

DOI: 10.32347/2412-9933.2022.50.60-67

УДК 539.3:624.014.2:693.8.001.4

Левченко Лариса Олексіївна

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри цифрових технологій в енергетиці,

<https://orcid.org/0000-0002-7227-9472>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

Глива Валентин АнатолійовичДоктор технічних наук, професор, професор кафедри фізики, <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Бурдейна Наталія БорисівнаКандидат педагогічних наук, доцент, професор кафедри фізики, <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ
З БЕЗПЕЧНИМИ УМОВАМИ ПРАЦІ**

***Анотація.** Виходячи із фундаментальних фізичних співвідношень і дипольних моделей поширення електричних та магнітних складових електромагнітних полів із застосуванням програмного забезпечення EMF LFSourse, було отримано моделі поширення електричних та магнітних полів компонентів персональних комп'ютерів. Це дало змогу візуалізувати поширення електричного поля навколо рідкокристалічних моніторів, магнітних полів навколо системних блоків персональних комп'ютерів і джерел безперебійного живлення. У результаті отримано просторовий розподіл напруженостей електричного та магнітного полів на комп'ютеризованих робочих місцях. Наведені моделі дають змогу раціоналізувати взаємне розташування персональних комп'ютерів у комп'ютерних класах та інших навчальних приміщеннях, де є комп'ютери. Детальні моделі поширення електричних та магнітних полів допомагають отримати поширення полів навколо електротехнічного обладнання навчальних лабораторій. Доцільним є створення моделей поширення інших фізичних чинників техногенного походження: звуку, інфразвуку, аномального поширення концентрацій аероіонів тощо. Моделювання надає змогу на стадіях проєктування розміщення обладнання в навчальних лабораторіях забезпечити безпечні умови навчання.*

***Ключові слова:** моделювання; дипольна модель; електромагнітне поле; персональний комп'ютер*

Вступ

Навчальні приміщення закладів вищої освіти – навчальні аудиторії, лабораторії, комп'ютерні класи, – мають відповідати усім загальним чинним вимогам з охорони праці. Це державні стандарти безпеки, санітарні норми і правила. На сьогодні спеціалізовані нормативні акти, які регламентують умови навчання в аудиторних та лабораторних приміщеннях, відсутні. Єдиний національний норматив з організації і використання комп'ютерних класів скасовано, а більш сучасний не розроблено і не затверджено. Практично для усіх категорій промислових підприємств існують спеціалізовані нормативи щодо безпечних умов праці, але організація робочих місць навчальних приміщень, з безпечними умовами щодо техногенних впливів, залишається поза увагою. Врахування усіх можливих несприятливих впливів на студентів дуже складний процес. Для виключення суб'єктивізму в організації

та комплектуванні робочих місць проєктування навчальних приміщень доцільно здійснювати методом комп'ютерного моделювання. Попередньою умовою моделювання є наявність коректних математичних функцій, покладених в основу створення програмного продукту та вихідних кількісних даних. Це дасть змогу отримати дво- та тривимірні моделі поширення несприятливих факторів з прийнятними похибками та отримати максимально безпечні конфігурації робочих місць та їх розміщення у навчальних приміщеннях.

Найбільш поширеним фізичним чинником несприятливого впливу на людей є техногенні електромагнітні поля. Тому доцільно розглянути можливість розміщення обладнання з точки зору електромагнітної безпеки.

Моделювання поширення електричних, магнітних та електромагнітних полів широко застосовується для проєктування електротехнічного обладнання і підвищення електромагнітної безпеки населення. У роботах [1; 2] наведено засади

моделювання електромагнітних полів усередині електротехнічних пристроїв, що пов'язане із задачами надійності та енергозбереження. Потрібна висока точність моделювання, щоб зменшити похибку. Це забезпечується застосуванням спеціальних пакетів Comsol [3].

Для забезпечення електромагнітної безпеки населення висока точність не обов'язкова, враховуючи значні зміни електронавантаження на силову електромережу та електричне й електронне обладнання. Наприклад, при моделюванні поширення електричних та магнітних полів ліній електропередачі різних конструкцій за наявності стандартного розрахункового апарату достатньо застосувати пакет MATLAB [4; 5]. Складніше отримати моделі поширення магнітного поля окремих локалізованих у просторі електротехнічних пристроїв [6]. Без урахування просторових гармонік магнітного поля результати моделювання не відповідають реальним потребам, особливо у приміщеннях. Дуже складною задачею є попереднє визначення структури поля й обирання програмних засобів моделювання [7; 8]. Важливим аспектом моделювання є застосування математичного апарату, який відповідає принципам розумної достатності, тобто застосування функцій, які забезпечують прийнятну точність. Це спрощує процеси створення моделей [9]. Поодинокі роботи присвячені моделюванню поширення полів у приміщеннях з кількома джерелами поля [10] у вигляді ізоляцій, які окреслюють зони безпечного перебування людей. Але актуальною задачею є отримання моделей поширення електромагнітних полів окремих одиниць серійного обладнання і розроблення безпечних конфігурацій його розміщення у приміщеннях модельним принципом.

Мета статті

Мета – сформулювати засади проектування навчальних приміщень з безпечними умовами праці шляхом моделювання поширення електромагнітного поля та його складових навколо кожного технічного засобу та за різної конфігурації взаємного розташування будь-якої кількості електротехнічного обладнання.

