

УДК 538.61.331.45

РОЗРАХУНКОВЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЕКРАНУВАННЯ

*Доцент, доцент кафедри фізики, к.т.н. Панова Олена Василівна.
Київський національний університет будівництва та архітектури. Київ.
Україна.*

*Доцент, доцент кафедри фізики Азнаурян Ірина Олександрівна
Київський національний університет будівництва та архітектури. Київ.
Україна.*

Вступ. Постійне підвищення електромагнітного навантаження на очолює середовище, зміна якісного та кількісного складу джерел електромагнітних полів та випромінювань вимагає проведення досліджень і виконання прикладних розробок щодо зниження їх негативного впливу на працюючих.

Зростання потужностей різних за призначенням технічних засобів у приміщеннях і будівлях промисловості та збільшення кількості джерел зовнішніх електромагнітних випромінювань (базові станції мобільного зв'язку, лінії електропередач тощо) вимагає пошуку нових підходів до захисту людей від електромагнітних полів та випромінювань широкого частотного діапазону та різних амплітуд.

Найбільш перспективним та сучасним методом зниження рівня електромагнітних полів є їх екранування. На сьогоднішній день методики і умови використання екрануючих матеріалів в залежності від параметрів екранованого поля досліджено недостатньо. Відсутні практичні рекомендації щодо розрахунків ефективності екранів і їх використання в залежності від фактичної електромагнітної обстановки.

Стан проблеми. Дослідженнями розрахунків ефективності та розробленням технологій виготовлення матеріалів для екранування електромагнітних полів та випромінювань займаються провідні фахівці з матеріалознавства та електродинаміки суцільних середовищ. Складність математичного апарату з розрахунків ефективності електромагнітних екранів у таких дослідженнях не має прикладного значення [1] через необізнаність фахівців з гігієни та охорони праці у фізичних явищах, які забезпечують зниження рівнів електромагнітних полів та випромінювань за рахунок використання цих засобів захисту.

Перелік матеріалів для екранування електромагнітних полів та випромінювань (в основному - це кристалічні металеві матеріали), надано у Державних санітарних нормах України: алюміній та його сплави, мідь та її сплави, сталі, пермалої у вигляді листів або сіток [2]. Рекомендації щодо частотних діапазонів випромінювань, у яких той чи інший матеріал, є

найбільш ефективним. Відсутні також практичні рекомендації при використанні на виробництві щодо розмірів комірок, сіток, тощо. Санітарні норми [3] взагалі обмежуються рекомендацією екранування поля та випромінювання у разі потреби. Таким чином, при захисті від електромагнітних полів та випромінювань підбір та практичне використання електромагнітних екранів - є складною задачею.

Новітні наукові дослідження довели, що традиційні екрануючі матеріали, зокрема електротехнічні сталі та пермалої, мають складні амплітудно-частотні захисні властивості і не завжди ефективні у деяких діапазонах частот [4, 5] і чутливі до механічних впливів, що ускладнює їх використання і не дає можливості виготовляти екрани у місці захисту від шкідливих впливів на людину, або чутливий прилад.

Широкий діапазон амплітуд полів та різноманітний спектральний склад на різних виробництвах та підприємствах промисловості різні. Це потребує виготовлення екранів з відповідними захисними властивостями для конкретного виробництва, підприємства, або будівлі. У роботі [6] запропоноване розв'язування даної проблематики, але на досить вузькому частотному діапазоні. З економічної точки зору - магнітом'які аморфні сплави мають велику вартість, тому створення великих захисних поверхонь є недоцільним. У праці [7] надано результати розроблення металосилікатних захисних матеріалів і теоретично обґрунтовано керування їх екрануючими властивостями. За прийнятого частотного діапазону екранування вони мають погану технологічність і дуже незручні у монтажі, а також нестійкі до зовнішніх механічних та термічних впливів. Таким чином, актуальною у новітніх екрануючих матеріалах з керованими захисними властивостями високої технологічності та невеликої вартості.

Недоліком раніше виконаних досліджень є відсутність прийнятих за припущеннями і простими у використанні математичних розрахунків, які б дозволяли прогнозувати ефективність екрана за визначених умов та визначити внесок кожного фізичного механізму (поглинання енергії поля, відбиття та багатократне відбиття електромагнітної хвилі від поверхні екрана) у сумарний коефіцієнт екранування.

