

ТЕОРІЯ І

16, 2015

ПРАКТИКА

БУДІВНИЦТВА



Теорія і практика будівництва

№16, 2015

Засновники:Українська академія наук,
Київський національний університет
будівництва і архітектури**ЗМІСТ:****Редакційна колегія:**

Андріанов В.П.;
Беркута А.В., к.е.н.;
Бойко І.П., д.т.н.;
Друкований М.Ф., д.т.н.;
Дудар І.Н., д.т.н.;
Лівінський О.М., д.т.н.;
Менейлюк О.І., д.т.н.;
Микитась М.В., к.т.н.;
Назаренко І.І., д.т.н. (Головн. редактор);
Онiпко О.Ф., д.т.н.;
Савицький М.В., д.т.н.;
Терновий В.І., к.т.н. (Відповід. секретар);
Тугай О.А., д.т.н.; (Заст. головн. ред.);
Черненко В.К., д.т.н.
Міщук Є.О., к.т.н. (Комп'ютерна верстка)

*Статті друкуються в авторській редакції
Відповідальність за достовірність даних у
відкритому друку несуть автори.*

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Київського національного університету
будівництва і архітектури
Протокол № 32 від 20.03. 2015 р.*

- Зубко А.Л., Штонда Ю.И., Шаляпина Т.С., Штонда И.Ю.**
Компактная установка модульного типа для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод МОКСА3
- Нестеренко Н.П., Педь Д.С., Молчанов П.А.**
Теоретичні дослідження вібраційної касетної установки з горизонтально направленими коливаннями з врахуванням бетонної суміші.....7
- Коваленко В.В., Тихенко О.М.**
Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів11
- Назаренко М.І.**
Методика оцінки безвідмовної та ефективної роботи будівельних машин в реальних умовах їх експлуатації.....14
- Перегінець І.І.**
Конкурентоспроможність кластерних моделей інноваційного будівництва в Україні19
- Запривода А.В.**
Дослідження фізико-механічних властивостей бетонних сумішей при їх ущільненні вібропристроями в умовах формування плоских поверхонь.....22
- Назаренко І.І., Мартинюк І.Ю.**
Дослідження динамічних параметрів віброплощадки для формування бетонних виробів.....26
- Яковенко В.Б., Іщенко О.О.**
Модернізація глибинних вібраторів на основі патентних досягнень.....29
- Чичур А.І.**
Аналіз сучасних проблем конструкцій двовальних горизонтальних бетонозмішувачів примусової дії.....31
- Кружилко О.Є., Богданова О.В.**
Наукові та практичні аспекти застосування інформаційної системи оцінки виробничого ризику.....38
- Горда Е.В., Пузько А.А.**
Класифікація зображень об'єктів в області суміжності дефекту типу «тріщина»43

УДК 538.69:331.45

Коваленко В. В., Тихенко О. М.¹

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ

АНОТАЦІЯ. Обґрунтовані методологічні задачі визначення ефективності електромагнітних екранів. Встановлено, що оцінювання захисних властивостей за електрофізичними характеристиками матеріалу є перспективним напрямом розроблення і впровадження електромагнітних екранів нового покоління.

Ключові слова: електромагнітний екран, ефективність екранування, електромагнітна безпека, коефіцієнт екранування, коефіцієнт відбивання.

ABSTRACT. The methodological problems of determining the efficiency of electromagnetic screens have been grounded. The evaluation of the protective properties based on the electrical characteristics of the material has been proved to be a promising area of development and implementation of new generation electromagnetic screens.

Key words: electromagnetic screen, shielding effectiveness, electromagnetic safety, shielding factor, the reflection coefficient.

Актуальність роботи. Масове використання технічних засобів з непередбачуваними випромінювальними властивостями, наявність як внутрішніх, так і зовнішніх джерел електромагнітних полів та випромінювань широкого частотного спектра – персональних комп'ютерів, засобів бездротового зв'язку потребує наявності засобів захисту від їх впливів. Найбільш дієвим з них є екранування полів і випромінювань наднормативних рівнів різних частот і частотних смуг.

Задача електромагнітного екранування є актуальною для різних галузей науки.

