

## **ВІДГУК**

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження Київського національного університету технологій та дизайну **Хоменка Володимира Григоровича** на дисертаційну роботу **Бірук Яни Ігорівни** на тему: **«Захист працюючих від впливу електромагнітних полів із застосуванням рідинних екрануючих матеріалів»** подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека»

Відгук складено на основі вивчення дисертаційної роботи, опублікованих здобувачем результатів наукових досліджень, а також матеріалів, які підтверджують впровадження результатів роботи.

### **1. Актуальність обраної теми досліджень.**

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення рівня електромагнітної безпеки працівників. Робота включає ідентифікацію умов, за яких рідкі екрануючі матеріали демонструють оптимальну ефективність. Окрім того, дослідження передбачає розробку та тестування захисних матеріалів, які ефективно екранують електромагнітні поля в широкому діапазоні частот.

Виконання поставленого завдання потребує аргументації необхідності вдосконалення комплексу організаційно-технічних заходів щодо забезпечення електромагнітної безпеки. Це ефективно втілюється через поступову інтеграцію європейських стандартів у національну нормативну базу, зокрема, впровадження Європейської директиви щодо електромагнітної безпеки працівників та населення (Directive 2013/35/EU). Це вимагає розширення заходів та методів захисту людей від електромагнітних впливів, серед яких екранування за допомогою захисних матеріалів є одним із найбільш ефективних підходів.

Розробка, аналіз захисних властивостей та впровадження екрануючих композитів на рідких основах, які ефективні в широкому діапазоні частот, є

першочерговим завданням. Основною перевагою цих композитів є їхня здатність забезпечувати необхідні рівні поглинання та відбиття електромагнітних полів, чого не можна досягти за допомогою традиційних металевих матеріалів, оскільки вони зазвичай характеризуються високими коефіцієнтами відбиття електромагнітних хвиль.

Багато існуючих полімерних композитів мають значні недоліки, включаючи складність виготовлення, значну товщину, великі габарити та вагу, високу вартість екрануючих компонентів, а також схильність до деградації в процесі експлуатації. На сьогодні більшість існуючих захисних композицій на рідинній основі призначені для екранування електромагнітних полів ультрависоких та вищих частот. Регулювання складу та кількості шарів дозволить добитися необхідних параметрів екранування в умовах стабільного зростання електромагнітного навантаження на виробниче та побутове середовище, забезпечуючи при цьому стабільну роботу бездротового зв'язку.

Вищезазначене підкреслює необхідність проведення досліджень для розробки нових технологій, виготовлення та випробування інноваційних рідинних матеріалів, спрямованих на захист від електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Це обумовлює актуальність теми дисертації.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота “Захист працюючих від впливу електромагнітних полів із застосуванням рідинних екрануючих матеріалів” виконана відповідно до «Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні», схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12.12.2018 р. № 989–р. та у рамках виконання держбюджетних тем: «Дослідження фізичних факторів техногенного походження виробничих ризиків та засоби їх зниження. № 0121U111535», «Розроблення комплексу моделей багатокритеріальної еколого-економічної оцінки і оптимізації чинників впливу на довкілля авіаційних підприємств в Україні. № 0120U102030.

### **3. Мета і завдання дослідження.**

**Метою** даної роботи є забезпечення електромагнітної безпеки працівників та населення за допомогою ефективного екранування електромагнітних полів у широкому частотному діапазоні. Досягнення мети передбачає вирішення наступних **завдань**:

- провести аналіз існуючих методів і засобів, які застосовуються для забезпечення електромагнітної безпеки, виявити їхні сильні та слабкі сторони;
- проаналізувати ефективність наявних екрануючих матеріалів, визначити їхні переваги та недоліки;
- обґрунтувати та розробити технологію виготовлення нових рідких екрануючих сумішей, що базуються на стандартних лакофарбових матеріалах;
- дослідити загальні коефіцієнти екранування та вплив різних компонентів і технологій виготовлення на захисні властивості рідких екрануючих матеріалів;
- розробити комплексний системний підхід до застосування екрануючих матеріалів у виробничих та побутових умовах.

