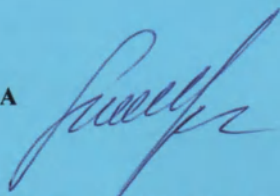


**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ПРАЦІ  
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ  
ІНСТИТУТ ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ ТА  
ОХОРОНИ ПРАЦІ»**

**БАГРІЙ МАРІЯ МИХАЙЛІВНА**



УДК 628.5:537.531:620.168+621.763 (043.3)

**ЗАХИСТ ПРАЦЮЮЧИХ ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ З  
ВИКОРИСТАННЯМ НОВІТНІХ ТЕКСТИЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ  
МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.26.01 – охорона праці

(263 – Цивільна безпека)

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2020

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Національному авіаційному університеті  
Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат медичних наук, доцент  
**Халмурадов Батир Данатарович**, Національний  
авіаційний університет Міністерства освіти і науки  
України, завідувач кафедри цивільної та промислової  
безпеки

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Болібрux Борис Васильович**, Національний  
університет «Львівська політехніка» Міністерства  
освіти і науки України, професор кафедри цивільної  
безпеки

кандидат технічних наук, доцент  
**Панова Олена Василівна**, Київський національний  
університет будівництва і архітектури Міністерства  
освіти і науки України, завідувач кафедри фізики

Захист відбудеться 22 грудня 2020 року о 10-00 годині на засіданні спеціалізованої  
вченої ради К 26.802.01 при ДУ «Національний науково-дослідний інститут  
промислової безпеки та охорони праці» за адресою:  
04060, Київ-60, вул. Вавілових, 13.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДУ «Національний науково-  
дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці» за адресою:  
04060, Київ-60, вул. Вавілових, 13.

Автореферат розісланий «18» листопада 2020 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради К 26.802.01,  
кандидат технічних наук



В.В. Майстренко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В останні роки, не зважаючи на впровадження енергозберігаючих технологій, спостерігається стійке підвищення електромагнітного навантаження на виробниче середовище. Це пояснюється збільшенням кількості електричного та електронного обладнання, задіяного у технологічних процесах, та ущільненням розміщення промислово-технологічного обладнання. Результатом є підвищення енергонасиченості промислових будівель, зростаючим навантаженням на силові системи електроживлення та наднормативне підвищення рівнів електромагнітних полів.

При симетричних навантаженнях в електричній мережі виникають гармоніки електроструму промислової частоти, та відповідних магнітних полів у виробничих приміщеннях. Крім того, підвищується електромагнітний фон низьких частот, притаманний більшості електронного обладнання, в основному – комп'ютерної техніки, що негативно впливає не тільки на працюючих, а й на стабільність роботи обладнання.

Аналіз експериментальних даних щодо електромагнітного стану на підприємствах електроенергетики та радіотехнічних об'єктах цивільної авіації, показує, що рівні електромагнітних полів у місцях перебування та пересування працюючих перевищують гранично допустимі у 3–4 рази.

На сьогоднішній день в енергетичній галузі України використовують індивідуальні засоби захисту, виготовлені з текстильного матеріалу із вплетеними у нього тонкими металевими дротами. Такі захисні вироби призначені для екранування тільки електричного поля, в той час як останні дослідження медиків та гігієністів свідчать про більш негативний вплив на людський організм магнітної складової електромагнітного поля.

Крім того, такі матеріали не відповідають сучасним ергономічним вимогам і втрачають захисні властивості через механічні пошкодження внаслідок розриву чи розламу дротів.

Це також стосується сучасних захисних матеріалів з імплантацією у синтетичну та натуральну тканину срібних тонких дротів та нанониток. Ускладнює широке застосування сучасних захисних матеріалів висока вартість. Тому, автором запропоновано розроблення та дослідження захисних властивостей тонкого, легкого екрануючого матеріалу, придатного для виготовлення засобів колективного та індивідуального захисту працюючих від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці.

Екрануючий текстильний композиційний матеріал для виготовлення захисного одягу повинен мати малу вагу та високу міцність з відсутністю деградації захисних властивостей у процесі експлуатації.

Створення нових екрануючих композиційних матеріалів, що забезпечують необхідний захист в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці обґрунтовують тему дисертаційного дослідження як актуальне науково-практичне завдання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до вимог Концепції Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці виробничого середовища, затвердженої Законом України від 4 квітня 2013 року № 178–IV, Закону України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» (від 9.09.2010 № 2514–VI);

науково-дослідної роботи, виконаної на ФЕБІТ Національного авіаційного університету: «ДК 021:2015 код 71610000-7 – Послуги з випробувань та аналізу складу і частоти (вимірювання рівнів електромагнітного поля, що створюється радіотехнічними засобами)» (КП «Міжнародний аеропорт Одеса») (2019 р.), у якій автор брав участь як співвиконавець;

планів науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету, з метою наукового обґрунтування розроблення засобів захисту працюючих від шкідливих впливів та систем організаційно-технічних заходів зі зниження виробничих ризиків за темою: НДР № 107/10.02.01 (Державний реєстраційний номер 0119U103931) «Дослідження шкідливих факторів виробничого та навколишнього середовища, оцінка виробничих ризиків та засоби їх мінімізації» (2020–2021 р.), у якій автор бере участь як співвиконавець.

**Мета дисертаційної роботи:** підвищення ефективності захисту працюючих за рахунок удосконалення захисних властивостей ізотропних матеріалів на основі металевих та металовмісних мікро- та нанорозмірних структур, придатних для виготовлення засобів індивідуального захисту працюючих в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці.

**Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі:**

проаналізувати результати досліджень та прикладних розробок у сфері захисту працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням;

дослідити експериментальним шляхом захисні властивості матеріалів на основі металевих та металовмісних мікроструктур задля обґрунтування технології виготовлення засобів індивідуального захисту;

дослідити експериментальним шляхом захисні властивості матеріалів на основі металевих та металовмісних наноструктур задля обґрунтування технології виготовлення засобів індивідуального захисту;

удосконалити розрахункові методи визначення захисних характеристик електромагнітних екранів, визначення та прогнозування захисних властивостей конструкцій на основі мікро- та нанорозмірних структур;

розробити технологічний процес виготовлення спеціального одягу для захисту працюючих від впливу електромагнітних полів з урахуванням ергономічних, механічних та термодинамічних вимог до спеціального одягу.

**Об'єкт досліджень.** Процес впливу небезпечних та шкідливих чинників електромагнітних полів виробничого середовища на підприємствах електроенергетики та радіотехнічних об'єктах цивільної авіації задля розробки захисного екрануючого текстильного композиційного матеріалу на основі металевих та металовмісних мікро- і наноструктур.

**Предмет досліджень.** Методи, моделі, технології створення текстильних композиційних матеріалів на основі металевих та металовмісних мікро- і наноструктур для виготовлення спеціального захисного одягу від небезпечних та шкідливих чинників електромагнітних полів в умовах виробничого середовища.

**Методи досліджень.** Науково-методичну основу виконаних досліджень складають:

метод інструментальних вимірювань коефіцієнтів екранування текстильних композиційних матеріалів для захисту від негативного впливу електромагнітних полів;

розрахунковий метод визначення та прогнозування захисних властивостей екрануючого текстильного композиційного матеріалу на стадії його проектування;

графо–аналітичний метод визначення ефективності екрануючих текстильних композиційних матеріалів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

*Уперше:*

**встановлено** математичну залежність коефіцієнта екранування від кількості шарів екрануючого матеріалу  $n$  та дискретності коефіцієнта екранування  $F$ , що дає можливість розрахунковим методом визначати та прогнозувати коефіцієнт екранування захисних конструкцій на основі мікро- та нанорозмірних структур для конкретних умов виробничого середовища.

**запропоновано** методологічні засади виготовлення екрануючого металополімерного матеріалу на основі дрібнодисперсного залізородного пилу (5-100 мкм), латексу та текстильного носія, придатного для виготовлення екранів великих площ. Отриманий матеріал на основі дрібнодисперсного залізородного пилу, латексу та текстильного носія дозволяє ослабити негативний вплив електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц при товщині матеріалу 1,0-1,5 мм (1 шар), вмісту екрануючої субстанції 15-20% на 10%, та відповідно електромагнітного поля частотами 2,4÷2,6 ГГц на 11% в умовах виробничого середовища;

**запропоновано** методологічні засади виготовлення засобів індивідуального захисту від негативного впливу електромагнітних полів, досліджено захисні властивості текстильного композиційного матеріалу у який імплантовано металеві та металовмісні структури. Отриманий текстильний композиційний матеріал дозволяє ослабити негативний вплив електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц при товщині матеріалу до 1,5 мм (1 шар) за вмісту екрануючої субстанції 15,0÷20,0 % на 29 %, та відповідно, електромагнітного поля частотами 1,8 ГГц на 28 % в умовах виробничого середовища.

