

УДК 538 61:331.45

Левченко Л.О., Лук'яненко С.О.,  
Карпенко С.Г., Теренчук С.А.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ РОЗПОДІЛІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ МНОЖИННИХ ДЖЕРЕЛ У РОБОЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ

**Вступ.** Електромагнітні поля виробничого і невиробничого походження є одним з найпоширеніших фізичних факторів негативного впливу на людей під час виконання службових обов'язків. На сьогоднішній день існує низка проблем, пов'язаних з насиченістю робочих приміщень технічними засобами різного призначення [1], коли сумарні електромагнітні поля перевищують гранично допустимі рівні. При цьому, сучасна концепція електромагнітної безпеки передбачає мінімізацію рівнів електромагнітних полів [2].

**Сучасний стан питання та постановка задачі.** Роботи у цьому напрямі базуються, в основному, на розробці схем взаємного розташування технічних засобів, які забезпечують часткове екранування і компенсацію електромагнітних полів [3-5]. Тому, при розміщенні великої кількості різноманітного обладнання у робочих приміщеннях бажане попереднє аналітичне прогнозування рівнів електромагнітних полів. Таким чином, моделювання розподілу електромагнітних полів множинних джерел – технічного обладнання, яке планується задіяти у виробничих процесах є **актуальним**. Для відповідних розрахунків **доцільно** розглядати одну з компонент електромагнітного поля – магнітну індукцію [6].

**Метою роботи** є розробка моделі просторових розподілів магнітних полів множинних джерел у робочих приміщеннях та надання рекомендацій щодо її практичного використання. Такі моделі дають змогу розв'язати задачу оптимізації розташування великої кількості технічних засобів у робочих приміщеннях з точки зору електромагнітної безпеки персоналу.

**Реалізація поставленої мети**, в загальному випадку, досягається за рахунок розв'язання двох задач: моделювання розподілу електромагнітних полів у приміщеннях та оптимізації розміщення наявних технічних засобів таким чином, щоб рівні полів на робочих місцях персоналу були мінімальними.

Більшість джерел, що використовуються у виробничих, адміністративних та навчальних закладах (комп'ютерна та оргтехніка, системи електроживлення та кондиціонування, освітлення, побутова техніка тощо), генерують низькочастотні електромагнітні поля, які можна вважати квазістационарним. Магнітне поле системи квазістатичних струмів, розподілених у об'ємі  $V$  і обмежених поверхнею  $S$ , у деякій точці однорідного непровідного немагнітного

середовища поза об'ємом джерела, в загальному випадку, задовольняє однорідним рівнянням Максвелла [7]:  $\text{rot } \mathbf{B} = 0$ ,  $\text{div } \mathbf{B} = 0$  та закону Біо-Савара:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{[\mathbf{j}(\mathbf{r}_1) \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)]}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^3} dV,$$

де  $\mathbf{B}(\mathbf{r})$  – вектор магнітної індукції у точці спостереження  $\mathbf{r} = (x, y, z)$ ,  $\mathbf{j}$  – вектор густини струму у точці  $\mathbf{r}_1 = (x_1, y_1, z_1)$ ,  $\mu_0$  – магнітна стала.

У точці простору, де  $r \gg r_1$ , згідно з дипольною моделлю джерела [6]:

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{3(\mathbf{m}\mathbf{r}) - r^2}{r^5} = \frac{\mu_0}{4\pi} \begin{pmatrix} 3x^2 - r^2 & 3xy & 3xz \\ 3xy & 3y^2 - r^2 & 3yz \\ 3xz & 3yz & 3z^2 - r^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{pmatrix},$$

де  $\mathbf{m}$  – вектор магнітного моменту диполя.

За допомогою наведених співвідношень можливе розв'язання прямої задачі магнітостатики, а саме: визначити значення вектора магнітної індукції та його просторових похідних у необхідних точках простору за відомими випромінювальними властивостями джерел поля. При цьому, кількість і розташування у просторі точок контролю та магнітних диполів, які одночасно є джерелами магнітного поля, можуть бути довільними.

