

В. А. Глива, д-р техн. наук (НАУ)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ

У статті розглянуто різноманітні електромагнітні впливи на електронне та електричне обладнання та розроблено заходи з підвищення електромагнітної сумісності технологічного обладнання та електромагнітної безпеки персоналу. Досліджено взаємний вплив технічних засобів, розміщених у будівлі, та умови зниження цього взаємовпливу на обладнання та працюючих. Визначено, що найбільш дієвими заходами з підвищення електромагнітної сумісності технічних засобів є раціональне їх розміщення у будівлі та екранування з мінімальними коефіцієнтами відбиття.

Ключові слова: електромагнітний вплив, сумісність, електромагнітна безпека, екранування.

В статье рассмотрены различные электромагнитные влияния на электронное и электрическое оборудование, а также разработаны меры по повышению электромагнитной совместимости технологического оборудования и электромагнитной безопасности персонала. Исследовано взаимное влияние технических средств, расположенных в здании, и условия снижения этого взаимовлияния на оборудование и работающих. Определено, что наиболее действенными мерами по повышению электромагнитной совместимости технических средств является рациональное их размещение в здании и экранирование с минимальными коэффициентами отражения.

Ключевые слова: электромагнитное влияние, совместимость, электромагнитная безопасность, экранирование.

In the article the different electromagnetic influences on electrical and electronic equipment and the development and improvement measures the electromagnetic compatibility technology equipment and electromagnetic safety personnel. Investigated the mutual influence of technical facilities located in the building, and the conditions for mutual decrease of equipment and workers. It was determined that the most effective measures to improve

the electromagnetic compatibility of technical means is the rational placement of buildings and screening with minimal reflection coefficients.

Keywords: *electromagnetic impact, compatibility, electromagnetic safety, shielding.*

Вступ. Сучасною тенденцією в організації технологічних процесів є збільшення кількості та ущільнення розміщення електронного та електричного обладнання. Об'єктивний наслідок цього – підвищення електромагнітного навантаження на виробниче середовище та зміна його кількісного та якісного складу – зростання рівнів електромагнітних полів та розширення їх частотного діапазону. За таких умов зростає імовірність неприпустимого впливу цього фактора на стабільність функціонування електронного та електричного обладнання і взаємного впливу окремих технічних засобів за рахунок їх власних електромагнітних полів.

Це явище особливо небезпечне при експлуатації систем керування технологічними процесами – повітряним рухом, атомними та тепловими електростанціями, металургійними та гірничодобувними комплексами, збої у яких можуть призвести до аварій та навіть катастрофічних наслідків.

Таким чином, дослідження та розроблення системи заходів із підвищення надійності та стабільності роботи сучасного електричного та електронного обладнання є актуальним науковим та прикладним завданням.

Сучасний стан питання та завдання дослідження. Визначене завдання у загальному вигляді є проблематикою електромагнітної сумісності технічних засобів, яка на цей час як в Україні, так і за кордоном регламентується низкою національних і міжнародних нормативів, наприклад [1–6]. Втім їх застосування є проблематичним. По-перше, згідно з постановою КМУ від 7.10.2003 р. № 1585 підтвердження відповідності електромагнітної сумісності продукції є справою добровільною, по-друге, – практично всі Державні стандарти України з електромагнітної сумісності є ідентичними (IDT) відповідним загальноєвропейським (EN) або міжнародним (ISO) нормативам, що має наслідком суттєві розбіжності з іншими національними стандартами та санітарними нормами з улаштування електричного обладнання та електромагнітної безпеки, що ретельно проаналізовано у роботі [7].

Крім того, постійне оновлення парку обладнання висуває нові вимоги до забезпечення його безперебійної роботи, що ініціює проведення ретельних експериментальних і теоретичних досліджень з цих питань.

Всебічний розгляд напрацювань з цієї проблематики ускладнюється обмеженою кількістю публікацій у відкритих джерелах, що особливо

стосується авіакосмічної галузі, де це є особливо актуальним. Втім питання електромагнітної сумісності обладнання енергопостачання, засобів зв'язку та інформаційних технологій широко висвітлюються і є найбільш актуальними для виробничих, адміністративних і побутових будівель.

