

В. А. Глива, Д. Б. Осадчий

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ОБ'ЄКТАХ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАЦІЇ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБІВ ЇХ НОРМАЛІЗАЦІЇ

Анотація. Досліджено рівні електромагнітних полів на найбільш критичних ділянках підприємства теплової генерації електроенергії. Встановлено, що напруженості електричної та магнітної складових електромагнітного поля промислової частоти на робочих місцях персоналу головного щита керування не перевищують граничні рівні. А електромагнітні поля у контрольованих смугах частот для експлуатації комп'ютерної техніки значно перевищують граничні значення. Підвищені концентрації аероіонів обумовлені розрядами явищами у технологічному обладнанні. Отримано спектр електромагнітних полів радіочастот, який свідчить про складність електромагнітної обстановки. Виміряні напруженості магнітних полів навколо турбогенератора потужністю 320 МВт. До відстаней до 5 м від нього напруженості магнітного поля перевищують гранично допустимі рівні. Визначено, що поблизу генератора існує зона мінімального поля, що доцільно використати для визначення зон безпечного пересування персоналу. Несиметричність поля чотириполюсної електричної машини обумовлена фундаментальними фізичними законами. Проведено вимірювання напруженості магнітного поля поблизу шинопровода. За навантаження 280 МВт і напруги 20 кВ напруженості магнітного поля на відстані 2 м від крайнього струмопровода склали – 1,6–1,7 кА/м, що перевищує граничний рівень (1,4 кА/м). Для зниження впливу електромагнітних полів на персонал рекомендовано застосовувати екранування. Для покриття поверхонь великих площ доцільно застосовувати електротехнічну сталь класу 121, для екранування невеликих об'єктів (джерела безперебійного живлення) доцільно застосовувати стрічковий феромагнітний аморфний сплав.

Ключові слова: електромагнітна безпека, електрогенерація, напруженість поля.

Вступ

Підприємства генерації електричної енергії є об'єктами критичної інфраструктури від безперебійної роботи яких залежить безперебійне функціонування усіх ланок промисловості країни та забезпечення належних умов проживання населення. Крім суто технічних аспектів їх роботи існує проблема забезпечення належних умов праці персоналу цих об'єктів, від якого певним чином залежить безперебійність генерації електроенергії. На сьогодні з усіх підприємств генерації найбільша увага приділяється безпеці атомних електростанцій. Тому для них розроблені окремі нормативи щодо заходів безпеки, у тому числі й такі, що регламентують умови праці персоналу. На цю категорію працюючих навіть не розповсюджуються санітарні норми роботи з комп'ютерною технікою. В той же час найбільша кількість електростанцій в усьому світі це теплові електростанції, які навіть у країнах з великими обсягами ядерної генерації є маневровими потужностями, які компенсують нестачу енергії за пікових навантажень. На такі об'єкти поширюються вимоги усіх чинних санітарних норм.

В той же час умовам праці, принаймні щодо електромагнітної безпеки працюючих, на таких підприємствах приділяється недостатньо уваги. Аналіз доступних джерел свідчить, що дослідження рівнів електромагнітних полів на підприємствах теплоенергетики певним чином застаріли. Водночас значна частина теплових електростанцій в Україні ушкоджена внаслідок терористичних атак і підлягає відновленню. Тому актуальною задачею є дослідження умов праці на таких підприємствах та розроблення комплексу перспективних заходів і засобів нормалізації електромагнітної обстановки як на робочих місцях персоналу, так і зниження впливу на населення.

Аналіз публікацій з електромагнітної безпеки об'єктів енергетики. Проблематиці забезпечення електромагнітної безпеки персоналу енергетичних об'єктів присвячено роботи [1, 2]. Розглядалися умови праці персоналу турбогенерованих залів, щитів керування різного рівня. Але ці дослідження певним чином застаріли й потребують уточнення у сучасних умовах. Електромагнітні поля розглядалися у комплексі з іншими фізичними факторами [3], що має певні переваги, але й обмежує дослідження саме електромагнітного чинника. Тим більше, з того часу в Україні методом підтвердження набула чинності низка міжнародних стандартів з електромагнітної сумісності, наприклад [4, 5], що накладає додаткові обмеження на амплітудно-частотні характеристики електромагнітних полів.

