

Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 538.69.331.45

В.А. Глива, В.В. Коваленко, О.М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Київ

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРОБЛЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

Проаналізовані підходи до організаційно-технічних заходів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням. Визначені основні засади розроблення та прогнозування захисних властивостей металополімерних електромагнітних екранів. Встановлено, що керованість захисними властивостями таких екранів доцільно здійснювати за електрофізичними показниками матеріалу. Досліджені зміни провідності та діелектричної проникності полімерного матеріалу з різною ваговою концентрацією дрібнодисперсного провідного матеріалу.

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

Вступ

Постановка проблеми. Як показали дослідження останніх років, захист працюючих від впливу електромагнітних полів широкого частотного діапазону та різних амплітуд їх екрануванням це найбільш перспективний напрям підвищення електромагнітної безпеки у виробничих умовах. Особливістю таких робіт є необхідність постійного вдосконалення функціональних можливостей захисту через зміни амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів, які генеруються новими технічними засобами, що використовуються у технологічних процесах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як в Україні, так і в усьому світі цій проблематиці приділяється багато уваги [1 – 3]. Але більшість досліджень мають фрагментарний характер і стосуються якогось одного джерела або групи джерел з подібними випромінювальними властивостями.

У роботі [4] подано підходи до організаційно-технічних заходів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням. Але представлені у ній дані щодо розроблення та дослідження композитних матеріалів з керованими захисними властивостями свідчать про недостатній діапазон керованості через використання металевго наповнювача малої дисперсності. Результати низки досліджень свідчать, що перспективним напрямом робіт даної проблематики є розроблення металополімерних матеріалів на основі наноструктур [5, 6]. Наведені результати не втілено в прикладну розробку, але можуть бути основою для вдосконалення технологій вироблення металополімерних поверхонь великих площ з прийнятними коефіцієнтами екранування та необхідними співвідношеннями коефіцієнтів відбиття та поглинання.

Мета роботи – визначення основних засад розроблення та прогнозування захисних властивостей металополімерних електромагнітних екранів.

Виклад основного матеріалу

Досвід досліджень та впроваджувальних робіт з екранування електромагнітних полів у реальних виробничих умовах свідчить, що на попередньому етапі доцільне розрахункове оцінювання електромагнітної обстановки у захищеній зоні, тобто ефективності електромагнітного екрана [7]. При цьому обов'язковим є визначення, в залежності від конкретних виробничих умов, допустимого внеску відбиття у загальну ефективність екранування.

Математичний апарат наведених задач спирається на фундаментальні співвідношення електродинаміки суцільних середовищ. При цьому у багатьох випадках, особливо для електромагнітних полів ультрависоких, надвисоких та надзвичайно високих частот, відбиття електромагнітних хвиль відіграє суттєву роль у формуванні електромагнітної обстановки у виробничих приміщеннях. Це обумовлене тим, що перевищення гранично допустимих рівнів випромінювань у таких приміщеннях є наслідком не тільки високих рівнів випромінювань внутрішніх та зовнішніх джерел, а й перерозподілом таких випромінювань через відбиття від будівельних конструкцій, масивного металевго обладнання великих площ тощо.

Таким чином, постає задача зниження відбивальних властивостей захисних матеріалів. Складність цієї задачі полягає у тому, що разом зі зниженням коефіцієнта відбиття, знижується загальний коефіцієнт екранування, який у більшості випадків залежить від геометричних характеристик регулярних металевих структур та концентрації металевго субстанції у діелектричному матеріалі, з якого, як правило, виготовляються захисні покриття великих площ. У [7] було показано, що існуючі підходи до керування захисними властивостями екрануючих матеріалів, принаймні в області ультрависоких і вищих частот, є недостатніми.

Найбільш перспективним напрямом робіт зі зниження відбивальних властивостей електромагнітних екранів, на нашу думку, може бути, оптимізація співвідношень магнітних та електричних параметрів. Хвильовий опір непровідного матеріалу Z визначається як:

$$Z = \sqrt{\mu/\varepsilon},$$

де μ – магнітна проникність матеріалу, ε – діелектрична проникність.

Обираючи μ та ε таким чином, що Z буде дорівнювати опору вільного простору ($Z_0 = 377$ Ом), ми забезпечимо проходження границі розділу «вільний простір - екран» без відбиття. При цьому металеві вклучення у матриці повинні забезпечити максимальне поглинання електромагнітної енергії, що визначає загальний коефіцієнт екранування.

Однак у реальних виробничих умовах такі процеси складніші. Відомо, що для кутів падіння хвиль, відмінних від нормального, коефіцієнт відбиття суттєво змінюється. Розглянемо частоту випромінювання разом з діелектричною проникністю і провідністю матеріалу, тобто зведену частоту Ω :

$$\Omega = f \cdot \varepsilon/\sigma,$$

де f - частота випромінювання, ε - діелектрична проникність матеріалу, σ - провідність матеріалу.