**Удосконалено:** методи визначення захисних властивостей текстильних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів та прогнозування коефіцієнтів екранування захисних конструкцій в залежності від амплітудно-частотних характеристик електромагнітного поля.

**Обґрунтованість та достовірність** наукових результатів, висновків та положень забезпечується використанням каліброваного вимірювального обладнання з переліків, рекомендованих чинними нормативними актами, коректністю

прийнятих у розрахунках припущень, допустимою збіжністю експериментальних та теоретичних результатів.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у наступному:

розроблено, виготовлено та випробувано захисні властивості костюму для захисту працюючих від впливу магнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот на основі металевих наноструктур;

розроблено промислову технологію виготовлення захисного металополімерного матеріалу на текстильній основі, у волокна якого імплантовано металеві та металовмісні наноструктури, придатного для проектування та виготовлення засобів індивідуального та колективного захисту від негативного впливу електромагнітних полів наднизьких та ультрависоких і вищих частот, найбільш притаманних для виробничих умов;

розроблено метод розрахунку захисних властивостей текстильних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів, що дозволяє раціоналізувати процес впровадження організаційно-технічних заходів з підвищення електромагнітної безпеки працюючих та мінімізує матеріальні витрати;

результати дисертаційної роботи впроваджено: в навчальний процес НАУ кафедри цивільної та промислової безпеки; ДП Південної ЕС НЕК «Укренерго» на ПС 330 кВ «Аджалик» та ПС 330 кВ «Новоодеська».

**Особистий внесок здобувача.**

Здобувачем самостійно проведено аналіз та підбір літературних джерел, обґрунтовано мету та задачі дослідження, сформульовано зміст наукової новизни одержаних результатів. Проведено експериментальні дослідження в лабораторних умовах та в умовах виробничого середовища з подальшою обробкою результатів вимірювань, обробка результатів вимірювань, формулюванням та обґрунтуванням висновків.

В наукових працях [1-5], що виконані у співавторстві, здобувачу належить аналіз переваг та недоліків розрахункових та експериментальних методів оцінки та прогнозування електромагнітної обстановки на підприємствах енергетичної галузі України, аналіз умов виробничого середовища та вимог з охорони праці, аналіз та обробка отриманих результатів екранування електромагнітних полів, обґрунтування вибору матеріалів та методів дослідження екрануючих матеріалів, дослідження захисних властивостей текстильного матеріалу з заданими екрануючими властивостями, підготовка текстильних композиційних екрануючих матеріалів для проведення дослідження, обробка отриманих результатів, формулювання висновків та підготовка до публікацій.

В науковій праці [6] здобувачу належить ідея, обґрунтування стану питання, проведення дослідження в лабораторних умовах та аналіз результатів, формулювання висновків по роботі та підготовка до публікації. В наукових роботах [7-9] здобувачу належить постановка задач дослідження, підготовка зразків до проведення досліджень, обробка результатів вимірювання досліджуваних зразків композиційних матеріалів; аналіз отриманих результатів, висновки.

У патенті здобувач брав участь в розробці та описі формули винаходу.

### **Апробація результатів дисертації.**

Основні положення та результати дисертаційного дослідження представлено на 3 наукових конференціях різного рівня:

XVII Міжнародна науково-методична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Рівне, 2019 р., заочна участь);

VI Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика» (м. Херсон, 2019 р., заочна участь);

XI International Scientific and Practical Conference «Theoretical Foundations of Modern Science and Practice» (Мельбурн, Австралія 2020 р., заочна участь).

### **Публікації.**

Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 12 друкованих працях, зокрема у:

науковому фаховому виданні України, що індексується наукометричними базами даних General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща) – 3 статті;

наукових фахових виданнях України – 5 статей;

науковому виданні іноземної держави що індексується наукометричними базами даних Index Copernicus (Польща), IAJIF (ЄС) 1 стаття;

в збірниках матеріалів конференцій – 3 тези доповідей;

патент України на корисну модель – 1.

### **Структура та обсяг дисертації**

Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел із 127 посилань, 3 додатків.

Дисертація містить 12 таблиць, 13 рисунків.

Основний текст роботи викладено на 107 сторінках.

Загальний обсяг роботи становить 152 сторінки.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, описано наукову новизну та наведено практичне значення одержаних результатів.

Показано зв'язок роботи з науково-дослідними темами, особистий внесок здобувача, викладено структуру та обсяг дисертаційної роботи, інформацію про публікацію результатів.

**Перший розділ** дисертаційного дослідження присвячено аналітичному огляду літературних джерел, проаналізовано електромагнітні поля (далі – ЕМП) техногенного походження, їх негативний вплив на працюючих в умовах виробничого середовища.

Аналіз показав негативні фактори впливу ЕМП на організм людини у виробничому середовищі.

Досліджували стан питань електромагнітної безпеки працюючих в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці та зробили значні

наукові внески та практичні впровадження такі вітчизняні та закордонні вчені як: Глива В.А., Думанський Ю.Д., Левченко О.Г., Запорожець О.І., Панова О.В., Здановський В.Г., Filippo Costa, Ахмед А.А., Chung D.L., Kasar V.

Вагомий внесок у вивчення проблеми впливу ЕМП встановили фахівці IARC (Міжнародна науково-дослідна організація з вивчення питань охорони здоров'я), досліджуючи професійні захворювання інженерів-електронщиків, інженерів-електриків, електриків, електромонтажників, персоналу, що обслуговує телефоні лінії, радіостанції, електростанції, електрозварювальників, ремонтників електротехнічного обладнання, кіномеханіків, працівників аеродромних служб та міського електричного транспорту, наголошуючи на канцерогенності ЕМП різних частотних діапазонів. Аналізуючи міжнародні нормативні акти з електромагнітної безпеки, постійний розвиток та вдосконалення якісних та кількісних характеристик приладів та джерел електромагнітних випромінювань, слід відмітити певне відставання національної нормативної бази від вимог міжнародних стандартів.

Таблиця 1 – Показники гранично допустимих рівнів якісних характеристик вимірювання потужності випромінювань ЕМП

Україна	Країни ЄС	США
ГДР SAR	ГДР SAR	ГДР SAR
$\leq 2$ Вт/кг на 10 г тканин	$\leq 2$ Вт/кг на 10 г тканин	$\leq 1,6$ Вт/кг на 1 г тканин
SAR – Specific Absorption Rates (конкретні норми поглинання)		

В табл. 1 показано гранично допустимі рівні якісних характеристик вимірювання потужності випромінювань ЕМП, де чітко видно обмеження рівня SAR в США більш жорстке в порівнянні з країнами ЄС та Україною. Проаналізовано переваги та недоліки текстильних матеріалів з екрануючими властивостями. Враховуючи наявні теоретичні дослідження та певні практичні результати, питання вдосконалення захисних властивостей текстильних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці є актуальним.

У другому розділі розглянуто методологічні основи визначення захисних властивостей текстильних композиційних матеріалів для екранування електромагнітних полів у різних діапазонах частот в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці, розглянуто принципи теорії екранування. Визначення екрануючих властивостей захисних текстильних композиційних матеріалів необхідно виконувати з врахуванням заданих параметрів експлуатації екранів. Аналіз засобів та методів визначення екрануючих властивостей показує, що особливістю проведення досліджень є співвідношення геометричних характеристик лабораторного зразка та технічних характеристик обладнання для визначення частотних амплітудних параметрів електромагнітних полів.

Визначення захисних властивостей екрануючих матеріалів є складною задачею з технічної точки зору – існують суттєві розбіжності при натурних вимірюваннях та випробуваннях в лабораторних умовах.

При використанні вимірювальних приладів враховані похибки, спричинені дифракційними явищами, що залежать від розмірів досліджуваних екранів.

В табл. 2 представлено технічні засоби вимірювань з переліків, рекомендованих чинними нормативними актами, що використані автором для проведення досліджень коефіцієнтів екранувань  $K_e$  текстильних композиційних матеріалів.

Таблиця 2 – Технічні засоби вимірювань коефіцієнтів екранувань  $K_e$  текстильних композиційних матеріалів

№ з/п	Назва приладу	Призначення приладу
1	Вимірювач ЕМВ ПЗ-31	Для вимірювання рівнів електромагнітних полів, що нормуються густиною потоку
2	Прилад ПЗ-50	Для вимірювання напруженості електричних та магнітних полів
3	Аналізатор спектра ЕМП Spectran NF 5035	Для визначення зміни амплітудних значень спектрів електричного та магнітного поля
4	Прилад ВЕ-метр «АТ-004, 50 Гц»	Для вимірювання коефіцієнта екранування за електричною та магнітною складовою

Окремого розгляду потребують розрахункові методи прогнозування екрануючих властивостей нових текстильних композиційних матеріалів на основі мікро- та нанорозмірних структур. Розрахунки щодо визначення змін електричної та магнітної складових електромагнітного поля базуються на розв'язанні рівнянь Максвелла та співвідношеннях електродинаміки суцільних середовищ. Щоб отримати аналітичні функції розрахунку ефективності екранування електромагнітних полів необхідно визначити напруженість електромагнітної хвилі, що проходить крізь екрануючий матеріал, що досліджується

Відомо, що частки коефіцієнта екранування  $K_e$ , які припадають на відбиття та поглинання електромагнітної хвилі матеріалом залежать від співвідношення хвильових опорів простору розповсюдження хвилі  $Z_0$  та хвильового опору матеріалу екрана  $Z$ .

