

УДК 538:69:331:45

Глива Валентин Анатолійович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри безпеки життєдіяльності, *ORCID: 0000-0003-1257-3351*
Національний авіаційний університет, Київ

Левченко Лариса Олексіївна

Кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем, *ORCID: 0000-002-7227-9472*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

Перельот Тетяна Миколаївна

Конструктор комп'ютерних систем *ORCID: 0000-0003-1545-3355*

Товариство з обмеженою відповідальністю «Фоззі Фуд», Київ

ПРОСТОРОВІ КРИТЕРІЇ ЕКРАНУВАННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Анотація. Розглянуто застосування електромагнітних екранів як метод зниження рівнів магнітних полів наднизьких та низьких частот. Надані співвідношення відстаней від джерела поля до екрана та розміри екрана. Було визначено, що найбільш критичним параметром для підвищення ефективності екранування є довжина екрана уздовж лінійного джерела магнітного поля: збільшення довжини дозволяє підвищувати коефіцієнти екранування до необхідних значень. Найефективнішими матеріалами для екранування магнітних полів наднизьких і низьких частот визначені феромагнітні сплави з відносними магнітними проникностями у межах 200 – 400.

Ключові слова: екранування; магнітне поле; електромагнітний екран; захисні властивості; наднизькі частоти; низькі частоти

Вступ

Сучасні будівлі і споруди характеризуються значними рівнями енергонасиченості як за загальним електронавантаженням, так і за частотним складом та амплітудними значеннями електромагнітних полів у окремих приміщеннях та у будівлі в цілому. Найбільш ефективним засобом захисту працюючих від впливу електромагнітних полів є їх екранування відповідними екранувальними матеріалами. Зниження рівня електричної складової електромагнітного поля не викликає труднощів та здійснюється будь-яким металевим матеріалом. У той же час екранування магнітної складової є складною технічною задачею, пов'язаною, зокрема, з намагніченістю екрана у зовнішньому магнітному полі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останнім часом як в Україні, так і за кордоном виконано багато досліджень щодо екранування магнітних полів. Більшість з них спрямовані на захист чутливого, щільно розміщеного електронного обладнання від зовнішніх електромагнітних впливів, наприклад, у аерокосмічній техніці [1-3]. Значною мірою це обумовлене проблемами, пов'язаними з

електромагнітною сумісністю технічних засобів [4]. Частина досліджень присвячено захисту людей від впливу електромагнітних полів екрануванням. У роботі [5] розглянуто критерії вибору захисного матеріалу залежно від частоти та амплітуди магнітного поля, як потребує екранування. Необхідність та актуальність таких досліджень підтверджується вимогами Директиви Євросоюзу з питань електромагнітної безпеки (Стаття 5, п. 2с) та додатком до неї у вигляді міжнародного стандарту щодо електромагнітної безпеки населення та працюючих [6; 7]. Однак, як ці документи, так і відповідний національний стандарт [8] висувають вимоги щодо використання електромагнітних екранів та надають перелік (далеко не повний) матеріалів для їх виготовлення, не надаючи умов їх використання як за характеристиками поля, так і за конфігураціями екранів. Останнє уявляється дуже важливим з огляду хвильового характеру електромагнітних полів. У більшості робіт електромагнітні екрани представлені дещо абстрактно: як нескінченні площини, циліндри тощо [9; 10]. Прикладні розробки [11; 12] щодо захисту від низькочастотних магнітних полів мають експериментальний характер та не дають узагальнених критеріїв використання екранів тих чи інших конфігурацій.

Зміни коефіцієнтів екранування електромагнітних полів залежно від розмірів екрана та відстані від джерела поля до екрана досліджено у роботі [13]. Але вона стосується випромінювань надвисоких частот. Грунтове дослідження [14] розглядає варіації коефіцієнтів екранування з урахуванням дифракційних явищ у екрані кінцевих розмірів з наданням усіх необхідних відстаней та розмірів (відстані від джерела поля до екрана, довжина електромагнітної хвилі тощо). Недоліком цих робіт є те, що вони розглядають джерело електромагнітного поля як точкове. Це принципово неприйнятно для низькочастотних полів, які фактично є квазістаціонарними, та характеризуються, зазвичай, великими розмірами – електротехнічне обладнання, розподільні пристрої, лінії електропередач та ін.