Застосування захисних екранів з одного боку дозволяє знизити вплив перешкод, що існують в навколишньому середовищі на радіоелектронне обладнання, що знаходиться всередині області, яка екранується, а з іншого боку знижує інтенсивність випромінювання в навколишнє середовище.

Основними факторами, що впливають на захисні властивості екранів є електрофізичні властивості матеріалу, з якого він виготовлений та їх конструкційні особливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Не дивлячись на значну увагу до цієї проблематики в Україні та за кордоном [1, 2], деякі питання технічного та методологічного характеру залишаються не визначеними і трактуються неоднозначно.

Зокрема це стосується методологічного аспекту визначення захисних властивостей електромагнітних екранів – як кількісно, так і термінологічно.

Значною мірою така неоднозначність обумовлена тим, що у чинних нормативах з електромагнітної безпеки наголошується на необхідності використання електромагнітного екранування [3], надається перелік (далеко не повний) екрануючих матеріалів [4] без визначення умов їх використання.

У Нормах [4] ефективністю екранування вважається відношення напруженості або щільності потоку енергії електромагнітного поля до і після екранування і не згадується такий розповсюджений показник, як

коефіцієнт екранування, який традиційно використовується фахівцями з електродинаміки суцільних середовищ [5] і є класичним [6]. При цьому деякі закордонні дослідники [7, 8] відрізняють ці показники як кількісно, так і методологічно. Необхідність досягнення однозначності у цих питаннях обумовлена імплементацією у нормативно-правову базу України вимог загальноєвропейської директиви з електромагнітної безпеки [9] та набуття чинності з 01.01.2016 р. великої кількості стандартів Євросоюзу з електромагнітної сумісності технічних засобів (наказ Мінекономрозвитку України від 29.12.2014 р. № 1483).

Що стосується конструкційних особливостей електромагнітних екранів, то вони мають деякі особливості. Електромагнітні екрани можуть бути самостійними конструкціями, коли екран являє собою зовнішній кожух обладнання і повинен забезпечити тепловий режим, захист від пилу та вологи, стійкість до вібрації, зниження дії електромагнітного поля на пристрій в цілому або локалізацію його електромагнітного випромінювання. Електромагнітні екрани можуть розроблятися для окремих елементів та вузлів радіоелектронних пристроїв, коли розміри і навіть форма екрана практично вже визначні самим об'єктом, що екранується. Електромагнітні екрани також можуть бути сконструйовані як самостійні елементи та не бути пов'язаними з радіоелектронними засобами.

Роботи щодо захисту працюючих від впливу електромагнітних полів спрямовані, в основному, на розроблення екранів високої ефективності без урахування співвідношень відбивальної та поглинальної складових коефіцієнта екранування. Це досить важливо як з точки зору захисту працюючих, так і забезпечення розповсюдження інтенсивності випромінювання, необхідного для функціонування засобів бездротового зв'язку. Це можливо за використанням оціночних розрахункових методів на засадах розумної достатності.

Мета дослідження – обґрунтування та формування методологічних задач визначення ефективності електромагнітних екранів.

¹Коваленко В., Тихенко О., Національний авіаційний університет

Результати дослідження. Особливістю електромагнітного екранування як заходу і засобу є те, що воно використовується у кількох галузях з різними цілями. У галузі охорони праці та екології – для захисту людей від впливу електромагнітних полів та випромінювань, у радіотехніці – для забезпечення електромагнітної сумісності технічних засобів, а також для технічного захисту інформації.

Так, фахівці з електромагнітної сумісності визначають ефективність екранування як:

$$S = 20 \lg \frac{E_0}{E}, \quad \text{дБ} \quad (1)$$

де E_0 – електрична складова поля до встановлення екрана, E – електрична складова поля після встановлення екрана.

Це ж стосується магнітної складової H .

При цьому ефективність екранування та коефіцієнт екранування k пов'язані співвідношенням:

$$S = 20 \lg \frac{1}{k} = -20 \lg k, \quad \text{дБ}. \quad (2)$$

Тобто, ефективність екранування є показником, який показує здатність екрана знижувати рівні електромагнітного випромінювання. Вважаючи, що він визначає втрати енергії, його значення завжди додатне.