При цьому: 
$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}, \text{ а } Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}}$$

де:  $\sigma$  – провідність матеріалу екрана;  
 $\epsilon$  – діелектрична проникність матеріалу;  
 $\epsilon_0$  – діелектрична стала;  
 $\mu$  – ефективна магнітна проникність матеріалу;  
 $\mu_0$  – магнітна стала.

Здійснивши математичні перетворення, отримано значення коефіцієнтів екранування  $K_e$  за рахунок відбиття та поглинання електромагнітної хвилі матеріалом:

$$K_e = 20 \lg \left( \frac{Z_0}{4Z} \right), \text{ дБ,}$$

тобто, меншому опору матеріалу відповідають більші коефіцієнти відбиття.

Щоб знизити коефіцієнт відбиття екранів, потрібно наблизити значення хвильових опорів матеріалів. Опір вільного простору складає 377 Ом.

З наведеного вище видно, що коефіцієнти відбиття залежать лише від електрофізичних характеристик матеріалу екрана  $\mu$ ,  $\varepsilon$  і не залежать від геометричних (лінійних) характеристик (товщини) екранів.

Щодо коефіцієнтів поглинання  $K_n$ , то цей показник є критичним за низьких коефіцієнтів відбиття екрану.

Екрани з металополімерних матеріалів мають складні співвідношення відбивальних та поглинальних властивостей.

Їх необхідні параметри можна визначити (принаймні для фіксованої концентрації металевих включень у непровідну матрицю), розрахувавши вхідний опір  $Z$ :

$$Z = \frac{Z_1^{(N-1)} - jZ_2 \operatorname{tg}(k_1 d)}{Z_2 - jZ_1^{(N-1)} \operatorname{tg}(k_2 d)} Z_2,$$

де:  $Z_1^{(N-1)}$  – хвильовий опір металу;  
 $Z_2$  – хвильовий опір полімеру;  
 $k$  – хвильові числа металу і полімеру відповідно;  
 $d$  – товщина екрана.

Для складних екрануючих систем, в тому числі із застосуванням новітніх композиційних матеріалів, необхідно враховувати провідності (діелектричні характеристики) складових матеріалів, а саме провідної та непровідної. Ослаблення за потужністю електромагнітної хвилі  $K_e$  визначається як:

$$K_e = \frac{(n+1)\chi^2}{4n} \exp\left(\frac{2 \cdot \chi \cdot \omega \cdot x}{c}\right),$$

де:  $n$  – коефіцієнт заломлення хвилі матеріалом;  
 $\chi$  – коефіцієнт екстинкції матеріалу, який визначає швидкість затухання хвилі;  
 $\omega$  – циклічна частота випромінювання;  
 $x$  – товщина зразка.

У випадку нормально падаючої хвилі коефіцієнт відбивання  $K_B$  визначається:

$$K_B = \frac{(n-1)^2 + \chi^2}{(n+1)^2 + \chi^2},$$

Величина коефіцієнту екстинкції  $\chi$  та величина коефіцієнту заломлення матеріалу  $n$  визначається зі співвідношень:

$$\chi = \sqrt{\frac{\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}}{2}}, \quad n = \sqrt{\frac{-\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}}{2}},$$

де:  $\varepsilon'$  – дійсна складова комплексної діелектричної проникності;  
 $\varepsilon''$  – уявна складова комплексної діелектричної проникності.

$$\varepsilon = \varepsilon' + i \frac{4\sigma}{\omega},$$

Наведена послідовність розрахунку визначення захисних властивостей електромагнітних екранів, прогнозування коефіцієнтів екранування захисних конструкцій надає можливість проектувати матеріали з заданими захисними властивостями.

**Третій розділ** дисертаційного дослідження присвячено дослідженню та розробленню технології виготовлення текстильних композиційних матеріалів з екрануючими властивостями для захисту від впливу електромагнітних полів в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці.

В дисертаційній роботі проведено два паралельних дослідження: проектування екрануючого текстильного матеріалу на основі металевих і металовмісних мікроструктур, дослідження його захисних властивостей та визначення умов їх підвищення; проектування екрануючого текстильного матеріалу на основі металевих та металовмісних наноструктур, дослідження його захисних властивостей та визначення умов їх підвищення.

Для проведення досліджень взято за основу льняний текстильний матеріал (артикул 11110, 11119, розривне навантаження: по основі – 170 Н, по утку – 105 Н, стійкість до стирання 7000 циклів) завдяки високій температурі горіння (190-230 °С), відповідно низької горючості, високої міцності (в 3-5 разів перевищує міцність на розрив порівняно з х/б волокнами) при довготривалій експлуатації, високій гігроскопічності (12-17% в нормальному стані), що забезпечує гігієнічні властивості при експлуатації, великій пористості структури волокон (80 % хімічного складу волокна складає целюлоза), що дає можливість закріплення екрануючих частинок в структурі волокна.

При дослідженні захисних властивостей екрануючого текстильного матеріалу на основі металевих і металовмісних мікроструктур запропоновано розглянути екрануючий текстильний матеріал на основі екрануючої субстанції пилу залізної руди, що отримується під час подрібнення та збагачення на гірничозбагачувальних комбінатах.

За даними НДЛ ПрАТ «Полтавський гірничозбагачувальний комбінат» збагачений залізорудний пил отримують в результаті флотації у вигляді водних суспензій, у якій вміст заліза та його сполук складає: Fe – 72-73 %, FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> – 8-20%.

У якості екрануючих металевих та металовмісних структур використано колоїдний розчин залізорудного пилу з додаванням 3-5% суспензії полівінілацетату, яким просочено (пропитано) льняний текстильний матеріал.

Через відносно малі розміри екрануючих металевих та металовмісних структур та пористість структури льняного волокна мікрочастинки добре імпантувалися в основу волокна.

Нанесення залізовмісного розчину не вплинуло на фізико-механічні властивості текстильного матеріалу.

Для проведення досліджень виготовлено зразки трьох груп з дисперсністю залізорудного пилу 5-10 мкм, 15-25 мкм, 50-100 мкм. Беручи до уваги квазістаціонарність магнітного поля промислової частоти, випробування проводились для геометрично замкненого екрану.

Щоб визначити коефіцієнти екранування  $K_e$  електромагнітних випромінювань частотами 2,4-2,6 ГГц, застосовано плаский екран, що розміщується в суцільній металевій конструкції, та унеможливило проходження випромінювань за межами екрану за рахунок явищ дифракції.

Вимірювання напруженості магнітного поля промислової частоти проведено приладом ПЗ-50, густина потоку енергії випромінювань ультрависокої частоти – каліброваним приладом ПЗ-31.

Таблиця 3 – Залежність  $K_e$  ЕМВ ультрависокої частоти від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізородного пилу (D)

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

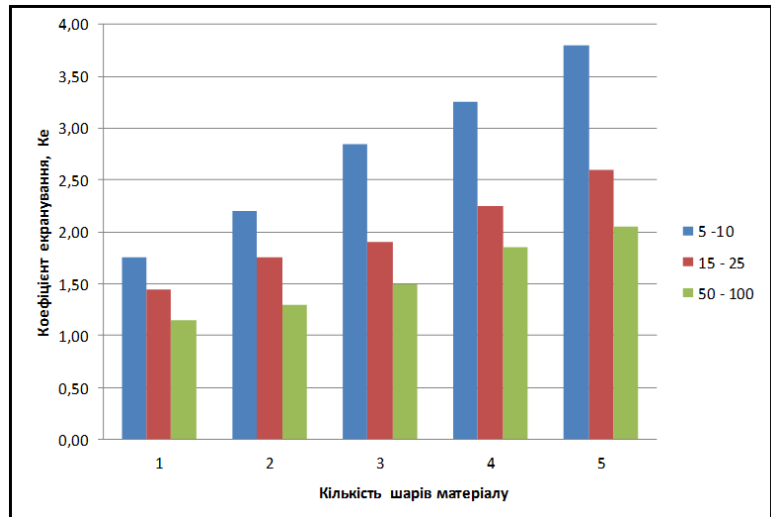


Рисунок 1 – Діаграма залежності  $K_e$  ЕМВ ультрависокої частоти у залежності від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізородного пилу

Результати вимірювань коефіцієнтів екранування електромагнітних випромінювань частотами 2,4-2,6 ГГц у залежності від кількості шарів та дисперсності залізородного пилу наведено у табл. 3 та представлено у виді діаграми на рис. 1.

