: larlevch@ukr.net

Bahrui M. – Leading Specialist, National Aviation University; (Cosmonaut Komarova avenue, 1, Kyiv, Ukraine, 03058).

e-mail: baw1973@ukr.net

Karaieva N. – Associate Professor, Ph.d., Associate Professor of the Department of Automation of Projection of Power Processes and Systems; National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Peremohy avenue, 37, Kyiv, Ukraine, 03056).

e-mail: nv_karaeva@ukr.net

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫМ МАТЕРИАЛОМ С СОДЕРЖАНИЕМ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Цель работы – разработка и исследование защитных свойств текстильного материала для экранирования электромагнитных полей, предназначенного для изготовления специальной одежды.

Методы исследования. Измерение коэффициента экранирования осуществлялось дифференциально по электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля промышленной частоты с использованием калиброванного прибора ВЕ-метр согласно инструкции по эксплуатации.

Результаты. Проведено исследование экранирующих свойств текстильного материала на льняной основе, пропитанного магнитной жидкостью на основе этилового спирта. Основной задачей было получение материала с необходимыми защитными свойствами. Выбор льняной ткани обусловлен рядом преимуществ, основным из которых является большая пористость структуры волокна (80% химического состава – целлюлоза), что способствует закреплению экранирующих частиц в структуре волокна. Исследование коэффициентов экранирования электрического и магнитного поля в зависимости от количества слоев материала подтверждают перспективность использования в качестве экранирующих материалов магнитной жидкости на основе этилового спирта. Полученные коэффициенты экранирования магнитного поля дают возможность с использованием отношения для сферического экрана определить эффективную магнитную проницаемость. В результате расчетов установлено, что при изменении количества слоев от 1 до 5, эффективная магнитная проницаемость менялась от 90 до 780, в то время, как характерная магнитная проницаемость магнитной жидкости ≈ 100 . Сказанное свидетельствует о плотной укладке ферромагнитных частиц в текстильном материале, что приводит к повышению магнитных свойств даже при малых расходах магнитной жидкости. Анализ проверки эффективности разработанного защитного материала показывает, что даже, однослойный материал с небольшим содержанием экранирующей субстанции, снижает уровень магнитного поля промышленной частоты в 1,5 раза.

Научная новизна. Разработанный материал соответствует по своим защитным свойствам действующим нормативным требованиям, предъявляемым к экранам для защиты от электромагнитных полей в производственных условиях и его применению для изготовления специальной защитной одежды.

Практическая значимость. Определение эффективной магнитной проницаемости материала в зависимости от его толщины (концентрации магнитных частиц) позволяет проектировать и изготавливать текстильные защитные материалы с заданными коэффициентами экранирования в зависимости от электромагнитной обстановки в реальных производственных условиях.

Ключевые слова: экранирование, магнитная жидкость, ферромагнитные наночастицы, магнитное поле, магнитная проницаемость, спектральный состав, защитная одежда.

Левченко Л. А. – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем; Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»; (пр-т Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056).

e-mail: larlevch@ukr.net.

Багрий М. М. – ведущий специалист, Национальный авиационный университет; (пр-т Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058).

e-mail: baw1973@ukr.net.

Караева Н.В. – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем; Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»; (пр-т Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056).

e-mail: nv_karaeva@ukr.net