Але у багатьох випадках, з точки зору електромагнітної безпеки, у низькочастотній області електромагнітного спектра це не завжди коректно і характеризує захищеність об'єкта. Наприклад, при екрануванні магнітних полів промислової частоти феромагнітними матеріалами відбувається намагнічування екрана і у просторі за ним рівень магнітного поля зростає. Якщо вважати коефіцієнтом екранування безрозмірну величину

$$k = \frac{H_0}{H}, \quad (3)$$

де H_0 – напруженість магнітного поля перед екраном, H – напруженість магнітного поля за екраном, то коефіцієнт екранування буде меншим за одиницю, що свідчить про зростання рівня поля.

У таких випадках, хоча і відбувається поглинання магнітної енергії, але захищеність людей знижується.

За певних розташувань екрана, як показано у [10], рівні магнітних полів за екраном можуть як зростати, так і знижуватися, що потребує розв'язання задачі оптимізації або наявності надійних розрахункових та експериментальних даних.

Як видно з наведеного, з точки зору захисту людей доцільно використовувати саме коефіцієнт екранування. Саме такий показник і мається на увазі у нормативі [4], хоча і називається ефективністю екранування. Він характеризує захищеність людей, а не властивості захисного матеріалу.

При цьому потрібно розрізняти і враховувати принаймні два механізми (складові) реалізації екранування – за рахунок відбиття електромагнітної хвилі та за рахунок поглинання електромагнітної енергії. Коефіцієнт відбиття важливий через те, що він найбільший

при екрануванні електромагнітних випромінювань надвисоких і вищих частот, найбільш шкідливих для людей. Тобто, захищаючи одну зону, ми погіршуємо електромагнітну обстановку в інших місцях, причому непередбачуваним чином. Враховуючи часткове зниження рівня випромінювання за рахунок кількарізних відбиттів хвиль на границях розділу, з практичної точки зору доцільно розглядати два показники – загальний коефіцієнт екранування та коефіцієнт відбиття.

При дослідженні та розробці конструкцій електромагнітних екранів з різних матеріалів потрібно враховувати їх спроможність відбивати або поглинати електромагнітні випромінювання у визначених діапазонах частот. Відомо, що не існує повністю відбиваючих або повністю поглинаючих електромагнітну енергію матеріалів, тому екранування електромагнітного випромінювання практично завжди забезпечується за рахунок обох процесів.

Поглиналильні властивості матеріалів визначаються їх електричними та магнітними властивостями, якими є: електропровідність, діелектрична та магнітна проникності. Ці параметри використовуються у математичному апараті щодо поширення електромагнітних полів. Їх особливостями є неперестійність і у загальному випадку вони описуються комплексними величинами. Наприклад, у високочастотному діапазоні суттєвий внесок у загальну магнітну проникність дає її уявна складова. Поглинання магнітної хвилі відбувається за рахунок діелектричних та магнітних втрат на провідність. Тому ці параметри доцільно максимально збільшувати для підвищення екранувальних властивостей матеріалів.

Відбиття електромагнітних хвиль відбувається від будь-яких неоднорідних матеріалів і кількісно обумовлене співвідношенням хвильових опорів вільного простору та матеріалу екрана.

Наведене не означає непридатність використання властивостей захисного матеріалу для характеристики ступенів екранування полів. Наприклад, як показано у [5] коефіцієнти екранування електричних полів функціонально залежать від ефективної діелектричної проникності матеріалу.

Для цього доцільно скористатися фундаментальним співвідношенням електродинаміки суцільних середовищ, де розглядаються електропровідності систем метал - діелектрик біля порогу протікання електроструму [5]. Так, коефіцієнт ослаблення електромагнітної хвилі K_e (за потужністю) визначаються як:

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

Коефіцієнт відбивання K_v у випадку нормально падаючої хвилі визначається як:

$$K_v = \frac{(n-1)^2 + \chi^2}{(n+1)^2 + \chi^2}, \quad (5)$$

де n – коефіцієнт заломлення матеріалу;

x – товщина зразка;

ω – циклічна частота випромінювання;

χ – коефіцієнт екстинкції матеріалу, який визначає швидкість затухання хвилі.