Таблиця 4 – Залежність  $K_e$  МП промислової частоти 50 Гц від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізородного 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

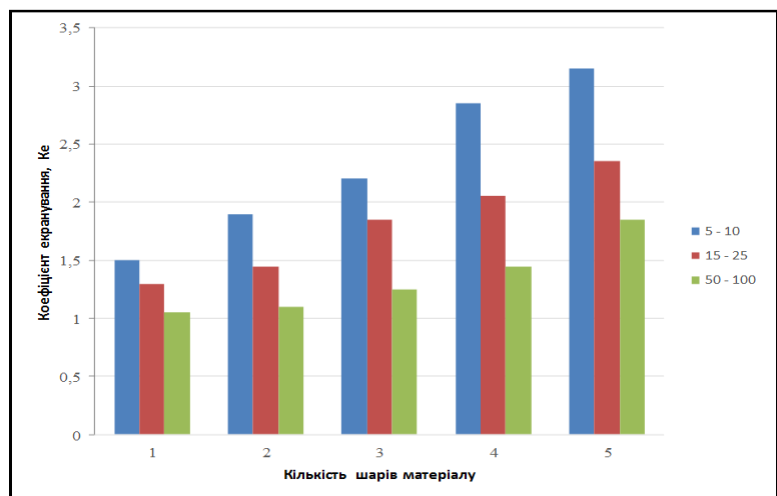


Рисунок 2 – Діаграма залежності  $K_e$  МП промислової частоти 50 Гц у залежності від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізородного пилу

Для магнітного поля промислової частоти 50 Гц проведено аналогічні вимірювання, результати яких представлено у табл. 4 та представлено у виді діаграми на рис. 2.

Результати вимірювань коефіцієнтів екранування електромагнітних випромінювань показують, що при досить малій товщині екрануючого матеріалу (близько 0,25 мм складає 1 шар) спостерігається зниження рівнів магнітного та електромагнітного поля.

При дослідженні захисних властивостей екрануючого текстильного композиційного матеріалу на основі металевих і металовмісних наноструктур, вивчено та обґрунтовано результати вимірювань екрануючих властивостей льняного текстильного матеріалу, просоченого (пропитаного) магнітною рідиною на основі етилового спирту.

Магнітна рідина є розчином феромагнітних наночастинок на основі етилового спирту (виробник – ТОВ «Ферогідродинаміка» м. Миколаїв, Україна).

Розмір наночастинок складає 10 нм. Захисний матеріал просочувався (пропитувався) магнітною рідиною під тиском. Витрати рідини складала 50-60 г/м<sup>2</sup>.

Коефіцієнти екранування електричного та магнітного поля вимірювалися у залежності від кількості шарів матеріалу, результати представлено у табл. 5. Коефіцієнтом екранування вважається відношення напруженості поля джерела до напруженості поля в екранованій зоні.

Таблиця 5 – Ефективність екранування електромагнітного поля промислової частоти текстильним матеріалом з вмістом феромагнітних наночастинок\*

n	E, В/м			B, мкТл		
	E <sub>дж</sub>	E <sub>е</sub>	K <sub>е</sub>	B <sub>дж</sub>	B <sub>е</sub>	K <sub>е</sub>
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

- \* E<sub>дж</sub>, B<sub>дж</sub> – напруженість електричного та індукція магнітного поля джерела;  
 E<sub>е</sub>, B<sub>е</sub> – напруженість електричного та індукція магнітного поля у зоні захищеної екраном;  
 K<sub>е</sub> – коефіцієнт екранування;  
 n – кількість шарів матеріалу.

У такому вигляді матеріал не може бути застосований для виготовлення спеціального захисного одягу. Це пояснюється тим, що для отримання магнітної рідини з необхідними властивостями та запобігання злипанню наночастинок у колоїдному розчині із застосуванням етилового спирту досягається додаванням поверхнево-активної речовини – жирної олеїнової кислоти, яку необхідно нейтралізувати.

В роботі досліджені два способи нейтралізації кислоти: лужним розчином та обробка тканини синтетичним миючим засобом.

Зміну коефіцієнтів екранування у результаті двох обробок наведено у табл. 6.

Таблиця 6 – Ефективність екранування електромагнітного поля промислової частоти текстильним матеріалом\*

n	E, В/м					B, мкТл				
	E <sub>дж</sub>	E <sub>л</sub>	K <sub>л</sub>	E <sub>п</sub>	K <sub>п</sub>	B <sub>дж</sub>	B <sub>л</sub>	K <sub>л</sub>	B <sub>п</sub>	K <sub>п</sub>
1	770	592	1,3	476	1,69	1,9	1,23	1,5	1,1	1,7
2	770	355	2,2	325	2,3	1,9	1,01	3,1	0,4	4,7

\* E<sub>л</sub>, B<sub>л</sub> – напруженість електричного та індукція магнітного поля за екраном, обробленим лужним розчином;

E<sub>п</sub>, B<sub>п</sub> – напруженість електричного та індукція магнітного поля за екраном обробленим синтетичним миючим засобом.

Нейтралізація олеїнової кислоти лужним розчином частково вимиває екрануючу речовину з текстильного матеріалу, що впливає на захисні властивості.

Ефективність розробленого захисного матеріалу проведено у виробничих умовах. Визначено ступені зниження індукції магнітного поля наднизької частоти складного спектрального складу, що відповідає більшості реальних умов виробничого середовища. Вимірювання здійснювалися аналізатором спектра електромагнітного поля Spectran NF 5035.

Результати вимірювань представлено на рис. 3, де T – індукція магнітного поля.

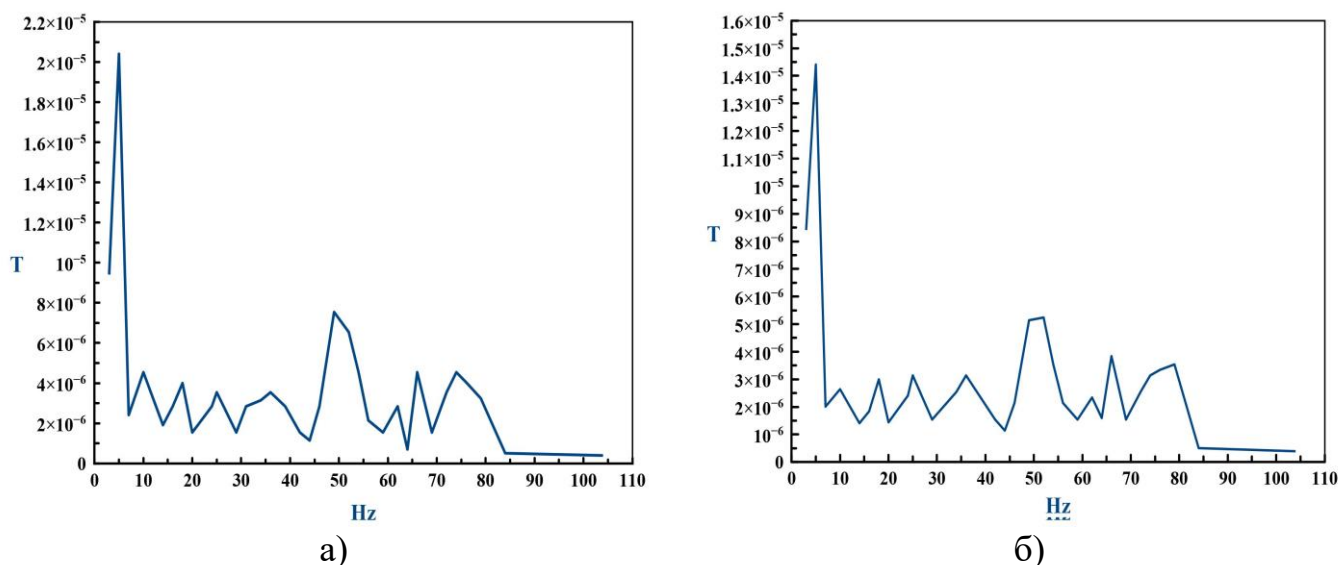


Рисунок 3 – Спектри магнітного поля наднизької частоти у виробничому приміщенні

а) спектр магнітного поля джерела; б) спектр магнітного поля у зоні, захищеній одним шаром текстильного матеріалу

Аналіз отриманих даних показує, що одношаровий матеріал з невеликим вмістом екрануючої субстанції знижує рівень магнітного поля промислової частоти у 1,5 рази, що збігається з результатами лабораторних досліджень.

Розроблений матеріал відповідає вимогам охорони праці щодо екранування електромагнітних полів у виробничому середовищі та застосуванню для виготовлення спеціального захисного одягу.

Основною задачею проектування є способи закріплення екрануючих частинок у волокнах текстильного матеріалу без втрати екрануючих властивостей. Запропоновано та проаналізовано два способи закріплення екрануючих частинок у волокнах текстильного матеріалу.

