

в) визначено величини підігрівання газу для систем охолодження, що розглядаються, рівень температур газу на виході із системи охолодження становить відповідно 82, 80, та 79 °С для схеми з прямим, спеціально спрофільованим дефлектором та округленим дефлектором;

г) показано, що значні втрати тиску в системі охолодження є найбільшими для ситуації прямого дефлектора ( $\Delta P_{\Sigma} = 1600$  Па), і неістотно відрізняються між собою для інших схем охолодження ( $\Delta P_{\Sigma} = 1495$  Па при застосуванні спеціально спрофільованого дефлектора та  $\Delta P_{\Sigma} = 1485$  Па для округленого дефлектора).

1. Фиалко Н.М., Бутовский Л.С., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В., Меранова Н.О., Алешко С.А., Полозенко Н.П. Компьютерное моделирование процесса смесеобразования в горелочных устройствах стабилизаторного типа с подачей газа внедрением в сносный поток воздуха // Пром. Теплотехника. – 2011. – №1. – С. 51–57. 2. Бутовский Л.С., Грановская Е.А., Фиалко Н.М. Устойчивость факела за плоским стабилизатором при подаче газа внедрением в воздушный поток // Технологические системы. – 2010. – Т. 52. – №3. – С. 72–76. 3. Фиалко Н.М., Прокопов В.Г., Шеренковский Ю.В. и др. Компьютерное моделирование процессов переноса в системах охлаждения горелочных устройств стабилизаторного типа // Промышленная теплотехника. – 2012. – №1. – С.64–71.

УДК 621.319.7

Х.В. Паньків<sup>1</sup>, В.А. Глива<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра охорони праці,

<sup>2</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ’ЄКТІВ НА ПЕРСОНАЛ

© Паньків Х.В., Глива В.А., 2013

Розглянуто методологічні підходи до визначення електромагнітної обстановки навколо обладнання енергетичних об’єктів з різними закономірностями просторових розподілів електромагнітних полів. Розроблено засади неперервного моніторингу рівнів полів з можливістю розширення переліку відстежуваних параметрів. Визначено найефективніші матеріали для захисту працівників від електромагнітних впливів і окреслено напрями подальших досліджень у цій галузі.

Ключові слова: електромагнітне поле, охорона праці, енергетичний об’єкт, екранування.

The methodological approaches to determining the electromagnetic environment equipment energy facilities with different patterns of spatial distribution of the electromagnetic fields. A framework of continuous monitoring of the levels of fields with the possibility of expanding the list of tracked parameters. Determined the most effective materials to protect workers against electromagnetic influences and outlines directions for further research in this area.

Key words: electromagnetic field, labour protection, power object, screening.

### Вступ

Сьогодні електромагнітні поля та випромінювання є одним з найвагоміших фізичних факторів негативного впливу на людей [1].

Особливістю електромагнітних полів, продукованих обладнанням у енергетичній галузі, є їх високі рівні та різні закономірності формування і поширення. Також варто зазначити, що головні фактори впливу на працівників різних об'єктів та підприємств відрізняються: для електричних машин різного призначення – це магнітна складова електромагнітного поля, для відкритих розподільчих систем та ліній електропередач – електрична складова. Всі вищезазначені фактори обумовлюють необхідність виконання як експериментальних, так і теоретичних досліджень щодо визначення рівнів описаних полів та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо зниження їх впливу на персонал.

### **Актуальність роботи**

Незважаючи на актуальність окресленої проблематики, наукові дослідження у цьому напрямі мають поодинокий характер та, зазвичай, присвячені розв'язанню якоїсь локальної задачі. У роботі [2] розглядається захист від магнітного поля трифазних провідників струму (комплектних екранованих провідників струму), які з'єднують генератори з силовими підвищуючими трансформаторами. Констатуючи перевищення граничнодопустимих рівнів магнітного поля поблизу таких провідників струму, автори пропонують підсилити їх екранування традиційними алюмінієвими стрічками.

