

О. М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ ТА ЕКРАНЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. В умовах складної електромагнітної обстановки, що формується за рахунок впливу зовнішніх та внутрішніх джерел, а також внаслідок широкого застосування бездротових систем передачі інформації, завдання, пов'язані із застосуванням екрануючих конструкцій значно ускладнюються. Зокрема, необхідність забезпечення стабільної роботи мобільного зв'язку накладає певні обмеження на коефіцієнти екранування захисних матеріалів. Це потребує визначення загальних підходів до запровадження екранування на принципах розумної достатності, враховуючи як захист людей від електромагнітних впливів, так і виробничі потреби. Встановлено, що необхідним є розроблення схеми проектування електромагнітних екранів з урахуванням складності електромагнітної обстановки. Мета роботи – розроблення загальних засад проектування екрануючих матеріалів та конструкцій з урахуванням гранично допустимих рівнів магнітних та електромагнітних полів різного походження. Обґрунтовано, що для проектування магнітних та електромагнітних екранів доцільно використати експериментальні дані щодо залежності коефіцієнтів екранування від товщини захисного матеріалу, вмісту екрануючої металеві та металовмісної субстанції у полімерній матриці тощо. Визначено коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти, електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц та геомагнітного поля композиційними металополімерними матеріалами різної товщини та характеристик. Встановлено, що оптимізація параметрів матеріалів щодо впливів полів цих трьох походжень неможлива. Наведено схему, яка може бути використана за наявності електромагнітних полів різного походження та широкого частотного спектра. Але передумовою таких робіт є проведення моніторингу електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях з визначенням амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів різного походження. Здійснення проектних та впроваджувальних робіт за розробленою схемою є найбільш доцільним підходом щодо проектування захисних матеріалів та екрануючих конструкцій. Такий підхід мінімізує витрати часу та коштів на роботи з електромагнітної безпеки.

Ключові слова: електромагнітне поле; електромагнітна обстановка; коефіцієнт екранування; амплітудно-частотні залежності; екрануючі матеріали.

Вступ

Розвиток галузі розроблення та застосування матеріалів для екранування електромагнітних полів дозволяє створювати екранувальні конструкції, які ефективно захищають виробниче й побутове середовище від впливу електричних, магнітних та електромагнітних полів. Але в умовах складної електромагнітної обстановки, що формується за рахунок впливу зовнішніх та внутрішніх джерел, широкого застосування бездротових систем передачі інформації, задачі, пов'язані із застосуванням екрануючих конструкцій значно ускладнюються. Зокрема, необхідність забезпечення стабільної роботи мобільного зв'язку накладає певні обмеження на коефіцієнти екранування захисних матеріалів. Це потребує визначення загальних підходів до запровадження екранування на принципах розумної достатності з урахуванням як потреб захисту людей від електромагнітних впливів, так і виробничих потреб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість досліджень щодо створення матеріалів для екранування електромагнітних полів мають конкретне спрямування, тобто призначені для захисту від поля визначеної частоти (смуги частот) або певного джерела. Так, роботу [1] присвячено дослідженню екранування магнітного поля промислової частоти сітчастими структурами. У роботі [2] розроблено засіб захисту від впливу електромагнітних полів засобів обчислювальної техніки. У статті [3] наведено результати розроблення та дослідження захисних властивостей тканини для екранування електромаг-

нітних полів ультрависокої частоти. Більш універсальний захисний екран пропонується у роботі [4].

Застосування феромагнітних наноконструкцій дозволяє отримати прийнятні коефіцієнти екранування як магнітного поля промислової частоти, так і електромагнітного поля ультрависокої частоти. Усі розглянуті дослідження спрямовані на отримання максимальних коефіцієнтів екранування.

Але у багатьох випадках великі значення цих коефіцієнтів є надлишковими. Наприклад, напруженості магнітного поля промислової частоти майже ніколи не перевищує гранично допустимий рівень у 2-3 рази. А щільність потоку енергії обладнання мобільного зв'язку ніколи не досягає такого рівня (10 мкВт/см^2) у зонах можливого перебування людей. В той же час у багатьох випадках критичними є коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль, що важливо для забезпечення електромагнітної сумісності електронного обладнання [5], при цьому існує чинний міжнародний норматив [6], який забороняє зниження напруженості природного магнітного поля у виробничих умовах більше, ніж удвічі. Відомо, що майже повну напруженість геомагнітного поля у середніх широтах складає горизонтальна складова, що накладає обмеження на екранування стін приміщень. Тому розроблення захисних матеріалів та екранувальних конструкцій з них повинно бути певним чином алгоритмізоване з урахуванням усіх критичних факторів впливу на електромагнітну обстановку.

