

УДК 538.69:331.45

В.В. Коваленко¹, О.М. Тихенко¹, Л.О. Левченко²¹Національний авіаційний університет, Київ²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ЛОКАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ

Досліджено особливості екранування електромагнітних локальних джерел. Показано, що для ефективності екранування магнітних полів наднизьких частот необхідним є попереднє визначення їх просторових розподілів навколо технічного засобу. Для ефективного екранування магнітних полів джерел з симетричними розподілами та монотонними зниженнями напруженостей, доцільне використання кількох шарових екранів. Встановлено, що впровадження електромагнітного екранування потрібно здійснювати у певній послідовності та за визначеним алгоритмом.

Ключові слова: електромагнітне поле, магнітне поле, високочастотне випромінювання, екранування, електрична машина, електромагнітна безпека.

Вступ

Постановка проблеми. В останні роки як в Україні, так і усьому світі багато уваги приділяється екрануванню електромагнітних полів та випромінювань. Це пов'язане зі зростанням вимог до захисту людей від цього фізичного фактора, та забезпеченням електромагнітної сумісності технічних засобів. Актуальність робіт у цій галузі в Україні обумовлена поступовим переходом на загальноєвропейські нормативи і стандарти як з електромагнітної безпеки населення і працюючих, так і електромагнітної сумісності електричних та електронних приладів і пристроїв різного призначення та застосування. В умовах насиченості сучасних приміщень різноманітними технічними засобами та їх широким випромінювальним спектром постає задача розроблення та впровадження систем захисту від їх впливу у виробничих та побутових умовах, адекватних сучасним вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливістю досліджень з електромагнітного екранування є, як правило, розгляд авторами одного джерела електромагнітного поля і випромінювання, або одного частотного діапазону. [1, 2] Але у сучасних умовах один технічний засіб може мати дуже складний випромінювальний спектр, окремі частини якого мають різні амплітудні значення по відношенню до гранично допустимих рівнів. Відомо, що залежність екрануючих властивостей захисних матеріалів складна і змінюється зі зміною частоти поля [3]. Найбільш складною задачею є екранування магнітних полів наднизької частоти. При цьому способи захисту від розосереджених (тобто великої довжини), наприклад шинопроводів електростанцій та ліній електропередач, та компактних джерел, наприклад трансформаторів, суттєво відрізняються. [4 – 7] Як трансформатори, так і електричні машини є локальними джерелами магнітних полів, але їх поширення навколо цих

пристроїв різні. Так, магнітне поле трансформатора практично симетричне та його величина не змінюється за однакової потужності. Магнітні поля переважної більшості електричних машин змінного струму несиметричні. Наприклад, турбогенератори і потужні електродвигуни є чотириполюсними електричними машинами з дипольно-квадрупольною структурою магнітного поля [2], тому у залежності від орієнтації полюсів, з одного боку електричної машини існують зони мінімального, і навіть точка нульового поля. На особливу увагу заслуговують засоби захисту від впливу магнітних полів трансформаторів. Це пояснюється тим, що чинні будівельні норми дозволяють використання прибудованих, та вбудованих (сухого типу) трансформаторів [8, 9].

Ці джерела великі за розмірами, але з точки зору поширення магнітного поля – локальні, тобто у зонах навколо них поля неоднорідні. Джерелами надвисокочастотних випромінювань є засоби бездротового зв'язку. Відстані від базових станцій мобільного зв'язку до місць перебування людей великі, тому випромінювання від них є практично ізотропними. В той же час засоби зв'язку усередині приміщень характеризуються значними градієнтами щільності потоку енергії, що потребує інших підходів до зниження їх впливу у потрібних напрямках як на людей, так і на технічні засоби.

З огляду на набуття чинності в Україні з 01.01.2016 р. загальноєвропейських нормативів з електромагнітної сумісності технічних засобів, які набагато жорсткіші за чинні національні нормативи з електромагнітної безпеки працюючих і населення, задачу забезпечення електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності слід вважати двоєдиною.