У даному випадку можна вважати, що

$$Z = \frac{\sigma_d}{\sigma_m}, \quad (6)$$

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

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

$$n = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 + \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}}{2}}, \quad (7)$$

$$\chi = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 - \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}}{2}}, \quad (8)$$

де ε_1 та ε_2 - дійсна та уявна частини комплексної діелектричної проникності $\hat{\varepsilon}$:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon + i \frac{4\pi\sigma}{\omega} \quad (9)$$

Розрахунки коефіцієнтів екранування та відбиття для різних концентрацій металевго наповнювача досить трудомісткі, тому для їх виконання доцільне розроблення прикладного програмного забезпечення, що дозволить скоротити обсяг робіт і підвищити їх точність.

Деяко спрощений, але практично значущий підхід використовують для визначення ефективності засобів захисту у цивільній авіації. Коефіцієнти відбиття k_e та проходження k_{np} електромагнітної хвилі визначають зі співвідношення хвильових опорів двох суміжних середовищ Z_1 та Z_2 :

$$k_e = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad (10)$$

$$k_{np} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}. \quad (11)$$

Якщо середовища за опорами узгоджені, тобто $Z_1 = Z_2$, то $\mu_2/\mu_1 = \varepsilon_2/\varepsilon_1$ і $k_e = 0$.

Але для більш точних розрахунків при визначенні поглинальних спроможностей екрана потрібно розраховувати тангенси кутів електричних (tgL_1) та магнітних (tgL_2) втрат:

$$tgL_1 = \varepsilon''/\varepsilon', \quad tgL_2 = \mu''/\mu', \quad (12)$$

де ε' , ε'' - дійсна та уявна діелектричні проникності середовища, μ' , μ'' - дійсна та уявна магнітні проникності середовища. При цьому ε'' та μ'' характеризують електричні та магнітні втрати у середовищі.

Разом з тим, комплексне хвильове число (стала розповсюдження поля) у даному середовищі K визначається як:

$$\dot{K} = \omega \sqrt{(\varepsilon' - j\varepsilon'')(\mu' - j\mu'')} = K' - jK'', \quad (13)$$

де $K' = 2\pi/\lambda$ - дійсна складова хвильового числа, λ - довжина електромагнітної хвилі, K'' - коефіцієнт поглинання енергії поля у середовищі.

Таким чином, це надає можливість вироблення еластичних облицювальних матеріалів з керованими захисними властивостями, які не тільки захищають приміщення від зовнішніх електромагнітних впливів, а й поглинає випромінювання, генероване обладнанням всередині приміщень.

Висновки

1. Розширення сфер застосування електромагнітних екранів потребує чіткого визначення кількісних характеристик захисних екранів як з точки зору електромагнітної безпеки, так і електромагнітної спроможності електронного та електричного обладнання будівель та споруд.

2. Для цілей охорони праці та електромагнітної екології ефективністю екранування слід вважати коефіцієнт екранування – відношення рівнів електромагнітного поля до і після екрана (у зонах перебування людей).

3. Для надвисокочастотного і вищих діапазонів електромагнітного спектра слід враховувати і визначати як загальний коефіцієнт екранування, так і внесок у нього зниження рівня випромінювання за рахунок відбиття. Обов'язковим є визначення напрямків відбитих хвиль, що може погіршувати електромагнітну обстановку за межами захищених зон. Для екранів кінцевих розмірів визначаються коефіцієнти екранування у зонах «тіні» (максимальне екранування) і «і напівтіні» - де рівні поля значно вищі через дифракційні явища.

4. Оцінювання захисних властивостей за електрофізичними характеристиками матеріалу є перспективним напрямом розроблення і впровадження нового покоління електромагнітних екранів. Це надає змогу керувати ефективністю електромагнітних екранів та прогнозувати електромагнітну обстановку в залежності від змін інтенсивності зовнішніх та внутрішніх джерел. Керування електрофізичними властивостями захисного матеріалу надає змогу отримання покриттів з максимальними поглинальними властивостями, що унеможливує погіршення електромагнітної обстановки в окремих приміщеннях за рахунок багаторазового відбиття.

Література

1. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. ... канд.техн.наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна – К., 2014. – 151 с.
2. Tong X.C. Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding / X.C. Tong: CRS Press, 2009. – 342 p.