

В. А. Глива, д-р техн. наук (НАУ) ,  
Т. М. Перельот (Холдинг «Fozzy Group»)

## МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ

*У статті розглянуто проблему антропогенного електромагнітного забруднення у виробничих і невиробничих умовах: як виникає це забруднення та як воно може вплинути на здоров'я працюючих. Також у роботі побудована методологія визначення рівнів електромагнітного навантаження з урахуванням впливу електромагнітних полів, згенерованих лінійними і нелінійними електроспоживачами.*

**Ключові слова:** *виробниче середовище, електромагнітне забруднення, електромагнітне навантаження, синусоїдальність, гармоніка.*

*В статье рассмотрена проблема антропогенного электромагнитного загрязнения в производственных и непроизводственных условиях: как возникает данное загрязнение и какое влияние оно может оказать на здоровье работающих. Также в работе выстроена методология определения уровней электромагнитной нагрузки с учетом влияния электромагнитных полей, сгенерированных линейными и нелинейными электропотребителями.*

**Ключевые слова:** *производственная среда, электромагнитное загрязнение, электромагнитная нагрузка, синусоидальность, гармоника.*

*The article deals with the problem of anthropogenic electromagnetic pollution under industrial and non-industrial conditions: how this pollution arises and its possible impact on workers health. We also worked out methodology for determining the levels of electromagnetic load taking into account the effects of electromagnetic fields generated by the linear and nonlinear electrical consumers.*

**Keywords:** *industrial environment, electromagnetic pollution, electromagnetic load, sinusoidal, harmonic.*

*Вступ.* Проблематика електромагнітного забруднення докільля, у тому числі виробничого середовища, є актуальною і злободенною, незважаючи на велику кількість досліджень та прикладних розробок з електромагнітної безпеки. Значною мірою це пояснюється постійними змінами якісного та кількісного складу електричного та електронного обладнання виробничих, адміністративних і навчальних приміщень. Втім, наразі не визначено градації приміщень, будівель і споруд за рівнем їх

енергонасиченості та пов'язаного з нею електромагнітного забруднення середовища.

*Сучасний стан питання.* Чинними будівельними нормами України, на жаль, практично не передбачено належної уваги електромагнітній безпеці, здебільшого це питання видається несуттєвим. Так у нормах [1] є вимога про дотримання нормативу з напруженості електричних полів, при цьому рівні цих магнітних та електромагнітних полів не регламентуються. Будівельні норми проектування висотних будинків вимагають наявності у таких спорудах автоматизованої системи моніторингу та управління, що складається із шістнадцяти вимог, втім не містить обов'язкового моніторингу електромагнітної обстановки, що безпосередньо пов'язана з навантаженням на силову електромережу [2]. Для прикладу, цей норматив дозволяє використовувати у таких будівлях вбудовані трансформатори (сухого типу).

Чинні санітарні норми щодо роботи з джерелами електромагнітних полів [3] дають тлумачення енергетичного навантаження як добуток електричної та магнітної енергій (щільності потоку енергії) на час її впливу на працюючих.

Такі підходи не відповідають концепції, закладеній в міжнародному нормативі з електромагнітної безпеки [4]. Цей норматив є невід'ємною складовою загальноєвропейської директиви з електромагнітної безпеки (Directive 2013/35/EV) [5].

Наразі в Україні відбувається процес імплементації вимог цієї директиви у національну нормативну базу. Це вимагає приведення до загального знаменника методологічних підходів, термінології та критеріїв рівнів електромагнітного забруднення, енергонасиченості тощо.

Автори багатьох досліджень [6–8] використовують термін «енергонасиченість»; втім, критерії енергонасиченості будівель на сьогодні чітко не визначені. Це ж саме стосується і визначення рівнів електромагнітного забруднення приміщень та споруд в цілому. Поодинокі дослідження з цієї проблематики [9] не дають цілісного уявлення щодо згаданих критеріїв та потребують подальшого розвитку.

*Метою роботи* є розроблення методологічних засад щодо критеріїв визначення рівнів електромагнітного забруднення та енергонасиченості будівель і споруд.

Загалом можна вважати, що електромагнітне навантаження на виробниче середовище є похідною від енергонасиченості будівлі, яка фахівцями-електротехніками характеризується використанням потужного електричного обладнання, що спричиняє значні навантаження на силову електромережу [6]. Втім, критеріїв такої енергонасиченості формально не існує.