### **4. Огляд змісту роботи.**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Робота викладена на 137 сторінках, з них: 112 сторінок основного тексту, список використаних джерел зі 153 найменувань на 21 сторінці; 2 додатків на 4 сторінках.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, та наведено ідею дисертаційної роботи, мету, завдання, предмет і об'єкт дослідження, з'ясовано наукову новизну, наукові положення і практичну цінність отриманих результатів. Вказано особистий внесок здобувача і наведено дані про впровадження і апробацію результатів дослідження.

**Перший розділ дисертації**, містить аналіз впливу електромагнітних полів техногенного походження на біологічні об'єкти. У цьому контексті

розглянуто програмні документи та доповіді міжнародних організацій, зокрема Всесвітньої організації охорони здоров'я, а також проведено аналіз наукових праць провідних вітчизняних та іноземних науковців, що досліджують вплив електричних, магнітних та електромагнітних полів на населення і працівників, а також їхню електромагнітну сумісність з електротехнічним обладнанням та електронними пристроями.

В цьому розділі також здійснено аналіз нормативної бази з електромагнітної безпеки, включаючи Європейську директиву з електромагнітної безпеки та її імплементацію у нормативно-правову базу України. Розглянуто також санітарні норми і правила влаштування електроустановок, державні будівельні норми тощо. Проведено аналіз розбіжностей і невідповідностей у міжнародних і національних нормативах.

У розділі також аналізуються існуючі заходи і засоби захисту працюючих та населення від впливу електромагнітних полів. Наводиться оцінка сучасного стану питання і формулюються завдання для подальших досліджень. Здобувач робить висновок, що сучасні захисні матеріали, зокрема рідкі захисні композиції, повинні задовольняти ряду вимог: високі коефіцієнти загального екранування, малі коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль, прийнятні масогабаритні параметри, а також здатність до облицювання поверхонь великих площ і складних конфігурацій. Також підкреслюється необхідність вдосконалення методів розрахункового оцінювання цих параметрів для спрощення та зниження вартості проєктування рідких захисних матеріалів з потрібними функціональними властивостями.

У другому розділі дисертації, наведена інформація щодо вимірювань електромагнітних полів у різних умовах, як виробничих, так і побутових. Обґрунтований вибір приладів, а саме, що при розробленні захисних матеріалів і конструкцій необхідно використовувати вимірювальні прилади, розраховані на вимірювання напруженостей електричних та магнітних складових електромагнітного поля низької частоти та щільностей потоків

енергії електромагнітних полів дуже високих і вищих частот малих інтенсивностей, властивих полям постійного чи нетривалого перебування людей..

У розділі підкреслюється важливість вибору відповідної максимальної похибки вимірювань, що є ключовим для точності результатів. Для визначення коефіцієнтів екранування електричних та магнітних складових електромагнітного поля наднизької частоти рекомендується використання замкнених по поверхні екрануючих конструкцій, виготовлених із випробовуваних матеріалів.

Для отримання коефіцієнтів екранування електричної та магнітної складових електромагнітного поля наднизької частоти доцільним є використання замкнених по поверхні екрануючих конструкцій, виготовлених із матеріалів, що випробовуються. Для екранування електромагнітних полів дуже високих і вищих частот захисні властивості матеріалів необхідно визначати загальним коефіцієнтом екранування і коефіцієнтом екранування за рахунок відбиття електромагнітних хвиль, оскільки необхідно зменшувати відбиття електромагнітних хвиль у небажаних напрямках. Особливістю композиційних матеріалів є відсутність довідкових даних про ці величини, тому для спрощення створення захисних матеріалів з потрібними коефіцієнтами екранування доцільно визначити стандартні показники матеріалу.

**У третьому розділі дисертаційної роботи** було проведено і обґрунтовано вибір матеріалів і технологій для створення захисних композицій. Визначено, що для виготовлення рідких екрануючих композицій підходять стандартні акрилові водно-дисперсійні та геополімерні фарби, а також рідкий латекс для металополімерних матеріалів. Як екрануючі наповнювачі було використано дрібнодисперсний залізорудний концентрат, пігментний наповнювач GreyX та лускатий графіт.