Мета. Метою роботи є отримання раціонального та простого у використанні розрахункового апарату для визначення ефективності екранування та дослідження захисних властивостей металополімерних матеріалів з керованими захисними властивостями.

Основний зміст роботи. Для розрахування ефективності екранування електричної та магнітної складової електромагнітного поля визначають їх напруженість до і після екрана – тобто визначення коефіцієнту екранування, який може бути безрозмірним, або визначається у децибелах. Останнє прийнятне тому, що сучасне програмне забезпечення з аналізу частотного спектра (наприклад, Spectrogram), використовує логарифмічні шкали.

Ефективність екранування залежить від частоти випромінюваного поля, характеристик джерела, розташування за екраном точки вимірювання параметрів поля, його спрямованості і конфігурації, матеріалу і товщини екрана. Отримати математичні співвідношення для розрахунків коефіцієнтів екранування з урахуванням наведених факторів та умов експлуатації екрана досить складно. У загальному випадку, для плоского провідного екрана коефіцієнт екранування визначається за формулою:

$$K = K_n + K_e + K_{\text{об}},$$

де K_n – екранування за рахунок поглинання енергії електричного поля, K_e – екранування за рахунок відбиття, $K_{\text{об}}$ – екранування за рахунок багато кратного відбиття.

Останнє суттєве для спеціальних екранувальних покриттів з клиноподібними або шипоподібними поверхневими структурами, аналогічними шумопоглинальним. Різниця між ними полягає у кутах при вершинах клинів [8].

Суттєвою особливістю електромагнітних екранів, які виготовлені з провідних матеріалів є значні електричні втрати потужності у тілі екрана. За низьких частот вихрових струмів потужність втрат енергії прямо пропорційна квадрату частоти, а для високих частот втрати не залежать від них. Втрати також залежать від активного опору матеріалу вихровим струмом (зниження опору сприяє поліпшенню екрануючих властивостей). Значення коефіцієнта екранування залежить від магнітної проникності матеріалу ($\mu = \mu' - i\mu''$, де μ' – дійсна частина, яка характеризує оборотні процеси намагнічування, μ'' – уявна частина, яка характеризує процеси розсіювання енергії магнітного поля - втрати на вихрові струми, магнітну в'язкість тощо).

Електромагнітна і магнітна складові електромагнітного поля затухають у тілі екрана експоненціально:

$$E = E_0 \cdot e^{-\alpha d}, \quad H = H_0 \cdot e^{-\alpha d},$$

де $\alpha = \sqrt{\pi \mu \sigma}$ (м^{-1}) – коефіцієнт затухання, μ – абсолютна магнітна проникність, d – товщина екрана, σ – питома провідність.

При обиранні товщини стінки екрана слід керуватися еквівалентною глибиною проникнення поля у тіло екрана: $\delta = 1/\pi f \mu \sigma$, яка є відстанню від поверхні екрана, на якій амплітуда поля зменшується у e разів ($e=2,7=8,7\text{дБ}$). Екранування електромагнітного поля за рахунок відбиття хвиль обумовлюється різницею хвильового опору повітря Z_n та характеристичного опору матеріалу екрану Z_e . Коефіцієнт екранування за рахунок за рахунок відбиття визначається як:

$$K_B = 20 \cdot \lg \frac{Z_B}{Z_e}$$

де Z_B у ближній зоні відносно електричної та магнітної складових поля розраховується зі співвідношення:

$$Z_B = \frac{\sqrt{i\omega\mu}}{\sigma + i\omega\varepsilon},$$

де ε – діелектрична проникність матеріалу, ω – циклічна частота поля.

Наведені співвідношення цілком придатні для практичного використання гігієністами та фахівцями з охорони праці. Але металеві електромагнітні екрани (навіть виготовлені з сучасних аморфних магнітом'яких сплавів) мають суттєвий недолік – значні коефіцієнти відбиття. Для мінімізації цього недоліку нами був розроблений композитний захисний матеріал.

Необхідність композитних матеріалів для екранування електричних полів та випромінювань обумовлена наступними міркуваннями.