З позицій охорони праці, навіть за умов використання дуже потужного технологічного обладнання (турбогенератори, індукційні печі тощо), вплив генерованих цим обладнанням електромагнітних полів на здоров'я працюючих може бути несуттєвим, що й спостерігається у багатьох реальних виробничих умовах.

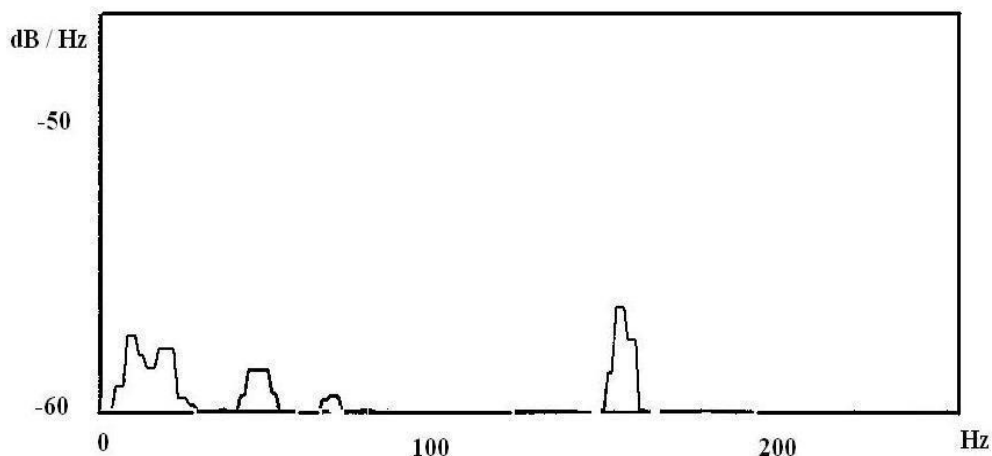
Електромагнітні поля антропогенного походження можна завжди вважати фактором електромагнітного забруднення виробничого середовища, але з практичної точки зору таке забруднення є критичним лише у разі, коли рівні електромагнітних полів досягають гігієнічно значущих рівнів.

Для переважної більшості виробничих приміщень і будівель в цілому електромагнітне навантаження складається з низькочастотних полів (промислової частоти 50 Гц), які й потребують ретельного аналізу.

Головним критерієм електромагнітного забруднення полями такої частоти, безумовно, слід вважати гранично допустимі рівні, регламентовані відповідним нормативом [3]. Але в реальних умовах у силовій електромережі завжди присутні вищі гармоніки основної частоти (переважно третя), що є джерелами магнітних полів у приміщеннях через некомпенсованість електроструму частотою 150 Гц у нульовому робочому провіднику трифазної системи електроживлення [10]. Поява цих гармонік традиційно пов'язується з так званим «перекосом фаз», а їх рівні не мають перевищувати 10 % основної частоти [11].

Це явище, як і несинусоїдальність напруги, цікавить електротехніків та енергетиків тільки з огляду на енергозбереження та надійність функціонування обладнання [12]. Якщо розглядати це явище беручи до уваги тільки електромагнітну безпеку, то слід враховувати, що для гармоніки електромагнітного поля частотою 150 Гц гранично допустимий рівень є у 10 разів нижчим, ніж для основної частоти.

Наші дослідження свідчать, що гармонійний склад магнітних полів, джерелами яких є силова мережа, досить складний (рис. 1).



*Рис. 1. Спектральний склад магнітного поля силової електромережі у будівлі*

Наведений амплітудно-частотний склад магнітних полів визначався у приміщеннях з великою кількістю засобів обчислювальної техніки. Це дозволило дійти висновку, що головний внесок до появи гармонік промислової частоти дають нелінійні електроспоживачі. При цьому слід зауважити, що крім вищої гармоніки (150 Гц) генеруються вища (75 Гц) та нижчі (25 Гц і 12,5 Гц) інтергармоніки, що взагалі не регламентуються нормативом [11].

Наявність інтергармонік не обов'язково пов'язана з наявністю нелінійного електронавантаження. Як було виявлено, коливання напруги, що виникають за будь-яких причин, призводять до спотворення синусоїди навіть за відсутності джерел з нелінійними вольт-амперними характеристиками. Якщо у мережі є гармонічні коливання напруги  $\Delta U_t$  частотою  $f$ , то миттєві значення напруги визначаються як (1):

$$U(t) = U_0 \left( \sin \omega_f t + \frac{K}{2} (\cos(\omega_t - \omega_m)t - \cos(\omega_f - \omega_m)t) \right) \quad (1)$$

$$= V_0 (1 + K \sin \omega_m t) \cdot \sin \omega_f t$$

де  $U_0$  – середнє значення огибаючої амплітуди напруги за період  $1/f$ ;

$K = \Delta U_t / \sqrt{2} V_0$  – коефіцієнт модуляції;

$\omega_m = 2\pi f$ .

