

М. М. Багрій

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКРАНУЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЕЦОДЯГУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВПЛИВІВ

Проведено аналіз спеціального одягу, що використовується в Україні для захисту від електромагнітних впливів для працівників енергетичної галузі та експлуатаційників високочастотного електронного обладнання. В результаті аналізу існуючого спеціального захисного одягу, нормативної бази та експериментальних досліджень обґрунтовано доцільність проектування та розробки текстильних матеріалів для виготовлення спеціального захисного одягу з заданими екрануючими властивостями. Визначено критерії, яким повинен відповідати захисний одяг, а саме: достатні коефіцієнти екранування, прийнятні ергономічні характеристики, підвищена зносостійкість, збереження екрануючих властивостей в процесі експлуатації. В роботі у якості екрануючої субстанції використано збагачену залізу руду, отриману у результаті флотації на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті. В лабораторних умовах розроблено технологію нанесення екрануючої субстанції на текстильний матеріал та проведено випробування захисних властивостей текстильного матеріалу з заданими екрануючими властивостями. Дослідження виконувалися на частоті мобільного зв'язку (1,8 ГГц) за допомогою каліброваного вимірювача щільності потоку енергії ПЗ-31 та на частоті 50 Гц за допомогою каліброваного вимірювача напруженості електричного та магнітного поля ПЗ-50. Для промислової частоти визначався коефіцієнт екранування магнітної складової електромагнітного поля. Визначено коефіцієнти екранування. Розроблено технологію виготовлення костюму з екрануючими властивостями. В технологічному процесі передбачено конструктивно з'єднати захисні елементи, що дає можливість в процесі експлуатації зберегти захисні властивості після прання. Перевагою розробленої конструкції є можливість змінювати ступені захисту в залежності від конкретних виробничих умов. Захисні елементи легко знімаються, що забезпечує можливість прання та хімічного чищення без втрати захисних властивостей спецодягу, а також за рахунок збільшення кількості шарів захисних елементів змінювати ступені захисту одягу для конкретних виробничих умов.

Ключові слова: спеціальний захисний одяг, електромагнітний екран, коефіцієнт екранування, латекс, текстильний матеріал, електромагнітне поле, елементи конструкції.

Вступ

На сьогоднішній день в Україні склалася парадоксальна ситуація: поряд з розвитком високочастотного зв'язку, збільшенням кількості та підвищенням робочих напруг ліній електропередач та іншого електротехнічного обладнання спостерігається дефіцит захисного одягу для виконання регламентних та ремонтних робіт в умовах впливу електромагнітних полів.

Певною мірою це обумовлено тим, що більшість уваги приділяється засобам колективного захисту від електромагнітних впливів – матеріалів для облицювання великих поверхонь (у тому числі й композитних), екранування окремих технічних засобів, вирішення задач технічного захисту інформації.

Але такі матеріали мало придатні для вироблення засобів індивідуального захисту, зокрема екрануючих костюмів, що потребує розроблення новітніх матеріалів, дослідження їх захисних властивостей та створення одягу для захисту працюючих від впливу електричних, магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

На законодавчому рівні затверджено вимоги щодо захисту працівників від негативного впливу електромагнітних полів [1]. Відповідно до наказу від 05.02.2014 № 99 Міністерства енергетики та вугільної промисловості України обов'язковим є забезпечення працівників енергетичної галузі та експлуата-

ційників високочастотного електронного обладнання засобами індивідуального захисту від дії електромагнітних полів, а саме спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Стан питання

В останні роки в Україні розроблено кілька типів одягу для екранування магнітних полів - фартух електрозварювальника та екрануючий комплект для електротехніків [2, 3]. Ці вироби виготовлені зі стрічок з аморфного магнітомякого сплаву тканого плетіння. За прийнятних коефіцієнтів екранування вони мають низку недоліків: вони призначені для захисту від впливу тільки магнітних полів наднизьких частот та неергономічні через жорсткість конструкції. Більш прийнятні сучасні композитні матеріали [4, 5]. Але в них використовують вплетені у тканину мікро- і нанодоти, тобто побудовані на принципі тканини з дротами, яка використовується в Україні у енергетичній галузі і потребує заземлення, недостатньо стійка до механічних впливів тощо. До того ж згадані матеріали і вироби з них мають велику вартість.