У роботі [3] визначаються електричні поля промислової частоти підстанцій високої напруги. На відміну від більшості попередніх досліджень, у ній розглядаються не тільки дроти ошиновки і повітряні лінії, а й портали і стійки силового та допоміжного обладнання підстанцій, що дає змогу отримати детальнішу картину розподілу електричного поля поблизу цих об'єктів. Проте методи визначення рівнів поля за допомогою розрахунків викликають сумніви, особливо щодо їх практичного використання у виробництві. Заслугує на увагу спроба моделювання просторових розподілів цих полів, але вони визначаються практично у межах технічного засобу, де перебування персоналу є епізодичним.

Досвід досліджень та випромінювань у галузі захисту працівників від впливу електромагнітних полів довів, що такі роботи повинні виконуватися з урахуванням забезпечення електромагнітної сумісності технічних засобів [4]. Крім того, розрахункові методи та моделювання поширення та просторового розподілу електромагнітних полів доцільно здійснювати з урахуванням специфіки їх джерел, за допомогою математичного апарата та пакетів прикладних програм, які можуть бути використані як на стадіях проектування енергетичних об'єктів, так і у виробничих умовах.

### **Мета дослідження**

Метою роботи є розроблення методичних засад визначення рівнів електромагнітних полів обладнання енергетичних об'єктів та основних напрямів робіт зі зниження їх впливу на персонал.

### **Виклад основного матеріалу**

Особливістю формування електромагнітної обстановки поблизу та усередині приміщень енергетичних об'єктів є різноманітність енергообладнання. У цей перелік можна долучити: генеруюче обладнання, провідники струму, розподільчі щити, трансформатори тощо. Важливим є той факт, що пульти керування та обчислювальна техніка, зазвичай, також розміщуються на відстані досягання впливу магнітних полів технологічного обладнання.

Наведене устаткування генерує магнітні поля різної амплітуди з різними закономірностями поширення. Так лінійні електроструми генерують електромагнітні поля, які згасають зворотно пропорційно до відстані від них. Замкнені контури є джерелами електромагнітних полів зі зворотно квадратичною функцією згасання. Практично усі електричні машини мають дипольну структуру магнітного поля. Так, наприклад, чотириполюсний генератор є дипольно-квадрупольним джерелом.

Найпоширенішим методом визначення електричної та магнітної складових електромагнітних полів вищенаведених об'єктів є вимірювання їх амплітуди засобами вимірювальної техніки. Проте

через значне коливання навантаження на усіх ланках енергосистеми відбувається значна зміна необхідних вимірюваних параметрів, що потребує великих обсягів замірювань, а це можливо зробити не завжди.

Найбільш раціональним є використання розрахункових методів визначення таких полів. Це надає можливість їх прогнозування на стадіях проектування, розміщення та монтажу обладнання.

Як зазначалося вище, особливостями низькочастотних джерел є те, що генеровані ними електромагнітні поля мають різні закономірності згасання з відстанню.

Для лінійних джерел поля, якими є повітряні та кабельні лінії електропередач, розрахунок електричної та магнітної складових електромагнітних полів матиме такий вигляд:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}, (B/м) \quad B = \frac{\mu\mu_0 I_{\text{эф}}}{2\pi r}, (Тл)$$

де  $E$  – напруженість електричної складової електромагнітного поля;  $B$  – індукція магнітної складової;  $\tau$  – лінійна густина заряду у провіднику;  $I_{\text{эф}}$  – ефективне значення змінного електричного

струму ( $I_{\text{эф}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ );  $R$  – відстань від фазного провідника;  $\epsilon_0, \mu_0$  – електрична і магнітна сталі;  $\epsilon, \mu$  –

діелектрична і магнітна проникності середовища (для повітря  $\epsilon=\mu=1$ ).

