



World Energy Council  
Conseil Mondial de L'Énergie



ЕНЕРГЕТИКА  
КОНОМІКА  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ  
КОЛОГІЯ

# НОВИНИ ЕНЕРГЕТИКИ

№ 8, 2021



## У цьому номері:

- **Індекс всесвітньої енергетичної трілеми.** *Продовження аналітичної роботи ВЕР* 3
- **Левченко Л. О., Осадчий Б. М., Багрій М. М., Панова О. В., Бірук Я. І.** Технологічні засади виготовлення спецодягу для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону 14
- **Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Вугільна енергетика: шляхи реконструкції та розвитку»,** що пройшла в жовтні 2020 року в м. Києві. *Продовження* 21
- **Новини енергетики коротко** 28

УДК 538.69.331.45



## ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦОДЯГУ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ШИРОКОГО ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ

TECHNOLOGICAL BASICS OF SPECIAL CLOTHING PRODUCTION FOR SHIELDING  
OF THE WIDE FREQUENCY RANGE ELECTROMAGNETIC FIELDS

*Левченко Л. О., Осадчий Б. М., Багрий М. М., Панова О. В., Бірук Я. І.*  
*Levchenko L., Osadshiy B., Bagriy M., Panova O., Biruk Y.*

*Проведено аналіз спеціального одягу, що використовується в Україні для захисту від електромагнітних впливів для працівників енергетичної галузі та експлуатаційників височастотного 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 в якості екрануючої субстанції використано збагачену залізну руду, отриману в результаті флотації на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті. В лабораторних умовах розроблено технологію нанесення екрануючої субстанції на текстильний матеріал та проведено випробовування 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'ємні 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.*

*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.*

## Вступ

На сьогоднішній день в Україні склалася парадоксальна ситуація: поряд зі збільшенням кількості та підвищенням робочих напруг ліній електропередач та іншого електротехнічного обладнання, розвитком високочастотного зв'язку, 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 — матеріалам для облицювання великих поверхонь

(у тому числі й композитних), екрануванню окремих технічних засобів, вирішенню 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 експлуатаційників 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 елек-

тротехніків [2, 3]. Ці вироби виготовлені зі стрічок з аморфного магнітм'якого 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 в тканину мікро- і нанодроти, тобто побудовані на принципі тканини з дротами, яка використовується в Україні у енергетичній галузі й потребує заземлення, недостатньо стійка до механічних впливів тощо. До того ж згадані матеріали й 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 велику товщину й 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, 9]. Але, наприклад, ферито-

ві частинки досить великі, тому для отримання прийняттого 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 залізовмісних частинок цей показник ще кращий [10, 11]. 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 50 Гц та її гармонік і при обслуговуванні обладнання бездротового зв'язку (ультрависокої частоти);

- прийнятні ергономічні характеристики – мала товщина, еластичність;

- висока 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 в повному обсязі розв'язати задачу, пов'язані з першими двома вимогами, а сам захисний одяг проектувати комбінованим, із захисними вставками в костюм між шарами основного матеріалу та підкладки. Така технологія добре відпрацьована для виробництва бронезахисного одягу [12].

Для виготовлення захисних елементів було розроблено спеціальну технологію. В 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 залізу руду, отриману в результаті флотації на Полтавському гірничозбагачувальному комбінаті. На відміну від залізорудного пилу, що осідає на фільтруваль-

них 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 в стандартному рідкому латексі в кількості 15–20%. Ця суміш наносилась на льняну тканину, яка прокатувалася крізь вальці та висушувалася.

Порівняно з технологією, описаною в попередній роботі [13], 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 випробування захисних властивостей

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

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 в табл. 1 та 2.

Як видно з наведених даних, коефіцієнти екранування в обох випадках дещо вищі порівняно з даними, наведеними у [13].

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.

Технологічними та конструктивними особливостями представленого захисного костюму є наявність двошарової підкладки зі спеціальними отворами для вкладення захисних елементів. Захисні елементи повністю відповідають лінійним розмірам деталей основи куртки та штанів. Як видно зі схематичного зображення зовнішнього виду костюму, захисні елементи від-

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/см<sup>2</sup>.

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.

сутні в планці-застібці куртки та поясі штанів, що пояснюється неможливістю зміни захисних елементів, але враховуючи лінійні розміри довжини куртки, захист буде забезпечуватися в цих ділянках за рахунок накладання одного виду одягу на інший. Кріплення захисних елементів до деталей основи захисного костюму за допомогою застібки-кнопки, що не впливає на експлуатаційні властивості. Перевагою такої конструкції є можливість змінювати ступені захисту у залежності від конкретних виробничих умов. Кількість шарів матеріалу не буде впливати на ергономічні та фізико-механічні властивості захисного костюму, так як захисний одяг за технологією виготовляється з підкладкою, основною функцією якої є підвищення зносостійкості та захист організму людини від негативного впливу зовнішнього середовища. За технічними умовами, підкладка виготовляється з натуральних хлопчатобумажних або льняних текстильних матеріалів.

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.

