

УДК 577.4:621.013

В.Г. Здановський, д-р техн. наук (*ДУ «ННДІПБОП»*),
В.А. Глива, д-р техн. наук (*НАУ*),
Х.В. Паньків (*НТУ «Львівська політехніка»*)

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ МАГНІТНИХ ПОЛІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вступ. Підвищення потужностей та ущільнення розміщення електричного технологічного обладнання у виробничих приміщеннях має наслідком збільшення електромагнітного навантаження на виробниче середовище.

У першу чергу це стосується підприємств енергетичної галузі, зокрема електростанцій, обладнанню яких притаманні великі робочі струми та напруги, що їх генерують магнітні та електричні поля промислової частоти гігієнічно значущих рівнів зі складними просторовими розподілами.

Не зважаючи на це, системні дослідження кількісних значень, просторових і часових змін цих полів не проводились. Поодинокі роботи у цьому напрямі [1, 2] проводилися лише вибірково, як, наприклад, дослідження електричних полів підстанцій високої напруги. Наявність екранування магнітного поля робочих зон електростанцій (шинопроводів) доводить актуальність проблематики захисту персоналу енергетичних об'єктів від впливу електромагнітних полів промислової частоти.

Актуальність та постановка задачі досліджень. Сьогодні головними методами захисту працівників від впливу зазначеного фізичного фактора є обмеження часу перебування персоналу у визначених зонах (захист часом) і дистанціонування від джерел поля (захист відстанню). Використання цих методів не завжди є можливим і доцільним (наприклад, для персоналу центрального щита управління електростанції).

Надійним способом захисту є екранування магнітних полів окремих технічних засобів або робочих місць, але його використання потребує наявності достовірних даних про амплітудні та частотні характеристики і спрямованості екранованих електромагнітних полів [3]. Останній параметр може бути визначено моделюванням просторових розподілів полів, проте, як зазначено авторами в роботі [4], будь-яке моделювання базується на низці спрощень і припущень, що робить отримані моделі такими, що не відповідають реальним умовам експлуатації електрогенеруючого обладнання.

Реальний електричний пристрій, такий як електрогенератор, особливо великої потужності, не можна розглядати як джерело електромагнітного поля одного типу (дипольне, дипольно-квадрупольне тощо) через складність його конструкції [5].

Тому розробленню методів і заходів із захисту персоналу енергетичних об'єктів мають передувати ретельні експериментальні дослідження рівнів і просторових розподілів електромагнітних полів навколо типових електричних машин. Насамперед, йдеться про генеруючі джерела струму – турбогенератори.

Мета та основний зміст роботи – дослідження кількісних характеристик електромагнітних полів у найбільш критичних місцях енергетичних об'єктів і визначення основних напрямів робіт із захисту працюючих від їх впливу.

Натурні вимірювання виконувалися на тепловій електростанції. Контрольованими пристроями були турбогенератори змінного струму

промислової частоти потужністю 100 МВт і 150 МВт, які на момент досліджень працювали із навантаженням відповідно 80 МВт і 105 МВт.

Вимірювання напруженостей магнітного поля здійснювалося перевірочним вимірювачем напруженості поля промислової частоти ПЗ-50.

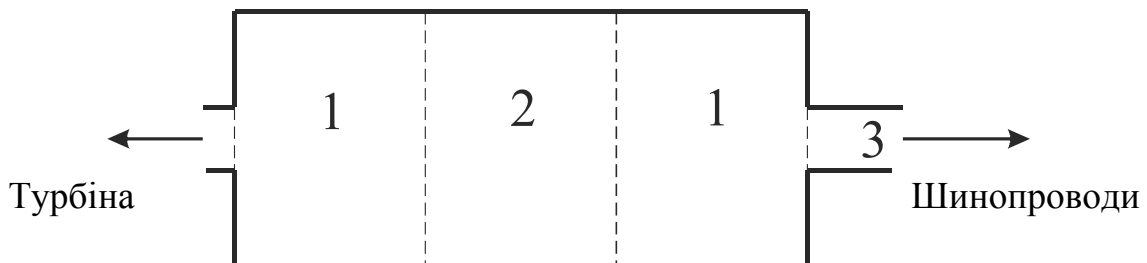
Вимірювання рівня іонізованості повітря виконувалося з використанням перевірочного лічильника аероіонів МАС-01. Останнє є необхідним з огляду на те, що зміна концентрацій аероіонів певним чином свідчить про наявність розрядних процесів та електризацію поверхонь.