Слід враховувати також вимоги нової редакції міжнародного стандарту з електромагнітної безпеки [6], який регламентує рівні електромагнітних полів як для працюючих, так і для населення, і є невід'ємною складовою Європейської директиви з електромагнітної безпеки [7]. У той же час, навіть лінії електропередачі, які відбирають енергію з об'єктів генерації є джерелами магнітних полів гігієнічно значущих рівнів, які потребують екранування [8, 9].

На сьогодні відсутні дослідження щодо рівнів електромагнітних полів відкритих розподільчих пристроїв, значна кількість яких розташована у межах населених пунктів. Наведе обумовлює актуальність дослідження амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів об'єктів електрогенерації й визначення заходів і засобів їх нормалізації та підтримання на нормативному рівні.

Мета дослідження – визначення амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів на об'єктах електрогенерації на розроблення засобів їх нормалізації.

Викладення основного матеріалу

Джерела електромагнітних полів на підприємствах генерації електричної енергії можна умовно розділити на дві категорії: локалізовані та розосереджені у просторі. Така градація обумовлює різні методологічні підходи до зниження напруженостей цих полів. До локалізованих можна віднести генератори та трансформатори. Розосередженими є лінії електропередачі, шинопроводи та обладнання відкритих розподільчих пристроїв.

Найбільш відповідальною ланкою підприємства генерації електроенергії є щити керування. Це обумовлене тим, що від безпомилкових дій персоналу щитів значною мірою залежить стабільність і безаварійність роботи підприємства. На рівні електромагнітних полів на робочих місцях персоналу щитів впливають багато факторів, а згідно чинним санітарним нормам умови праці повинні відповідати нормам роботи з комп'ютерною технікою.

Схема головного щита керування наведена на рис. 1.

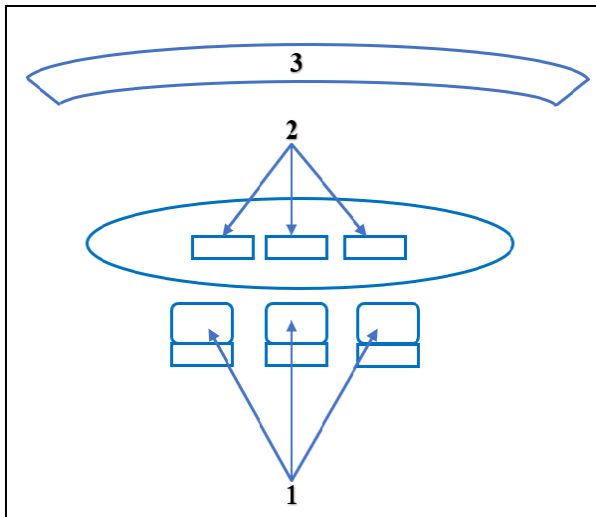


Рис. 1. Схема розташування обладнання головного щита керування теплової електростанції: 1 – робочі місця персоналу, 2 – монітори персональних комп'ютерів, 3 – щит з вимірювальною апаратурою

Слід зазначити, що у загальному випадку ця схема однотипна, але на кожному енергетичному об'єкті відстані робочих місць від шаф з контрольним обладнанням різні. Не стандартизоване комп'ютерне обладнання, ємності й потужності джерел безперебійного живлення. Чи не головною відмінністю є різні режими вентиляції. Тому за будь-яких умов розглядається випадок.

Теж слід зазначити, що згідно з гігієнічною класифікацією умов праці [10] умови праці персоналу щитів керування відповідають класу 3.2. Вимірювання рівнів електромагнітних полів на робочих місцях персоналу здійснювалося для частоти 50 Гц і окремо для частотних смуг 5 Гц–2 кГц та 2 кГц–400 кГц, що відповідає вимогам загальноєвропейського стандарту MPR II [11].