Відомо, що суттєвий внесок у електромагнітну обстановку у будівлях різного профілю дають джерела магнітного поля промислової частоти 50 Гц. При цьому вмикання та вимикання і перехідні процеси створюють імпульсні електромагнітні завади. У роботі [8] підвищення електромагнітної сумісності побудовано на раціоналізації взаємного розташування джерел магнітного поля та розроблено відповідну математичну модель. Але ці дослідження стосуються не спотвореного електричного струму промислової частоти у трифазній електричній мережі.

Особливістю сучасного електронного обладнання є використання імпульсних джерел електроживлення, що поряд із перевагами (мала вага та розміри, економічність) мають недолік – спотворення форми електричної напруги (струму) у силовій електромережі (так звана «пласка синусоїда») [9]. Наслідками є значні рівні реактивної потужності у системах електроживлення і поява гармонік та інтергармонік промислової частоти 50 Гц [10], що негативно позначається на режимах роботи електричного та електронного обладнання. Компенсація реактивної потужності та зниження рівнів гармонік та інтергармонік досягається за рахунок спеціальних компенсуючих установок [11, 12]. Пасивні компенсатори (наприклад, конденсаторні установки) не завжди дають достатній ефект.

У більшості випадків доцільним є використання активної фільтрації [13]. Але такі установки мають велику вартість і забезпечують тільки силову мережу.

Значну технічну проблему складає взаємний вплив окремих компонентів технічного об'єкта, особливо в умовах їх щільного розміщення. Найбільш ефективним засобом зниження таких впливів є автоматичне управління магнітним полем за рахунок зворотних зв'язків [14]. Очевидно, що такі методи ефективні для складного обладнання обмеженого використання.

У сучасних умовах суттєвий вплив на роботу чутливої електронної апаратури може мати зовнішнє електромагнітне випромінювання, наприклад, з боку базових станцій мобільного зв'язку. У першу чергу, це стосується чутливої медичної діагностичної апаратури [15]. Найдієвішими засобами захисту від таких впливів є екранування зовнішніх електромагнітних випромінювань захисними матеріалами [16]. Як буде показано далі, таке екранування не завжди дає бажаний ефект. Уникнення такого впливу можливе за рахунок зниження потужностей зовнішніх випромінювачів до рівня, який забезпечує мінімально необхідну якість зв'язку [17]. Але такий спосіб має суттєвий недолік:

конструкції базових станцій передбачають їх роботу у номінальних режимах. Зниження потужностей випромінювань технічно можливе, але при цьому значно знижується стабільність функціонування самого передавача.

Проведений аналіз свідчить про необхідність забезпечення електромагнітної сумісності технічних засобів шляхом підвищення якості напруги у силових електромережах, захист окремих технічних засобів від зовнішніх електромагнітних полів і випромінювань їх екрануванням шляхом раціоналізації розміщення екранів та дотримання необхідного балансу між їх поглинальними та відбивальними властивостями залежно від співвідношення рівнів внутрішніх і зовнішніх електромагнітних полів і випромінювань.

Мета роботи – розроблення сучасних засобів і заходів із підвищення електромагнітної сумісності технологічного обладнання на засадах прийнятної достатності та економічної доцільності.

Електромагнітні впливи на електронне та електричне обладнання умовно можна розділити на такі категорії:

- вплив зовнішніх джерел електромагнітних полів і випромінювань (за межами будівель і споруд);
- вплив внутрішніх джерел, розташованих у цьому ж приміщенні та будівлі;
- взаємний вплив компонентів технічних засобів.

При цьому необхідно враховувати як стійкість (чутливість) технічних засобів до електромагнітних впливів, так і їх власні випромінювальні властивості. Відомо, що забезпечення електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки персоналу є двоєдиним завданням [18]. Тому ці питання доцільно розглядати разом. Доцільність такого підходу обумовлено низкою невідповідностей вимог з електромагнітної безпеки [19]. Найбільш суттєвими з них є такі: у деяких випадках дозволені випромінювальні властивості обладнання перевищують гранично допустимі рівні для персоналу і навпаки – допустимі рівні електромагнітного навантаження на середовище перевищують поріг чутливості технологічного обладнання. Особливо це стосується майже усього обладнання засобів обчислювальної техніки та допоміжних пристроїв.