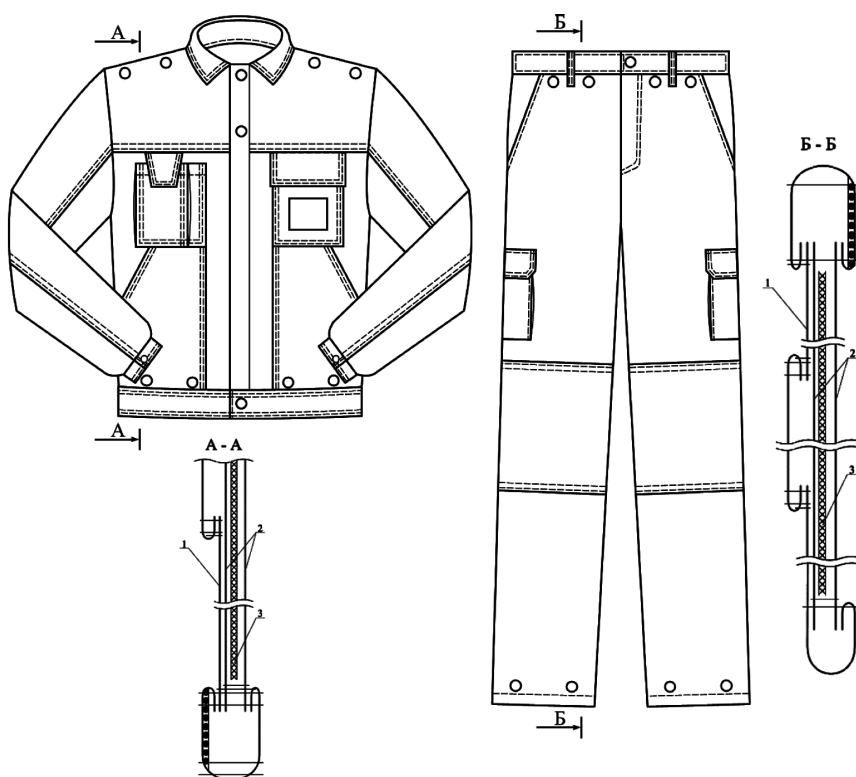


Рис. 1. Схематичне зображення зовнішнього виду костюму для захисту від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону: 1 – текстильний матеріал основи; 2 – текстильний матеріал підкладки; 3 – текстильний матеріал з екрануючими властивостями

Застосовувалися двохшарові 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 пови-

нен 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 скла-

дав 5,2–5,4. Добра збіжність з лабораторними випробуваннями прогнозована і пояснюється малою довжиною електромагнітної хвилі.

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

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:

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

де  $K_e$  – коефіцієнт екранування;  $\mu_{\text{ef}}$  – 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, від-

повідними умовами експлуатації захисного одягу.

### Висновки

1. Обґрунтовано необхідність розроблення 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 50 Гц – 2,9–23,0. 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'ємність 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.

### Література

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 2014 р. № 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, Giridhar Madras, Suryasarathi Bose.* Polyvinylidene fluoride based lightweight and corrosion resistant electromagnetic shielding materials. RSC Advances. 2015. № 5. P. 35909–35916.

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. *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»).

11. *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 electromag-

netic and soundproofing screen. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 5 (96). P. 54–61. («Scopus», «Index Copernicus»).

12. *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.

13. *Тихенко О. М., Багрий М. М., Левченко Л. О., Ходаковський О. В., Рєзнік Д. В.* Розроблення та дослідження захисних властивостей металотекстильних електромагнітних екранів. Вісті Донецького гірничого інституту. 2019. № 1. С. 100–106.

## ДО УВАГИ ПЕРЕДПЛАТНИКІВ!

### *Продовжується передплата на «ІНФОРМАЦІЙНИЙ БЮЛЕТЕНЬ НКРЕКП» на 2021 рік*

Продовжується передплата на «Інформаційний бюлетень НКРЕКП» на 2021 рік:

– через відділення УКРПОШТИ (передплатний індекс 01577, Каталог видань України на 2021 рік, стор. 122).

– у ПЕРЕДПЛАТНІЙ АГЕНЦІЇ – ТОВ «ПресЦентрКиїв», тел./факс: (044) 451-51-61, e-mail: [podpiska1@prescentr.kiev.ua](mailto:podpiska1@prescentr.kiev.ua)

Крім того, є можливість передплатити «Інформаційний бюлетень НКРЕКП» у зручний для Вас час у його ВИДАВЦЯ – ДП «Науково-технічний учбово-консультаційний центр» за адресою: 04080, Київ-80, вул. Кирилівська, 19-21, офіс 910, тел. (044) 425-49-92; моб. тел.: (068) 151-56-91, (095) 218-97-65, (096) 539-41-84, факс (044) 482-55-36;

e-mail: [ntukc@bigmir.net](mailto:ntukc@bigmir.net).

Ціна 1 примірника на один місяць (без вартості доставки) – 780 грн.

При замовленні бюлетеня у ВИДАВЦЯ встановлюються такі знижки :

- від 2 до 10 прим. – ціна знижується на 3%;
- від 11 до 40 прим. – ціна знижується на 5%;
- від 41 прим. і більше – ціна знижується на 10%;
- для громадських та бюджетних організацій – ціна знижується на 12%;

Вартість доставки по Україні – 33 грн, по Києву – 14 грн.

ДП «Науково-технічний  
учбово-консультаційний центр»