Результати вимірювань наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення електромагнітних полів на робочих місцях персоналу головного щита керування

Частота, Гц	Амплітудні значення	
	В, нТл	Е, В/м
50	8700–9100	60–64
5–2000	340–380	24–26
2000–400000	28–34	5,6–6,0

Як видно з табл. 1, значення індукції магнітного та напруженості електричного поля промислової частоти нижчі за гранично допустимі рівні для виробничих умов. Але значення магнітного та електричного поля у контрольованих смугах для засобів обчислювальної техніки значно перевищують гранично допустимі рівні. Додатково було виміряно значення щільностей потоків енергії на частотах бездротового зв'язку 1,8–5,0 ГГц. Вимірювання показали, що це значення перебуває у межах 1,8–2,5 мкВт/см², що відповідає нормативу. Але приміщення головного щита певним чином заэкрановано великою кількістю металевих конструкцій та обладнання. Зазвичай у таких умовах, навіть у залізобетонних будівлях зі щільним розташуванням арматури сигнали значно нижчі. Тому було додатково визначено можливості генерації височастотних випромінювань технологічним обладнанням. Складність полягає у тому, що вимірювання атестованим в Україні каліброваним приладом ПЗ-31 можливі тільки у діапазоні 300 МГц – 30 ГГц, тобто вимірюється інтегральна величина. Вимірювання на частотах бездротового зв'язку – 1,8; 2,4; 2,6; 5,0 ГГц неможливі через те, що ці частоти досить умовні. Реальні робочі частоти відрізняються від них на довільну величину, що натурними вимірюваннями з'ясувати дуже важко.

Було здійснено вимірювання кількісних значень електрозалежного фізичного чинника - концентрації аероіонів у приміщенні головного щита керування.

Значення концентрації:

негативних аероіонів – 650–720 см⁻³,

позитивних – 760–780 см⁻³, ($t = 18 - 19$ °С; $\phi = 45 - 50$ %).

Такі концентрації згідно [10] є нормативними. Але за наявності великої кількості заземлених металевих конструкцій зазвичай спостерігається тенденція до деіонізації повітря. Це свідчить про можливість наявності у приміщенні джерел іонізації повітря. Таким джерелом можуть бути електричні розряди, наприклад коронні.

Будь-які розряди генерують електромагнітні поля високих частот. Вимірювання спектрального складу електричного поля наведено на рис. 2.

Контроль значень електромагнітного поля до частот 300 МГц здійснюється окремо за електричною та магнітною складовими.

Наведені на рис. 2 дані свідчать, що відбувається певна генерація електромагнітних полів радіочастот, яка не притаманна показникам зовнішнього середовища.

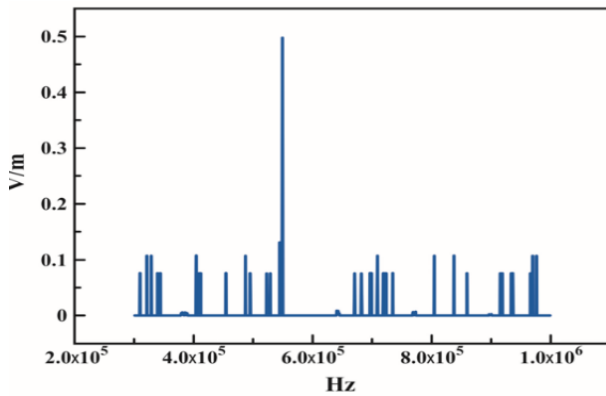


Рис. 2. Спектральний склад електричного поля радіочастот у приміщенні головного щита керування

Амплітудні значення за окремими частотами незначні, але інтегральне значення може бути суттєвим. Слід зазначити, що у процесі вимірювання рівнів полів частот мобільного зв'язку періодично з'являлися короточасні сплески значень поля 4300–5000 мкВт/см². Це набагато вище за чинні граничні значення (100 мкВт/см²), але походження і закономірності появи цих полів не виявлено.