Джерелами зовнішніх впливів на електромагнітну обстановку у будівлях є електромагнітні поля промислової частоти 50 Гц (в основному – їх магнітна складова) з боку всіх компонентів систем електропостачання та електромагнітні випромінювання радіотехнічного обладнання зв'язку.

Особливістю формування електромагнітної обстановки навколо повітряних ліній електропередач є постійне значення електричного поля (залежить від робочої напруги лінії) та зміни магнітного поля залежно від струму навантаження, який, у свою чергу, залежить від часу доби,

дня тижня, пори року. Значення магнітного поля поблизу лінії електропередачі напругою 110 кВ наведено на рис. 1.

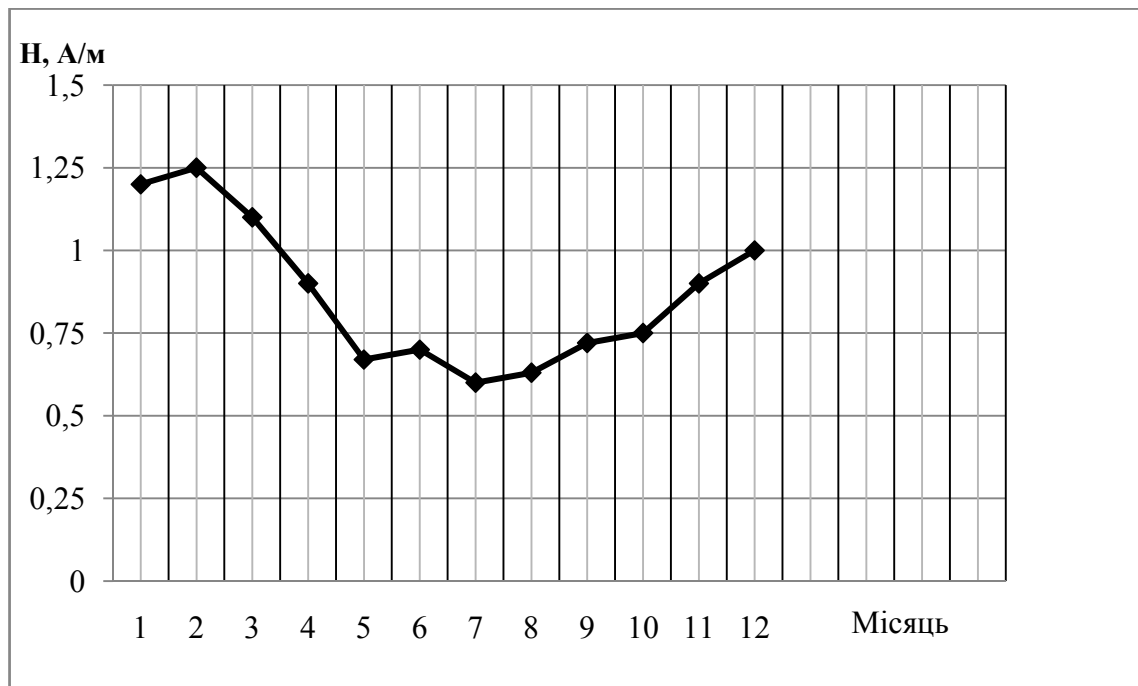


Рис. 1. Залежність напруженості магнітного поля лінії електропередачі напругою 110 кВ на відстані 20 м від проекції на землю крайнього фазного дроту від місяця року (усереднені значення)

Наведений приклад є окремим через значну залежність магнітних полів від навантаження на лінію, але він відображає загальну закономірність, обумовлену зміною електроспоживання упродовж року. Слід зазначити, що лінії такої напруги дуже поширені у населених пунктах і для них не передбачено санітарно-захисних зон.

Напруженості магнітного поля, навіть мінімальні, наведені на рис. 1, перевищують, наприклад, напруженості поля, допустимі для експлуатації комп'ютерної техніки, стійкість якої має відповідати класу I, тобто вона має витримувати (стабільно функціонувати) за напруги магнітного поля 1 А/м.

Рівні магнітного поля, генерованого повітряною лінією електропередачі, можна попередньо оцінити. За частоти 50 Гц електромагнітне поле є квазістаціонарним, що дозволяє розглядати його електричну та магнітну складові окремо.