Мета статті

Метою статті є дослідження та надання кількісних характеристик щодо розмірів і розташування електромагнітних екранів для зниження рівнів магнітних полів наднизьких та низьких частот.

Виклад основного матеріалу

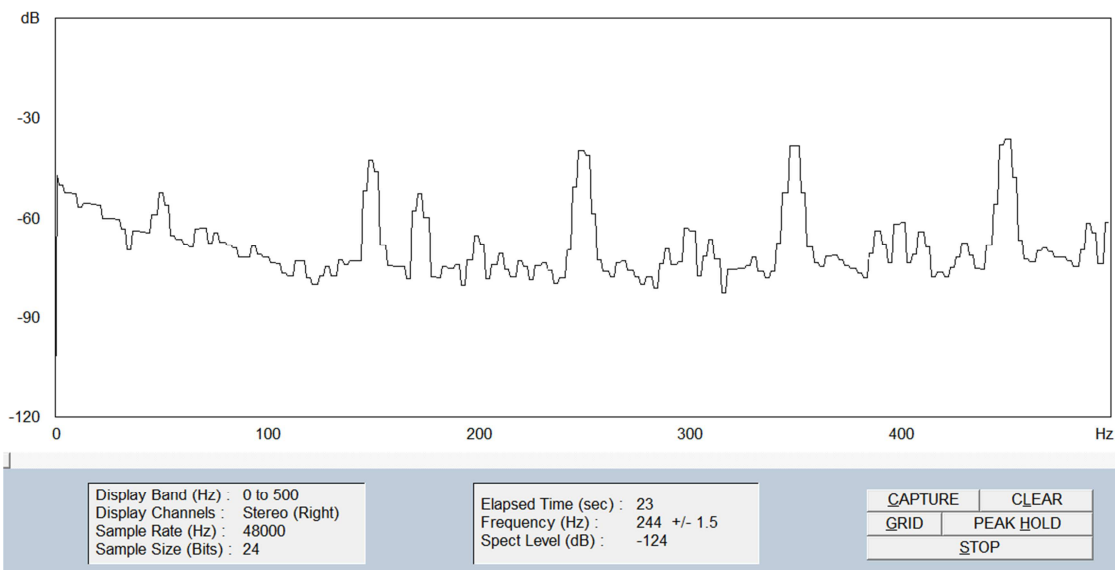
Дослідження з електромагнітної безпеки, а саме: екранування джерел електромагнітних полів свідчать, що формальне виконання вимог санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів [8] не завжди забезпечують бажаний ефект.

У деяких випадках магнітне поле, генероване технічним засобом, не тільки не знижується при його екранування феромагнітним матеріалом, але й підвищується у просторі за екраном. Так, при екрануванні блока живлення технічного засобу при

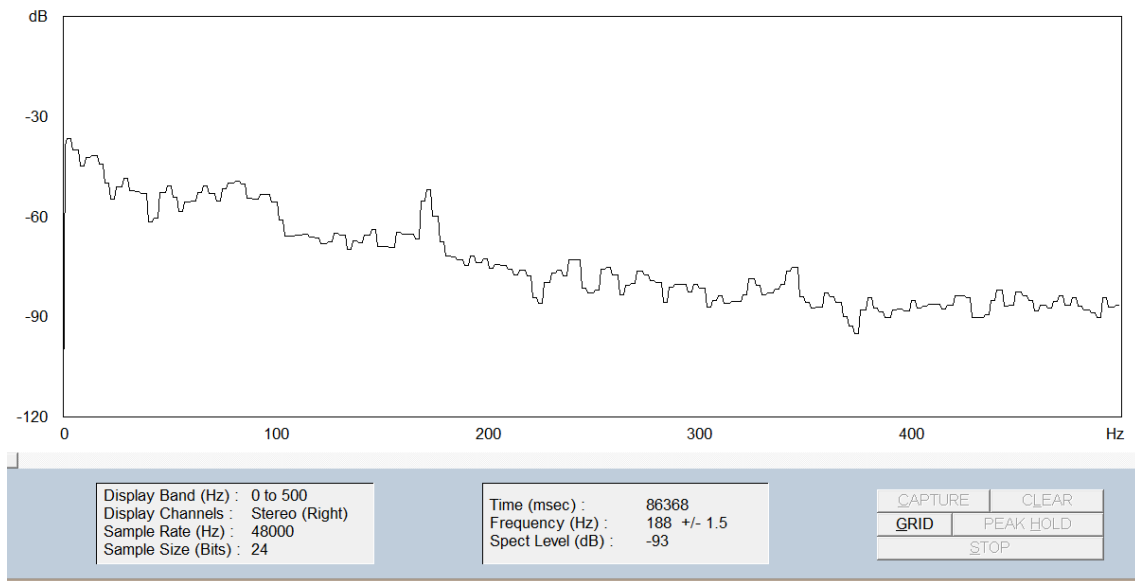
його підключенні до мережі електроживлення промислової частоти спостерігалось підвищення напруженості магнітного поля у наднизькочастотній області (рис. 1).