У першому випадку, у якості екрануючої субстанції використовувалося нанозалізо у вигляді колоїдного розчину на основі рицинової олії. Середній розмір частинок заліза складав 10 нм. Тканина просочувалася розчином та проходила технологічну сушку. Через малі розміри частинок нанозаліза вони імплантувалися в структуру натуральних пористих волокон тканини. Витрати рідини склали не більше 50 г/м<sup>2</sup> площі тканини. Нанесення залізовмісного розчину не вплинуло на фізико-механічні властивості тканини, у першу чергу – жорсткість. Зразки представлено на рис. 4.



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд захисного матеріалу на основі льняного полотна та нанозаліза

У другому випадку у якості основи обрано латекс (рис. 5). Технологія виготовлення з додаванням екрануючої субстанції наступна: компоненти подрібнюються у спеціальному млині – брабендері (brabender). Суспензія наноситься на тканину, яка прокатується крізь вальці. На вальцях матеріал проходить термічну обробку і остаточно закріплюється в волокнах текстильного полотна. Кінцева товщина матеріалу складає 0,25 – 0,30 мм.

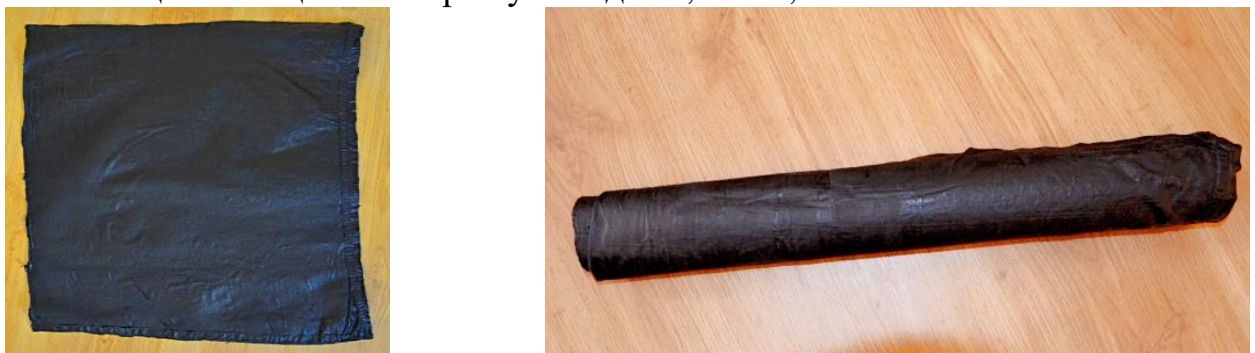


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд захисного матеріалу на основі латексу

На графіках та діаграмах, які представлено відповідно на рис. 6 – 9 показано залежність коефіцієнта екранування  $K_e$  від кількості шарів екрануючого матеріалу  $n$ . Зростання коефіцієнту екранування  $K_e$  зі збільшенням шарів матеріалу  $n$  пояснюється не товщиною захисного шару, а підвищенням сумарної кількості металевих наночастинок частинок на одиницю площі.

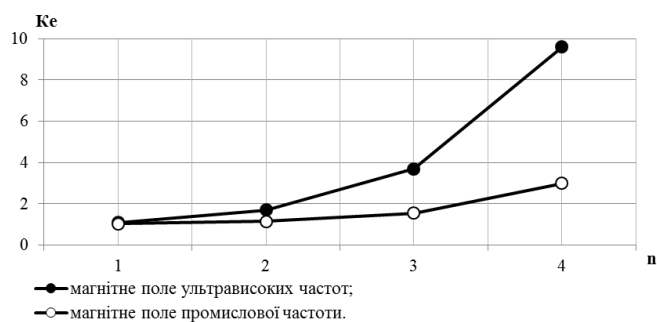


Рисунок 6 – Графік залежності  $K_e$  ЕМП від кількості шарів текстильного матеріалу з вмістом нанозаліза

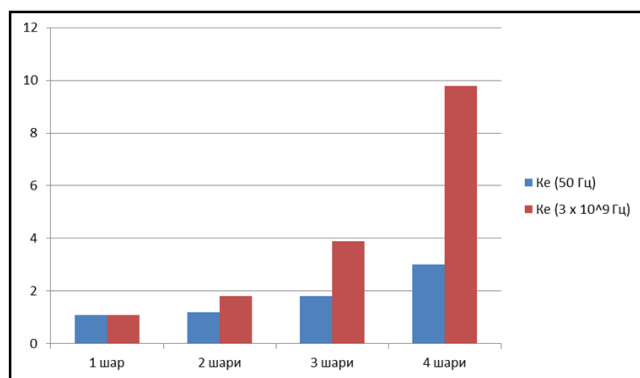


Рисунок 7 – Діаграма залежності  $K_e$  ЕМП від кількості шарів текстильного матеріалу з вмістом нанозаліза

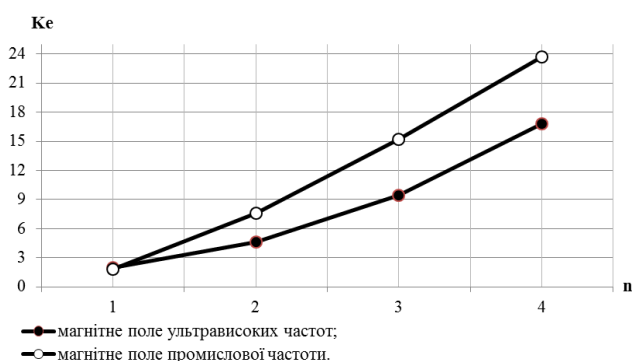


Рисунок 8 – Графік залежності  $K_e$  ЕМП від кількості шарів матеріалу на основі латексу

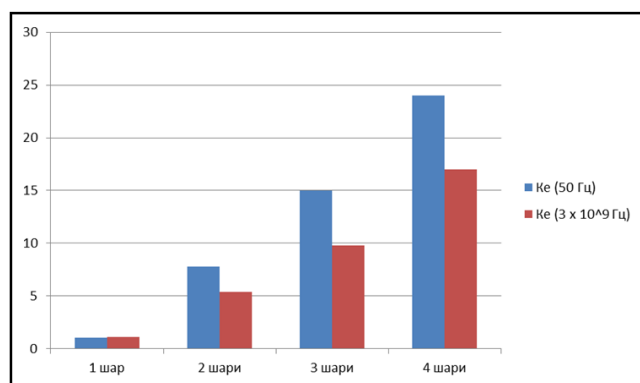


Рисунок 9 – Діаграма залежності  $K_e$  ЕМП від кількості шарів матеріалу на основі латексу

Отримана, шляхом аналізу діаграм, математична залежність коефіцієнта екранування  $K_e$  від кількості шарів екрануючого матеріалу  $n$  та шагу коефіцієнта екранування  $F$ , дає можливість розрахунковим методом визначати та прогнозувати коефіцієнт екранування  $K_e$  захисних конструкцій на основі мікро- та нанорозмірних структур для конкретних умов виробничого середовища.

$$K_e = 1 + \sum_{i=1}^n F \cdot (i - 1),$$

де:  $i = 1, n$  – числове значення кількості шарів матеріалу;

$F$  – шаг коефіцієнта екранування  $K_e$ .

Перевагою матеріалів на основі латексу є коефіцієнти екранування як у високочастотній області електромагнітного спектра (1,1-17,0), так і щодо магнітних полів наднизької частоти (1,03-24,00). Велика дисперсність використаного залізовмісного матеріалу надає можливість його імплантації у волокна натурального текстильного матеріалу без використання додаткових закріплювачів, а застосування суспензії латексу та дрібнодисперсного нанозаліза для нанесення на текстильний матеріал дозволяє отримати матеріал для захисту від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Коефіцієнт екранування технічно можна підвищувати шляхом зміни кількості шарів матеріалу.

Відповідний коефіцієнт екранування  $K_e$  забезпечується двома шарами захисних елементів конструкції, що видно з табл. 7.

Таблиця 7 – Залежність коефіцієнтів екранування від кількості шарів з'ємних захисних елементів

n*	Коефіцієнт екранування $K_e$ для частоти 1,8 ГГц				Коефіцієнт екранування $K_e$ для частоти 50 Гц			
	1	2	3	4	1	2	3	4
$K_e$	2,8	5,6	9,6	17,0	2,9	8,0	16,2	23,0

n\* – кількість шарів з'ємних захисних елементів.

