

Назаренко М.В., д.т.н. (ННДІПБОП), Гончарова О.М. (ІЕЗ НАН України),
Панова О.В. (КНУБА)

РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ

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

Традиційні методи – захист відстанню та часом на сьогоднішній день практично вичерпані і можуть бути використані в обмежених обсягах користувачами персональних комп'ютерів за умови, що ці технічні засоби не є основним знаряддям виробничих процесів, та на енергетичних об'єктах, де такі обмеження регламентовані відповідними санітарними нормами і правилами.

Зростання потужностей різноманітних технічних засобів у середині приміщень і будівель, кількості джерел зовнішніх електромагнітних випромінювань (базові станції мобільного зв'язку, локаторне обладнання тощо) вимагає пошуку нових підходів до захисту людей від електромагнітних полів та випромінювань широкого частотного діапазону та різних амплітуд.

На сьогоднішній день найбільш перспективним методом зниження рівня електромагнітних полів є їх екранування. Втім 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.

Сучасний стан проблеми. На сьогоднішній день дослідженнями розрахунками ефективності та розробленням технологій виготовлення матеріалів

для екранування електромагнітних полів та випромінювань займаються фахівці з матеріалознавства та електродинаміки суцільних середовищ.

Результатом цього є складність математичного апарату з розрахунків ефективності електромагнітних екранів, які практично не мають прикладного значення [1] та не обізнаність фахівців з гігієни та охорони праці у фізичних явищах, які забезпечують зниження рівнів полів за рахунок використання цих засобів захисту.

Існує багато матеріалів для екранування електромагнітних полів та випромінювань. В основному це кристалічні металеві матеріали, перелік яких надано у санітарних нормах – алюміній та його сплави, мідь та її сплави, сталі, пермалої у вигляді листів або сітки [2]. При цьому відсутні рекомендації щодо частотних діапазонів, у яких той чи інший матеріал, є найбільш ефективним, розміри чарунок, сіток, тощо. Санітарні норми [3] взагалі обмежуються рекомендацією екранування поля та випромінювання у разі потреби. Це ускладнює підбір та практичне використання електромагнітних екранів.

В останні роки виконано низку наукових досліджень, які переконливо 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]. Крім того, пермалої чутливі до механічних впливів. Це ускладнює їх використання і не дає можливості виготовляти екрани безпосередньо у необхідному місці.

Різноманітність спектрального складу та амплітуд полів на різних підприємствах потребує можливості виготовлення екранів з необхідними захисними властивостями. Частково ця проблема розв'язана у праці [6], проте діапазон керованості досить вузький. До того ж магнітом'які аморфні сплави мають досить велику вартість, тому створення великих захисних поверхонь є економічно недоцільним. У праці [7] надано результати розроблення металосилікатних захисних матеріалів і теоретично обґрунтовано керування їх екрануючими властивостями. За прийнятного частотного діапазону екранування вони мають погану технологічність і дуже незручні у монтажі, а також нестійкі до

зовнішніх механічних та термічних впливів. Таким чином, потреба у сучасних екрануючих матеріалах є керованими захисними властивостями, які б мали низьку вартість і високу технологічність, лишається актуальною.

Суттєвим недоліком раніше виконаних досліджень є відсутність прийнятих за припущення і простими у використанні математичних моделей, які б дозволяли прогнозувати ефективність екрана за визначених умов, вплив крайових ефектів у екранів кінцевих розмірів та визначити внесок кожного фізичного механізму (поглинання енергії поля, відбиття та багатократне відбиття електромагнітної хвилі від поверхні екрана) у сумарний коефіцієнт екранування.

Метою роботи є розроблення прийнятних для практичного використання методів розрахунків ефективності електромагнітних екранів та дослідження захисних властивостей сучасних екранувальних матеріалів і обґрунтування методик керування ними.

Кількісно ефективність екранування електричної та магнітної складової електромагнітного поля визначається співвідношенням їх напруженостей до і після екрана, яке зазвичай називають коефіцієнтом екранування. Цей коефіцієнт може бути безрозмірним, або визначається у децибелах. Останнє прийнятне з огляду на те, що сучасне програмне забезпечення з аналізу частотного спектра (наприклад Spectrogram), має на осях ординат децибельну шкалу.

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.

Для плоского провідного екрана у загальному випадку коефіцієнт екранування визначається як

$$K=K_n+K_{\epsilon}+K_{\epsilon\epsilon},$$

де K_n – екранування за рахунок поглинання енергії електричного поля,

K_{ϵ} – екранування за рахунок відбиття,

$K_{\epsilon\epsilon}$ – екранування за рахунок багато екранного 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]. Як правило $K_{\text{св}} \ll K_n$.