Порівняння отриманих даних з результатами наведеними у роботі [3], свідчить про суттєві відмінності показників на однотипних об'єктах. Дані [3] отримані у зимовий період, тому значення концентрації аероіонів можуть відрізнятися, але це не стосується електромагнітного фактора. Можна дійти висновку, що роботи з моніторингу та нормалізації електромагнітної обстановки на таких об'єктах, як підприємства електрогенерації доцільно виконувати окремо для кожного підприємства.

Було проведено вимірювання значень магнітної складової електромагнітного поля промислової частоти біля турбогенератора ТГВ 320 потужністю 320 МВт. На момент вимірювань потужність складала 280 МВт. Вимірювання здійснювалися з правого та лівого боку генератора, розташованого горизонтально на майданчику обслуговування. Результати вимірювань наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Напруженості магнітних полів з двох боків турбогенератора

Бік	Відстань, м	H, кА/м
Правий	1	3,2–3,3
	3	2,8–2,9
	5	1,7–1,8
Лівий	1	3,2–3,3
	3	1,2–1,3
	5	1,4–1,5

Отримані результати свідчать, що в усіх точках вимірювання напруженості магнітних полів перевищують гранично допустимий рівень (1,4 кА/м). Виняток – напруженість поля на відстані 3 м з лівого боку генератора. Це явище притаманне магнітному полю електричних машин змінного струму.

За різних закономірностей зниження напруженостей полів двох перших гармонік магнітного поля існує точка нульового значення поля з одного боку електричної машини. Поле усіх багатополусних машин несиметричне, що впливає з дипольно-квадрупольної форми поля (для чотиріпольної машини). Цей факт можна використовувати для визначення зон безпечного пересування персоналу.

За роботи генератора у режимі 280 МВт з робочою напругою 20 кВ шинпроводами тече електричний струм порядку 2,8 кА. Тому були проведені вимірювання напруженості магнітного поля біля шинпроводів. Не дивлячись на те, що шинпроводи мають зовнішню металеву оболонку, на відстані 2 м від крайнього фазного струмопроводу напруженості магнітного поля складали 1,6–1,7 кА/м. Тобто, пересування персоналу містком над повітропроводом повинне бути обмежене.

Слід зазначити, що концентрації аероіонів у турбогенераторній залі перебувають у нормативних межах – негативні – 600–650 см⁻³, позитивні – 670–700 см⁻³. Це можна пояснити іонізацією повітря у колекторному вузлі електричної машини.

Результати вимірювань свідчать, що найбільш критичні перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів притаманне робочим місцям персоналу головного щита керування. За рівнями вони не є критичними щодо впливу на здоров'я людей, але формально неприпустимі з точки зору експлуатації комп'ютерної техніки. У такій ситуації можливі проблеми зі стабільністю роботи електронного обладнання.

Для зниження рівнів як електричних так і магнітних полів найбільш ефективним методом є екранування джерел. Чітке визначення джерел полів з боку контрольного обладнання щита керування (3, рис. 1) складне, тому за можливості доцільно заекранувати усе обладнання, крім пристроїв візуалізації даних. Для цього достатньо ефективною є електротехнічна сталь класу 121. В той же час заздалегідь критичне джерело – джерело безперебійного живлення комп'ютерів доцільно екранувати металополімерним гнучким композитом або стрічковим аморфним феромагнітним сплавом.

Ці екрануючі матеріали мають ту перевагу, що залежності їх захисних властивостей від амплітудно-частотних характеристик електромагнітних полів, які потребують екранування, добре досліджені. Слід враховувати, що електротехнічна сталь 121 достатньо ефективна для екранування магнітної складової електромагнітного поля промислової частоти. Але за підвищення напруженості магнітного поля до значень, більших за 150–200 А/м коефіцієнт екранування знижується.

Недоліком матеріалу є великі коефіцієнти відбиття височастотних електромагнітних хвиль. Аморфний кобальтовий сплав надзвичайно ефективний для усього низькочастотного діапазону. Але за напруженості магнітного поля більше за 50 А/м коефіцієнт екранування різко знижується. У цьому випадку найкращий ефект досягається його комбінацією із залізо-нікелевим сплавом. У будь-якому випадку

застосування екранування відбувається за результатами моніторингу електромагнітної обстановки.