За різних значень Z виявляється, що мінімальний коефіцієнт відбиття спостерігається за $Z=0,5$. При цьому прийнятні коефіцієнти відбиття (0,2 і менше) спостерігаються для $Z=0,5$ і $\Omega > 1$ [8].

Як видно, визначення керованості захисних властивостей доцільно здійснювати за електрофізичними показниками матеріалу, а саме – співвідношення діелектричної проникності та провідності матеріалу екрана. Це обумовлене наявністю розрахункового апарату щодо цих параметрів та їх зв'язку з коефіцієнтами відбиття та поглинання, що наведено нами у роботі [9]. Крім того, існує надійна апаратура щодо контролю змін цих величин.

У випадку великої товщини екрана необхідно враховувати фактор багатократного відбиття на границях розділу середовищ. Втрати на перевідбиття визначаються показником $K_{пв}$. У більшості випадків цим показником нехтують, але для більш точного визначення загального коефіцієнта екранування він визначається зі співвідношення:

$$K_{пв} = 20 \lg \left(1 - e^{-2\ell\sqrt{\pi f \mu \sigma}} e^{-j2\ell\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \right),$$

де ℓ – товщина екрана, м; f – частота, Гц; μ – абсолютна магнітна проникність, Гн/м; σ – провідність матеріалу екрана, См/м.

Була поставлена задача – визначити зміни провідності та діелектричної проникності полімерного матеріалу (поліетилену) з різною ваговою концентрацією дрібнодисперсного провідного матеріалу (залізо з розмірами частинок менших за 1 мкм).

Результати вимірювань провідності матеріалу наведено на рис. 1*.

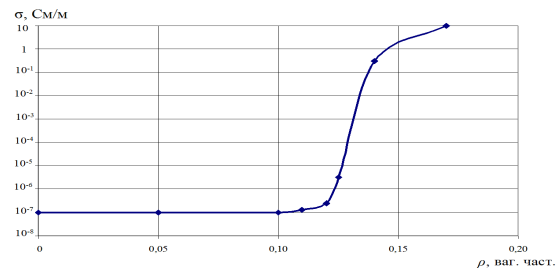


Рис. 1. Залежність електропровідності металополімерного матеріалу від вмісту дрібнодисперсного металу * Вимірювання електрофізичних характеристик металополімерних матеріалів проведено в Інституті металофізики НАН України

Дані свідчать про різке зростання електропровідності за вмісту металу біля 11-12 %. При цьому відбувається зміна відносної діелектричної провідності матеріалу (рис. 2).

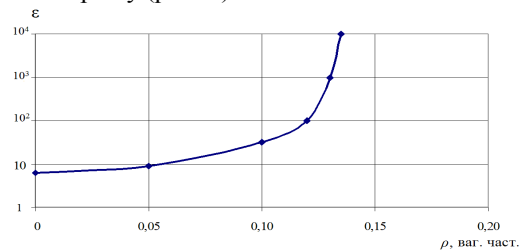


Рис. 2. Зміна відносної діелектричної проникності металополімерного матеріалу в залежності від вмісту металевої субстанції

Аналіз результатів показує, що різке зростання електропровідності та діелектричної проникності настає в області концентрації, яка відповідає межі протікання електричного струму. Було проведено експериментальні дослідження щодо загального коефіцієнту екранування отриманого матеріалу та його відбивальних властивостей. Зміну коефіцієнта екранування зі збільшенням вмісту металу наведено на рис. 3.

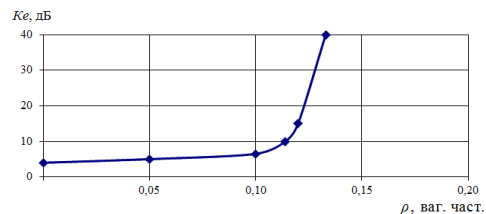


Рис. 3. Залежність коефіцієнта екранування металополімерного матеріалу від вмісту металевої субстанції (товщина матеріалу 5 мм)

Аналогічні випробування було проведено щодо змін коефіцієнта відбиття. Результати вимірювань наведені на рис. 4.

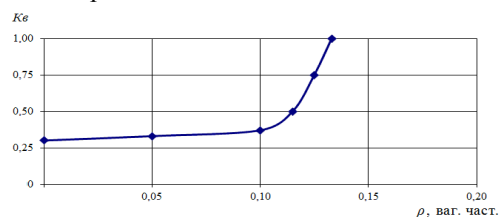


Рис. 4. Залежність коефіцієнта відбиття металополімерного матеріалу від вмісту металевої субстанції (товщина матеріалу 5 мм)

Усі випробування проводилися на частотах 2...5 ГГц. Розглядаючи результати експериментів можна дійти висновку, що мінімальні коефіцієнти відбиття за прийнятних коефіцієнтів поглинання металополімерного матеріалу досягаються за концентрацій дрібнодисперсного заліза 11-12 %. Таким чином, порівнюючи отримані результати з відомими роботами з керування захисними властивостями композитних електромагнітних екранів можна дійти висновку, що певна оптимізація параметрів «відбиття – поглинання» досягається меншим на 3 – 5 % вмістом металу. Досягнутий результат можна пояснити більшою дисперсністю металеві субстанції (порядка сотень нанометрів), що є більш перспективним напрямом робіт з керування захисними властивостями електромагнітних екранів та впровадження заходів з електромагнітної безпеки працюючих.