Для трипровідної системи розрахунок індукції магнітного поля у ортогональній системі координат, у площині  $XU$  запишемо так:

$$B = \frac{\mu_0 I_{\text{эф}}}{2\pi} \cdot \frac{a\sqrt{a^2 + 3(\delta^2 + y^2)}}{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3},$$

де  $a$  – відстань між провідниками;  $r_1, r_2, r_3$  – відстані від кожного провідника до точки визначення рівня поля;  $(x, y)$  – координати визначення рівня поля.

Для зовнішніх джерел необхідне врахування загасання поля у будівельних конструкціях (за наявною методикою врахування загасання).

Враховуючи повне блокування електричної складової електромагнітного поля металом (обплетення кабелів, металеві рукави тощо) та взаємозв'язок електричної та магнітної складових, доцільно розглянути магнітну складову. За необхідності електрична складова визначається з фундаментального співвідношення:

$$\epsilon\epsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2 \quad B = \mu\mu_0 H \quad B = E\sqrt{\epsilon\epsilon_0 \mu\mu_0}$$

Параметри поля лінійного провідника кінцевих розмірів, що характерно для приміщень, визначаються за таким співвідношенням:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I_{\text{эф}}}{r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

де  $\varphi_1, \varphi_2$  – кути між провідником та напрямками від кінців сегменту до точки визначення рівня магнітного поля.

За умови обгинання провідника зі струмом периметра приміщення індукція магнітного поля становитиме

$$B = \frac{2\mu\mu_0}{\pi} \cdot \frac{I_{\text{эф}} \sqrt{a^2 + b^2}}{ab},$$

де  $a, b$  – довжина та ширина приміщення.

Магнітні поля більшості сучасних технічних засобів є полями дипольного типу, тобто зниження їх рівнів з відстанню відбувається за зворотною кубічною залежністю.

Вихідні дані для моделювання просторового розподілу електромагнітних полів розраховуються, враховуючи значення вектор-потенціалу поля магнітного диполя  $A$ :

$$B = \text{rot}A.$$

Якщо вектор магнітного моменту  $m$  збігається з додатним напрямком осі  $Z$  ортогональної системи координат, то для визначення вектор-потенціалу у будь-якій точці  $(X, Y, Z)$  необхідно врахувати, що

$$r^2 = x^2 + z^2$$

де  $r$  – відстань до точки визначення значення магнітного поля, а

$$\sin \theta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{r}$$

де  $\theta$  – кут між віссю  $Z$  і напрямком  $r$ .

Модуль  $A$  у цій точці розраховується так:

$$A = \frac{m \sin \theta}{r^2} = \frac{m \sqrt{x^2 + y^2}}{r^2}$$

У площині  $XZ$  згідно з  $B = \text{rot}A$ :

$$B_x = (\nabla \times A)_x$$

$$B_y = (\nabla \times A)_y$$

$$B_z = (\nabla \times A)_z$$

де  $\nabla$  – оператор Гамільтона  $\left( \nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{k} \right)$ , звідки

$$B_x = \frac{3m \sin \theta \cdot \cos \theta}{r^3}$$

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

Для отримання моделі просторового розподілу магнітних полів від багатьох джерел у середовищі Turbo Delfi було розроблене спеціальне програмне забезпечення. Управління базою даних здійснювалося з використанням Microsoft SQL Server 5. Це дало змогу отримати своєрідну мапу розподілу рівнів магнітних полів багатьох джерел. Її горизонтальну проекцію наведено на рис. 1.