Для частоти 1,8 ГГц коефіцієнтом екранування  $K_e$  вважається відношення щільності потоку енергії перед екраном до значення коефіцієнта екранування  $K_e$  у захищеній зоні. Вихідна щільність потоку енергії 190 – 210 мкВт/см<sup>2</sup>. Для частоти 50 Гц коефіцієнтом екранування  $K_e$  вважається відношення індукції магнітного поля  $B$  перед екраном до значення коефіцієнта екранування  $K_e$  у захищеній зоні. Вихідна індукція магнітного поля 230-240 мкТл. Математична залежність коефіцієнта екранування  $K_e$  електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц від кількості шарів матеріалу  $n$  дає можливість прогнозування необхідних параметрів коефіцієнта екранування  $K_e$  для конкретних виробничих умов.

$$K_e = 2,85 - 1,09 \cdot n + 1,15 \cdot n^2,$$

де:  $n$  – кількість шарів матеріалу.

Математична залежність коефіцієнта екранування  $K_e$  електромагнітного поля промислової частоти 50 Гц від кількості шарів матеріалу  $n$  дає можливість прогнозування необхідних параметрів коефіцієнта екранування  $K_e$  для конкретних виробничих умов.

$$K_e = 2,475 + 4,725 \cdot n + 0,425 \cdot n^2,$$

де:  $n$  – кількість шарів матеріалу.

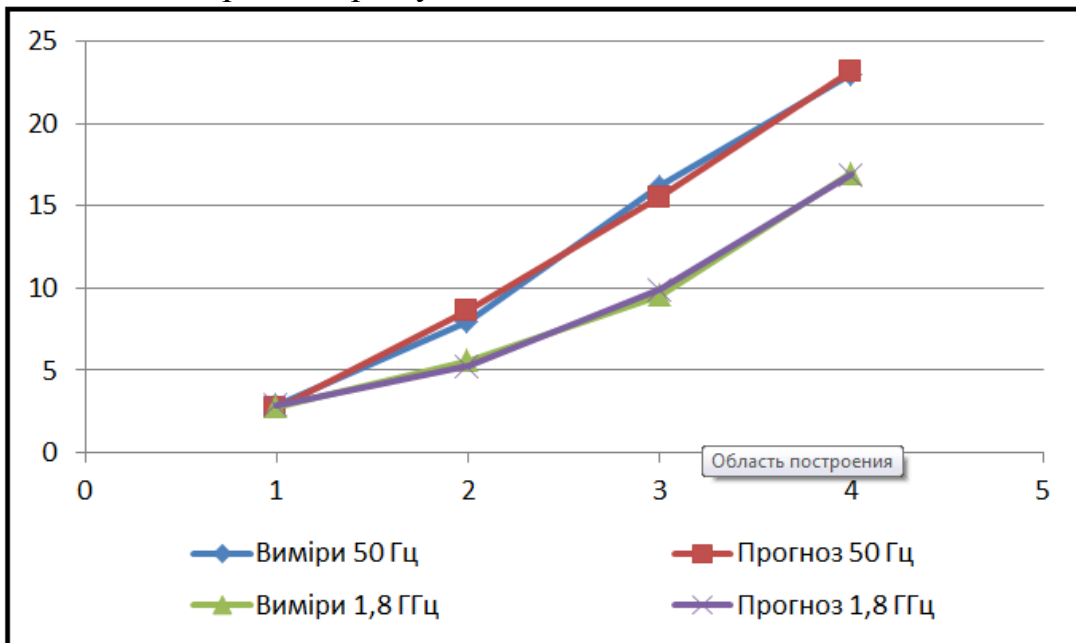


Рисунок 10 – Графік залежності коефіцієнта екранування від кількості шарів з'ємних захисних елементів та прогнозування  $K_e$  з врахуванням коефіцієнта кореляції

Аналіз залежності коефіцієнта екранування від кількості шарів з'ємних захисних елементів, (рис. 10) показує розрахунковий коефіцієнт кореляції між вимірюваними показниками та прогнозованими показниками, який варіюється в межах від 0,99 до 1,00 свідчить про високу точність проведених експериментальних досліджень та прогнозованих значень  $K_e$ .

Впровадження та використання запропонованої технології дозволяє отримати захисний текстильний матеріал заданих параметрів, якими можна варіювати в залежності від конкретних умов виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці.

**В четвертому розділі досліджено** методи, моделі, технології створення текстильних композиційних матеріалів на основі металевих та металовмісних мікро- і наноструктур для виготовлення спеціального одягу для захисту від дії негативного впливу електромагнітних полів в умовах виробничого середовища.

При проектуванні та виготовленні спеціального захисного одягу або засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) необхідно враховувати особливості та можливості людини в процесі трудової діяльності – ергономічні характеристики, що забезпечують комфортні та зручні умови працюючого при різних умовах експлуатації.



Рисунок 11 – Схема проектування та виготовлення ЗІЗ для захисту працюючих від впливу електромагнітних полів

Спеціальний одяг для захисту від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону повинен мати малу товщину, достатні коефіцієнти екранування (від ЕМП широкого частотного діапазону), зносостійкість, термостійкість та зберігати захисні властивості після хімічних чисток та/або прання. Також конструкція спеціального захисного одягу має бути багат шаровою (враховуючи умови експлуатації). Аналіз вимог, яким повинен відповідати спеціальний захисний одяг, пояснює складність процесу його проектування та виготовлення, а умови експлуатації у свою чергу формують до нього ряд технічних вимог, зокрема стійкість до різних навантажень, тертя, зминання, розриву.

Схематично послідовність проектування та виготовлення спеціального захисного одягу представлено на рис. 11.

Умови експлуатації спеціального захисного одягу враховуються при підборі пакету матеріалів, з якого він буде виготовлятися. На рис. 12 схематично представлено переріз пілочки куртки та переріз штанів. За технологією передбачено 1–2 та більше шарів з'ємних захисних елементів. Перевагою такого технологічного та конструктивного рішення є можливість змінювати ступені захисту в залежності від конкретних виробничих умов експлуатації захисного костюму.

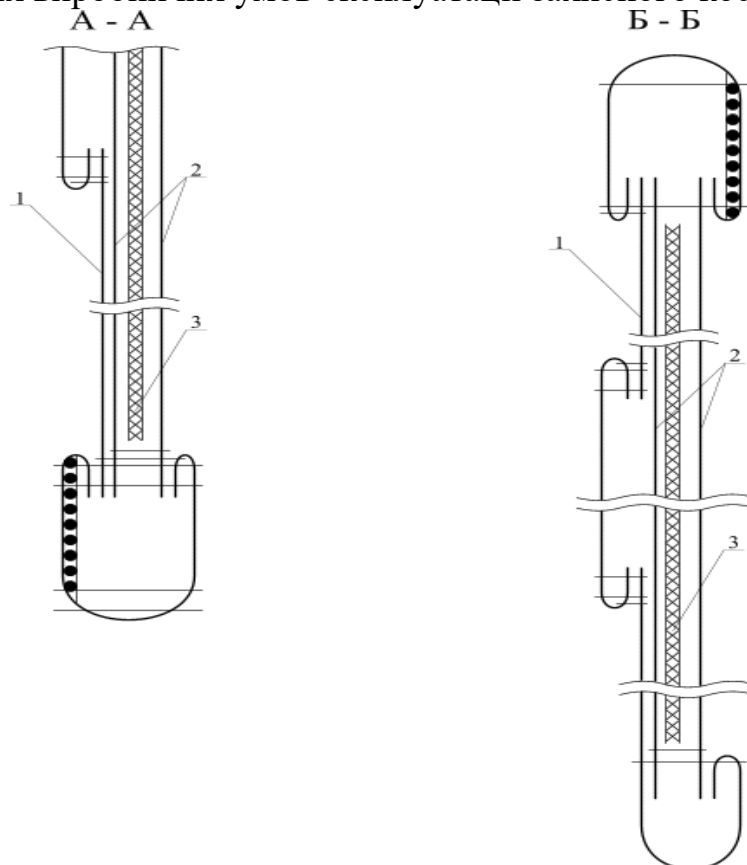


Рисунок 12 – Переріз пілочки куртки та переріз штанів

1 – тканина основи, 2 – тканина підкладки, 3 – з'ємний захисний елемент

Основою екрануючого матеріалу є льняне текстильне полотно, яке у порівнянні з синтетичними матеріалами характеризується високою міцністю і низькою горючістю та рекомендується для виробництва спеціального одягу (артикул – 3581, волокнистий склад: ЛН – 75 %, ПЕФ – 25 %).

Льняні текстильні матеріали є гіпоалергенними, що важливо при виготовленні спеціального захисного одягу. З'ємність захисних елементів конструкції захисного костюму дозволяє проводити його прання або хімічне чищення без втрати захисних властивостей, що суттєво впливає на фізичні та механічні властивості засобів індивідуального захисту. Відповідно до ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація», експлуатаційні вимоги до ЗІЗ надаються виробником. Для текстильного матеріалу, що запропоновано здобувачем у якості основи та підкладки, для виготовлення спеціального захисного костюму рекомендована кількість циклів прання становить 60 циклів, відповідно хімічне чищення – 36 циклів.

