

Н. Б. Бурдейна, Я. А. Підлісний

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Анотація. Досліджено електромагнітну обстановку, яка формується системами життєзабезпечення промислових та житлових будівель і споруд. Актуальність дослідження обумовлена тим фактом, що насиченість побутового середовища електричним та електронним обладнанням знижує ефективність відновлення організму людини після впливу електромагнітних полів у процесі трудової діяльності. Розглядалися умови, за яких як у виробничих, так і побутових умовах усі пристрої, що періодично впливають на рівні електромагнітних полів, були вимкнені. Проведено натурні вимірювання значень електричної і магнітної складових електромагнітного поля промислової частоти та електромагнітних полів частот бездротового зв'язку фонових значень у офісних та житлових приміщеннях. Вимірювання здійснювалися у офісних та житлових приміщеннях у денний та вечірній час. Встановлено, що у денний час електричні поля промислової частоти у офісних приміщеннях склали 18–25 В/м, у житлових – 7–9 В/м; магнітні поля – 0,2–1,8 мкТл, 0,12–0,14 мкТл; щільності потоків енергії електромагнітних полів ультрависоких частот – 0,16–1,20 мкВт/см² та 0,14–1,30 мкВт/см² відповідно. У вечірній час амплітудні значення склали відповідно 13–24 В/м; 14–28 В/м; 0,14–1,30 мкТл; 0,18–0,22 мкТл; 0,12–0,19 мкВт/см²; 0,18–1,35 мкВт/см². Вибірка приміщень випадкова. Вплив зовнішніх джерел на електромагнітну обстановку у приміщеннях не враховувався. Вимірювання полів наднизької частоти здійснювалося без врахування впливу гармонік та інтергармонік промислової частоти, що відповідає вимогам чинних санітарних норм. Показано, що електричні та магнітні поля гармонік промислової частоти, кратні трьом автоматично генеруються в умовах наявності обладнання з нелінійними вольт-амперними характеристиками й наведено розрахунок значень відповідних електричних струмів. Показано, що крім цього, за випадкових несиметричностей електронавантажень на окремі фази трифазної силової мережі можлива додаткова генерація напруг, струмів гармонік промислової частоти та електричних і магнітних полів, які ними генеруються. Враховуючи практичну неможливість уникнення генерації обладнанням з нелінійними вольт-амперними характеристиками генерації полів гармонік промислової частоти та повної симетричності навантаження, обґрунтована доцільність розроблення технічно та економічно прийнятнього обладнання компенсації реактивної потужності у мережах напруги 0,4 кВ з функціями придушення гармонік промислової частоти.

Ключові слова: електромагнітна безпека, система життєзабезпечення, гармоніки промислової частоти.

Вступ

Не дивлячись на впровадження енергозощаджувальних технологій, споживання електроенергії у будівлях і спорудах залишається на високому рівні. Більшість енерговитрат обумовлена роботою виробничого обладнання у промислових будівлях та побутового – у житлових. Але значні витрати електроенергії обумовлені функціонуванням систем життєзабезпечення будівель і споруд. Це ліфтове господарство, вбудовані трансформатори, електроциоти, електропривод насосів водопостачання тощо. Особливо це стосується висотних будівель, у яких на нормативному рівні передбачена наявність вбудованих трансформаторів сухого типу систем примусової вентиляції і комплексу автоматизації інженерних систем будинків. Ці джерела генерують електричні та магнітні поля, що обумовлено фундаментальними фізичними законами. Ситуація ускладнюється тим, що значна частина електричного та електронного обладнання має нелінійні вольт-амперні характеристики. Це автоматично призводить до генерації обладнанням гармонік та інтергармонік електричного струму промислової частоти, які генерують відповідні магнітні поля. В той же час, чинні державні будівельні норми з проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення не

передбачають обов'язкової наявності систем компенсації реактивної потужності з урахуванням наявності гармонік та інтергармонік електроструму промислової частоти.

У результаті, системи забезпечення функціонування будівель і споруд різного призначення генерують електромагнітні поля гігієнічно значущих рівнів. Кількісні значення електричних та магнітних полів такого походження досліджені недостатньо з огляду на постійне оновлення обладнання. Наведене обумовлює актуальність даного дослідження.

