ВІДГУК

офіційного опонента, доктора хімічних наук, професора, завідувача лабораторії літій-іонних акумуляторів і спеціальних покриттів Інституту сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України

БАРСУКОВА В'ячеслава Зіновійовича

на дисертаційну роботу КЛИМЧУКА Андрія Васильовича

«Захист населення та працюючих від впливу техногенних електромагнітних полів неоднорідними облицювальними матеріалами»

на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека».

1. Актуальність теми дослідження

Робота виконана своєчасно, оскільки стрімке зростання кількості електронного обладнання та поступовий перехід на мобільний зв'язок стандарту 5G суттєво підвищують електромагнітне навантаження на довкілля і людину. Традиційні засоби екранування (суцільні метали) мають високі коефіцієнти відбиття, що призводить до небажаного перерозподілу енергії, або ускладнюють конструкції. Тому розробка інноваційних неоднорідних композиційних матеріалів, які поєднують високу ефективність захисту з низькими коефіцієнтами відбиття та збереженням будівельного функціоналу, є важливим науково-практичним завданням.

2. Наукова новизна та теоретичне значення результатів

Вперше:

- Визначено ефективність екранування випромінювань будівельними матеріалами з регулярно розташованими провідними лінійними структурами (електромагнітні кристали).

– Застосування універсального показника дозволило чітко виділити смуги прозорості та поглинання, що спрощує вибір матеріалів під конкретні амплітудно-частотні характеристики.
– Встановлено залежності захисних властивостей неоднорідних матеріалів на основі цементобетону та базальтових волокон за допомогою порівняння коефіцієнтів заломлення, що обґрунтувало доцільність нанесення провідної субстанції на волокна.

Удосконалено:

– Технологічні підходи до проєктування композиційних магнітодіелектриків із використанням карбонільного заліза (14–15% за об'ємом, товщина 5 мм), що забезпечило високі показники екранування без перевищення коефіцієнта пропускання 0,40 та відбиття — 0,25.
– Розрахункові методи прогнозування ефективності перфорованих структур на основі апарату теорії хвилеводів.

3. Практична цінність одержаних результатів

Отримані результати дозволяють підвищити ефективність екранування за рахунок будівельних та облицювальних матеріалів без погіршення їхніх масогабаритних параметрів чи пружних модулів.

Використання діелектричних неоднорідностей із провідним покриттям захищає арматуру від агресивного лужного середовища цементобетонів.

Застосування доступного і дисперсного карбонільного заліза дає змогу створювати облицювальні матеріали з низькими коефіцієнтами відбиття, унеможливлюючи небезпечний перерозподіл електромагнітної енергії.

Практична значущість підтверджена актом впровадження результатів досліджень на підприємстві ТОВ «Територіальна сервісна компанія» та в навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Основні положення, висновки та рекомендації дисертації є достатньо обґрунтованими. Вони спираються на комплексний підхід, що поєднує фундаментальні положення електродинаміки суцільних середовищ, теорії хвилеводів, а також сучасні експериментальні методики із застосуванням повірених приладів (П3-31, П3-50, векторний аналізатор FieldFox N9916A).

Достовірність результатів підтверджується коректним використанням математичного моделювання, збігом теоретичних розрахунків з експериментальними даними та апробацією на міжнародних наукових конференціях.

5. Загальна оцінка оформлення та структури праці

Дисертація має класичну структуру і складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (111 найменувань) та додатків.

Робота написана грамотною науковою мовою, ілюстрована якісними графіками, схемами та таблицями, які наочно відображають результати розрахунків та вимірювань. Основні положення дисертаційного дослідження опубліковані у 8 наукових працях, зокрема у фахових виданнях України та наукометричній базі Scopus.

6. Аналіз змісту дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, пов'язану зі стрімким зростанням техногенного електромагнітного навантаження через розвиток бездротового зв'язку (зокрема стандарту 5G) та збільшення кількості електронного обладнання у будівлях. Сформульовано мету і завдання дослідження, об'єкт (процеси екранування ультрависоких і вищих частот неоднорідними матеріалами в будівництві) та предмет дослідження (залежності коефіцієнтів

відбиття, поглинання і пропускання випромінювань від конструктивних особливостей будівельних і облицювальних матеріалів). Наведено наукову новизну, практичне значення результатів, а також дані про апробацію та публікації (8 наукових праць).

У *першому розділі* проаналізовано сучасний стан нормативно-правової бази з електромагнітної безпеки в Україні та світі (зокрема норми ДСН 239-96, ДСНіП 3.3.6.096-2002, рекомендації ICNIRP та європейські директиви). Розглянуто вплив техногенних електромагнітних полів на людину, зроблено огляд досліджень у галузі електромагнітної безпеки та виявлено ключові невирішені питання: недостатню вивченість можливостей застосування внутрішніх феромагнітних і діелектричних неоднорідностей будівельних матеріалів (як-от арматури чи базальтових волокон) для екранування без погіршення міцності конструкцій, а також відсутність достатньо розроблених засад використання недорогих наповнювачів для облицювальних матеріалів.