Наведене обумовлює необхідність проведення поглиблених досліджень просторових поширень електромагнітних полів окремих джерел та розроб-

лення науково обґрунтованих, практично значущих засобів та заходів з захисту від їх впливу.

Метою статті є формування методологічних засад розроблення і проектування екрануючих поверхонь та екранів для захисту від впливу електромагнітних полів та випромінювання джерел, локалізованих у просторі.

Виклад основного матеріалу

Вихідними даними для визначення необхідної ефективності електромагнітних екранів та їх проектування для конкретних застосувань є експериментальні дослідження розподілів та кількісних значень

полів поблизу технічних засобів. Відомо, що найбільшу проблему складає екранування магнітної складової електромагнітного поля, що обумовлене, наприклад, наведеною намагніченістю феромагнітних конструкцій та самого екрана. Тому доцільно розглянути саме рівні магнітних полів з боку технічних засобів. У роботі [10] за рахунок моделювання просторового поширення магнітного поля навколо чотириполюсної машини визначено точки нульового магнітного поля і зони його мінімальних значень. Наші натурні вимірювання свідчать, що рівні реальних полів дещо відрізняються від теоретично розрахованих, що показано на рис. 1.

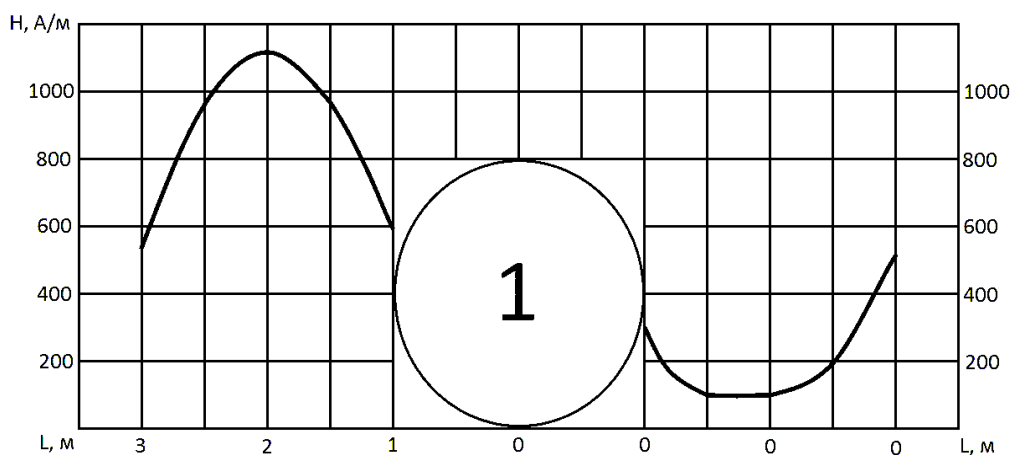


Рис. 1. Рівні магнітних полів з двох боків чотириполюсної електричної машини:
1 – електрична машина (вид з торця); діаметр машини 1,8 м

Отримані дані свідчать про несиметричність просторового розподілу рівнів магнітного поля, що обумовлює різні підходи до його екранування. Найбільш доцільним є розташування суцільного магнітного екрана у зонах з мінімальною напруженістю магнітного поля уздовж електричної машини паралельно її осі. Таке розташування мінімізує власну намагніченість екрана.

Особливістю екранування електричних машин є залежність просторових розподілів гармонік магнітних полів машин від їх відносних розмірів, тобто співвідношення R_0/R , де R_0 – радіус самої машини, R – радіус визначення напруженості поля. Як показано у [10], у зовнішньому магнітному багатопольній електричної машини крім власної просторової гармоніки є перша (дипольна) просторова гармоніка. Безпосередньо біля електричної машини дипольна гармоніка має не більше 20% напруженості поля власної гармоніки.