На практиці випромінювальні властивості окремих приладів або відомі, або легко визначаються за допомогою стандартного або спеціального обладнання, тому для виконання розрахунків потрібні тільки математичні функції просторових змін амплітуди поля. Зважаючи на те, що інтерес становлять рівні полів у місцях постійного перебування працівників, достатнім є розв'язання задачі у площині, яка відповідає рівню одного метра над підлогою. Для обладнання, розташованого на підлозі і на висоті більше обраного значення, доцільно ввести фіксовані константи.

Як показано у [6], компоненти індукції магнітного поля диполя, орієнтованого у напрямі  $y$ , виражаються:

$$B_x = \frac{3m \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{r^3}, \quad B_y = \frac{m(3 \cos^2 \theta - 1)}{r^3}, \quad B_z = 0,$$

де  $m$  – модуль магнітного моменту диполя,  $\theta$  – кут між віссю  $y$  та напрямком до точки визначення поля,  $r$  – відстань від диполя до точки визначення поля.

Спеціальне програмне забезпечення, розроблене у середовищі *Delphi*, дозволяє отримати своєрідну мапу розподілу рівнів магнітних полів множинних джерел у приміщенні в площині розташування технічних засобів (Рис.1).

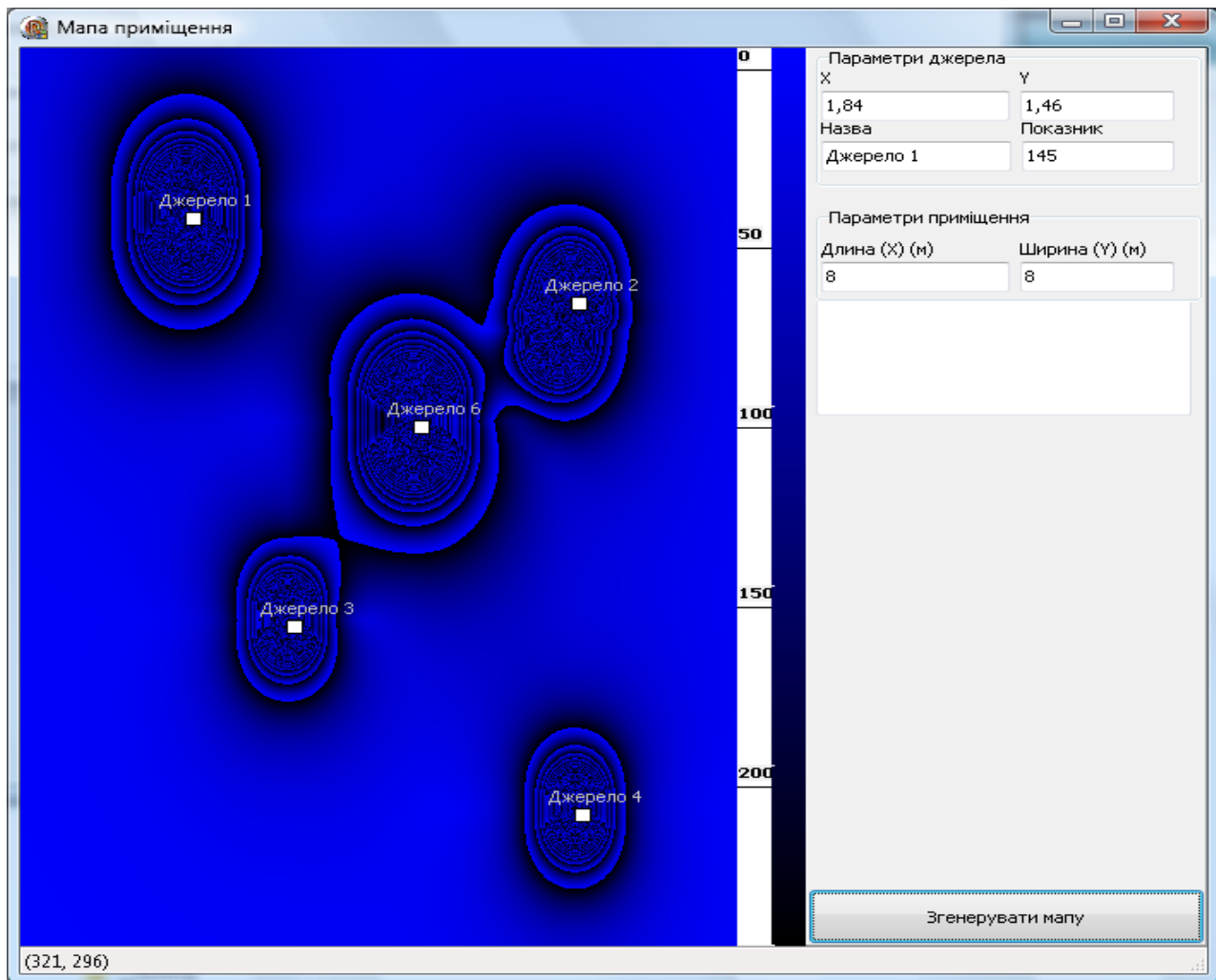


Рис.1. Мапа рівнів магнітних полів (нТл) у приміщенні.

Розроблений пакет автоматично враховує розміри приміщень та джерел. Магнітний момент джерела визначається з технічних даних обладнання:

$$m = I \cdot S \cdot n$$

де  $I$  – сила струму,  $S$  – охоплена струмом площа,  $n$  – одиничний вектор нормалі до площі контуру.

### Висновки:

Моделювання розподілу полів повинне передувати закупівлі і розміщенню технічних засобів, необхідних для реалізації виробничих завдань.

Для функціональності і простоти використання фахівцями з охорони праці, інтерфейс з користувачем повинен бути максимально спрощений.

Доцільним є розробка стандартного програмного пакету щодо попереднього оцінювання рівнів магнітних полів на робочих місцях працюючих.

Результати такого оцінювання необхідно враховувати при проектуванні нових будівель і споруд, особливо висотних забудов.