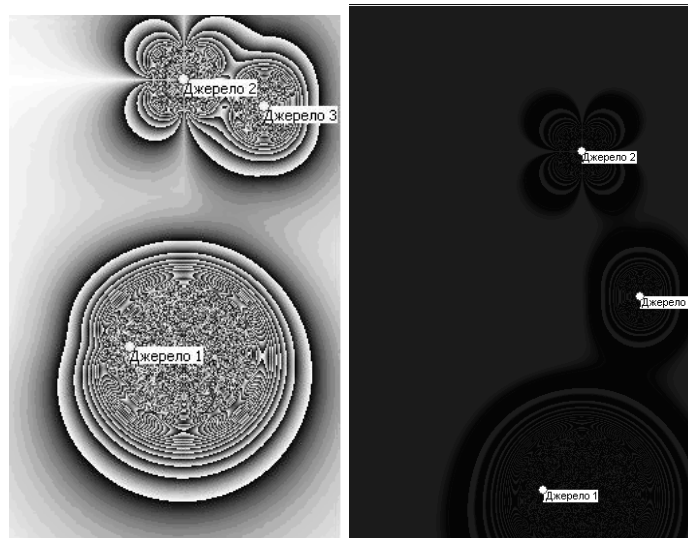


Рис. 1. Приклади моделювання просторових розподілів рівнів магнітних полів

Кількісні дані щодо рівнів полів виділяються кольором у екранній формі з відповідною шкалою. Розроблений пакет дає змогу автоматично врахувати розміри приміщення та джерел поля.

Отримані результати дають змогу не тільки попередньо визначити рівні магнітних полів у кожній точці приміщення залежно від кількості та потужності технічних засобів і навантаження на електромережу, а й прогнозувати їх значення зі збільшенням електроструму, що позначається на значеннях  $m$  у вихідних функціях.

Враховуючи прогнозовані результати, визначаються заходи щодо зниження електромагнітного навантаження. Одним з найефективніших є використання фундаментального явища відбиття і раніше розробленої дипольної моделі джерела магнітного поля.

Досвід показав, що унаочнення на одній моделі чисельних рівнів низькочастотних та високочастотних полів недоцільне через погане сприйняття візуального відображення моделі.

Найбільш прийнятним є отримання двох окремих моделей з подальшим їх об'єднанням, враховуючи фактичні рівні електромагнітних полів різних частотних діапазонів методом оптимізації. Розв'язання задачі оптимізації доволі складне, враховуючи наявність як мінімум двох класів джерел електромагнітних полів, що потребує подальших теоретичних розробок та експериментальної перевірки отриманих результатів.

Враховуючи значні зміни рівнів електромагнітних полів залежно від часу доби, дня тижня, пори року, доцільне розроблення та впровадження неперервного моніторингу електромагнітної обстановки (рис. 2).

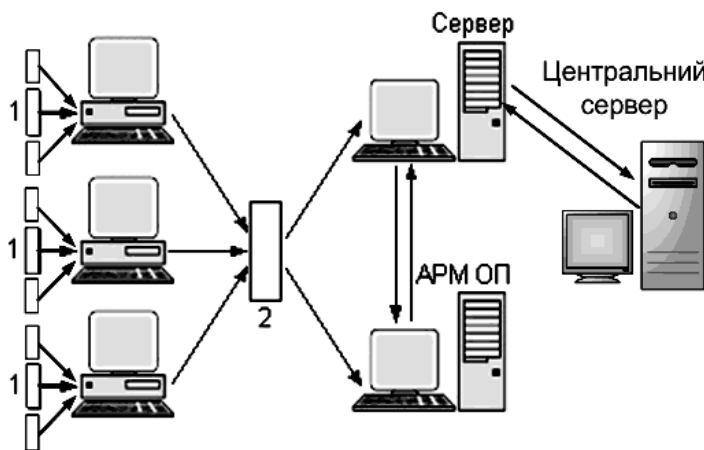


Рис. 2. Автоматизована система отримання і передавання даних про рівні електромагнітних полів: 1 – датчики реєстрації рівнів магнітних полів; 2 – концентратор

Така система забезпечує оперативний контроль стану виробничого середовища за рахунок його відстежування з використанням автоматизованого робочого місця з охорони праці (АРМ ОП), що дозволяє своєчасно реагувати на небажані явища або тенденції у динаміці контрольованих параметрів. Накопичення інформації у серверах дає змогу аналізувати та прогнозувати стан виробничого середовища як у короткостроковій, так і у віддаленій перспективі.