Надійний захист від випромінювань ультрависокої, надвисокої та надзвичайно високої частот забезпечує металева сітчатка або ґратчаста структура. Це витікає із співвідношень фізичної оптики. При цьому відбивання електромагнітної хвилі від екрана практичне відсутнє. Однак для більш низьких частот (дуже високих і нижче) такий захист є неефективним. Для цього необхідно виготовляти суцільний провідний екран, який автоматично має великі коефіцієнти відбивання (до 0,9). Захищаючи одне приміщення (будівлю), ми суттєво погіршуємо електромагнітну обстановку у напрямку відбитого випромінювання.

Таким чином, доцільно розробити комбіновану структуру (метал - діелектрик), яка б при широкому спектрі екранування мала низькі коефіцієнти відбиття.

Найбільш технологічною структурою з такими властивостями є металополімерна, що складається з полімерної матриці (основного тіла екрана), та провідних домішок у вигляді металевих порошків.

При проведенні експериментів використовувався пристрій контролю захисних властивостей електромагнітних екранів [9]. Результати вимірювань наведено на рис.1 та на рис.2.

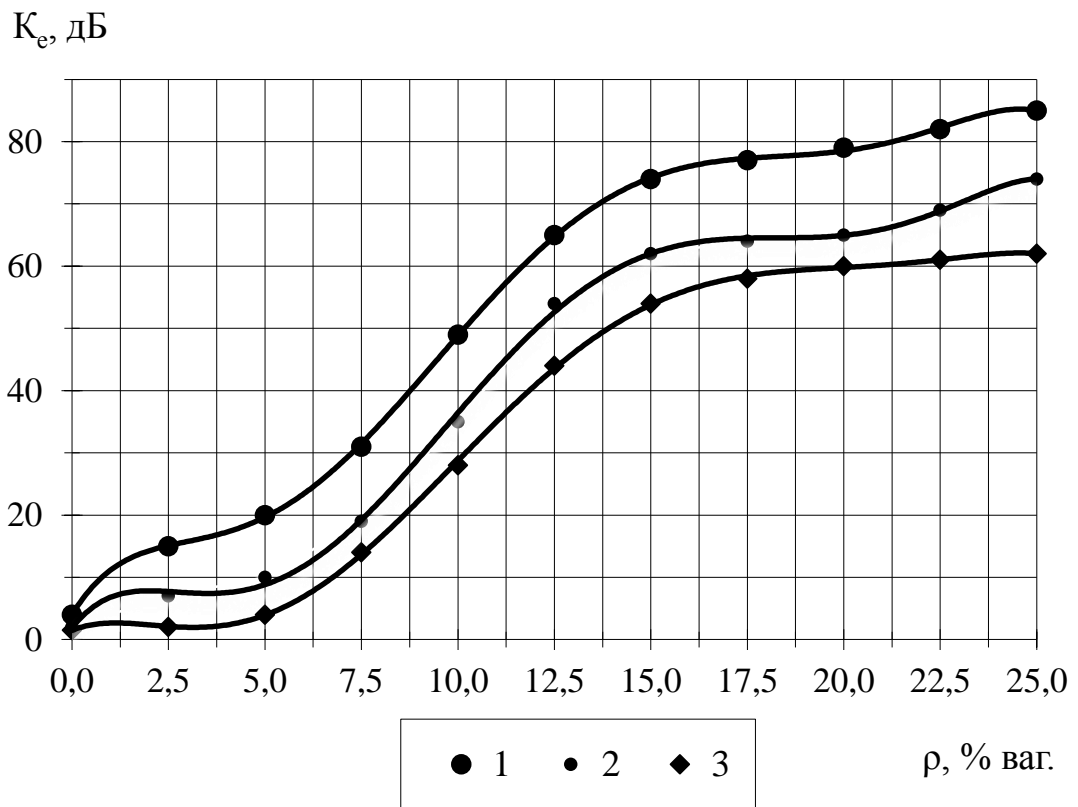


Рис. 1. Залежність коефіцієнта екранування електромагнітного випромінювання частотою 0,9 – 1,8 ГГц в залежності від вагового вмісту металеві компоненти. Товщина: 1 – 15 мм; 2 – 10мм; 3 – 5,0 мм