У якості електромагнітного екрана використовувалася рекомендована нормативом електротехнічна сталь класу 201. Як видно з рис. 1, ефективність екранування для частот більше 200 Гц поступово зростає, що теоретично обґрунтовано та досліджено експериментально. В той же час на частотах 0 – 200 Гц спостерігається підвищення напруженості магнітного поля (крім частоти 150 Гц). Втім, у переважній більшості випадків застосування феромагнітного екрана знижує напруженості поля в усьому діапазоні зі зростанням коефіцієнта екранування за збільшенням частоти поля. Для електротехнічної сталі класу 201 за зростанням частоти магнітного поля від 0 до 1000 Гц коефіцієнт екранування підвищується від 2 до 6; для сталі класу 221 – від 2 до 3,5; для сталі класу 231 – від 1,5 до 2,2. Враховуючи відмінності магнітних властивостей цих сталей (магнітних проникностей) на фіксованих частотах є очевидним, що виявлене підсилення магнітного поля обумовлене саме власним магнітним полем екрана. При цьому є відстані, на яких це явище відсутнє, що підтверджене численними експериментами.

У практичній діяльності з електромагнітної екології та електромагнітної безпеки доволі часто розташування екранів відносно джерел магнітних полів не завжди можливе через обмежені площі приміщень, розміри будівель тощо. Тому доцільним є визначення, принаймні, основних просторових критеріїв щодо раціоналізації (оптимізації) розміщення екранів відносно джерел магнітних полів з врахуванням як розмірів джерел, так і розмірів екранів, за яких забезпечуються потрібні або прийнятні коефіцієнти екранування.



a



б

Рисунок 1 – Спектр магнітного поля джерела електроживлення:
а – без використання електромагнітного екрана; б – за екраном

Розглянемо найпоширеніше джерело змінного магнітного поля – лінійний електричний струм промислової частоти, що потребує екранування.

Розподіл магнітного поля характеризується напруженостями та потенціалами. У комплексній формі рівняння Максвелла має вигляд (1):

$$\text{rot} \dot{\mathbf{H}} = (\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon)\dot{\mathbf{E}} + \mathbf{J}^{\text{ext}}, \quad (1)$$

де $\dot{\mathbf{H}}$ – комплексна амплітуда вектора напруженості магнітного поля; $\dot{\mathbf{E}}$ – комплексна амплітуда вектора напруженості електричного поля; \mathbf{J}^{ext} – комплексна амплітуда вектора густини електроструму сторонніх джерел; σ – питома електропровідність; ϵ – відносна діелектрична проникність; ω – циклічна частота; ϵ_0 – діелектрична стала; j – комплексна одиниця.

Напруженості електричного $\dot{\mathbf{E}}$ та індукції магнітного $\dot{\mathbf{B}}$ полів зазвичай визначають через векторний магнітний потенціал $\dot{\mathbf{A}}$ та скалярний електричний потенціал ϕ :

$$\dot{\mathbf{E}} = -j\omega\dot{\mathbf{A}} - \text{grad}\phi; \quad (2)$$

$$\dot{\mathbf{B}} = \mu_0\dot{\mathbf{H}} = \text{rot}\dot{\mathbf{A}}, \quad (3)$$

де μ – відносна магнітна проникність; μ_0 – магнітна стала.