Але з відстанню від машини через більш повільне зниження дипольної гармоніки вона поступово стає переважною. Тому визначення рівня власної гармоніки відносно дипольної важливе для оцінювання необхідності її зниження, що можливе з використанням екрана, побудованому на явищі дзеркального відбиття.

Розрахунки свідчать, що за співвідношенням $R_0/R = 1/2$ друга гармоніка складає 250% першої, а за $1/10$ – 5%, що принципово важливо для позиціонування екрануючих поверхонь.

Розподіли магнітних полів трансформаторів симетричні і залежать від їх миттєвої потужності (рис. 2).

Екранування даних полів складне через необхідність розташування екранів біля самого трансформатора, що обумовлене обмеженістю площ службових приміщень.

За таких обставин доцільне використання кількох шарів екрануючих поверхонь, виготовлених з феромагнітного матеріалу. Проміжок між шарами принципового значення не має. Відомо, що магнітні поля трифазних джерел електроживлення еліптично поляризовані.

При проходженні шарів магнітне поле перетворюється у лінійно поляризоване і згасає за рахунок вихрового згасання електроструму у тілі екрана та гістерезисного поглинання.

Дослідження показали, що для виготовлення таких екранів придатна холоднокатана низьковуглецева тонколистова магнітноточна електротехнічна сталь. Крім високої технологічності такі сталі мають низьку вартість.

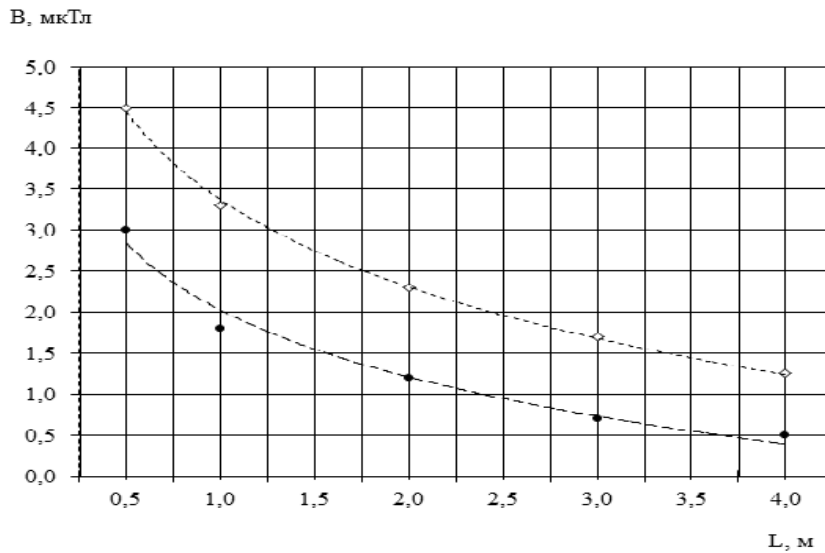


Рис. 2. Зміна напруженості магнітного поля вбудованого трансформатора з відстанню:

● - потужність 1500кВт, ◇ - потужність 2500 кВт.

Вважається, що екранування високочастотних випромінювань, зокрема випромінювань засобів бездротового зв'язку, радіотехнічних об'єктів цивільної авіації тощо є більш простою задачею. Такі випромінювання екрануються будь-якою металевою поверхнею, багат шаровою конструкцією або сітчастою чи перфорованою металевою структурою. Але практично в усіх випадках значна частина ефективності захисту реалізується за рахунок відбиття короткохвильового випромінювання. У таких умовах відбита хвиля може бути спрямована у небажаній бік, що особливо критично для локальних джерел, розташованих усередині приміщень або за його межами, але з переважним напрямком випромінювання.

Це характерно, наприклад, в умовах часткової екранізації приміщень будівельними конструкціями або металевим технологічним обладнанням. Тоді найбільш ефективними є багат шарові структури, описані, наприклад у [11]. Але такі конструкції за надто складні, достатньо швидко деградують через незадовільну адгезію шарів та мають велику вартість.