Суттєвою особливістю електромагнітних екранів 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 нелінійно залежить від магнітної проникності матеріалу. При цьому

$$\mu = \mu' - i\mu'',$$

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, σ – питома провідність, d – товщина екрана.

При обиранні товщини стінки екрана слід керуватися еквівалентною глибиною проникнення поля у тіло екрана:

$$\delta = \frac{1}{\pi f \mu \sigma},$$

яка є відстанню від поверхні екрана, на який амплітуда поля зменшується у e разів ($e=2,7=8,7\text{дБ}$). Коефіцієнту поглинання 100 відповідає значення $4,6\delta$, $10-2,3\delta$. 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:

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

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 зникнення цього недоліку нами був розроблений композитний захисний матеріал.

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

Надійний захист від випромінювань ультрависокої, надвисокої та надзвичайно високої частот забезпечує металева сітчатка або ґратчаста структура з шириною проміжку між провідними елементами $0,1\lambda$ (λ – довжина електромагнітної хвилі). Це витікає із співвідношень фізичної оптики, так і з повсякденної практики. При цьому відбивання електромагнітної хвилі від екрана практичне відсутнє. Однак для більш низьких частот (дуже високих і нижче) такий захист є неефективним. Для цього повинно 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 [9].

Для виключення похибок експериментів отриманим результатам необхідно дати прийнятну теоретичну трактовку. Для цього доцільно скористатися фундаментальними співвідношеннями електродинаміки суцільних середовищ, де розглядаються електропровідності систем метал-діелектрик біля порогу протікання електроструму. Так, коефіцієнт ослаблення електромагнітної хвилі K_e (за потужністю) визначається так:

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

Коефіцієнт відбивання K_e у випадку нормально падаючої хвилі, визначається:

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

де n – коефіцієнт заломлення матеріалу, x – товщина зразка, ω – циклічна частота випромінювання; χ – коефіцієнт екстинкції матеріалу, який визначає швидкість затухання хвилі.

У прийнятій наближеності можна вважати, що:

$$z = \frac{\sigma_d}{\sigma_m},$$

де σ_d і σ_m – провідність діелектрика (матриці) і металу.

Коефіцієнти χ і n легко визначаються зі співвідношень дійсної та уявної частин комплексної діелектричної проникності матеріалу.

Розрахунки коефіцієнтів екранування та відбиття для різних концентрацій металевго наповнювача досить трудомісткі, тому для їх виконання було розроблено прикладне програмне забезпечення, що дозволило 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.

При розробленні і впровадженні організаційно-технічних заходів зі зниження рівнів електромагнітних полів екрануванням слід врахувати можливі спотворення природного магнітного поля [10].

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

Необхідна товщина електромагнітного екрана визначається розрахунковими методами згідно отриманих у роботі співвідношень.

При виборі матеріалу для виготовлення електромагнітного екрана слід враховувати наявність, як дійсної, так і уявної складових абсолютної магнітної проникності, що дозволяє обрати найбільш ефективний захисний матеріал відповідно до частотних характеристик екранованих полів.

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

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. Глива В.А. Методологія оцінки та прогнозування електромагнітного та шумового навантаження у приміщеннях/ В.А. Глива // Гігієна населених місць. – 2008. – № 52, С. 184-189.

9. Глива В.А. Розроблення і дослідження композитних електромагнітних екранів з керованими захисними властивостями / В.А.Глива, І.М.Подобєд, О.А.Матвєєва // Вісник НТУУ «КПІ». – 2011. – Вип. 21. – С. – 167 – 172.

10. 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.

УДК 539.421:620.179.17

Назаренко М.В., Гончарова О.М., Панова О.В. Розрахункові методи визначення захисних властивостей електромагнітних екранів // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДПБОП, 2012. – Вип. 23. – С. 84- 89 .

Розроблені методи визначення внеску в коефіцієнти екранування електромагнітних екранів поглинання енергії полів і їх віддзеркалення. Розроблені композитні електромагнітні екрани з керованими захисними

властивостями. Надані практичні рекомендації щодо вибору матеріалів для виготовлення електромагнітних екранів та їх використання.

Список літ. – 10 назв.

УДК 539.421:620.179.17

Назаренко М.В., Гончарова О.Н., Панова Е.В. Расчетные методы определения защитных свойств электромагнитных экранов // Проблемы охраны труда в Украине. – К.: ННИИПБОТ, 2012. – Вып. . – С. - .

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.

Список лит. – 10 наим.

UDK 539.421:620.179.17

Nazarenko M.D., Goncharova O.N., Panova E.V. Calculation methods of determination of protective properties of electromagnetic screens // Occupational health and safety issues in Ukraine. – K.: NRIISL, 2012.- N. – P. - .

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.