З умови нормування (4) [15]

$$\phi = -\frac{\text{div}\dot{\mathbf{A}}}{(\sigma - j\omega\epsilon_0\epsilon)\mu_0}, \quad (4)$$

тобто:

$$\mathbf{J} = (\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon)\dot{\mathbf{E}} = (\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon) \times \left(-j\omega\dot{\mathbf{A}} + \text{grad} \left(\frac{\text{div}\dot{\mathbf{A}}}{(\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon)\mu_0} \right) \right).$$

Для визначення рівнів магнітних полів за екраном скористаємося ітераційним методом розв'язку наведених співвідношень [2]. Через громіздкість розрахунків наводити їх повністю недоцільно.

Розташування електромагнітного екрана відносно лінійного джерела магнітного поля наведено на рис. 2.

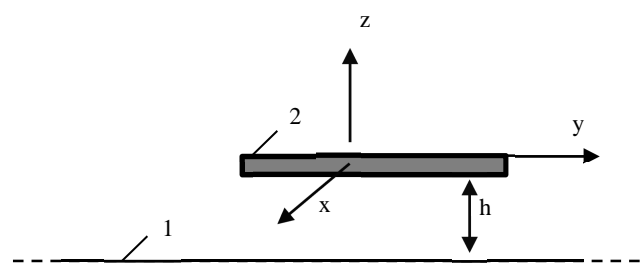


Рисунок 2 – Схема розташування екрана:

1 – лінійний електрострум; 2 – електромагнітний екран, розташований у площині xy ; x – вісь Ox ; y – вісь Oy ; z – вісь Oz ; h – відстань від струмопроводу до екрана

Для проведення розрахунків були використані такі початкові умови: довжина екрана уздовж лінійного електроструму L_z – 2 м; ширина L_x – 4 м; відстань від струмопроводу до екрана 0,2 м; сила струму промислової частоти 50 Гц – 10 А; питома провідність екрана – $9 \cdot 10^7$ см/м (електротехнічна сталь); товщина екрана – 0,63 мм.

Коефіцієнтом екранування K_e зазвичай вважається:

$$K_e = |B_0|/|B|, \quad (5)$$

де $|B_0|$ – модуль індукції магнітного поля без застосування екрана; $|B|$ – за екраном.

При цьому розглядається співвідношення півдовжини екрана L_y та відстані до джерела поля h і півширини екрана L_x до h . Результати розрахунку наведені на рис. 3.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що найбільш критичним параметром для підвищення ефективності екранування є довжина екрана уздовж лінійного джерела магнітного поля: збільшення довжини дозволяє підвищувати коефіцієнти екранування до необхідних значень. У той же час ширина екрана, починаючи зі співвідношення півширини екрана до відстані до джерела 12 – 14, стає некритичною і може бути зафіксованою у реальних умовах перед впровадженням заходів з електромагнітної безпеки.

Викликає інтерес визначення просторових критеріїв внеску власної намагніченості феромагнітного екрана у сумарне магнітне поле. Очевидно, що індукване магнітне поле буде майже пропорційне магнітній проникності матеріалу екрана, що впливає з фундаментальних фізичних принципів. У загальному випадку – це лінія первинного намагнічування у петлі гістерезису. Зазвичай, сертифікати усіх магнітних матеріалів містять інформацію щодо форми петлі та кількісних значень залишкової намагніченості. Магнітні поля наднизьких частот є квазістаціонарними. Втім,

розрахунки щодо поширення власного магнітного поля феромагнітного екрана навіть з великою похибкою проблематичні. У загальному випадку відносну магнітну проникність не можна вважати постійною величиною навіть у межах одного екрана через різні магнітні впливи на його окремі зони з боку джерела.

Крім того, однорідне власне магнітне поле, наведене зовнішнім полем притаманне тільки тілам обертання еліпсоподібної форми. Розрахунки щодо поля суцільно циліндричного об'єкта мають вже приблизний характер і придатні виключно для орієнтовного визначення його впливу на електромагнітне середовище. Щодо плоского екрана кінцевих розмірів, то багатофакторність впливу на структуру поля за екраном (розміри екрана, відстані від джерела до екрана та від екрана до необхідної точки, магнітні та електричні властивості екрана тощо) роблять такі розрахунки малоперспективними.