В даному випадку найбільш прийнятними є регулярні металеві структури.

В той же час за прийнятної технологічності вони розраховані на поглинання майже монохроматичних хвиль і не завжди мають задовільні захисні властивості [12].

Як показали дослідження, більш ефективними є перфоровані екрани з отворами будь-якої форми. Потрібні співвідношення загальної площі екрана та сумарної площі отворів обумовлюють співвідношення коефіцієнтів відбиття та поглинання. При цьому сплав, з якого виготовлений екран, критичного значення не має. Вимірювання ефективності екранів, виготовлених з металевих листів різної тов-

щини свідчать, що коефіцієнт поглинання зростає з товщиною листа. При цьому втрати на поглинання, наприклад, за рахунок гістерезисного перемагнічування виключалися через використання алюмінієвих авіаційних сплавів. Таким чином, ефект досягався за рахунок згасання електромагнітної хвилі у отворах, які є у цьому випадку хвилеводами. Відомо, що таке згасання пропорційне довжині хвилевода, тобто коефіцієнт поглинання збільшується з товщиною екрана.

На сьогоднішній день добре розроблена теорія прямокутних хвилеводів, а відповідні розрахунки щодо круглих отворів напівемпіричні. Тому у подальших дослідженнях у цьому напрямі доцільно спиратися на натурні вимірювання.

Окремого розгляду потребують геометричні критерії ефективності електромагнітних екранів. Досвід свідчить, що суцільні екрани, виготовлені з феромагнітних матеріалів, які охоплюють джерело (електрогерметизація) не забезпечують необхідного захисту через намагнічування самого екрана. Попередні дослідження щодо оптимізації позиціонування екрана стосуються лінійних джерел [13].

Щодо локалізованих джерел, то ефективність та конфігурації екранів визначаються попередніми розрахунками та інструментальними обстеженнями з урахуванням необхідності забезпечення належної працездатності обладнання та доступу до нього для контролю.

Розроблення електромагнітних екранів доцільно здійснювати у певні послідовності (рис. 3).

Досвід експериментальних досліджень показав, що впровадження певного алгоритму щодо забезпечення електромагнітного захисту раціоналізує процеси обирання матеріалу для виготовлення електромагнітного екрана та підвищує якість конструкторських рішень.