У таких умовах напруженість магнітного поля $dH(t)$, викликана електрострумом $i(t)$, який протікає магнітним сегментом провідника dL , може бути розрахована за допомогою закону Біо-Савара:

$$dH(t) = i(t)/4 \pi r^3 (d\ell \times R).$$

Вектор \mathbf{R} спрямований від сегмента $d\mathbf{L}$ зі струмом $i(t)$ до місця визначення напруженості поля K . У цьому випадку напруженість магнітного поля лінії H матимемо зі співвідношення

$$\mathbf{H}(K, t) = i(t)/4\pi \int_L (d\mathbf{l} \times \mathbf{R}) / R^3.$$

За синусоїдальності електроструму та зсуву фаз у трифазній лінії $2\pi/3$ сумарне магнітне поле визначається як

$$\mathbf{H}(K) = \mathbf{H}_a \sin \omega t + \mathbf{H}_b \sin(\omega t + 2\pi/3) + \mathbf{H}_c \sin(\omega t + 4\pi/3),$$

де ω – циклічна частота електроструму, значенням електроструму слід обирати номінальний струм у лінії даної напруги;

$\mathbf{H}_a, \mathbf{H}_b, \mathbf{H}_c$ – вектори магнітного поля кожної з фаз лінії електропередачі.

Існують методи точного розрахунку напруженостей магнітних полів ліній електропередач, наприклад, наведений у [20], втім для попереднього оцінювання внеску лінії електропередачі у електромагнітну обстановку суміжної будівлі наведеного методу цілком достатньо.

Зниження рівнів цих магнітних полів можливе тільки за умови їх екранування. Характеристики та захисні властивості екранувальних матеріалів визначено у попередніх роботах [7, 16]. При використанні такого захисту виникає проблема, що пов'язана з обов'язковою суцільністю екрана для ефективного екранування низькочастотних магнітних полів.

Такий екран є повністю непрозорим для випромінювання частот мобільного зв'язку, що може стати причиною незручностей у роботі. У багатьох випадках потрібне зниження рівнів цих випромінювань, але це здійснюється з використанням сітчастих структур із необхідним кроком металевих елементів. Тобто, навіть за потреби зниження рівня впливу однієї частоти, необхідним є визначення рівнів електромагнітних полів і випромінювань інших частотних діапазонів з метою обирая мінімально необхідних коефіцієнтів екранування з урахуванням усіх впливів. При цьому критеріями достатності є як необхідні показники стійкості обладнання до електромагнітних впливів, так і гранично допустимі рівні електромагнітних полів і випромінювань для людей.

Окремого розгляду потребує взаємний вплив технічних засобів, розташованих у будівлі чи приміщенні. Вони можуть мати різні нормативні рівні стійкості та емісії, наслідком чого є нестабільність роботи кожного з них. За непередбачуваної їх кількості ефективним методом підвищення надійності функціонування електронного обладнання є його розосередження, тобто збільшення відстані між окремими приладами. Але через обмеженість виробничих площ це не завжди є можливим і не завжди ефективним, якщо джерелом завад є мережа силового електроживлення, що притаманне більшості будівель зі

значною кількістю сучасного електронного обладнання [21]. У таких умовах зниження взаємовпливу обладнання досягається за рахунок розташування технічних засобів із нелінійними вольт-амперними характеристиками (наприклад, персональних комп'ютерів) таким чином, щоб сумарний внесок цих споживачів у загальне навантаження на одну фазу трифазної силової мережі не перевищував 15 %. Ефективним засобом зниження рівнів магнітного поля є використання екранів, які використовують явище віддзеркалення. Ці екрани розташовуються з боку, протилежного найбільшій напруженості магнітного поля, і знижують його рівень на 13...17 %.

У сучасних умовах найвагомим фактором взаємного електромагнітного впливу обладнання є перевипромінювання за рахунок намагніченості масивного феромагнітного обладнання та випромінювань від екрануючих поверхонь. Це може бути як корпус технічного засобу, так і поверхні приміщення, у тому числі й екрани для захисту від зовнішніх впливів.

Зниження таких впливів досягається використанням електромагнітних екранів із мінімальними коефіцієнтами відбиття. Наші дослідження показали, що найбільш ефективними є металополімерні захисні матеріали з керованими захисними властивостями [22]. Їх перевага полягає у можливості регулювання співвідношення відбиття та поглинання електромагнітної енергії вмістом металевої субстанції у полімерній матриці.