Огляд досліджень і розробок. Найбільша кількість досліджень та розробок з тематики, що розглядається стосується якості електроенергії у будівлях в цілому, без з'ясування джерел спотворень.

У роботах [1, 2] визначено кількісні значення електроструму витоку у трифазних силових електромережах та розроблено засоби придушення гармонік та інтергармонік у електромережах. З набуттям чинності в Україні загальноєвропейських стандартів електромагнітної сумісності, наприклад [3, 4] постає задача нормалізації усіх показників якості електроенергії. Головною проблемою з точки зору безпеки людей як у виробничому, так і у побутовому середовищі є те, що гармоніки та інтергармоніки змінного струму промислової частоти генерують відповідні магнітні поля. Ці електроструми протікають тільки нульовим

робочим провідником трифазної електромережі, тому генеровані ними магнітні поля не компенсуються полями, генерованими струмами протилежної спрямованості. Дослідженню джерел гармонії електричних струмів промислової частоти освячена робота [5, 6]. Але на сьогодні вони є застарілими через часткову зміну електричного та електронного обладнання виробничого та побутового призначення. У роботі [7] показано, що більшість систем електроживлення будівель, зокрема системи організації заземлення негативно впливають на електромагнітну обстановку виробничих середовищ. Але джерелами нормативних полів, крім системи електроживлення в цілому, можуть бути конкретні одиниці або групи однотипного обладнання. Щодо об'єктів енергетики, це досліджено у роботі [8]. Щодо підприємств цивільної авіації, то усі можливі джерела електромагнітних полів досліджено у роботі [9]. Але у більшості будівель і споруд є стандартне обладнання життєзабезпечення з великою кількістю електричних та електронних компонентів, які генерують електромагнітні поля непередбачуваних напруженостей та закономірностей поширення. Дослідження електромагнітних полів важливе з точки зору відокремлення генерованих ними полів від полів технологічного обладнання. Це є важливим з точки зору розроблення та впровадження організаційно-технічних заходів електромагнітної безпеки.

Мета роботи – дослідити амплітудно-частотні характеристики електромагнітних полів електричного та електронного обладнання систем життєзабезпечення будівель і споруд та визначити головні напрями їх нормалізації.

Викладення основного матеріалу

Важливість розгляду електромагнітних полів систем життєзабезпечення будівель різного призначення обумовлена тим, що ці системи функціонують постійно, тому створюють електромагнітний фон. Таким чином, відбувається хронічний вплив електромагнітних полів на людей.

Традиційним підходом до визначення впливу будь-яких небезпечних та шкідливих технологічних факторів на людей є дозовий підхід. Щодо електромагнітних полів, то зазвичай оцінюється добуток напруженостей електричних і магнітних полів, або щільності потоку енергії на час впливу. Тому вважалося, що у виробничих умовах працюючі піддаються певному несприятливому впливу з боку електричного або електронного обладнання і такий вплив розраховується для восьмигодинної експозиції.

У позаробочий час вважалося, що відбувається відновлення організму.

У сучасних умовах ситуація дещо змінилася. В останнє десятиріччя відбулося насичення побутового середовища електричним та електронним обладнанням різного призначення, яке має широкий частотний діапазон електромагнітних полів і впливає на людей постійно. Наприклад, це системи бездротового зв'язку різного призначення. Щільності потоків енергії від роутерів невеликі, але у будь-якій будівлі таких пристроїв достатньо багато. В останній час відбувається поступовий перехід на індивідуальні системи підігріву води. Бойлери підключені до системи електроживлення постійно, тому у електромережі у нічний час циркулює електричний струм, який генерує магнітні поля. При цьому електронні системи терморегуляції мають нелінійні вольт-амперні характеристики, що обумовлює складний гармонічний склад цих полів. У таких умовах кумулятивний ефект впливу електромагнітних полів на людей непередбачуваний.

Аналогічно можна розглядати і виробниче середовище, у якому постійно функціонують багато джерел електромагнітних полів.