В останні роки з'явилася низка досліджень та прикладних розробок щодо композитних металополімерних ізотропних матеріалів [6, 7]. Але ці матеріали призначені для захисту від впливу екранів дуже високих та ультрависоких частот. При цьому вони мають досить великі товщину і вартість та повністю

складаються з полімерних волокон, що не зовсім прийнятно для виготовлення спецодягу.

Перспективним є напрям виготовлення захисних матеріалів з використанням екрануючих частинок у полімерній матриці [8-10]. Але, наприклад, феритові частинки досить великі, тому для отримання прийнятного коефіцієнта екранування матеріал повинен мати велику товщину.

Останнім часом виконано ряд досліджень і розробок, де показано, що дрібнодисперсний залізорудний пил є дуже добрим наповнювачем для екрануючих матеріалів, при чому підвищення дисперсності збільшує коефіцієнти екранування.

Для залізних та залізвмісних частинок цей показник ще кращий [11, 12]. Але загальним недоліком цих розробок є використання виключно полімерних носіїв. Тому перспективним є розроблення захисного металовмісного покриття на текстильному носії.

Метою роботи є розроблення матеріалу для екранування електромагнітних полів на текстильній основі, дослідження його захисних властивостей та створення захисного одягу з нього.

Результати досліджень

Для виготовлення спеціального одягу для захисту від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону потрібен матеріал, який відповідає таким основним вимогам:

- достатні коефіцієнти екранування електромагнітних полів низьких та високих частот, тобто придатний для захисту працюючих в умовах впливу електромагнітних полів промислової частоти та її гармонік і при обслуговуванні обладнання бездротового зв'язку (ультрависокі частоти);
- прийнятні ергономічні характеристики – мала товщина, еластичність;
- високі міцність на розрив та термостійкість, прийнятні терморегуляційні властивості;
- збереження захисних властивостей після прання.

Як видно з наведеного, створити захисний матеріал, який би задовольняв усі вимоги вкрай важко. Тому доцільно у повному обсязі розв'язати задачі, пов'язані з першими двома вимогами, а сам захисний одяг проектувати комбінованим, із захисними вставками у костюм між шарами основного матеріалу та підкладки. Така технологія добре відпрацьована для виробництва бронезахисного одягу [13].

Для виготовлення захисних елементів було розроблено спеціальну технологію. У якості носія обрано льняну тканину, найбільш прийнятну для виготовлення спецодягу. Її перевагою є висока пористість волокон, що підвищує зчеплення екрануючої субстанції з основою.

У якості екрануючої субстанції обрано збагачену залізну руду, отриману у результаті флотації на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті. На відміну від залізорудного пилу, що осідає на фільтрувальних завісах, у такому концентраті набагато більше заліза (до 73%) та його сполук (до 20%). До того ж його дисперсність вища. Це дає змогу

отримати матеріал малої товщини з достатніми коефіцієнтами екранування.

Залізорудний пил розчиняється у стандартному рідкому латексі у кількості 15-20%. Ця суміш наносилась на льняну тканину, яка прокатувалася крізь вальці та висушувалася.

Порівняно з технологією, описаною у попередній роботі [14], кількість залізної субстанції збільшено, а тиск під час прокатки підвищено. Це надало змогу отримати більш еластичний і тонкий матеріал (до 0,25 мм).

Було проведено випробовування захисних властивостей матеріалу. Дослідження виконувалися на частоті мобільного зв'язку (1,8 ГГц) за допомогою каліброваного вимірювача щільності потоку енергії ПЗ-31 та на частоті 50 Гц за допомогою каліброваного вимірювача напруженості електричного та магнітного поля ПЗ-50.