З'ємні захисні елементи захисного костюму не піддаються обробкам прання чи хімічного чищення, так як синтетичний миючий засіб вимиває екрануючу субстанцію з волокон текстильного матеріалу, а коефіцієнт екранування  $K_e$  в результаті обробки лужним розчином знижується від 1,42 до 1,3, що впливає на захисні властивості елементів конструкції. Впровадження рекомендацій щодо технології виготовлення ЗІЗ та екрануючих текстильних композиційних матеріалів для їх виготовлення, дозволяє підвищити ефективність екранування ЕМП в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці.

**У додатках** надано акт впровадження у навчальний процес Національного авіаційного університету; акт впровадження на ДП Південної ЕС НЕК «Укренерго» на ПС 330 кВ «Аджалик» та ПС 330 кВ «Новоодеська».

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, в якій обґрунтовано та вирішено актуальна науково-технічна проблематика, а саме, проведено аналіз результатів досліджень та прикладних розробок у сфері захисту працюючих на підприємствах енергетичної галузі та розроблено текстильні композиційні матеріали з заданими екрануючими властивостями для захисту від негативних впливів електричних та магнітних полів, обґрунтовано та розроблено рекомендації базових засад проектування та виготовлення спеціального захисного одягу з урахуванням ергономічних, механічних та термодинамічних показників.

Експериментально досліджено захисні властивості текстильних композиційних матеріалів на основі мікро- та наноструктур задля обґрунтування технології виготовлення засобів індивідуального захисту. Отримано математичну залежність розрахунку коефіцієнту екранування від кількості шарів екрануючого матеріалу та шагу коефіцієнта екранування.

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження, отримані під час роботи, впровадження розробок на підприємствах та в навчальному процесі, полягають у наступному:

1. Проведено аналіз електромагнітної обстановки на підприємствах електроенергетики та радіотехнічних об'єктах цивільної авіації показує, що рівні електромагнітних полів у місцях перебування та пересування працюючих не перевищують гранично допустимі у 3–4 рази. Обґрунтовано доцільність дослідження та розроблення захисних властивостей тонкого, легкого текстильного

екрануючого матеріалу, придатного для виготовлення засобів колективного та індивідуального захисту працюючих від впливу електромагнітних полів широкого частотного спектра в умовах виробничого середовища. Розроблений екрануючий текстильний композиційний матеріал відповідає ергономічним та термодинамічним вимогам, має високу міцність при відсутності деградації захисних властивостей у процесі експлуатації.

2. Досліджено захисні властивості ізотропних металополімерних матеріалів на основі металевих та металовмісних мікроструктур. Шляхом проведення натурних вимірювань визначено коефіцієнти екранування електромагнітних випромінювань з частотами 2,4–2,6 ГГц, а також коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти 50 Гц, у залежності від кількості шарів матеріалу та дисперсності залізорудного пилу в досліджених захисних конструкціях на основі металевих та металовмісних мікроструктур. Встановлено що при досить малій товщині екрануючого матеріалу (близько 0,25 мм, що складає 1 шар) спостерігається зниження рівнів магнітного та електромагнітного поля. Коефіцієнт екранування ( $K_e$ ) магнітного поля промислової частоти 50 Гц становить від 2,9 до 23,0 та електромагнітного поля частотами 1,8 ГГц відповідно  $2,8 \div 17,0$  за вмісту екрануючої субстанції  $15,0 \div 20,0$  %. Зі зменшенням розмірів екрануючих частинок коефіцієнт екранування зростає.

3. Досліджено захисні властивості ізотропних текстильних матеріалів на основі металевих та металовмісних наноструктур, імплантованих у структуру волокна текстильного матеріалу, просоченого магнітною рідиною на основі етилового спирту. Експериментальним шляхом доведено доцільність використання дрібнодисперсного збагаченого нанозаліза в якості екрануючої субстанції для отримання матеріалу малої товщини (1,0-1,5 мм) з відповідними ергономічними властивостями, що захищає від виробничого середовища. Збагачена залізна руда містить заліза до 73% та сполуки заліза – понад 20 %. Встановлено, що коефіцієнт екранування  $K_e$  ізотропних текстильних матеріалів на основі металевих та металовмісних наноструктур за електричною та магнітною складовою електромагнітного поля промислової частоти зростає зі збільшенням кількості шарів матеріалу від 1 до 4, для високочастотного діапазону спектра електромагнітного поля в межах значень  $1,1 \div 17,0$ , для магнітних полів наднизької частоти – в межах  $1,03 \div 24,0$ , що дозволяє отримати текстильний матеріал з заданими параметрами захисних властивостей, які регулюються в залежності від виробничих умов.

4. Удосконалено розрахункові методи визначення захисних властивостей електромагнітних екранів, що покладено в основу визначення та прогнозування коефіцієнтів екранування та відбиття захисних конструкцій з композиційних матеріалів у залежності від амплітудно-частотних характеристик електромагнітного поля, яке потребує екранування в умовах виробничого середовища.

5. Отримана математична залежність коефіцієнта екранування  $K_e$  від кількості шарів екрануючого матеріалу та шагу коефіцієнта екранування  $F$ , дає можливість розрахунковим методом визначати та прогнозувати коефіцієнт екранування захисних конструкцій на основі мікро- та нанорозмірних структур для конкретних умов виробничого середовища.

Аналіз залежності коефіцієнта екранування  $K_e$  від кількості шарів з'ємних захисних елементів показує розрахунковий коефіцієнт кореляції між вимірюваними показниками та прогнозованими показниками в межах від 0,99 до 1,00, що свідчить про високу точність проведених експериментальних досліджень та прогнозованих значень  $K_e$ .

6. Розроблено рекомендації щодо проектування та виготовлення спеціального захисного одягу для індивідуального захисту працюючих від впливу електромагнітних полів в умовах виробничого середовища. З врахуванням експлуатаційних вимог обґрунтовано та розроблено рекомендації для технологічних прийомів виготовлення спеціального захисного одягу. Конструкцією передбачено з'ємні захисні елементи, так як синтетичний миючий засіб вимиває екрануючу субстанцію з волокон текстильного матеріалу, а коефіцієнт екранування  $K_e$  в результаті обробки лужним розчином знижується від 1,42 до 1,3, що впливає на захисні властивості елементів конструкції. Відповідно, рекомендації щодо прання та хімічного чищення спеціального захисного одягу з врахуванням експлуатаційних вимог наступні: для матеріалів основи виробу, поверхнева густина яких складає 350 - 450 г/м<sup>2</sup> прання проводити при температурі 60 °С протягом 30 хв, трикратне полоскання протягом 2 хв. Хімічне чищення рекомендується проводити протягом 15 хв з використанням органічних розчинників та подальшим полосканням при температурі 60-65 °С.

7. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Національного авіаційного університету; ДП Південної ЕС НЕК «Укренерго» на ПС 330 кВ «Аджалик» та ПС 330 кВ «Новоодеська».

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Левченко Л.О., Багрій М.М. Методи попереднього оцінювання електромагнітної обстановки для проектування засобів захисту. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Випуск 1(53). С. 90-93. (Наукове фахове видання України. Входить до наукометричних баз даних General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща). *Особистий внесок здобувача*: аналіз переваг та недоліків розрахункових та експериментальних методів оцінки та прогнозування електромагнітної обстановки.

2. Левченко Л.О., Колумбет В.П., Багрій М.М. Графо-аналітичний метод оптимізації геометричних параметрів електромагнітних екранів. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. № 69. Київ. КНУБА.С. 215- 223. (Наукове фахове видання України). *Особистий внесок здобувача*: аналіз та обробка отриманих результатів екранування електромагнітних полів, формулювання висновків та підготовка до публікації.

3. Багрій М.М., Тихенко О.М., Левченко Л.О., Колумбет В.П., Резнік Д.В. Розроблення та дослідження властивостей текстильного матеріалу для захисту від впливу електромагнітних полів. *Вісник НУВГП. Серія Технічні науки*. Випуск 1 (85). 2019. С. 237-244. (Наукове фахове видання України). *Особистий внесок здобувача*: обґрунтування вибору матеріалів та методів дослідження екрануючих матеріалів, формулювання висновків та підготовка до публікації.

4. Левченко Л.О., Тихенко О.М., Колумбет В.П., Багрій М.М. Екранування електромагнітних полів широкого частотного спектра виробами на основі текстильного матеріалу. *Містобудування та територіальне планування*. 2019. № 70. Київ. КНУБА. С. 323-332. (Наукове фахове видання України). *Особистий внесок здобувача*: дослідження захисних властивостей текстильного матеріалу з заданими екрануючими властивостями, обробка отриманих результатів, формулювання висновків та підготовка до публікації.

5. Тихенко О.М., Багрій 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 (44). С. 100-106. (Наукове фахове видання України). *Особистий внесок здобувача*: підготовка екрануючих матеріалів для проведення дослідження екрануючих властивостей, формулювання висновків та підготовка до публікації.