Зовнішній вигляд досліджуваного генератора наведено на рис. 1.



Рис. 1. Турбогенератор ТГВ-100 у машинному залі теплової електростанції

Вимірювання напруженостей магнітних полів виконувалося у трьох характерних зонах, де їх значення суттєво відрізняються (рис. 2).



*Рис. 2. Характерні зони вимірювання магнітних полів турбогенератора потужністю 100 МВт:
1 – зони обмоток ротора; 2 – зона розташування полюсів; 3 – колектор*

Результати досліджень. Результати вимірювання магнітних полів на відстані 1 м від статора генератора наведено у табл. 1. Потужність турбогенератора в процесі досліджень складала 80 МВт.

Таблиця 1

Позонне вимірювання магнітного поля турбогенератора 100 МВт

Зона	Напруженість магнітного поля Н, кА/м
1	1,3 ... 1,5
2	3,0 ... 6,1
3	2,4 ... 2,9

З аналізу отриманих результатів видно, що поблизу генератора рівні магнітних полів значно перевищують гранично допустимі рівні (далі – ГДР) 1,4 кА/м згідно з [3]. При цьому найвищих значень вони досягають у зоні розташування полюсів генератора. Їх значні розбіжності пояснюються дипольним характером поля кожного полюса [5]. Загальну структуру магнітного поля генератора наведено на рис. 3 (генератор – чотириполюсна електрична машина).

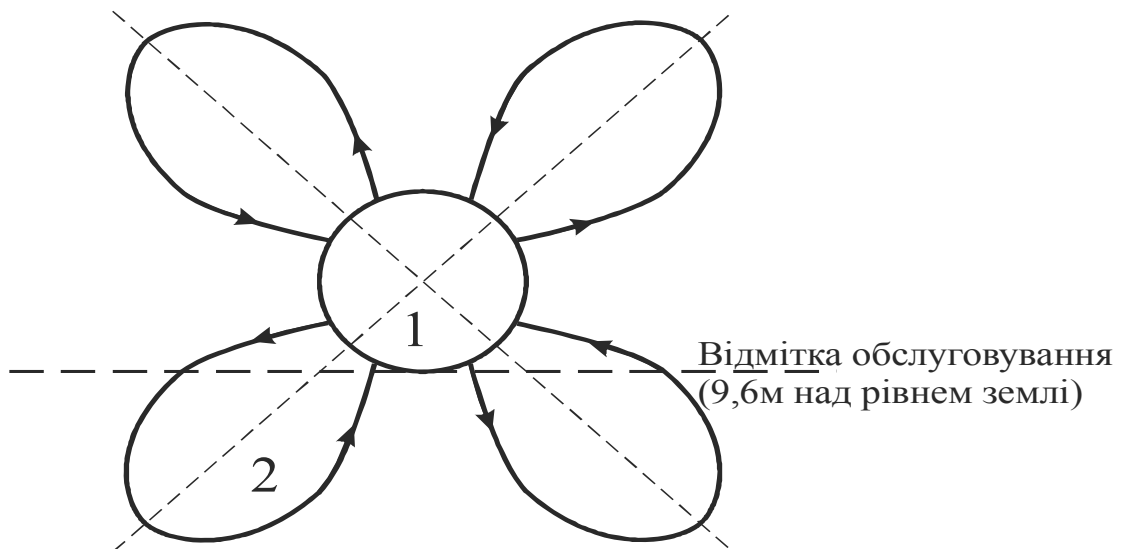


Рис. 3. Структура магнітного поля турбогенератора:
 1 – генератор, 2 – пелюстки напруженості магнітного поля

Про таку структуру свідчить орієнтація вимірювальної антени при максимальному значенні магнітного поля. При цьому це значення збігається з рівнем підлоги відмітки обслуговування. Необхідно, однак, враховувати, що це може бути деякою мірою результатом наведення магнітного поля металевими покриттями.