Визначенню фонових значень електромагнітних полів широкого частотного діапазону як у виробничих, так і у побутових умовах майже не приділялося уваги. Тому доцільно оцінити рівні електромагнітних полів наднизької частоти (промислової) та ультрависоких частот у найбільш типових будівлях. Найпоширенішими виробничими будівлями є будівлі, які умовно можна назвати офісними. Це адміністративні будівлі і приміщення, заклади освіти, більшість медичних закладів тощо. У приміщеннях цих споруд функціонує стандартне обладнання – трифазна силова електромережа, ліфти, циркуляційні насоси систем опалення, комп'ютерна техніка тощо. Основна частина житлових будівель також має однотипне обладнання, яке потенційно може генерувати електромагнітні поля гігієнічно значущих рівнів.

Було проведено вимірювання кількісних значень електричних і магнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот у виробничих та житлових будівлях типових конструкцій у денний та вечірній час. Вимірювання здійснювались каліброваними приладами – вимірювачем електричних та магнітних полів промислової частоти ПЗ-50 та вимірювачем електричних та магнітних полів ПЗ-31 (у діапазоні частот бездротового зв'язку – 1,8–5,0 ГГц).

Результати вимірювань наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення електричної та магнітної складових електромагнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот у виробничих та житлових будівлях

Час вимірювань	Офісні будівлі			Житлові будівлі		
	Е, В/м	В, мкТл	W, мкВт/см ²	Е, В/м	В, мкТл	W, мкВт/см ²
денний	18–25	0,2–1,8	0,16–1,20	7–9	0,12–0,14	0,14–1,30
вечірній	13–24	0,14–1,30	0,12–1,19	14–28	0,18–0,22	0,18–1,35

Вибірка приміщень була випадкова, але наведені дані у табл. 1 достатньо типові. Значні відмінності у даних обумовлені кількома причинами. Миттєві навантаження на силову електромережу дуже відрізняються, навіть у межах однієї будівлі (навантаження на різні фази можуть бути різними у залежності від кількості ввімкнених технічних засобів). Неможливо визначити зовнішній вплив на результати вимірювань. Це навантаження на зовнішні лінії електропередачі, вплив базових станцій мобільного зв'язку тощо.

Встановлено, що у межах будівлі значні відмінності обумовлені розташуванням роутерів у помешканнях та виробничих приміщеннях. Як правило, у помешканнях, навіть у денний час найвищі рівні полів промислової частоти спостерігаються на кухнях, що обумовлене роботою холодильників. При цьому усі вимірювання виконувалися у помешканнях з сучасною побутовою технікою. Навіть наведені дані свідчать про наявність проблеми електромагнітної безпеки. Слід враховувати, що вимірювання виконувалися в умовах повного відключення виробничого та побутового обладнання, яке використовується періодично.

Чинними в Україні санітарними нормами з електромагнітної безпеки [10, 11] у області електромагнітних полів наднизької частоти передбачений контроль електричної та магнітної складових електромагнітного поля промислової частоти. Контроль полів частот гармонік та інтергармонік промислової частоти здійснюють тільки енергетики з точки зору забезпечення синусоїдальності напруги з метою запобігання втрат енергії. Прилади для гігієнічних досліджень цих частот навіть не атестовано в Україні. В той же час відомо, що усі електроспоживачі з нелінійними вольт-амперними характеристиками автоматично генерують напругу і електрострум частот гармонік промислової частоти. Відповідно з'являються й магнітні поля цих частот. Це погіршує електромагнітну обстановку через те, що поля цих частот додаються до поля основної частоти. В той же час сучасні системи придушення гармонії та інтергармонік [2] застосовуються у силових мережах з великими споживаннями електроенергії з метою зниження енерговтрат. Для мереж напругами 0,4 кВ застосовуються найпростіші системи компенсації реактивної потужності із застосуванням батарей конденсаторів. Крім обмеженості їх функціональних можливостей, стан таких батарей у багатьох будівлях незадовільний.

Електричний струм споживача з нелінійними вольт-амперними характеристиками викликає спотворення синусоїдальної напруги (струму) на вході нелінійного навантаження. Вона відома фахівцям як «пласка» синусоїда.

Такий ефект є наслідком падіння напруги на внутрішньому електроопорі мережі. Викривлення напруги U_n на вході навантаження визначається як:

$$U_n(f) = U_M(f) - I(f)Z_M,$$

де $U_M(f)$ – синусоїдальна напруга силової електромережі; $I(f)$ – імпульсний електричний струм навантаження; Z_M – повний опір електромережі з боку навантаження.