Важливість розглянутої проблематики обумовлюється тим, що згідно з наказом Мінекономрозвитку України від 29.12.2014 № 1483 низку загальноєвропейських стандартів з електромагнітної сумісності прийнято як національні стандарти України методом підтвердження (наприклад, [23, 24]).

Вимоги цих стандартів набагато жорсткіші за розглянуті вище, тому вживання заходів із підвищення рівня електромагнітної сумісності електричного та електронного обладнання як у виробничих, так і у побутових умовах є нагальною потребою сьогодення.

Але впровадження європейських нормативів з електромагнітної безпеки неоднозначне, зокрема з огляду на відношення частини суспільства до розміщення базових станцій мобільного зв'язку. У проекті постанови КМУ щодо спрощення процедури ліцензування деяких видів діяльності є вимога до розробника нормативу з електромагнітної безпеки (Інститут гігієни та медичної екології НАМНУ) змінити гранично допустимі рівні випромінювань надвисоких і надзвичайно високих частот із 2,5 мкВт/см² (або 3 В/м) на 10 мкВт/см² (або 6 В/м). Навіть одна така зміна потребує корекції інших вимог як з електромагнітної безпеки, так і з електромагнітної сумісності.

Висновки

1. Організаційно-технічні заходи з підвищення електромагнітної сумісності електричного та електронного обладнання необхідно розробляти на комплексній основі з урахуванням зовнішніх і внутрішніх джерел впливу та взаємовпливу як окремих технічних засобів, так і їх компонентів.

2. Найбільш дієвими заходами з підвищення електромагнітної сумісності технічних засобів є раціоналізація їх розміщення у будівлі або приміщенні з навантаженням нелінійних електроспоживачів не більше ніж 15 % від загального навантаження на фазу та екранування електромагнітних полів і випромінювачів.

3. При застосуванні електромагнітних екранів слід дотримуватись принципу розумної достатності, який полягає у мінімально необхідному зниженні екранованого поля для забезпечення надійного бездротового зв'язку різного призначення.

4. Для уникнення погіршення електромагнітної обстановки за рахунок перевипромінювань електромагнітної енергії доцільно використовувати електромагнітні екрани з мінімальними коефіцієнтами відбиття – металополімерні екрани із керованими захисними властивостями.

5. При плануванні та впровадженні заходів із підвищення електромагнітної сумісності технічних засобів слід враховувати прийняття в Україні методом підтвердження загальноєвропейських стандартів з електромагнітної сумісності для усієї номенклатури електричного та електронного обладнання.

Список літератури

1. Електромагнітна сумісність. Частина 2. Електромагнітне оточення. Секція 4. Рівні сумісності для промислового обладнання щодо низькочастотних кондуктивних завод (IEC61000-2-4:1994, iDT). ДСТУ ІЕС 61000-2-4:2002. – [Чинний від 2003-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 11 с. – (Національний стандарт України).

2. Системи безперебійного електроживлення. Частина 2. Вимоги до електромагнітної сумісності (EN50091-2:1995, iDT) : ДСТУ EN 50091-2:2003. – [Чинний від 2004-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 27 с. – (Національний стандарт України).

3. Електромагнітна сумісність. Загальний стандарт емісії. Частина 2. Промислове устаткування (EN50091-2:1993, iDT) : ДСТУ EN 50091-2:2003. – [Чинний від 2004-10-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 5 с. – (Національний стандарт України).

4. Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от оборудования информационной

техники. Нормы и методы испытаний : ГОСТ 29216-91. – [Введен в действие 1993-01-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1992. – 22 с. – (Межгосударственный стандарт).

5. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до магнітних полів частоти мережі. Технічні вимоги і методи випробувань : ДСТУ 2465-94. – [Чинний від 1995-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 29 с. – (Національний стандарт України).

6. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы : ГОСТ 34.602-89. – [Введен в действие 1990-01-01]. – М. : Госстандарт СССР, 1991. – 15 с. – (Межгосударственный стандарт).

7. Глива В. А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.26.21 / Глива Валентин Анатолійович. – Київ, 2012. – 320 с.