Алгоритм, наведений у [7], не враховує необхідності забезпечення мінімально допустимого сиг-

налу базових станцій мобільного зв'язку та граничного рівня геомагнітного поля.

Таким чином, необхідним є розроблення схеми проектування електромагнітних екранів з урахуванням складності електромагнітної обстановки, що потребує наявності достовірних експериментальних даних щодо коефіцієнтів екранування поверхонь різних конструкцій.

Мета роботи – розроблення загальних засад проектування екрануючих матеріалів та конструкцій з урахуванням гранично допустимих рівнів магнітних та електромагнітних полів різного походження.

Виклад основного матеріалу

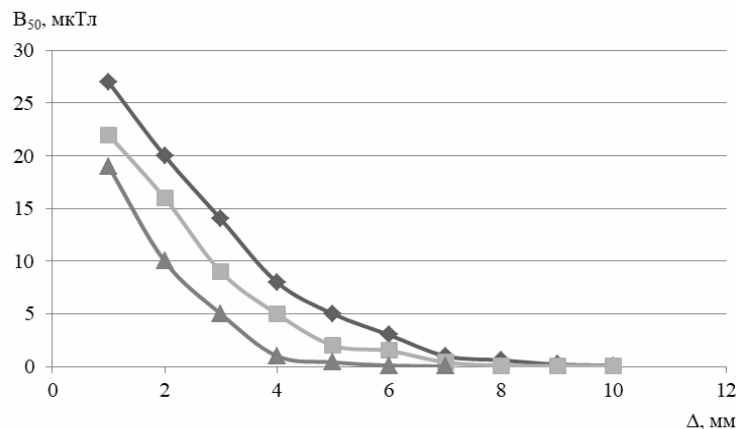
Навіть для добре досліджених з точки зору електромагнітної безпеки металевих матеріалів та наявності відповідного математичного апарату, вибір товщини екрана не можна зробити однозначним. Так, для феромагнітного матеріалу товщина стіни визначається частотою електромагнітного поля, електрофізичними й магнітними властивостями матеріалу, заданою ефективністю екранування тощо. При цьому слід врахувати наступне: зі зростанням частоти поля знижується магнітна проникність матеріалу, у феромагнітних матеріалах під впливом високочастотного магнітного поля проявляється поверхневий ефект, що потребує збільшення товщини стінки. Принциповим недоліком металевих екранів є великі коефіцієнти відбиття, що має наслідком відбиття електромагнітних хвиль у небажаних напрямках. Це небажано як з точки зору електромагнітної безпеки, так і електромагнітної сучасності обладнання.

Таких недоліків позбавлені композиційні метало-полімерні матеріали. Але розрахунковий метод раціоналізації параметрів таких матеріалів проблематичний.

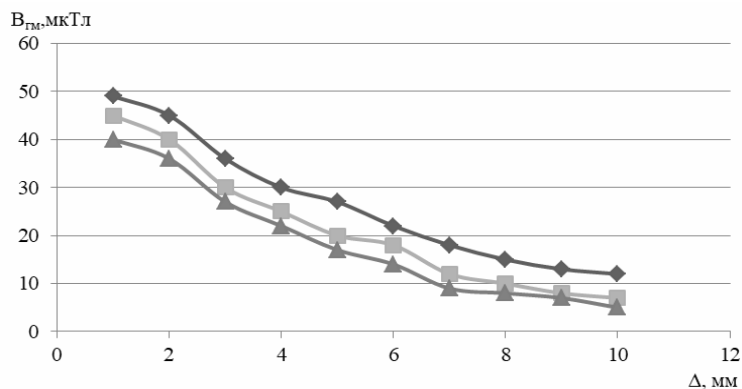
Існуючий математичний апарат, отриманий виходячи зі співвідношень електродинаміки суцільних середовищ, базується на експериментальних даних (провідність, діелектрична та магнітна проникність) і добре розроблений для екранів сферичної та циліндричної форм. Тому, для проектування магнітних та електромагнітних екранів доцільно використати експериментальні дані щодо залежності коефіцієнтів екранування від товщини захисного матеріалу, вмісту екрануючої металевої та металовмісної субстанції у полімерній матриці тощо. Було визначено коефіцієнти екранування магнітного поля промислової частоти, електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц та геомагнітного поля композиційними метало-полімерними матеріалами різних товщин та характеристик (рис. 1).