Несинусоїдальний характер електричного струму є наслідком падіння напруги на опорі Z . Це обумовлено наявністю на вході нелінійного споживача спотвореної синусоїди напруги. Аналогічне явище має місце на входах усіх споживачів, які підключені паралельно нелінійному навантаженню. у трифазній силовій електромережі генеруються вищі гармоніки напруги промислової частоти, кратні трьом. Так гармоніки мають однакові фази та амплітуди. Це викликає появу у нульовому робочому провіднику трифазної електромережі електричного струму, який дорівнює потроєній сумі електрострумів вищих гармонік, кратних трьом. Навіть за симетричного навантаження несинусоїдальний електричний струм у нульовому робочому провіднику складає:

$$I = 3\sqrt{I_3 + I_9 + \dots I_n}$$

де I_3, I_9, I_n – діючі значення електроструму відповідних гармонік.

Магнітне поле таких струмів не компенсується полем зустрічної спрямованості і погіршує електромагнітну обстановку у будівлі. Не дивлячись на жорсткі вимоги до симетричності електронавантаження окремих фаз у трифазній силовій мережі, симетричність навантаження може порушуватися випадковим чином через вмикання та вимикання достатньо потужних навантажень за наявності у будівлі великої кількості споживачів. Це притаманне як виробничим, так і житловим будівлям. У цьому випадку у силовій електромережі також автоматично з'являються принаймні треті гармоніки електроструму промислової частоти суттєвих амплітуд.

За одночасної появи кількох чинників зміни гармонічного складу електроживлення, навіть за їх незначними окремими значеннями, сумарний ефект може бути гігієнічно значущим фактором впливу на людей.

Практично усі сучасні електричні та електронні пристрої промислового та побутового призначення є електроспоживачами з нелінійними вольт-амперними характеристиками. Це обумовлено вагомими технічними та економічними перевагами. Тому, для зниження впливу небажаних явищ щодо несприятливого впливу електромагнітних полів на людей у виробничих та побутових умовах доцільно розробити прийнятну за функціоналом конструкцію одночасного придушення гармонік та інтергармонік напруги промислової частоти і компенсації реактивної потужності у низьковольтних мережах електроживлення та виробничих і житлових будівель та споруд.

Висновки

1. Натурні вимірювання електричних та магнітних складових електромагнітних полів промислової частоти, а також електромагнітних полів частот бездротового зв'язку у виробничих та житлових приміщеннях свідчить, що навіть за відсутності навантаження з боку технологічного та побутового обладнання рівні електромагнітних полів суттєві.

2. У процесі вимірювань не враховувалися значення електричних та магнітних полів частот гар-

монік та інтергармонік промислової частоти через відсутність санітарних вимог до їх амплітуд значень та відповідного метрологічного забезпечення. Показано, що поля гармонік промислової частоти обов'язково генеруються сучасним обладнанням з нелінійними вольт-амперними характеристиками.

Це обумовлює необхідність врахування полив гармонік для зниження електромагнітного навантаження на людей.