6. Багрій М.М. Розроблення та дослідження екрануючих властивостей спецодягу для захисту від електромагнітних впливів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2019. Випуск 4 (56). С. 118-121. (Наукове фахове видання України. Входить до наукометричних баз даних General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща)). *Особистий внесок здобувача*: ідея, обґрунтування стану питання, проведення дослідження та аналіз результатів, формулювання висновків та підготовка до публікації.

7. Левченко Л.О., Багрій М.М., Караєва Н.В. Дослідження екранування електромагнітного поля текстильним матеріалом з вмістом феромагнітних наночастинок. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. 2019. №2 (45). С. 103-109. (Наукове фахове видання України). *Особистий внесок здобувача*: аналіз досліджень і публікацій, обґрунтування методики дослідження, результатів дослідження, формулювання висновків та підготовка до публікації.

8. Mariia Bahrii, Larysa Levchenko. Development and Research of Textile Materials with Specified Shielding Properties for Protection Against Electromagnetic Influences. *Evropska veda. Vedecky casopis. European science*. 4/2019. P. 118–124. Індeksuється наукометричними базами даних Index Copernicus (Польща), IAJIF (ЄС). *Особистий внесок здобувача*: аналіз досліджень і публікацій, обґрунтування методики дослідження, результатів дослідження, формулювання висновків, переклад та підготовка до публікації.

9. Халмурадов Б.Д., Багрій М.М. Засади розроблення матеріалів і конструкцій виготовлення засобів індивідуального захисту від впливу електричних полів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Випуск 2(60). С. 131-134. (Наукове фахове видання України. Входить до наукометричних баз даних General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США), Index Copernicus (Польща)). *Особистий внесок здобувача*: аналіз та обробка отриманих результатів, підготовка до публікації.

### *Тези доповідей*

1. **Багрій М.М.**, Тихенко О.М., Левченко Л.О., Колумбет В.П. Розроблення та дослідження властивостей текстильного матеріалу для захисту від впливу електромагнітних полів. «*Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика*». Матеріали XVII міжнародної науково-методичної конференції. 18-19 квітня 2019 р. м. Рівне. Національний університет водного господарства та природокористування. 2019. С.50–51.

2. **Багрій М.М.**, Левченко Л.О., Колумбет В.П. Дослідження захисних властивостей електромагнітних екранів з металотекстильних полотен. «*Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві – освіта, наука, практика*». Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції. 11-14 вересня 2019 р. м. Херсон. Херсонська державна морська академія. С. 80–83.

3. Халмурадов Б., **Багрій М.**, Козлітін О. Інноваційний матеріал для захисту працюючих від впливу електромагнітних полів. «*Theoretical foundations of modern science and practice*». Abstracts of XI International Scientific and Practical Conference. 06-07 April 2020. Melbourne, Australia. P. 152–155.

### *Патент*

Пат. 138019, Україна МПК G12B 17/00. Текстильний матеріал для екранування електромагнітного поля. **Багрій М.М.**, Левченко Л.О., Тихенко О.М., Халмурадов Б.Д., Ходаковський О.В.; заявник та патентовласник: **Багрій М.М.**, Левченко Л.О., Тихенко О.М., Халмурадов Б.Д., Ходаковський О.В. № u 2019 055579; заявл. 23.05.2019; опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21.

### **АНОТАЦІЯ**

**Багрій М.М. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів з використанням новітніх текстильних композиційних матеріалів.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – охорона праці (263 – Цивільна безпека). – Національний авіаційний університет, Київ. Державна служба України з питань праці, Державна установа «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», Київ, 2020.

В дисертаційній роботі розглянуто задачі, пов'язані з захистом працюючих від негативного впливу електромагнітних полів та випромінювань в умовах виробничого середовища з дотриманням вимог охорони праці. Актуальність теми дисертаційної роботи обґрунтовується постійним підвищенням рівня електромагнітного навантаження на виробниче середовище. Здобувачем запропоновано розроблення та дослідження захисних властивостей тонкого, легкого екрануючого матеріалу на текстильній основі, придатного для виготовлення засобів колективного та індивідуального захисту працюючих від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону в умовах виробничого середовища з дотриманням вимог охорони праці.

На сьогоднішній день в енергетичній галузі України використовуються індивідуальні засоби захисту, виготовлені з текстильного матеріалу зі вплетеними у нього тонкими металевими дротами.

Такі захисні вироби призначені для екранування тільки електричного поля, в той час як останні дослідження медиків та гігієністів свідчать про більш негативний вплив на людський організм магнітної складової електромагнітного поля. Це також стосується сучасних захисних матеріалів з імплантацією у синтетичну та натуральну тканину срібних тонких дротів та нанониток. Недоліком цих матеріалів є також висока вартість, що ускладнює їх широке застосування. Створення нових екрануючих композиційних матеріалів, що послаблюють негативний вплив ЕМВ відповідність вимогам охорони праці пояснює тему дослідження як актуальне науково-практичне завдання.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності захисту працюючих за рахунок удосконалення захисних властивостей ізотропних матеріалів на основі металевих та металовмісних мікро- та нанорозмірних структур, для екранування електромагнітних полів придатних для виготовлення засобів індивідуального захисту працюючих в умовах виробничого середовища з врахуванням вимог охорони праці.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі:

проаналізувати результати досліджень та прикладних розробок у сфері захисту працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням;

дослідити експериментальним шляхом захисні властивості матеріалів на основі металевих та металовмісних мікроструктур задля обґрунтування технології виготовлення засобів індивідуального захисту;

дослідити експериментальним шляхом захисні властивості матеріалів на основі металевих та металовмісних наноструктур задля обґрунтування технології виготовлення засобів індивідуального захисту;

удосконалити розрахункові методи визначення захисних характеристик електромагнітних екранів, визначення та прогнозування захисних властивостей конструкцій на основі мікро- та нанорозмірних структур;

розробити технологічний процес виготовлення створення спеціального одягу для захисту працюючих від впливу електромагнітних полів з урахуванням ергономічних, механічних та термодинамічних вимог до спеціального одягу.

**Ключові слова:** електромагнітна безпека, електромагнітні поля, спеціальний захисний одяг, охорона праці, екрануючі матеріали, залізорудний пил, збагачена залізна руда, коефіцієнт екранування, композитні матеріали, наноструктури, мікроструктури, дисперсність.

## ABSTRACT

***Bahrii M. Protection of workers from the effects of electromagnetic fields using the latest textile composite materials.*** – Manuscript.

The thesis for the acquisition of the academic degree of the Candidate of Engineering on the specialty 05.26.01 – occupational safety (263 – Civil safety). – National Aviation University, Kyiv.

State Service of Ukraine for Labor, State Institution "National Research Institute of Industrial and Occupational safety", Kyiv, 2020.

The dissertation considers the tasks related to the protection of workers from the negative effects of electromagnetic fields and radiation in the production environment in

compliance with the requirements of labor protection. The relevance of the topic of the dissertation is justified by the constant increase in the level of electromagnetic load on the production environment.

Therefore, the applicant proposed the development and study of protective properties of thin, light shielding material on a textile basis, suitable for the manufacture of collective and individual protection of workers from the effects of electromagnetic fields of wide frequency range in the production environment with labor protection requirements. Today in the energy sector of Ukraine individual means of protection are used, made of textile material with thin metal wires woven into it. Such protective products are designed to shield only the electric field, while recent studies by physicians and hygienists show a more negative impact on the human body of the magnetic component of the electromagnetic field.

Shielding textile composite material must meet ergonomic and thermodynamic requirements and have low weight and high strength with no degradation of protective properties during operation. The creation of new environmentally friendly shielding composite materials that reduce the negative impact of EMR compliance with the requirements of labor protection explains the research topic as an urgent scientific and practical task.

The purpose of the dissertation research is to increase the effectiveness of workers' protection by improving the protective properties of isotropic materials based on metal and metal-containing micro- and nanoscale structures, to shield electromagnetic fields suitable for the manufacture of personal protective equipment in the production environment.

To achieve this goal, the following tasks are defined:

to analyze the results of research and applied developments in the field of protection of workers from the effects of electromagnetic fields by shielding;

to investigate experimentally the protective properties of materials based on metal and metal-containing microstructures to substantiate the technology of manufacturing personal protective equipment;

to investigate experimentally the protective properties of materials based on metal and metal-containing nanostructures to substantiate the technology of manufacturing personal protective equipment;

to improve the calculation methods for determining the protective characteristics of electromagnetic screens, determining and predicting the protective properties of structures based on micro- and nanoscale structures;

to develop the technological process of manufacturing the creation of special clothing to protect workers from the effects of electromagnetic fields, taking into account ergonomic, mechanical and thermodynamic requirements for special clothing.

**Key words:** electromagnetic safety, electromagnetic fields, special protective clothing, occupational safety, shielding materials, iron ore dust, enriched iron ore, shielding coefficient, composite materials, nanostructures, microstructures, dispersion.