Рівні магнітного поля у безпосередній близькості від колекторного вузла також значно перевищують гранично допустимі. При цьому заслуговує на увагу той факт, що у цій зоні концентрації аероіонів обох знаків складають $790 \dots 840 \text{ см}^{-3}$, у той час як середні значення цих концентрацій по машинному залу – $190 \dots 220 \text{ см}^{-3}$. Це свідчить про наявність розрядних процесів у цьому вузлі, які обов'язково додатково генерують пакет електромагнітних випромінювань радіодіапазону.

Відомо, що дипольно-квадрупольні джерела генерують магнітні поля, напруженості яких знижуються з відстанню зворотньокубічно і можуть бути визначені розрахунком.

Розглянемо магнітний диполь, розташований у початковій зоні координат (рис. 4).

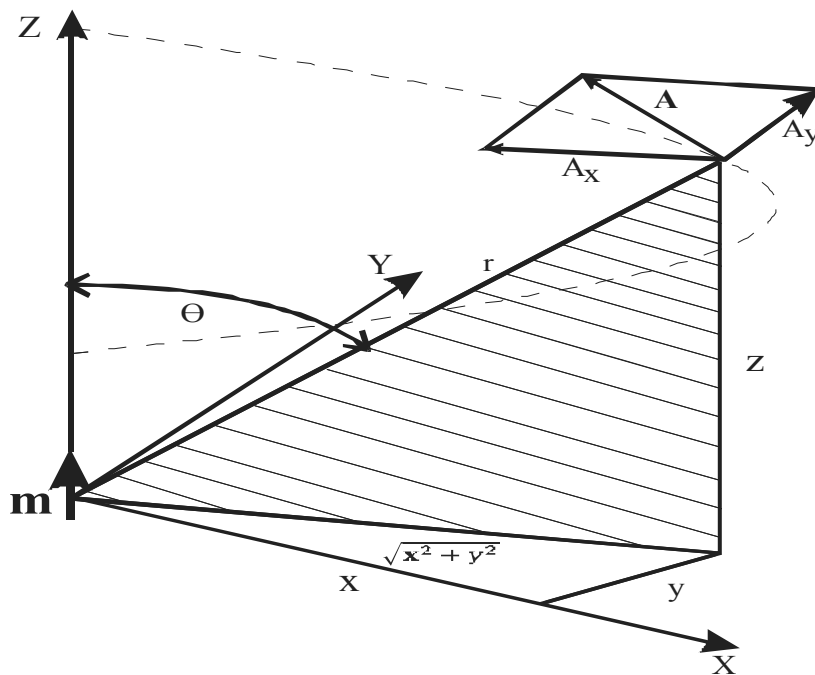


Рис. 4. Графіки розрахунку компонентів магнітного поля: m – магнітний диполь, A – вектор-потенціал поля диполя

Вектор дипольного моменту m збігається з додатнім напрямком осі z . Для визначення вектор-потенціалу у будь-якій точці (x, y, z) необхідно врахувати, що $r^2 = x^2 + z^2$, а $\sin \theta = \sqrt{x^2 + y^2} / r$. Для спрощення виразів загальні розрахунки доцільно виконувати у Гаусовій системі, що не впливає на кінцевий результат.

Модуль A вектор-потенціалу у цій точці дорівнює:

$$A = \frac{m \sin \theta}{r^2} = \frac{m \sqrt{x^2 + y^2}}{r^3} \quad (1)$$

Враховуючи, що вектор A збігається з дотичною до горизонтального кола навкруги осі Z , його компоненти складають:

$$A_x = A\left(\frac{-y}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) = -\frac{my}{r^3} \quad (2)$$

$$A_y = A\left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) = \frac{my}{r^3} \quad (3)$$

$$A_z = 0. \quad (4)$$

Обчислимо компоненти вектора магнітної індукції B для точки у площині XZ , визначаючи $rot A$:

$$rot \mathbf{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \mathbf{k},$$

де i, j, k – одиничні вектори, та враховуючи, що $y = 0$

$$B_x = (\nabla \times A)_x = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial z} \cdot \frac{mx}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{3mxz}{r^5}, \quad (5)$$

$$B_y = (\nabla \times A)_y = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \cdot \frac{-my}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{3mxz}{r^5}, \quad (6)$$

$$B_z = (\nabla \times A)_z = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} = m \left[\frac{-2x^2 + y^2 + z^2}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} + \frac{x^2 - 2y^2 + z^2}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} \right] = \frac{m(3z^2 - r^2)}{r^5}. \quad (7)$$