Експериментальні дослідження дозволяють дійти висновку, що для ефективного використання феромагнітних матеріалів у якості електромагнітних екранів наднизьких частот їх відносні магнітні проникності не повинні перевищувати значень 200 – 400, що притаманне більшості конструкційних сталей. При цьому коефіцієнти екранування зростають зі збільшенням електропровідності матеріалів. Для частот магнітного поля, більших за 500 Гц, зростання магнітної проникності екрана обумовлює значне підвищення його захисних властивостей.

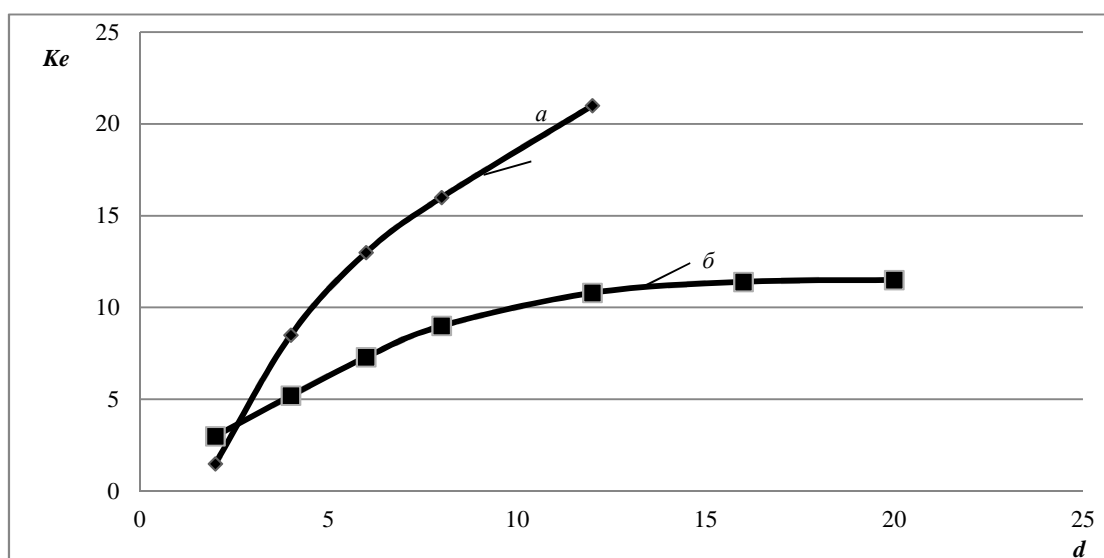


Рисунок 3 – Залежність захисних властивостей електромагнітного екрана від його розмірів:
 $a - d = L_x/2h$; $b - d = L_y/2h$

На сьогодні не з'ясованим і таким, що потребує проведення окремих ретельних досліджень, є визначення захисних властивостей електромагнітних екранів за наявності кількох струмонесучих джерел поля, що відповідає реальним умовам експлуатації промислових струмопроводів, причому за умови, що відстані між лінійними струмами та між струмами та екранами – є величинами одного порядку. Це саме стосується й варіацій форм захисних екранів залежно від геометрії джерел електромагнітних полів, що є перспективним напрямом досліджень.

Висновки

1. Проведені дослідження свідчать, що для ефективного екранування наднизькочастотних магнітних полів лінійних джерел необхідно враховувати співвідношення відстаней від джерела

поля до екрана та розмірів екрана. Найбільш критичним є розмір екрана, розташований паралельно джерелу поля.

2. Наведені аналітичні співвідношення доцільно використовувати для ітераційного методу розрахунку фактичних коефіцієнтів екранування. Враховуючи великі обсяги обчислень, доцільне розроблення відповідного прикладного програмного забезпечення.

3. Найбільш ефективними матеріалами для екранування магнітних полів наднизьких частот є феромагнітні сплави з відносними магнітними проникностями у межах 200 – 400, що притаманне більшості конструкційних сталей. Коефіцієнти екранування монотонно зростають зі збільшенням питомої провідності (зниженням питомого опору) матеріалів.