**Предметом подальших досліджень** є моделювання рівнів магнітних полів побутової техніки в житлових будинках та розробка методів оптимізації її розміщення з точки зору електромагнітної безпеки.

### Література

1. Глива В.А. Заходи підвищення надійності роботи комп'ютерного обладнання та безпеки персоналу в енергонасичених будівлях і спорудах / В.А. Глива, В.І. Клапченко, С.А. Теренчук, Л.О. Левченко // Містобудування та територіальне планування. – 2008. – Вип 31. – С.85 – 90.
2. Establishing a dialogue on risk from electromagnetic fields. – Geneva: World health organization, 2004. – 67р.
3. Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники / [Афанасьев А.И., Долотко В.И., Карнишин В.В. и др.]; под ред. А.А. Туркевича. – [2-е изд.]. – М.: «Циклон – Тест», 2001. – 119с.
4. Глива В.А. Випромінювальні властивості сучасного комп'ютерного обладнання та методи їхньої мінімізації / В.В. Глива, В.І. Клапченко, О.В.Панова, А.В. Лук'янчиков // Охорона праці та соціальний захист працівників: міжнар. наук. конф., 19 – 21 лист. 2008р.: збірн. матеріалів. – К., 2008. С. 72 - 74.
5. Глива В.А. Магнітні поля невикористаного походження і засоби зменшення їх впливу на людей при експлуатації автоматизованих систем / В.А.Глива, О.Г. Вільсон, І.О. Азнаурян, Л.О. Левченко // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип 50. – С.172 – 173.
6. Глива В.А. Засоби підвищення безпечної експлуатації сучасного комп'ютерного обладнання / В.А. Глива, А.В. Лук'янчиков, Л.О.Левченко, В.І. Клапченко, О.В. Панова // Проблеми охорони праці в Україні . – 2008. – Вип.15. – С. 98 – 105.
7. Примин М.А. Алгоритмы решения обратной задачи магнитостатики в магнитокардиографии: новые подходы и результаты / М.А. Примин, И.В.Недайвода // Электронное моделирование. – 2006. – Т. 28. – №3. – С. 99-116.

### Анотація

Запропоновано зручний на практиці метод моделювання і візуалізації просторового розподілу магнітних полів множинних джерел в робочих приміщеннях.

### Аннотация

Предложен удобный в практической работе метод моделирования и визуализации пространственного распределения магнитных полей множества источников в рабочих помещениях.

### The summary

The comfortable in practical work method of design and visualization of distributing of the magnetic fields of great number of sources is offered in workings apartments.