Дані, наведені на рисунках, свідчать, що оптимізація параметрів матеріалів щодо впливів полів цих трьох походжень неможлива. У першу чергу це пояснюється тим, що магнітне поле промислової частоти має максимальне гранично допустиме значення, а геомагнітне – мінімально допустиме.

Щодо одночасного екранування магнітного поля промислової частоти та електромагнітного поля ультрависокої частоти, то виходячи з того, що для останнього існує нижня прийнятна межа інтенсивності, керуватися потрібно гранично допустимим рівнем поля промислової частоти.



а



б

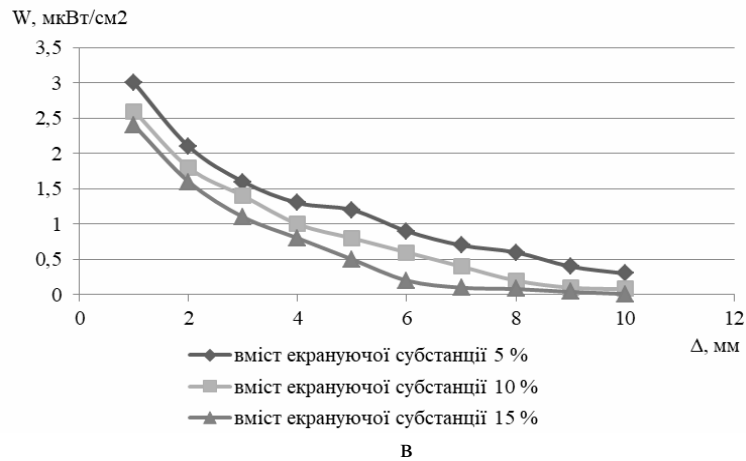


Рис. 1. Залежність ефективності екранування від товщини екрана та вмісту екрануючої субстанції: а – магнітне поле промислової частоти; б – геомагнітне поле; в – електромагнітне поле частотою 1,8 ГГц

У випадку, що відповідає даним рис. 1, вимогам щодо магнітного поля відповідає екран товщиною 8 мм та вмістом екрануючої субстанції 5 % і відповідно: 7 мм – 10 %; 5 мм – 15 %.

При цьому щільність потоку енергії електромагнітного поля частотою 1,8 ГГц не знижується нижче за $0,4 \text{ мкВт/см}^2$.

Тому у даному випадку при обиранні параметрів захисного матеріалу слід керуватися вимогами до безпечного рівня магнітного поля та економічними міркуваннями.

Але наведені ступені екранування геомагнітного поля отримані в лабораторних умовах для суцільного екрана, який є обов'язковим для стаціонарних та квазістаціонарних магнітних полів.

У реальних умовах найбільша за модулем складова магнітного поля (біля 40 мкТл) має напрямки силових ліній геомагнітного поля з півночі на південь. Тобто за іншої орієнтації плоского екрана зниження рівня природного магнітного поля буде набагато нижчим. Таким чином, ступені екранування геомагнітного поля враховуються після визначення позиціонування екрана для екранування технічного низькочастотного магнітного поля. У випадку, що розглядається для цього достатньо застосувати матеріал завтовшки 4 мм зі вмістом екрануючої субстанції 15 % або 7 мм зі вмістом екрануючої субстанції 5 %.

Як зазначалося вище, електромагнітні випромінювання частот мобільного зв'язку ніколи не досягають максимального допустимого значення, але, як показано у [7], за щільностей потоків енергії $0,15\text{--}0,20 \text{ мкВт/см}^2$ з боку базових станцій мобільного зв'язку різко підвищуються рівні випромінювань самих мобільних телефонів, тобто існує нижня межа, до якої можна екранувати зовнішні випромінювання.

Таким чином, можлива певна раціоналізація ефективності екрана, яка полягає у обиранні меж параметрів матеріалу, які забезпечують прийнятну електромагнітну обстановку. У таких умовах найбільш доцільним є проектування та впровадження екранування магнітних та електромагнітних полів за певною схемою (рис. 2).