Для промислової частоти визначався коефіцієнт екранування магнітної складової електромагнітного поля (екранування електричної складової не складає проблеми через природу електричного поля). Результати випробувань захисних властивостей матеріалу наведено у табл. 1 та 2.

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта екранування електромагнітного поля K_e частотою 1,8 ГГц від кількості шарів захисного матеріалу n *

n	1	2	3	4
K_e	2,8	5,6	9,6	17,0

* Коефіцієнтом екранування вважається відношення щільності потоку енергії перед екраном до цього показника у захищеній зоні. Вихідна щільність потоку енергії 190-210 мкВт/см².

Таблиця 2 – Залежність коефіцієнта екранування електромагнітного поля K_e частотою 50 Гц від кількості шарів захисного матеріалу n *

n	1	2	3	4
K_e	2,9	8,0	16,2	23,0

* Коефіцієнтом екранування вважається відношення індукції магнітного поля перед екраном до цього показника у захищеній зоні. Вихідна індукція магнітного поля 230-240 мкТл.

Як видно з наведених даних, коефіцієнти екранування в обох випадках дещо вищі порівняно з даними, наведеними у [14].

Це пояснюється більш щільним розташуванням екрануючих частинок у матеріалі.

З розробленого матеріалу вирізалися зразки необхідних лінійних розмірів і розміщувалися між тканиною верху та підкладки.

Ескізний зразок моделі костюму з захисними елементами приведено на рис. 1. Перевагою такої конструкції є можливість змінювати ступені захисту у залежності від конкретних виробничих умов.

Були проведені натурні вимірювання захисних властивостей розробленого костюму.

Вимірювальні антени для реєстрації високочастотного електромагнітного поля та магнітного поля промислової частоти вміщувалися між шарами пакету матеріалу куртки в зоні грудної клітки.

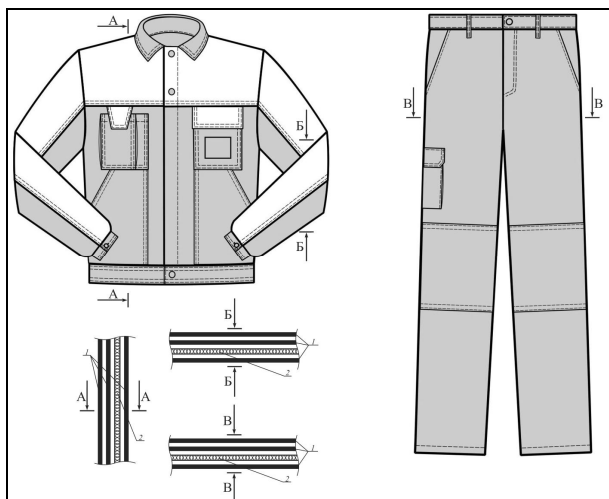


Рис. 1. Схематичне зображення зовнішнього вигляду костюму для захисту від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону: 1 – текстильний матеріал основи; 2 – текстильний матеріал з екрануючими властивостями

Застосовувалися двошарові захисні елементи. Це пояснюється тим, що на найбільш поширених робочих місцях працівників енергетичної галузі, що виконують роботи в виробничому середовищі при невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ зони III (наказ Міністерства охорони здоров'я України від 09.07.1997 № 198 «Про затвердження Державних санітарних правил і норм при виконанні робіт в не вимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно») мінімальний коефіцієнт екранування повинен складати 5. А згідно табл. 2 це відповідає двом шарам матеріалу. У результаті вимірювань встановлено, що коефіцієнт екранування в зоні грудної клітки складає 6,7-7,0 за магнітною складовою електромагнітного поля промислової частоти.

Зменшення коефіцієнта екранування відносно лабораторних випробувань матеріалу пояснюється неоднорідністю шарів пакету матеріалів костюму, тобто неповною замкненістю екрана.