Висновки

1. Виконані дослідження дозволяють певним чином оптимізувати концентрації провідної компоненти, за яких отримуються значення електропровідності та діелектричної проникності матеріалу, які забезпечують необхідні екрануючі характеристики матеріалу як за відбиттям, так і за поглинанням електромагнітної енергії.

2. Узагальнення експериментальних даних показало, що коефіцієнт відбиття не перевищує 0,5 дБ при гарантованому коефіцієнті поглинання у 20 дБ.

3. Найбільш ефективними матеріалами для використання в якості наповнювача у полімерних матрицях екранувальних матеріалів є сполуки металів нанорозмірів.

4. Головною проблемою щодо отримання екрануючої поверхні зі стабільними захисними властивостями є рівномірність розподілу металеві субстанції у тілі матриці як з технологічних, так і економічних міркувань.

5. Напрямом подальших досліджень є отримання металополімерного матеріалу з градієнтом вагового вмісту металевих частинок за товщиною екрана, що сприятиме підвищенню його захисних властивостей.

Список літератури

1. Глива В.А. Розроблення і дослідження композитних електромагнітних екранів з керованими захисними властивостями / В.А Глива, І. М. Подобед, О. Л. Матвеева // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2011. – Вип. 21. – С. 176-181.

2. Magnetorheological elastomers with efficient electromagnetic shielding / M. Sedlacik, M. Mrlik, V. Babayan, V. Pavlinek // Composite Structures. - 2016. - Vol. 135. – P. 199-204.

3. Коваленко В.В. Дослідження ефективності сучасних електромагнітних екранів/ В. Коваленко, О. Тихенко // Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: збірник наук. праць XV між нар. НПК, м. Київ, 19-20 травня 2016 р. – К: 2016. – С. 126-129.

4. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Панова Олена Василівна – К., 2014. – 151 с.

5. Polymer nanocomposites: synthesis and physical properties / G.Yu. Yurkov, A.S. Fionov, O.V. Popkov, I.D. Kosobudskii, N.A. Taratanov and O.V. Potemkina. // Advances in Composite Materials or Medicine and Nanotechnology. Rijeka, Croatia: IN-TECH Education and Publishing. 2011. – P. 343-364.

6. Зотов И.С. Исследование электродинамических характеристик композитных материалов с регулярными структурами: автореф. дис. канд. ф.-м. наук: 01.04.07. Физика конденсированного состояния / Зотов Илья Станиславович. – Челябинск, 2011. – 18 с.

7. Управление защитными свойствами электромагнитных экранов на основе металосиликатных материалов / [Клапченко В.И., Краснянский Г.Е., Глива В.А., Азнаурян И.А.]. – Гігієна населених місць, 2009. – Вип. 53 – С. 200-207.

8. Коваленко В.В. Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко, Л.О. Левченко // Вісник КрНУ ім М. Остроградського. – 2016. – Вип. 5(100). – С. 98 –105.

9. Коваленко В.В. Методологія визначення захисних властивостей електромагнітних екранів / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко // Теорія і практика будівництва КНУБА. – 2015. – Вип. 16. – С. 11–14.

Надійшла до редколегії 25.01.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В.А. Глива, В.В. Коваленко, О.М. Тихенко

Проанализированы подходы к организационно-техническим мероприятиям защиты работающих от воздействия электромагнитных полей экранированием. Определены основные принципы разработки и прогнозирования защитных свойств металлополимерных электромагнитных экранов. Установлено, что управляемость защитными свойствами таких экранов целесообразно осуществлять по электрофизическим показателям материала. Проведены исследования изменения проводимости и диэлектрической проницаемости полимерного материала с различной весовой концентрацией мелкодисперсного проводящего материала.

Ключевые слова: электромагнитный экран, коэффициент экранирования, электромагнитная безопасность.

MODERN APPROACHES TO THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF MATERIALS FOR SHIELDING ELECTROMAGNETIC FIELDS

V. A. Glyva, V. V. Kovalenko, O. M. Tykhenko

Approaches to organizational and technical measures to protect workers from exposure to electromagnetic fields shielding were carried out. The basic principles of designing and protective properties of metallopolymeric prediction electromagnetic shields, have been defined. It has been established that the handling properties of such protective screens should be implemented on the electrophysical parameters of the material. Research changes of conductivity and dielectric permittivity of the polymeric material with different concentrations by weight of finely divided conductive material have been conducted.

Keywords: electromagnetic shield, the shielding factor, electromagnetic safety.