У площині XZ $y = 0$, $\sin \theta = x/r$, $\cos \theta = z/r$, тому компоненти магнітного поля у будь-якій точці площини дорівнюють

$$B_x = \frac{3m \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{r^3}, \quad (8)$$

$$B_y = 0, \quad (9)$$

$$B_z = \frac{m(3\cos^2\theta - 1)}{r^3}. \quad (10)$$

Таким чином, виходячи з максимальних значень магнітних полів, на достатньо значних відстанях від генератора у зоні перебування обслуговуючого персоналу спостерігається перевищення гранично допустимих рівнів магнітних полів.

Слід зауважити, що рівні магнітних полів генератора ТГВ-150, що працював у режимі 105 МВт, мають у відповідних характерних зонах кількісні значення кращі, ніж розглянуті вище. Пояснити це можна більш вдалою орієнтацією полюсів генератора відносно зон перебування персоналу.

Підсумовуючи викладене, можна зробити *висновки*:

1. Поблизу турбогенераторів теплових електростанцій у місцях перебування персоналу має місце перевищення гранично допустимих рівнів магнітних полів промислової частоти.

2. Структури магнітного поля чотириполусної електричної машини свідчать про те, що рівні магнітного поля у місцях перебування персоналу значною мірою визначаються орієнтацією полюсів генератора відносно відмітки обслуговування. Оптимізація орієнтації полюсів може бути одним із дієвих шляхів нормалізації рівнів магнітних полів, а також покращить умови праці персоналу.

3. Колекторний вузол генератора, крім магнітних полів промислової частоти, є джерелом електромагнітних випромінювань широкого частотного діапазону, що потребує ретельних досліджень.

4. Є нагальна потреба розроблення комплексу працезохоронних заходів зі зниження впливу магнітних полів на персонал як поблизу турбогенераторів, так і у суміжних виробничих приміщеннях машинного залу електростанції.

Статтю, що публікується, слід вважати багато в чому постановочною, її проблематика потребує подальших досліджень з метою оптимізації конфігурації та просторової орієнтації структури магнітного поля генеруючого електрообладнання, а також вибору ефективних методів захисту персоналу станцій від впливу електромагнітних полів. Ними можуть бути також:

- раціональне розміщення робочих місць;
- екранування робочих місць захисними матеріалами;
- екранування окремих зон генераторів.

Список літератури

1. Шевченко С.Ю. Исследование электрических полей промышленной частоты типовых подстанций ВН в городской черте / С.Ю. Шевченко, А.А. Окунь // Гігієна населених місць. – 2011. – Вип. 58. – С. 199–206.
2. Резинкина М.М. Экранирование магнитного поля промышленной частоты в рабочих зонах электростанций / М.М. Резинкина, В.С. Гринченко, Ю.Д. Думанский, С.В. Медведева // Гігієна населених місць. – 2010. – Вип. 55. – С. 249–255.
3. Глива В.А. Критерії вибору захисних матеріалів для екранування електромагнітних полів: Зб. наук. праць // Проблеми охорони праці в Україні. – К. «ННДПБОП». – 2011. – Вип. 21. – С. 68–76.
4. Щерба А.А. Моделирование и анализ электрических полей энергетических объектов / А.А. Щерба, М.М. Резинкина. – К.: Наукова думка, 2008. – 248 с.
5. Волохов С.А. Закономерности распределения внешнего магнитного поля электрооборудования / С.А. Волохов, П.Н. Добродеев // Электротехника. – 2006.–№ 4. – С. 28–33.
6. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: Держ. Сан. Пін. 3.3.6.096-2002 [Чинний від 2003-01-04]. – К.: МОЗ України, 2003. – 16 с. (Державні санітарні норми України).

Дата подання статті до збірника – 03.12.2012