Щодо екранування електромагнітного поля частотою 1-8 ГГц, то коефіцієнт екранування складає 5,2-5,4. Добра збіжність з лабораторними випробуваннями прогнозована і пояснюється малою довжиною електромагнітної хвилі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів: затв. наказом М-ва енергетики та вугільної промисловості України від 5 лютого 2014 р. № 99. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 лютого 2014р. № 335/25112.
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. Пат. 90892 України: МПК G12B 17/00. Екрануючий комплект. Здановський В.Г., Левченко Л.О., Осадчий Д.Б., Паньків Х.В., Подобед І.М. Опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11.
4. Ceken F., Pamuk G., Ozkurt A., Ugurlu S. Electromagnetic Shielding Properties of Plain Knitted Fabrics Containing Conductive Yarns. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2012. № 7. P. 81–87.
5. Ахмед А.А. Экраны электромагнитного излучения на основе модифицированных хлопкополиэфирных тканых полотен с наноструктурированным микропроводом: автореф. дис. канд. техн. наук: Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. Минск. 2016. 22 с.
6. Filippo Costa, Simone Genovesi, Agostino Monorchio, Giuliano Manara. Low-Cost Metamaterial Absorbers for Sub-GHz Wireless Systems. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2014. № 13. P. 27–30.
7. Viraj Bhingardive, Maya Sharma, Satyam Suwas, Gridhar Madras, Suryasarathi Bose. Polyvinylidene fluoride based light-weight and corrosion resistant electromagnetic shielding materials. *RSC Advances*. 2015. № 5. P. 35909–35916.

Перевагою костюму є те, що захисні елементи легко знімаються, що забезпечує можливість прання без втрати захисних властивостей спецодягу.

Використання розробленої технології дозволяє отримувати захисний матеріал потрібних параметрів. Для цього експериментально визначаються коефіцієнти екранування матеріалу у залежності від його товщини та вмісту екрануючої субстанції. Для цього можна використати відоме співвідношення для довгого циліндричного екрана:

$$K_e \approx \frac{\mu_{\text{эф}}(b^2 - a^2)}{4b^2}, \quad (1)$$

де K_e – коефіцієнт екранування; $\mu_{\text{эф}}$ – ефективна магнітна проникність матеріалу; b , a – зовнішній та внутрішній радіус екрана ($b-a$ – товщина стінки).

На основі експериментальних даних щодо коефіцієнта екранування визначається залежність ефективної магнітної проникності від геометричних та фізико-хімічних параметрів екрана.

Цю залежність використовують у подальшому для отримання екрануючого матеріалу з коефіцієнтом екранування, відповідними умовами експлуатації захисного одягу.

Висновки

1. Обґрунтовано необхідність розробки екрануючого текстильного матеріалу для захисту від впливів електромагнітних полів широкого частотного діапазону, придатного для виготовлення засобів індивідуального захисту для працівників енергетичної галузі та експлуатаційників високочастотного електронного обладнання.

2. Отриманий текстильний матеріал з заданими екрануючими властивостями має коефіцієнт екранування (K_e) для частоти мобільного зв'язку 1,8 ГГц – 2,8-17,0 (зі збільшенням кількості шарів матеріалу зростає K_e), для частоти 50 Гц - 2,9-23,0.

3. Розроблений одяг має прийнятні захисні властивості та ергономічні характеристики. З'єднаність елементів конструкції захисного одягу дозволяє підвищити екрануючі властивості за рахунок збільшення шарів захисних елементів та здійснювати хімічне чищення та прання одягу без втрати захисних властивостей.

8. 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. №. 32 (1). P. 25–31.
9. Sedlacik M., Mrlik M., Babayan V., Pavlinek V. Magnetorheological elastomers with efficient electromagnetic shielding. *Composite Structures*. 2016. №. 135. P. 199–204.
10. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V.. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8
11. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. №. 1/5 (91). P. 10–17. («Scopus», «Index Copernicus»).
12. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5 (96). P. 54–61. («Scopus», «Index Copernicus»).
13. Багрий М.М., Мойсеєнко С.І., Омельченко С.В. До питання захисту людини в сучасних засобах індивідуального бронезахисту. *Вісник Технологічного університету Поділля*. 2003. № 5. С. 65-67.
14. Тихенко О.М., Багрий М.М., Левченко Л.О., Хомаковський О.В., Резнік Д.В. Розроблення та дослідження захисних властивостей металотекстильних електромагнітних екранів. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2019. № 3. С. 47-51.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М. І. Адаменко,
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків

Received (Надійшла) 27.06.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.08.2019

Разработка и исследование экранирующих свойств спецодежды для защиты от электромагнитных воздействий

М. М. Багрий

Проведен анализ специальной одежды, используемой в Украине для защиты от электромагнитных воздействий для работников энергетической отрасли и эксплуатационников высокочастотного электронного оборудования. В результате анализа и экспериментальных исследований обоснована целесообразность проектирования и разработки текстильных материалов для изготовления специальной защитной одежды с заданными экранирующими свойствами. Определены критерии, которые предъявляются к защитной одежде, а именно: достаточные коэффициенты экранирования, приемлемые эргономические характеристики, повышенная износостойкость, сохранение экранирующих свойств в процессе эксплуатации. В работе в качестве экранирующей субстанции используется обогащенная железная руда, полученной в результате флотации на Полтавском горно-обогатительном комбинате. В лабораторных условиях разработана технология нанесения экранирующей субстанции на текстильный материал и проведены испытания защитных свойств текстильного материала с заданными экранирующими свойствами. Исследования выполнялись на частоте мобильной связи (1,8 ГГц) с помощью калиброванного измерителя плотности потока энергии ПЗ-31 и на частоте 50 Гц с помощью калиброванного измерителя напряженности электрического и магнитного поля ПЗ-50. Для промышленной частоты определялся коэффициент экранирования магнитной составляющей электромагнитного поля. Определены коэффициенты экранирования. Разработана технология изготовления костюма с экранирующими свойствами. В технологическом процессе предусмотрено конструктивно съемные защитные элементы, что позволяет в процессе эксплуатации сохранить защитные свойства после стирки. Преимуществом разработанной конструкции является возможность изменять степени защиты в зависимости от конкретных производственных условий. Защитные элементы легко снимаются, что обеспечивает возможность стирки и химической чистки без потери защитных свойств спецодежды, а также за счет увеличения количества слоев защитных элементов, регулировать степень защиты специальной одежды для конкретных производственных условий.

Ключевые слова: специальная защитная одежда, электромагнитный экран, коэффициент экранирования, латекс, текстильный материал, электромагнитное поле, элементы конструкции.

Development and study of shielding properties special clothes for protection against electromagnetic exposure

M. Bahrii

The analysis of special clothing which uses in Ukraine for protection from electromagnetic influences for the employees of the power industry and operators of e-technology electronic equipment is carried out. As a result of analysis and experimental research, has been substantiated the expediency of designing and developing textile materials for the production of special protective clothing with given shading properties. The criteria to be met by protective clothing, namely: adequate shielding coefficients, acceptable ergonomic characteristics, increased wear resistance, and the preservation of screening properties during operation, are determined. In the work were investigated the screening properties of the enriched iron ore obtained as a result of flotation at the Poltava Mining and Enrichment Plant. Under the laboratory conditions, a technology for applying a screening substance to a textile material was developed and a test of the protective properties of a textile material with given shielding properties was performed. The research was carried out at a mobile communication frequency (1.8 GHz) using a calibrated power flux density measuring device D3-31 and a frequency of 50 Hz using a calibrated electric and magnetic field tester D3-50. For the industrial frequency, the coefficient of screening of the magnetic component of the electromagnetic field was determined. The coefficients of shielding are determined. Was developed the technology of making a suit with shielding properties. In the technological process it is constructively provided with capacitive protective elements, which makes it possible during the operation to maintain the protective properties after washing. The advantage of the developed design is the ability to vary the degree of protection depending on the specific production conditions. Protective elements are easily removed, which ensures the need for washing and chemical cleaning without losing the protective properties of overalls.

Keywords: special protective clothing, electromagnetic screen, shielding coefficient, latex, textile material, electromagnetic field, structural elements.