У будь-які періоди крива напруги відрізняється від синусоїди.

Складові з частотами  $\omega_f \pm \omega_m$  є інтергармоніками.

Одночасна наявність інтергармонік і вищих гармонік, а також великі значення їх амплітуд, свідчать про зв'язок появи цих гармонік зі зростанням частини нелінійних електроспоживачів у загальному навантаженні на силову електромережу. Проте цей факт потребує додаткового дослідження та прийнятного тлумачення.

Натурні вимірювання рівнів магнітних полів низьких частот у приміщеннях і будівлях з різними співвідношеннями кількості лінійних і нелінійних споживачів (за потужністю) довели, що за частки нелінійних споживачів у 15...17% їх вплив на електромагнітну обстановку у виробничих приміщеннях можна не враховувати.

За наявності у будівлі ~20% нелінійних споживачів електромагнітне забруднення має комбінований характер, а за наявності нелінійних споживачів понад 20% для визначення електромагнітного забруднення слід приділяти найбільшу увагу електромагнітним полям гармонік та інтергармонік промислової частоти.

Будівлю слід вважати енергонасиченою, якщо за будь-яких наведених співвідношень спостерігається перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів для відповідних частот.

У будь-якому разі слід оцінювати увесь комплекс технічних засобів, присутніх у будівлі: засоби життєзабезпечення будівлі, систем контролю доступу, моніторингу та управління, а також технологічне обладнання, задіяне у виробничих процесах.

#### *Висновки*

1. Рівні електромагнітного навантаження у будівлях і спорудах доцільно визначати диференційовано, з урахуванням внеску у електромагнітну обстановку електромагнітних полів, згенерованих лінійними та нелінійними електроспоживачами.

2. З точки зору електромагнітної безпеки будівлю слід вважати енергонасиченою, якщо на основній частоті, частотах гармонік та інтергармонік (як окремо, так і одночасно) спостерігаються перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів.

3. Розроблення організаційно-технічних заходів моніторингу та нормалізації рівнів електромагнітних полів виконується з урахуванням незначного (15...17 %), комбінованого (18...20 %) та переважного (> 20 %) внеску нелінійних споживачів у електромагнітну обстановку виробничих приміщень та будівлі в цілому.

4. Для підвищення рівня та ефективності працезохоронних заходів з електромагнітної безпеки перспективним є детальне дослідження джерел і механізмів формування спектрального складу електромагнітних полів, а також їх зв'язок з рівнями електромагнітної сумісності технічних засобів.

### Список літератури

1. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення : ДБНВ. 25-23-2003. – [Чинний від 2004-01-06]. – К. : Держбуд України, 2004. – 129 с. – (Державні будівельні норми України).

2. Глива В. А. Основні напрями інформаційного супроводу моніторингу фізичних параметрів довкілля / В. А. Глива // Гігієна населених місць. – 2009. – Вип. 54. – С. 216–219.

3. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів : ДСанПін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-03-13]. – К. : МОЗ України, 2003. – 16 с. – (Державні санітарні норми України).

4. 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.

5. 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>.

6. Шидловский А. К. Системы автоматической компенсации внешних магнитных полей энергонасыщенных объектов / А. К. Шидловский, В. Ю. Розов // Техническая электродинамика. – 1996. – № 1. – С. 3–9.

7. Запорожець О. І. Засоби зниження рівнів магнітних полів невиробничого походження при експлуатації обчислювальної техніки / О. І. Запорожець, А. В. Лук'янчиков, В. А. Глива / Проблеми охорони праці промислової та цивільної безпеки : науково-методична конференція 27 листопада 2007р. : тези доповідей. – К. – С. 17–18.

8. Подобєд І. М. Шлях вдосконалення нормативної бази з електромагнітної безпеки та магнітної сумісності технічних засобів в умовах підвищеної енергонасиченості будівель і споруд / І. М. Подобєд, В. А. Глива, Л. О. Левченко // Гігієна населених місць. – 2012. – № 59. – С. 171–174.

*Дата подання статті до збірника – 02.09.2014*