Рис. 2. Схема проектування та впровадження екранування магнітних та електромагнітних полів у виробничих приміщеннях

Наведений порядок може бути використаний за наявності електромагнітних полів іншого походження та широкого частотного спектра.

Ефективність матеріалу може бути розрахована, виходячи з експериментальних даних та екстраполяцій, наведених у роботі [5]. Передумовою таких робіт є проведення моніторингу електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях з визначенням амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів різного походження.

Висновки

1. В умовах впливу на електромагнітну обстановку у виробничому та побутовому середовищі джерел полів різного походження здійснення екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів потребує певної раціоналізації.

2. Особливістю формування електромагнітного поля та підходів до його екранування є наявність як максимального гранично допустимого рівня (магнітне поле промислової частоти), так і мінімально допустимих рівнів (геомагнітне поле, електромагнітне поле засобів мобільного зв'язку), що обумовлює можливість обирання тільки певного інтервалу захисних властивостей (параметри) екрануючих конструкцій, у межах яких показники за рівнями полів різного походження є прийнятними.

3. Найбільш доцільним підходом до проектування захисних матеріалів та екрануючих конструкцій є здійснення проектних та впроваджувальних робіт за розроблення алгоритмом. Такий підхід мінімізує витрати часу та коштів на роботи пов'язані з електромагнітною безпекою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Grinchenko V. S. Mitigation of three-phase power line magnetic field by grid electromagnetic shield. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2018. Vol. 2018, Issue 4. P. 29–32. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.029>
2. Singh J. Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 2015. Vol. 3, Issue 10. P. 10022–10027.
3. Ахмед А.А.А., Пулко Т.А., Насонова Н.В., Лыньков Л.М. Гибкие многослойные конструкции экранов электромагнитного излучения. Доклады БГУИР. 2015. № 5(91). С. 95–99.
4. Glyva V. A., Podoltsev A. D., Bolibrukh B.V., Radionov A. V. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2018. Vol. 2018, Issue 4. P. 14–18. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>
5. Glyva V., Podkopaev S., Levchenko L., Karaieva N., Nikolaiev K., Tykhenko O. et. al. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, Issue 5 (95). P. 10–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123622>
6. Подобед І. М., Глива В. А., Левченко Л. О. Шляхи вдосконалення нормативної бази з електромагнітної безпеки та магнітної сумісності технічних засобів в умовах підвищення енергонасиченості будівель і споруд. Гігієна населених місць. 2012. Вип. 28. С. 171–175.
7. Тихенко О.М. Методи захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких та вищих частот. Проблеми охорони праці в Україні. 2016. Вип. 32. С. 43–48.

Received (Надійшла) 28.11.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.01.2020

General principles of design of electromagnetic screens and screening structures

O. Tykhenko

Abstract. Under the complex electromagnetic environment created by external and internal sources, as well as the widespread use of wireless information transmission systems, the issues of shielding structures application are complicated. In particular, the need to ensure the stable operation of cell communications imposes certain restrictions on the shielding factors of protective materials. This requires determination of the common approaches to reasonable screening, taking into account both the protection of people from electromagnetic exposure and production needs. It is established that it is necessary to develop the pattern of electromagnetic screens designing taking into account the complexity of the electromagnetic environment. The purpose of the work is to develop general principles for the design of shielding materials and structures, taking into account the maximum permissible impact levels of magnetic and electromagnetic fields of different origin. The use of experimental data, regarding the dependence of the shielding factors on the thickness of the protective material, the content of the shielding metal and metal-containing substance in the polymer matrix and the like, is substantiated and recommended for the design of magnetic and electromagnetic screens. The shielding factors of composite metal-polymer materials of different thickness and characteristics were determined for the industrial frequency magnetic field, electromagnetic field with a frequency of 1.8 GHz and geomagnetic field. The optimization of material parameters with respect to the effects of the fields of these three origins is defined to be impossible. The scheme which can be used in the presence of electromagnetic fields of different origin and wide frequency spectrum is presented. However, the prerequisite of such work is the monitoring of the electromagnetic environment in the production premises with the determination of the amplitude-frequency characteristics of electromagnetic fields of different origin. The design and implementation of protective materials and shielding structures based on the developed pattern is the most appropriate approach. This approach minimizes the time and expense involved in the work on electromagnetic safety.

Keywords: electromagnetic field; electromagnetic environment; shielding factor; amplitude-frequency dependencies; shielding materials.