У *другому розділі* викладено теоретичні засади прогнозування ефективності екранування електромагнітних полів і проєктування екранів через комплексні діелектричні та магнітні проникності, тангенси кутів втрат, а також формули Максвелла-Гарнета, Оделевського, Бруггемана та Лорентца для розрахунку параметрів композитів. Описано методику експериментальних досліджень: для частот нижче 2 ГГц – у замкнених екрануючих структурах 0,2×0,2×0,2 м; для вищих частот (понад 2 ГГц) – на спеціальному фольгованому стенді та із застосуванням векторного аналізатора FieldFox N9916A, приладу П3-31.

У *третьому розділі* автор досліджує захисні властивості будівельних матеріалів із регулярними феромагнітними неоднорідностями (зокрема стальною арматурою), доводячи, що їх можна розглядати як електромагнітні кристали. Досліджено вплив кількості шарів арматури у глибину матеріалу та встановлено раціональну кількість (4–5 шарів). Проведено аналіз частотних залежностей магнітної проникності конструкційної сталі марки 45 за поглинанням та

заломленням. Отримано розрахункові співвідношення та експериментальні дані для сітчастих структур із різних матеріалів (сталь, латунь) залежно від довжини хвилі та розміру комірок.

У *четвертому розділі* дисертації розроблено концептуальні засади та практичний алгоритм проєктування впровадження захисних матеріалів і конструкцій на принципах розумної достатності. Обґрунтовано доцільність комплексного поєднання електромагнітного екранування із шумозахистом та підвищенням енергоефективності будівель, а також сформовано пропозиції щодо вдосконалення національної нормативної бази. Практичні результати роботи успішно впроваджені на виробництві (ТОВ «Територіальна сервісна компанія») та в освітній процес КНУБА.

7. Відсутність академічного плагіату та відповідність етичним нормам

Аналіз дисертаційної роботи свідчить про відсутність фактів академічного плагіату, фабрикації чи фальсифікації експериментальних даних. Всі використані джерела мають коректні посилання. Робота є здобутком особистих досліджень автора.

8. Зауваження до дисертаційного дослідження

1. У оглядовій частині роботи доцільно було б розглянути найбільш поширені частоти (діапазони) електромагнітних полів і розділити поля і випромінювання за принципом розповсюдження.

2. У розділі 2 не наведено, як визначалися електрофізичні властивості матеріалів, експериментально чи тільки розрахунками.

3. Не наведено, які розміри зразків, на яких вимірювалися коефіцієнти пропускання електромагнітного випромінювання (рис. 3.1), що є важливим для похибок вимірювань.

4. Співвідношення параметрів сіток та коефіцієнтів екранування достатньо відомі. Чому вони розглядалися у роботі? Це формули 3.1–3.3.

5. Що на практиці дають частотні залежності коефіцієнтів екранування конструкцій з отворами (рис. 3.6–3.8). Яке пояснення форми кривих?

6. Деякі графіки супроводжуються аналітичними залежностями з наданням коефіцієнтів кореляції (3.2, 3.3, 3.9). Ці дані не несуть корисної інформації і є зайвими принаймні для даної графіки.

7. Чим обумовлена товщина зразків, для яких надано параметри захисних властивостей? Чому не досліджено зразки інших товщин (рис. 3.13)?

8. У роботі згадується чверть хвильовий захист від електромагнітних випромінювань (3.32). Це відомий факт. Що ви внесли в цю проблематику?

9. Твердження, що оцінку імпедансних властивостей композиції слід здійснювати з використанням співвідношень Максвела-Гарнета, Оделевського та Лоренца, дуже загальне. Усі вони мають переваги і недоліки. Чому не скористалися формулою Бругемана?

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

9. Висновки по дисертаційному дослідженні

У дисертаційній кваліфікаційній науковій праці наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичного завдання, що полягає у виявленні закономірностей змін ефективності екранування електромагнітних полів будівельними та облицювальними матеріалами залежно від їхнього складу та конструктивних особливостей, а також у визначенні їхніх максимальних захисних властивостей на принципах розумної достатності.

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 автор Климчук Андрій Васильович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 263 – «Цивільна безпека».

Офіційний опонент,
доктор хімічних наук, професор,
завідувач лабораторії літій-іонних акумуляторів
і спеціальних покриттів
Інституту сорбції та проблем ендоекології
Національної академії наук України В'ячеслав БАРСУКОВ

Підпис В'ячеслава БАРСУКОВА засвідчую

Вчений секретар Інституту сорбції та проблем ендоекології
Національної академії наук України, кандидат хімічних
наук, старший науковий співробітник Світлана МЕЛЕШЕВИЧ