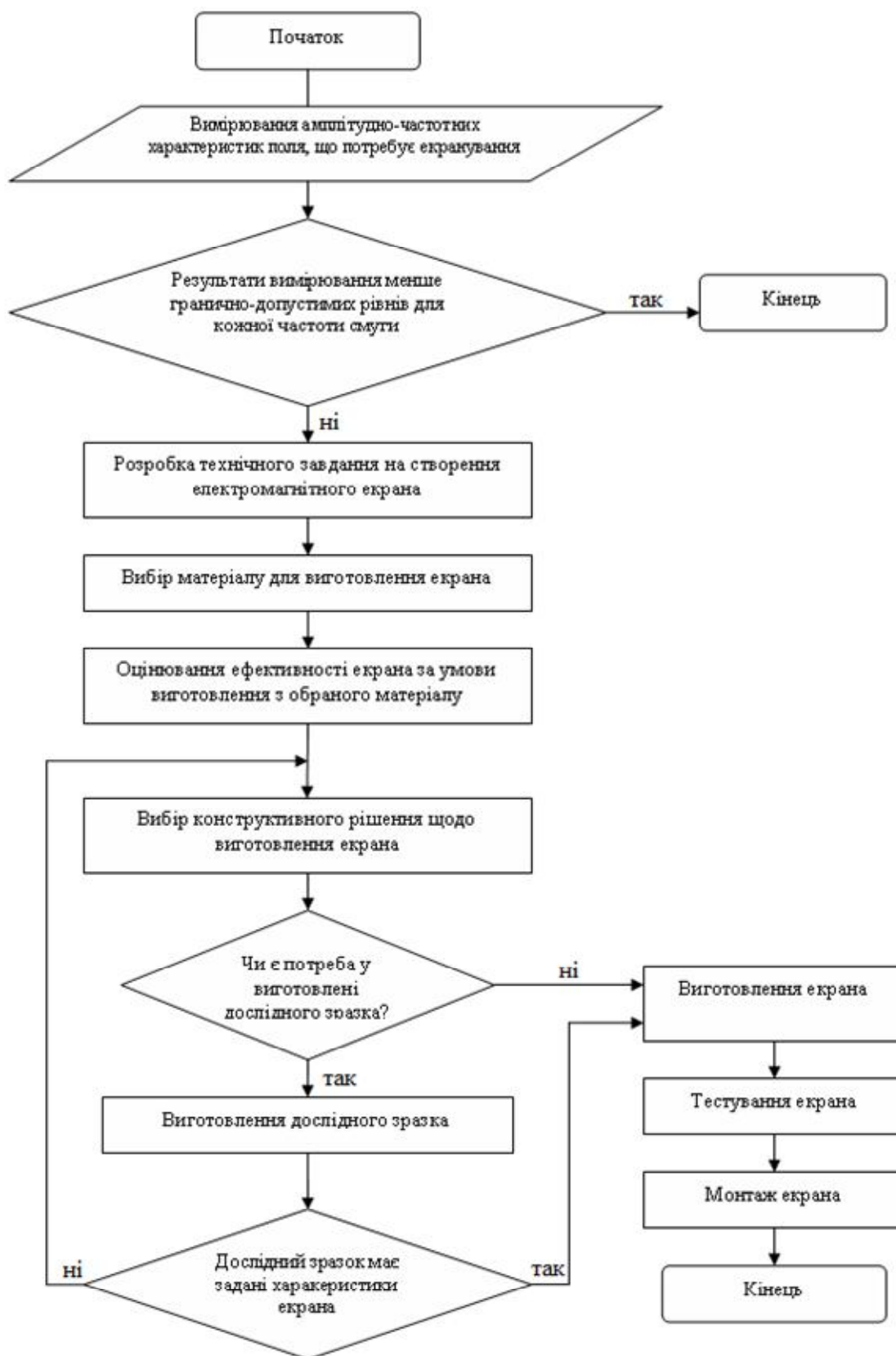


Рис. 3. Схема реалізації електромагнітного екранування потрібної ефективності

Висновки

1. Для підвищення ефективності екранування магнітних полів наднизьких частот необхідним є попе-

редне визначення їх просторових розподілів навколо технічного засобу. Це дозволяє раціоналізувати розташування екрана з точки зору зниження його власної намагніченості у зовнішньому магнітному полі.

2. Для ефективного екранування магнітних полів джерел з симетричними їх розподілами та монотонними зниженнями напруженостей доцільне використання кількешарових екранів, що забезпечує зміну поляризації падаючого поля та його зниження за рахунок втрат на вихрові струми та гістерезисне поглинання.

3. Максимальне поглинання електромагнітних випромінювань з мінімізацією відбивальної складової досягають використанням перфорованих екранів різної товщини. Діаметри отворів та відстані між ними розраховуються, виходячи з необхідної частоти зрізу та ефективності екранування.

4. Розроблення та впровадження електромагнітного екранування доцільно здійснювати у певній послідовності за визначеним алгоритмом, що мінімізує час і витрати на дослідно-конструкторські роботи.