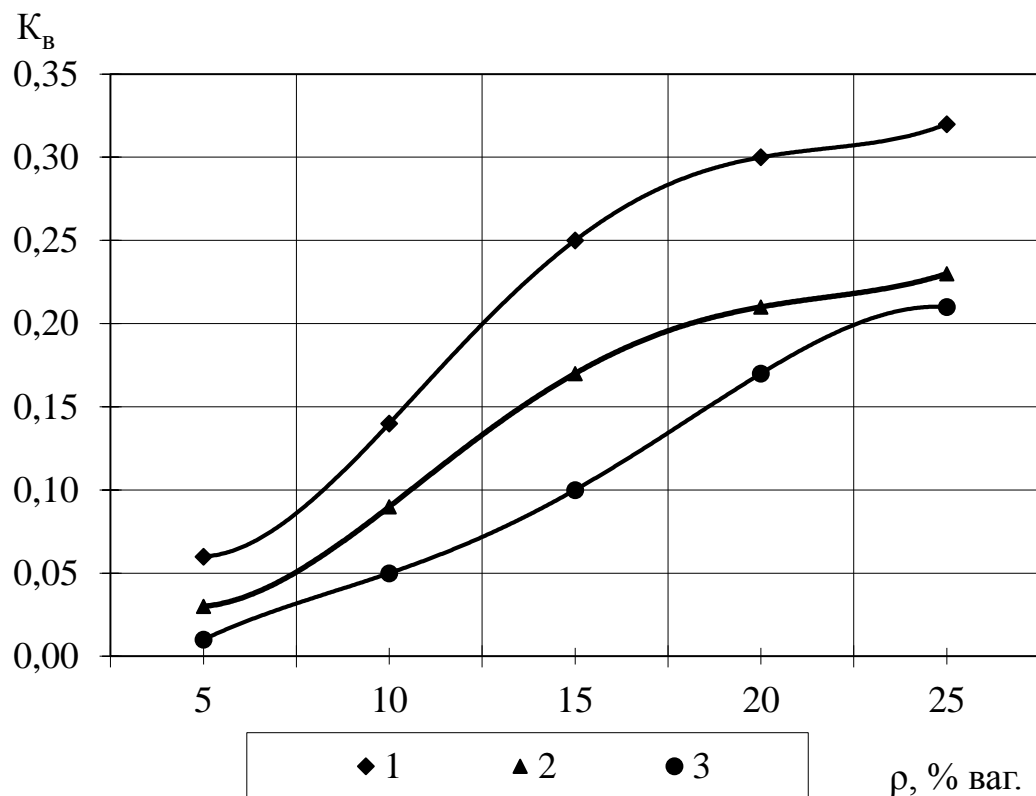


Рис. 2. Залежність коефіцієнту відбиття композитного екрана від концентрації металевої компоненти. Товщина: 1 – 15мм; 2 – 10мм; 3 – 5,0мм

Як випливає з графіків, при концентрації металевого порошку біля 10% досягаються максимальні коефіцієнти екранування за прийнятних коефіцієнтів відбиття.

Розрахунки коефіцієнтів екранування та відбиття для різних концентрацій металевого наповнювача досить трудомісткі, тому для їх виконання доцільно розробити прикладне програмне забезпечення, що дозволило б скоротити строки і підвищити точність розрахунків.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що розходження між результатами експериментів і розрахунків становить 8-11%. Враховуючи похибки натурних випромінювань та ряд припущень при визначенні аналітичних функцій, це можна вважати прийнятним.

На сьогоднішній день недостатньо розроблена задача визначення ефективності електромагнітних екранів обмежених розмірів. У роботі [10] наведено методику розрахунків щодо пливу обмежених поверхонь на електромагнітну обстановку.

Попередні експериментальні дослідження та моделювання просторових розподілів електромагнітних полів навколо екрана кінцевих розмірів показали, що найбільш перспективним підходом до такого моделювання, є підхід, який ґрунтується на розв'язанні дифракційної задачі розсіювання електромагнітного поля поверхнями різної провідності, обмеженими у розмірах. Так захисний екран може бути апроксимований сукупністю тонких тіл прямокутної форми. Такий підхід вимагає розв'язання електродинамічної задачі розсіювання електромагнітного поля випромінюючої системи на прямокутному тілі. Ця задача може бути зведена до системи інтегральних рівнянь відносно густини поверхневого струму або тангенціальних компонентів сумарних електричних або магнітних полів. Система рівнянь отримується з інтегральних співвідношень для векторного і скалярного потенціалів вторинного поля. Вихідні дані для такого розрахунку наведено у попередніх роботах [7,8].