Проведені дослідження захисних властивостей виявили, що композиції на основі водно-дисперсійної фарби із залізорудним концентратом від 15 до

60% масової частки мають коефіцієнти екранування для електричного поля промислової частоти від 1,1 до 2,9, для магнітного поля промислової частоти від 1,2 до 3,8, а для електромагнітного поля ультрависокої частоти 2,45 ГГц – від 1,2 до 4,1. Аналогічна геополімерна фарба з такою ж часткою залізорудного концентрату показала коефіцієнти екранування для електричного поля від 1,1 до 5,3, для магнітного поля від 1,4 до 7,8, та для електромагнітного поля ультрависокої частоти від 1,3 до 5,6. Використання геополімерної фарби з комбінацією GreyX та залізорудного концентрату у співвідношенні 1:1 при тій же масовій частці продемонструвало коефіцієнти екранування для електричного поля від 1,3 до 8,6, для магнітного поля від 1,2 до 5,7, та для ультрависокочастотного поля від 1,7 до 7,9.

Коефіцієнти відбиття ультрависокочастотного поля для водно-дисперсійної фарби з ваговою часткою залізорудного концентрату від 15 до 60% варіювалися в межах від 0,1 до 0,23, для геополімерної фарби – від 0,15 до 0,29, а для геополімерної фарби з пігментом GreyX – від 0,22 до 0,34.

У цій роботі визначено фізичні механізми, які викликають розбіжності у захисних властивостях матеріалів. Основними серед них є зміни провідності цих матеріалів на межі перколяційного ефекту.

**Четвертий розділ дисертації** зосереджується на розробці заходів та засобів для забезпечення електромагнітної безпеки працівників. Основний акцент робиться на ризик-орієнтованому підході до використання електромагнітних екранів у рамках комплексу заходів щодо забезпечення безпеки від фізичних факторів техногенного походження. Це дозволяє оптимізувати коефіцієнти екранування на етапах проектування, що є важливим для забезпечення електромагнітної безпеки людей та електромагнітної сумісності технічних засобів, забезпечуючи при цьому стабільну роботу всіх засобів бездротового зв'язку.

Для визначення техногенного електромагнітного навантаження на середовище та розробки організаційно-технічних заходів з його нормалізації рекомендується застосування певного алгоритму. Необхідно провести

електромагнітний моніторинг на об'єктах, а саме дослідити виробничі зони, житлові будівлі тощо. Визначити амплітудно-частотні характеристики електромагнітних полів, що потребують екранування, та встановлюються необхідні рівні зниження полів різних частотних діапазонів. В результаті, проводиться виготовлення та впровадження екрануючих конструкцій, враховуючи вказані критичні фактори.

Автор також пропонує шляхи вдосконалення національної нормативно-правової бази у сфері електромагнітної безпеки. Вказано на необхідність узгодження порядку розрахунку сумарного електромагнітного навантаження на виробниче середовище у різних чинних санітарних нормах і правилах; необхідність внесення до переліку екрануючих матеріалів, рекомендованих санітарними нормама і правилами, композиційних захисних матеріалів та надання загальних рекомендацій щодо застосування тих чи інших захисних матеріалів і конструкцій у залежності від амплітудно-частотних характеристик екранованого поля; необхідність узгодження застосування вимірювання електромагнітного навантаження з міжнародними нормативами у частині, де застосовується питома поглинена енергія (SA) та питома поглинена потужність (SAR).

Впровадження результатів досліджень та їх ефективності підтверджується незалежним тестуванням розроблених рідких сумішей для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Розбіжності у значеннях коефіцієнтів екранування перебувають у межах похибок вимірювань. Результати дослідження показують, що залізорудний концентрат може бути ефективно використаний у якості екрануючої субстанції рідких захисних сумішей на основі стандартних лакофарбових виробів. У роботі також обґрунтовуються методологічні та технологічні аспекти створення таких композицій. Вперше запропонована технологія виготовлення захисних матеріалів градієнтного типу на основі рідких композицій, обґрунтовано методологічні та технологічні засади створення рідких композицій.