8. Безменова Н. В. Обеспечение электромагнитной совместимости по магнитным полям частоты технических средств комплектных распределительных устройств систем электроснабжения : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Безменова Надежда Валерьевна. – Самара, 2012. – 155 с.

9. Кузнецов В. Г. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения / В. Г. Кузнецов, Э. Г. Куренный, А. П. Лютый. – Донецк : Донбасс, 2005. – 250 с.

10. Саєнко Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійними навантаженнями : дис. ... докт. техн. наук : 05.09.05 / Саєнко Юрій Леонідович. – Л., 2003. – 350 с.

11. Singh B. Neural network-based selective compendation of current quality problems in distribution system / B. Singh, V. Verma, G. Solanki // IEEE Transactions. Industrial Electronics. – 2007. – Vol. 54, No 1. – P. 53–60.

12. Саєнко Ю. Л. Зниження рівнів гармонічних спотворень в електричних мережах з джерелами інтергармонік / Ю. Л. Саєнко, Г. К. Бараненко, Є. В. Бараненко // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 3. – С. 78–83.

13. Саєнко Ю. Л. Методы компенсаций реактивной мощности в сетях с нелинейными нагрузками / Ю. Л. Саєнко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2013. – Вип. 26. – С. 204–210.

14. Розов В. Ю. Методы формирования сигналов обратных связей в замкнутых системах управления магнитным полем технических объектов при наличии сторонних источников магнитного поля / В. Ю. Розов, Д. А. Ассуиров, А. А. Давыдов / Технічна електродинаміка. – 2009. – № 6. – С. 8–16.

15. Думанський В. Ю. Гігієнічні аспекти електромагнітної сучасності базових станцій мобільного зв'язку та медичних електронних приладів / В. Ю. Думанський, С. В. Біткін // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип. 50. – С. 193–200.

16. Глива В. А. Критерії вибору захисних матеріалів для екранування електромагнітних полів / В. А. Глива // Проблеми охорони праці в Україні : збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 21. – С. 68–76.

17. Мордачев В. И. Необходимый и достаточный уровень мощности электромагнитного излучения базовых станций сети GSM / В. И. Мордачев, А. С. Свистунов // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2013. – № 7. – С. 44–50.

18. Електромагнітна безпека та електромагнітна сумісність технічних засобів / Ю. Д. Думанський, О. І. Запорожець, В. А. Глива та ін. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2008. – Вип. 16. – С. 143–148.

19. Барабаш О. В. Питання узгодженості нормативної бази електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки засобів обчислювальної техніки / О. В. Барабаш, В. А. Глива, А. В. Лук'янчиков // Прикладная электроника. Состояние и перспективы развития : 3-й Международный радиоэлектронный форум: 22–24 октября 2008 : сб. научн. трудов. – Т. VI. – X., 2008. – С. 159–162.

20. Розов В. Ю. Исследование магнитного поля высоковольтных линий электропередачи переменного тока / В. Ю. Розов, С. Ю. Реуцкий, Д. Е. Пелевин, В. Н. Яковенко // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 1. – С. 3–9.

21. Перельот Т. М. Гармоніка електричних струмів промислової частоти та їх вплив на електромагнітну обстановку у приміщеннях / Т. М. Перельот // Гігієна населених місць. – 2014. – Вип. 64. – С. 112–198.

22. Обухан К. Ю. Біологічна оцінка електромагнітних випромінювань (192 МГц) на клітинному рівні / К. Ю. Обухан, Л. А. Томашевська // Гігієна населених місць. – 2008. – Вип. 52. – С. 216–221.

23. Електромагнітна сумісність. Характеристика радіозавод приймальних пристроїв та підключеного до них обладнання. Норми та методи вимірювання : ДСТУ EN 55013.2014 [Чинний від 2016-01-01] (Державний стандарт України).

24. Електромагнітна сумісність. Частина 3–12. Норми та сили струму гармонік, створених обладнанням із номінальним вхідним струмом силою понад 16 А та до 75 А включно на фазу, підключеним до низьковольтних електропостачальних систем загальної призначеності. ДСТУ EN 61000-3-12:2014 [Чинний від 2016-01-01] (Державний стандарт України).

Дата подання статті до збірника – 12.08.2015 р.