При розробленні і впровадженні організаційно-технічних заходів зі зниження рівнів електромагнітних полів екрануванням слід врахувати можливі спотворення природного магнітного поля [11].

Висновки. Впровадженню організаційно-технічних заходів зі зниження рівнів електромагнітних полів екрануванням повинне передувати визначення припустимого внеску у коефіцієнти екранування поглинання та відбиття електромагнітної хвилі екраном.

Необхідна товщина електромагнітного екрана визначається розрахунковими методами з урахуванням мінімального коефіцієнта

екранування. Це обумовлене необхідністю збереження прийнятної якості бездротового зв'язку.

Доцільно використовувати композитні електромагнітні екрани, які крім керованих захисних властивостей мають малі коефіцієнти відбиття, що дозволяє уникати підвищення рівнів електромагнітних полів у небажаних напрямках.

При використанні електромагнітних екранів обмежених розмірів, слід враховувати дифракційні крайові ефекти, що досягається попереднім моделюванням просторових розподілів полів навколо екранів.

Література

1. Аполлонский С.М. Справочник по расчёту электромагнитных экранов / Аполлонский С.М. – Л.: Энергоатомиздат, 1998. – 224 с.
2. ДСанПін 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів – [Чинний від 2003-01-04]. К.: МОЗ України, 2003. – 6 с.
3. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань – [Чинний від 1996-01-08]. К.: МОЗ України, 1996. – 28 с.
4. Патент 2274914 РФ, МПК G01R 29/00. Магнитный и электромагнитный экран / П.А. Кузнецов, Б.В. Фармаковский, А.Ф. Аскинази [и др.]; заявл. 01.06.04., опубл. 20.04.06, Бюл.№11.
5. Запорожець О.І. Оцінка захисних властивостей магнітом'яких матеріалів / О.І. Запорожець, А.В. Лук'янчиков, В.А. Глива [та ін.] // Проблеми охорони праці в Україні. – 2007. – Вип.14. – С. 35-42.
6. Запорожець О.І. Створення електромагнітних екранів із заданими захисними властивостями / О.І. Запорожець, В.А. Глива, А.В. Лук'янчиков // Вісник Національного Авіаційного Університету. – 2008. – №3. – С. 139-142.
7. Клапченко В.И. Управление защитными свойствами электромагнитных экранов на основе металлосиликатных материалов /В.И. Клапченко, Г.Е. Краснянский, В.А. Глива, И.А. Азнаурян // Гігієна населених місць. – К. – 2009. – Вип.53. – С.200-207.
8. Glyva V.A. Method of electromagnetic screen shielding properties determination / V.A.Glyva, O/V/ Panova // Технологии техносферной безопасности: Научный интернет журнал: 2014. – Вып. № 1 (53). – 6 с. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>
9. Патент 58604 України, МПК G01L 9/00 Пристрій контролю захисних властивостей електромагнітних екранів / Глива В.А., Левченко Л.О., Панова О.В., Азнаурян І.О., Подобед І.М.; заяв. 15.03.2011; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.

10. Панова Е.В. Исследование геометрических критериев электромагнитных экранов [Электронный ресурс] / Е.В. Панова // Технологии техносферной безопасности: 2014.– Вып. № 1 (53). – 12 с. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>

11. Розов В.Ю. Анализ техногенных искажений геомагнитного поля в помещениях и нормирование их допустимых уровней / В.Ю.Розов, М.М. Резинкина, Ю.Д. Думанский, С.В. Биткин // Гігієна населених місць. – 2008. – Вип. 51. – С. 215 – 221.

Расчётные и экспериментальные основы определения защитных свойств электромагнитных экранов

Левченко Л.А., Глыва В.А., Подобед И.М.

Разработаны методы определения вклада в коэффициенты экранирования электромагнитных экранов поглощения энергии полей и их отражения. Разработаны композитные электромагнитные экраны с управляемыми защитными свойствами. Даны практические рекомендации по выбору материалов для изготовления электромагнитных экранов и их использованию.

Calculated and experimental basis for determining the protective properties of electromagnetic shields

Levchenko L.A., Glyva V.A., Podobed I.M.

The methods of determination of contribution are developed to the coefficients of screening of electromagnetic screens of absorption of energy of the fields and their reflection. Composite electromagnetic screens are developed with the guided protective properties. Practical recommendations for the selection of materials for electromagnetic shields and their use.