## **5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Достовірність експериментальних результатів визначається сучасними методами експериментальних досліджень, а також аналізом і коректним використанням методів обробки експериментальних даних, базуються на використанні фізичного експерименту як методу дослідження, системного аналізу, коректністю постановки задач дослідження, математичною строгістю поставлених задач, коректним застосуванням методів обчислювальної математики, а також критичним порівнянням та збігом отриманих результатів з відомими в науковій літературі даними інших дослідників. Математичні та фізичні моделі, які використовувались в дисертаційному дослідженні, є обґрунтованими, а отримані дані - взаємодоповнюючими.

## **6. Наукова новизна отриманих результатів.**

У дисертаційній роботі були отримані наступні нові наукові результати:

- вперше обґрунтовано використання залізородного концентрату як екрануючої субстанції у складі рідких захисних сумішей на основі стандартних лакофарбових виробів. Застосування залізородного концентрату у концентраціях 30–60 % масової частки забезпечило досягнення коефіцієнтів екранування електромагнітних полів ультрависокої частоти від 1,3 до 7,9, магнітного поля промислової частоти до 5,7 та електричного поля промислової частоти до 8,6;
- вперше розроблено та обґрунтовано технологію виготовлення екрануючих матеріалів градієнтного типу на основі рідких композицій. За допомогою цієї технології було досягнуто значних коефіцієнтів екранування електромагнітного поля ультрависокої частоти, які становили 6,2–6,3 для двошарового покриття та 11–12 для тришарового покриття;
- удосконалено методологічні та технологічні принципи створення рідких композицій. Виявлено, що додавання 5 % масової частки лускатого графіту до залізородного концентрату призводить до збільшення коефіцієнтів



екранування електромагнітного поля ультрависокої частоти на 48–50 % та електричного поля промислової частоти на 38–40 %;

- набули подальшого розвитку розрахункові методи визначення захисних властивостей композиційних захисних рідинних матеріалів, що дозволяє прогнозувати коефіцієнти екранування у залежності від амплітудно-частотних характеристик екранованих електромагнітних полів з ваговим вмістом екрануючого наповнювача у діелектричній матриці.

### **7. Практичне значення одержаних результатів.**

- розроблено рідкі композиції, які виготовляються з використанням стандартних компонентів, що сприяє зниженню собівартості кінцевого продукту. Це робить розроблені композиції ефективними для облицювання поверхонь великих площ і складних конфігурацій.;
- досягнута можливість керування коефіцієнтами екранування в рідких сумішах дозволяє зменшити електромагнітне навантаження на середовище перебування людей, одночасно забезпечуючи стабільну роботу засобів бездротового зв'язку;
- низькі коефіцієнти відбиття, досягнуті у розроблених композиціях, дозволяють уникнути критичного перерозподілу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот у приміщеннях і будівлях. Це сприяє підвищенню електромагнітної сумісності та стабільності роботи різного електричного та електронного обладнання, зокрема чутливої медичної діагностичної апаратури, електронного обладнання зв'язку, комп'ютерної техніки тощо.

Одержані у роботі практичні результати, захищені двома патентами: патент 149126 Україна МПК 2021.01, G12B 17/00, G12B 17/02 (2006.01) «Спосіб виготовлення електромагнітного екрана з градієнтом електрофізичних властивостей»; патент 153982 Україна МПК 2023.01, G12B 17/00 G12B 17/02 «Спосіб виготовлення градієнтного композиційного електромагнітного екрана».

## **8. Повнота викладу результатів в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.**

Результати дисертаційного дослідження були опубліковані у 22 наукових працях, серед яких 2 статті у наукометричній базі «SCOPUS», 7 статей у наукових фахових періодичних виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України, 3 статті у інших наукових виданнях України, 8 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій, а також 2 патенти на корисну модель.