3. Встановлено, що навіть за штатного функціонування силової трифазної електромережі генеруються електромагнітні поля гармонік промислової частоти через випадкові зміни навантаження на окремі фази трифазної електромережі. Тому для придушення гармонік доцільно розробити технічно і економічно прийнятне обладнання, яке одночасно виконує функцію компенсації реактивної потужності у мережах напругами 0,4 кВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Здановський В. Г., Дармофал Е. А., Перельот Т. М. Електроструми витоку як джерела магнітних полів ненормативних рівнів та методи їх зниження. Системи обробки інформації. 2016. Вип. 5 (142). С. 178–181.
2. Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К., Бараненко Е.В. Методи компенсації реактивної потужності в сетях с нелінійними загрузками. Вісник приазовського державного технічного університету. 2013. Вип. 26. С. 204–210.
3. EN 61439-1:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. General rules. European standards. веб-сайт. URL: <https://www.en-standard.eu/une-en-61439-1-2012-low-voltage-switchgear-and-controlgear-assemblies-part-1-general-rules>
4. EN 61439-2:2012. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies. European standards. URL: <https://www.en-standard.eu/une-en-61439-2-2012-low-voltage-switchgear-and-controlgear-assemblies-part-2-power-switchgear-and-controlgear-assemblies>
5. Глива В.А. та ін. Джерела гармонік магнітного поля у будівлях і спорудах та мінімізація їх рівнів. Проблеми охорони праці в Україні. 2015. Вип. 29. С. 48–58.
6. Перельот Т.М. Гармоніки електричних струмів промислової частоти та їх вплив на електромагнітну обстановку у приміщеннях. Гігієна населених місць. 2014. Вип. 64. С. 192–197.
7. Бурдейна Н.Б. Актуальні напрями удосконалення державних будівельних норм проектування нових і реконструкції існуючих закладів освіти. Містобудування та територіальне планування. Київ. 2023. Вип. 82. С. 43-52. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.43-52>.
8. Карпалюк І. Т. Методи та засоби оцінки впливу коронного розряду на якість електропостачання: дис. д-ра техн. наук спец. 05.09.03: Харків, 2020. – 333 с.
9. Козловський В.В., Ходаловський О.В., Тихенко О.М., Куцак А.С. Дослідження електромагнітної обстановки на аеродромах цивільної авіації та формування заходів з її нормалізації. Наукові технології. 2019. Т. 43, № 3. С. 289–294.
10. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [Чинний від 2017-12-22]: затв. наказом М-ва охорони здоров'я України від 01.08.1996 р. № 239. Київ, 2017. 28 с. (Державні санітарні норми України).
11. ДСНіП 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Чинний від 2003-03-13]: затв. наказом М-ва охорони здоров'я України від 18.12.2002 р. № 476. Київ, 2003. 16 с. (Державні санітарні норми України).

Received (Надійшла) 24.09.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2024

Studying the levels of electromagnetic fields of life support systems of buildings and structures

N. Burdeina, Ya Pidlisnyi

Abstract. The electromagnetic environment formed by the life support systems of industrial and residential buildings and structures is investigated. The relevance of the study is due to the fact that the saturation of the living environment with electrical and electronic equipment reduces the efficiency of recovery of the human body after exposure to electromagnetic fields in the course of labor activity. The conditions under which all devices that periodically affect the levels of electromagnetic fields were turned off in both industrial and domestic environments were considered. Field measurements of the electric and magnetic components of the electromagnetic field of industrial frequency and the electromagnetic fields of wireless communication frequencies of background values in office and residential premises were carried out. The measurements were carried out in office and residential premises in the daytime and in the evening. It was found that in the daytime, electric fields of industrial frequency in office premises were 18-25 V/m, in residential premises - 7-9 V/m; magnetic fields - 0.2-1.8 μ T, 0.12-0.14 μ T; energy flux densities of electromagnetic fields of ultrahigh frequencies - 0.16-1.20 μ W/cm² and 0.14-1.30 μ W/cm², respectively. In the evening, the amplitude values were respectively 13-24 V/m; 14-28 V/m; 0.14-1.30 μ T; 0.18-0.22 μ T; 0.12-0.19 μ W/cm²; 0.18-1.35 μ W/cm². The sample of premises is random. The influence of external sources on the electromagnetic situation in the premises was not taken into account. Measurements of ultra-low frequency fields were performed without taking into account the influence of harmonics and interharmonics of industrial frequency, which meets the requirements of current sanitary standards. It is shown that electric and magnetic fields of harmonics of industrial frequency in multiples of three are automatically generated in the presence of equipment with nonlinear volt-ampere characteristics, and the calculation of the values of the corresponding electric currents is given. It is shown that, in addition, under random asymmetries of electrical loads on individual phases of a three-phase power network, additional generation of voltages, harmonic currents of industrial frequency and the electric and magnetic fields generated by them is possible. Taking into account the practical impossibility of avoiding the generation of industrial frequency harmonic fields by equipment with nonlinear volt-ampere characteristics and complete load symmetry, the expediency of developing technically and economically acceptable reactive power compensation equipment in 0.4 kV networks with industrial frequency harmonic suppression functions is substantiated.

Keywords: electromagnetic safety, life support system, harmonics of industrial frequency.