Висновки

1. Встановлено, що на робочих місцях головних щитів керування підприємств генерації електроенергії мають місце перевищення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів у контрольованих діапазонах для комп'ютерної техніки. Крім того вимірювальне обладнання щитів генерує складний спектр електромагнітних полів радіочастот.

2. Напруженості магнітних полів біля турбогенераторів у більшості перевищують гранично допустимі значення. Але існують зони з одного боку

генератора де напруженості магнітного поля мінімальні. Цей факт доцільно використовувати для визначення маршрутів безпечного пересування персоналу. Напруженості магнітних полів біля шинопроводів також перевищують гранично допустимі рівні. Це обумовлює доцільність обмеження часу перебування людей у цих зонах.

3. Для зниження рівнів магнітних полів промислової частоти, електричних та магнітних полів контрольованих частотних смуг для комп'ютерної техніки доцільно впроваджувати екранування. Найбільш прийнятними екрануючими матеріалами є електротехнічні сталі класу 121 та аморфні феромагнітні сплави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Здановський В. Г., Глива В. А., Паньків Х. В. Дослідження рівня магнітних полів енергетичних об'єктів. Проблеми охорони праці в Україні. 2013. Вип. 25. С. 22–29.
2. Паньків Х.В., Глива В.А. Методи визначення та зниження впливу електромагнітних полів енергетичних об'єктів на персонал. Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. 2013. Вип. 758. С. 51–56.
3. Паньків Х.В. Нормалізація фізичних факторів виробничого середовища енергетичних об'єктів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 Київ, 2016. 22 с.
4. IEC 61000-3-12:2011. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase. International Electrotechnical Commission. URL: https://www.iec.ch/emc/emc_prod/prod_emission.htm
5. 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>
6. Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 KHz to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Health Physics. 2020. Vol. 118, № 5. P. 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>.
7. 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) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>
8. Grinchenko V.S. Mitigation of three-phase power line magnetic field by grid electromagnetic shield. Tekhnichna Elektrodynamika. 2018. Vol. 2018, Issue 4. P. 29–32. <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.029>.
9. Glyva V., Levchenko L., Panova O., Tykhenko O., Radomska M. The composite facing material for electromagnetic fields shielding. Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 907. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012043/meta>
10. ДСНтаП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затв. Наказом МОЗ України від 8.04.2014 № 248. [Чинний від 2014-05-30]
11. MPR II. The Swedish government standard for maximum video terminal radiation. URL: <https://www.computerlanguage.com/results.php?definition=TCO>

Received (Надійшла) 24.09.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2024

Studying the levels of electromagnetic fields at power generation facilities and developing means of their normalization

V. Glyva, D. Osadchiy

Abstract. The levels of electromagnetic fields in the most critical areas of a thermal power generation enterprise are investigated. It is established that the intensity of the electric and magnetic components of the electromagnetic field of industrial frequency at the workplaces of the main control panel personnel does not exceed the limit levels. And the electromagnetic fields in the controlled frequency bands for the operation of computer equipment significantly exceed the limit values. Elevated concentrations of air ions are caused by discharge phenomena in technological equipment. The spectrum of radio frequency electromagnetic fields was obtained, which indicates the complexity of the electromagnetic situation. The magnetic field strengths around a 320 MW turbine generator were measured. For distances up to 5 m from it, the magnetic field strengths exceed the maximum permissible levels. It was determined that there is a zone of minimal field near the generator, which is advisable to use to determine the zones of safe movement of personnel. The asymmetry of the field of a four-pole electric machine is due to fundamental physical laws. The magnetic field strength near the busbar was measured. At a load of 280 MW and a voltage of 20 kV, the magnetic field intensity at a distance of 2 m from the outermost current conductor was 1.6–1.7 kA/m, which exceeds the limit level (1.4 kA/m). To reduce the impact of electromagnetic fields on personnel, it is recommended to use shielding. To cover large surfaces, it is advisable to use electrical steel of class 121, for shielding small objects (uninterruptible power supply) it is advisable to use a tape ferromagnetic amorphous alloy.

Keywords: electromagnetic safety, power generation, field strength.