## **9. Зауваження до дисертації.**

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів доцільно зробити деякі зауваження і побажання:

1. Розглядаючи нормативну базу з електромагнітної безпеки, дисертантка слушно зауважила, що перелік матеріалів для екранування електромагнітних полів обмежуваний, але, на мою думку, у нормативних актах достатньо навести екранування як спосіб зниження рівнів полів (як у Євродирективі), тому що на сьогодні існує велика різноманітність захисних матеріалів.
2. У першому розділі важливо було б зосередитися більше на характеристиках та потенційних перевагах композиційних матеріалів, оскільки недоліки металевих конструкцій вже широко вивчені та відомі. Особливу увагу слід приділити оцінці ефективності та довговічності композиційних матеріалів у контексті їх застосування для екранування.
3. При описі методики проведення досліджень детальні технічні характеристики обладнання не є необхідними. Досить вказати лише максимальні паспортні похибки, що дасть змогу зрозуміти точність та надійність використовуваного обладнання.
4. У роботі відчувається брак чіткого обґрунтування вибору матеріалів для матриці композицій, наприклад, фарб та полімерів. Обґрунтування цього вибору повинно ґрунтуватися на аналізі їх фізичних, хімічних та механічних властивостей, а також на врахуванні їх взаємодії з

екранюючими наповнювачами. Крім того, необхідно надати детальне пояснення вибору екранюючих наповнювачів, враховуючи їх характеристики та потенційну взаємодію з полімерною матрицею.

5. У роботі не уточнюється, чи наповнювачі, що використовувались, були у стані, як вони постачаються від виробника, чи вони піддавались додатковій обробці, яка могла б вплинути на їх дисперсність (див. табл. 3.3).
6. Яким чином були обумовлені геометричні характеристики захисних конструкцій, на які наносилася екранююча суміш? Чи ґрунтувався вибір на конкретних теоретичних розрахунках чи практичних випробуваннях? Наскільки критичні обрані геометричні параметри для загальної ефективності екранування?
7. Було б корисно провести додатковий аналіз залежності коефіцієнтів екранування від напруженості полів для матеріалів із певним складом та товщиною. Таке дослідження не лише розширило б розуміння фізичних властивостей екранюючих матеріалів, але й сприяло б розробці нових матеріалів із покращеними екранюючими характеристиками.
8. На мою думку, у роботі варто приділити значно більше уваги розробці та оптимізації технологій виготовлення захисних композицій. Особлива увага мала би бути сконцентрована на підвищенні дисперсності компонентів, що є критичним для забезпечення однорідності та ефективності композиту. Також важливим є дослідження процесів формування кола провідності у композиціях під час виготовлення зразків, оскільки це безпосередньо впливає на їх електричні властивості та ефективність екранування.

Наведенні зауваження та запитання не стосуються наукової новизни роботи і не впливають на її позитивну оцінку.

## **10. Висновок по дисертації.**

Дисертація Яни Ігорівни Бірук “Захист працюючих від впливу електромагнітних полів із застосуванням рідинних екранюючих матеріалів” представляє собою завершене наукове дослідження, виконане автором самостійно, на актуальну тему. Робота містить нові рішення важливої

наукової задачі, спрямованої на підвищення електромагнітної безпеки працюючих. Дослідження включає визначення умов, при яких рідкі екрануючі матеріали проявляють максимальну ефективність, та розроблення і реалізацію матеріалів на рідинній основі, які ефективно екранують електромагнітні поля в широкому діапазоні частот. Наведені результати можна класифікувати як нові та обґрунтовані, вони мають наукове і практичне значення для вирішення важливої задачі в галузі 26 Цивільна безпека.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, рівнем та обсягом проведених досліджень, якістю оформлення дисертаційна робота відповідає вимогам, що передбачені пп. 5-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44, а її авторка Бірук Яна Ігорівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

Офіційний опонент, д.т.н., доц.,  
доцент кафедри хімічних  
технологій та ресурсозбереження  
Київського національного  
університету технологій та дизайну



Володимир ХОМЕНКО

Підпис д.т.н., доц., В.Г. Хоменка засвідчує  
учений секретар Київського національного  
університету технологій та дизайну



Наталія ПЕРВАЯ