Список літератури

1. Широкодиапазонные экраны СМІ для систем защиты информации и защиты биологических объектов / [Лыньков Л.М., Богущ В.А., Борботько П.В. и др.]. Докл. НАН Беларуси, Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, 2004, № 3. – С.152-167.
2. Резинкина М.М. Использование численных расчётов для выбора средств экранирования от действия магнитных полей / М.М. Резинкина // Журнал технической физики, 2007. – Т.77. – № 11. – С. 17 – 24.
3. Розов В.Ю. Магнетизм космических аппаратов / В.Ю. Розов, А.В. Гетьман, С.В. Петров // Технічна електродинаміка. – 2010. – Тематичний випуск. Ч. 2. Проблеми сучасної електротехніки. – С. 144 – 147.
4. Гетьман А.В. О нормировании уровня магнитного поля с помощью мультипольных магнитных моментов / А.В. Гетьман // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. - № 5. – С. 7 – 10.
5. Панова О. В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис... канд. техн. наук: 05.26.01/ Панова Олена Василівна. – К., 2014. – 152 с.
6. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021: EN:PDF>.
7. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)/ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. // Health Physics, 1998.–№ 74.– p. 494-522.
8. Державні санітарні правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: Д Сан Пін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-0104]. – К.: МОЗ України, – 2003. – 16 с. – (Державні санітарні норми України).
9. Резинкина М.М. Расчётный метод оценки эффективности средств защиты от действия магнитных полей / М.М. Резинкина // Вестник НТУ «ХПИ», 2005. – Вып. 49. – С. 46 – 52.
10. Аполлонский С.М. Построение моделирующих устройств для исследования внешних электрических полей источников / С.М. Аполлонский, И.Д. Логинова // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 2009. – № 1. – С. 104-110.
11. Пат. Україна, МПК G12B17/02. Фартух електрозварника / Лобанов Л.М., Левченко О.Г., Левчук В.К. та ін.; заявник і патентоотримувач ІЕЗ ім. Є.О. Патона; заявл.18.03.1010; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10.
12. Левченко О.Г. Экранирующие материалы и средства индивидуальной защиты сварщика от магнитных полей / О.Г. Левченко, В.К. Левчук, О.Н. Тимошенко // Автомат сварка, 2011. – № 3. – С. 49-55.
13. Островский О.С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн / О.С. Островский, Е.Н. Оддаренко, А.А. Шматько // Физическая инженерия поверхности. – 2003. - Т. 1. - № 2. – С. 161 – 173.
14. Глыва В.А. Исследование геометрических критериев электромагнитных экранов / В. А. Глыва, Е.В. Панова // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. №1 (19), 2014. – С. 10 – 17.
15. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М. : Наука, 1997. – 736 с.

Стаття надійшла до редколегії 19.03.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Воробйов, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ.

Глыва Валентин Анатольевич

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, ORCID: 0000-0003-1257-3351
Национальный авиационный университет, Киев

Левченко Лариса Алексеевна

Кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации проектирования энергетических процессов и систем, ORCID: 0000-002-7227-9472

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

Перелёт Татьяна Николаевна

Конструктор компьютерных систем, ORCID: 0000-0003-1545-3355

Общество с ограниченной ответственностью «Фоззи Фуд», Киев

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КРИТЕРИИ ЭКРАНИРОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Аннотация. Рассмотрено применение электромагнитных экранов как метод снижения уровней магнитных полей сверхнизких и низких частот. Предоставлены соотношения расстояний от источника поля до экрана и размеры экрана. Было определено, что наиболее критичным параметром для повышения эффективности экранирования является длина экрана вдоль линейного источника магнитного поля: увеличение длины позволяет повышать коэффициенты экранирования до требуемых значений. В качестве наиболее эффективных материалов для экранирования магнитных полей сверхнизких и низких частот определены ферромагнитные сплавы с относительными магнитными проницаемостями в пределах 200 - 400.