Список літератури

1. Островский О.С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн / О.С. Островский, Е.Н. Одаренко, А.А. Шматько // Физическая инженерия поверхностей. - 2003. - Т.1, № 2. - С. 161-173.
2. Глива В.А. Моделирование просторовых распределений электромагнитных полей электротехнического оборудования / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Х.В. Паньків // Управление развитием сложных систем. - 2014. - Вып. 20. - С. 174-179.
3. Панова О.В. Защита работающих от влияния электромагнитных полей экранированием: дис. ... канд.техн.наук: 05.26.01 / Панова Елена Васильевна - К., 2014. - 151 с.
4. Магнитное поле линии электропередачи и методы его снижения до безопасного уровня // В.Ю. Розов, С.У. Реуцкий, Д.Е. Пелевин и др. // Техническая электродинамика. - 2013. - № 2. - С. 3-9.
5. Резинкина М.М. Экранирование магнитного поля промышленной частоты в рабочих зонах электростанций / М.М. Резинкина, В.С. Гринченко, Ю.Д. Думанский,

С.В. Медведев // Гигиена населенных мест. - 2010. - Вып. 55. - С. 249-255.

6. Здановський В.Г. Дослідження рівня магнітних полів енергетичних об'єктів / В.Г. Здановський, В.А. Глива, Х.В. Паньків // Проблеми охорони праці в Україні. - 2013. - Вып. 25. - С. 22-29.

7. Рябов Ю.Г. Экранирование встроенных трансформаторных подстанций / Ю.Г. Рябов, И.Б. Гуров // Технологии ЭМС. - 2014. - № 3. - С. 21-28.

8. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення: ДБН В. 2.5-23-2003. - [Чинний від 2004-01-06]. - К.: Держбуд України, 2004. - 129 с. (Державні будівельні норми України).

9. Проектування висотних житлових і громадських будинків ДБН В.2.2. - 24: 2009 - [Чинний від 01-10-09]. - К.: Мінрегіонбуд, 2009. - 103с. (Державні будівельні норми України).

10. Волохов С.А. Закономерности распределения внешнего магнитного поля электрооборудований / С.А. Волохов, П.Н. Добродеев // Электротехника, 2006. - № 4. - С. 28-33.

11. Широкодиапазонные экраны СМД для систем защиты информации и защиты биологических объектов / [Льиньков Л.М., Бозуш В.А., Борботько П.В. и др.]. Докл. НАН Беларуси, Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники, 2004. - № 3. - С. 152-167.

12. Панова О.В. Экранирование электромагнитных полей для электромагнитной безопасности та електромагнітної сумісності / О.В. Панова // Управление развитием сложных систем. - 2015. - Вып. 22. - С. 207-213.

13. Глива В.А. Просторові критерії екранування низькочастотних магнітних полів / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот // Управление развитием сложных систем. - 2015. - Вып. 22. - С. 158-164.

Надійшла до редколегії 30.05.2016

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

ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В.В. Коваленко, О.Н. Тихенко, Л.О. Левченко

Исследованы особенности экранирования электромагнитных локальных источников. Показано, что для эффективности экранирования магнитных полей сверхнизких частот необходимым является предыдущее определение их пространственных распределений вокруг технического средства. Для эффективного экранирования магнитных полей источников с симметричными распределениями и монотонными снижениями напряжения целесообразно использование многослойных экранов. Установлено, что внедрение электромагнитного экранирования нужно осуществлять в определенной последовательности и за определенным алгоритмом.

Ключевые слова: электромагнитное поле, магнитное поле, высокочастотное излучение, экранирование, электрическая машина, электромагнитная безопасность.

SCREENING ELECTROMAGNETIC FIELDS OF LOCAL SOURCES

V.V. Kovalenko, O.M. Tykhenko, L.O. Levchenko

The features of electromagnetic screening of local sources have been studied. It is shown that for shielding effectiveness of magnetic fields ultra low frequencies it is necessary to predetermine their space distribution around technical means. Appropriate to use multilayer screens for effective shielding of magnetic fields sources, symmetrical distribution and monotonic a voltage reduction. Implementation of electromagnetic shielding necessary to carry out in a certain sequence and with specific algorithm, it was established.

Keywords: electromagnetic field, magnetic field, high-frequency radiation, shielding, electrical machine, electromagnetic safety.