Наведена система може бути використана також для моніторингу інших факторів виробничого середовища: шуму, якості повітря тощо.

Отримання достовірної інформації щодо фактичних рівнів електромагнітних полів дає змогу сформулювати графік виконання необхідних робіт у періоди часу, коли ці показники найнижчі.

Найдієвішим засобом захисту працівників від впливу електромагнітних полів є екранування цих полів захисними матеріалами.

Найефективнішим матеріалом для створення електромагнітних екранів є магнітом'які аморфні сплави [6]. Для зниження рівнів відбитих полів доцільне використання композитних захисних матеріалів з дуже малими коефіцієнтами відбиття [7]. Еластичність таких матеріалів та керованість захисних властивостей дає змогу використовувати їх для облицювання поверхонь зі

складним рельєфом та робить їх перспективними для створення захисних костюмів, розрахованих для екранування електромагнітних полів визначених частот та амплітуд. Наукове обґрунтування та розроблення таких захисних покриттів для визначеної електромагнітної обстановки та розроблення захисного одягу є предметом подальших досліджень.

### Отримані висновки

1. Проведені теоретичні дослідження, порівняння отриманих результатів з експериментальними даними довели можливість коректного моделювання просторових розподілів електромагнітних полів. Таке моделювання доцільно виконувати на стадіях проектування розміщення обладнання виробничих будівель і споруд, а також під час модернізації технологічного обладнання.

2. Попереднє визначення рівнів електромагнітних полів у кожному конкретному випадку дає змогу заздалегідь визначити перелік і вміст організаційно-технічних та санітарно-гігієнічних заходів з мінімізації впливу полів на людей.

3. Доцільним є розроблення та впровадження автоматизованої системи моніторингу електромагнітної обстановки на усіх ділянках енергетичних об'єктів з можливістю розширення переліку відстежуваних параметрів.

4. Найефективнішими засобами захисту від впливу електромагнітних полів є аморфні магнітомякі сплави та композитні металополімерні матеріали з керованими захисними властивостями.

1. Думанский Ю.Д. Электромагнитное загрязнение окружающей среды – гигиеническая проблема, результаты и пути её решения в Украине / Ю.Д. Думанский, Н.Г.Никитина, С.В.Биткин, С.С.Галак // *Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека окружающей среды*. – М., 2006. – С.248 – 253. 2. Резинкина М.М. Экранирование магнитного поля промышленной частоты в рабочих зонах электростанций / М.М. Резинкина, В.С. Гринченко, Ю.Д. Думанский, С.В. Медведев // *Гігієна населених місць*. – 2010. – Вип. 55. – С. 249–255. 3. 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. 4. Электромагнітна безпека та електромагнітна сумісність технічних засобів / Ю.Д. Думанський, О.І. Запорожець, В.А. Глива [та ін.] // *Вісник НТУУ „КПІ”*. – 2008. – Вип. 16. – С. 143 – 148. 5. Глива В.А. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів множинних джерел // В.А.Глива, Л.О.Левченко, С.А.Теренчук // *Новітні комп'ютерні технології: VII міжнародна наук.-техн.конф., 14–17 вересня 2010 р.: матеріали*. Севастополь, 2010. – С.34–35. 6. Глива В.А. Критерії вибору захисних матеріалів для екранування електромагнітних полів / В.А. Глива // *Проблеми охорони праці в Україні*. – 2011. – Вип. 21. – с.68–76. 7. Глива В.А. Розроблення і дослідження композитних електромагнітних екранів з керованими захисними властивостями / В.А. Глива, І.М. Подобєд, О.Л. Матвєєва // *Вісник НТУУ “КПІ”, серія “Гірництво”*. – 2011. – Вип.21. – С.167 – 172.