Ключевые слова: экранирование; магнитное поле; электромагнитный экран; защитные свойства; сверхнизкие частоты; низкие частоты

Glyva Valentyn

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Life Safety, ORCID: 0000-0003-1257-3351
National Aviation University, Kiev

Levchenko Larysa

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer-Aided Design of Power Processes and Systems, ORCID: 0000-002-7227-9472

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kiev

Perelot Tetiana

Constructor of computer systems, ORCID: 0000-0003-1545-3355

Limited Liability Company "Fozzy Food", Kiev

SPATIAL CRITERIA OF SHIELDING LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS

Abstract. To effectively protect workers from exposure to electromagnetic fields use shielding. However, in normative documents were not specified conditions of use electromagnetic screens which depend on characteristics of the field and configurations of screens. The article were considered the application of electromagnetic screens as a method of reducing levels of very low magnetic fields and low frequencies. Are shown depending distances from the source field to the screen and sizes of the electromagnetic screen. It has been determined that the most critical parameter for increasing of the efficiency of shielding is the length of the screen along a linear magnetic field source: the increasing of the length allows to enlarge coefficients of shielding to the required values. At the same time the width of the screen, starting from the ratio half-width of the screen to the distance to the source 12 – 14 is it becomes uncritical and may be fixed in the real conditions before the inculcation of measures electromagnetic safety. Ferromagnetic alloys with relative permeabilities within 200 – 400 have been defined as the most effective materials for of shielding magnetic fields ultralow and low frequencies.

Keywords: shielding; magnetic field; electromagnetic shield; protective properties; ultralow frequencies; low frequencies

References

1. Lynkov, L., Bogush, V., Borbotko, P. et al (2004). Wide-range media shields for information protection systems and protection of biological objects // National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, № 3. – P. 152-167.
2. Rezinkina, M. (2007). Using numerical calculations for the choice of means of shielding from the effects of magnetic fields. Technical Physics, Vol. 77, 11, 17 - 24.
3. Rozov V. (2010). Magnetics spacecraft / V. Rozov, A. Getman, S. Petrov // Technical electrodynamics, Thematic issue, Part 2 Problems of modern electrical engineering, 144 - 147.
4. Getman, A. (2011). About rationing level of the magnetic field using multipole magnetic moments. East European Journal of advanced technologies, 5, 7 - 10.

5. Panova, O. K. (2014). *Protect workers from exposure to electromagnetic fields screening* // Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.26.01, 2014. – 152.
6. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:179:0001:0021: EN:PDF>.
7. (1998). *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)/-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. // Health Physics.–№ 74. – p. 494 - 522.*
8. (2003). *State sanitary rules when working with sources of electromagnetic fields: S San rules and norms 3.3.6.096-2002. [Effective as of 2003-0104], Ministry of Health of Ukraine. – 16 p. - (State Sanitary Norms Ukraine).*
9. Rezinkina, M. (2005). *Calculation method of assessing the effectiveness of protection against the effects of magnetic fields. Bull. of NTU "HPI", 49, 46 - 52.*
10. Apollonsky, S. (2009). *Building of modeling devices to study the sources of external electric fields./ S. Apollonsky, I. Loginova //USSR Academy of Sciences. Energy and transport, 1, 104 - 110.*
11. Lobanov, L., Levchenko, O., Levchuk, V. et al. (2010). *Pat. Ukraine, IPC G12B17/02. Apron electric welder applicant patentootrymuvach Paton. Paton; request 03/18/1010; publ. 25.05.2010, Bull. № 10.*
12. Levchenko, O., Levchuk, V., & Tymoshenko, O. (2011). *Shielding materials and personal protective welder from magnetic fields. Automatic Welding, 3, 49 - 55.*
13. Ostrovsky, O., Oddarenko, E., Shmatko A. (2003). *The safety screens and scavengers of electromagnetic waves/ O. Ostrovsky, E. Oddarenko, A. Shmatko // Physical Surface Engineering, Vol. 1, 2, 161 - 173.*
14. Glyva V. (2014). *Research of the geometric criteria electromagnetic shielding / V. Glyva, E. Panova //Mechanical Engineering and Life Safety, 1 (19), 10 - 17.*
15. Tikhonov, A. & Samarsky, A. (1997). *Equations of mathematical physics. Nauka, 736.*

Посилання на публікацію

- APA Gluva, V., Levchenko, L. & Perelot, T. (2015). *Spatial criteria of shielding low frequency magnetic fields. Management of Development of Complex Systems, 22 (1), 158-164.*
- ГОСТ Глива В.А. Просторові критерії екранування низькочастотних магнітних полів [Текст] / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот // Управління розвитком складних систем. – 2015. - № 22 (1). – С. 158-164.