Виклад основного матеріалу

Більшість джерел електричних і магнітних полів у навчальних приміщеннях та лабораторіях різного профілю генерують поля наднизьких та низьких частот, таких як промислової частоти та її гармонік, частот, притаманних обчислювальній техніці тощо. Для різних джерел переважними є електрична або магнітна складові електромагнітного поля. Розрахунки напруженості електричних полів E ,

покладені в основу моделювання, базуються на фундаментальному співвідношенні:

$$E = -grad \phi,$$

де ϕ – потенціал електричного поля;

$grad \phi = \nabla \phi$ – диференційний оператор Гамільтона;

$$\nabla \phi = i \frac{\partial \phi}{\partial x} + j \frac{\partial \phi}{\partial y} + k \frac{\partial \phi}{\partial z}.$$

Для відстаней, які значно більші за розміри джерела поля, доцільно використовувати визначення параметрів поля у сферичних координатах:

$$\nabla \phi = R_0 \cdot \frac{\partial \phi}{\partial R} + \theta_0 \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial \theta} + \alpha_0 \cdot \frac{1}{R \sin \theta} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial \alpha}.$$

Більшість обладнання, що широко використовується, як-от: відеомонітори, системні блоки, джерела безперебійного живлення, друкуючі пристрої тощо, мають просторові структури електричних та магнітних полів, притаманні електричним та магнітним диполям, що теоретично й експериментально показано у [12]. Так, наприклад, усі рідкокристалічні монітори мають електричні поля дипольного типу, джерела безперебійного живлення – магнітні поля дипольного типу.

Розрахунок електричного поля базується на визначенні ϕ – скалярного потенціалу електричного поля, розрахунок магнітного поля базується на визначенні A – векторного потенціалу магнітного поля.

Розглянемо електричний диполь із зарядом $\pm q$ та відстанню l , тобто з електричним дипольним моментом $P=ql$ (рис. 1).

Скалярний потенціал електричного поля в точці спостереження a має вигляд:

$$\phi_a = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{q}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{R_2 - R_1}{R_2 \cdot R_1},$$

де ϵ – відносна електрична проникність середовища (для повітря $\epsilon \approx 1$); ϵ_0 – діелектрична стала ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

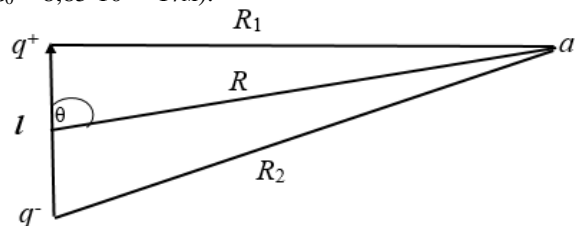


Рисунок 1 – Схема до розрахунку напруженості електричного поля електричного диполя

У реальних умовах $R \gg l$, тобто скалярний потенціал електричного поля дорівнює:

$$\phi \approx \frac{P \cdot \cos \theta}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot R^2}.$$

У полярних координатах напруженість електричного поля на площині дорівнює:

– радіальна складова

$$E_R = -\frac{\partial\phi}{\partial R} = \frac{P \cdot \cos\theta}{2\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot R^3};$$

– кутова складова

$$E_\theta = -\frac{\partial\phi}{R \cdot \partial\theta} = \frac{P \cdot \sin\theta}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot R^3};$$

– кутова складова для координати Z

$$E_L = 0.$$

Тобто є можливість розглядати просторові зміни електричного поля в одній потрібній площині:

$$E = \sqrt{E_R^2 + E_\theta^2} = \frac{P}{4\pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot R^3} \cdot \sqrt{1 + 3 \cdot \cos^2\theta},$$

$$P = 2\pi\epsilon\epsilon_0 E r^3,$$

E визначається експериментально на будь-якій відстані r.

Сумарне поле в будь-якій точці від багатьох джерел визначається так:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}.$$

Наведене надає змогу раціоналізувати або навіть оптимізувати з точки зору електромагнітної безпеки розміщення багатьох джерел електричного поля дипольного типу.

Розрахунки напруженостей магнітних полів є аналогічними (електричний дипольний момент P замінюється на магнітний момент m), відповідно ε, ε₀ замінюється на μ, μ₀.

$$m = i \cdot S,$$

де i – струм у контурі; S – площа контуру;

μ – відносна магнітна проникність середовища (для повітря μ = 1); μ₀ – магнітна стала (1,26·10⁻⁶ Гн/м).

$$H_R = \frac{m \cdot \cos\theta}{2\pi \cdot R^3}; \quad H_\theta = \frac{m \cdot \sin\theta}{4\pi \cdot R^3}.$$

$$m = 2\pi\mu\mu_0 H r^3,$$

де H визначається експериментально.

Зазвичай нормується індукція магнітного поля B:

$$B = \mu\mu_0 H.$$

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + \dots + H_n^2}.$$

Наведені функції надають можливість розрахувати значення електричних та магнітних полів навколо джерела й автоматизувати цей процес. За наявності великої кількості даних можлива графічна візуалізація результатів.

Моделювання поширення електричних та магнітних полів здійснюється в середовищі розробки Visual Studio 2019 з використанням мови програмування C#, СУБД SQL Server. Користувачий інтерфейс системи реалізований у вигляді вебдодатка з використанням мови розмітки HTML5, таблиці каскадних стилей CSS, мови програмування JavaScript для динамічного відображення елементів сторінки й обчислення формул.

Результати моделювання поширення електричного поля рідкокристалічного монітора з діагоналлю екрана 24 дюйма наведено на рис. 2. Фактично напруженості поля позначаються кольором, які наведено у верхній частині рисунку.

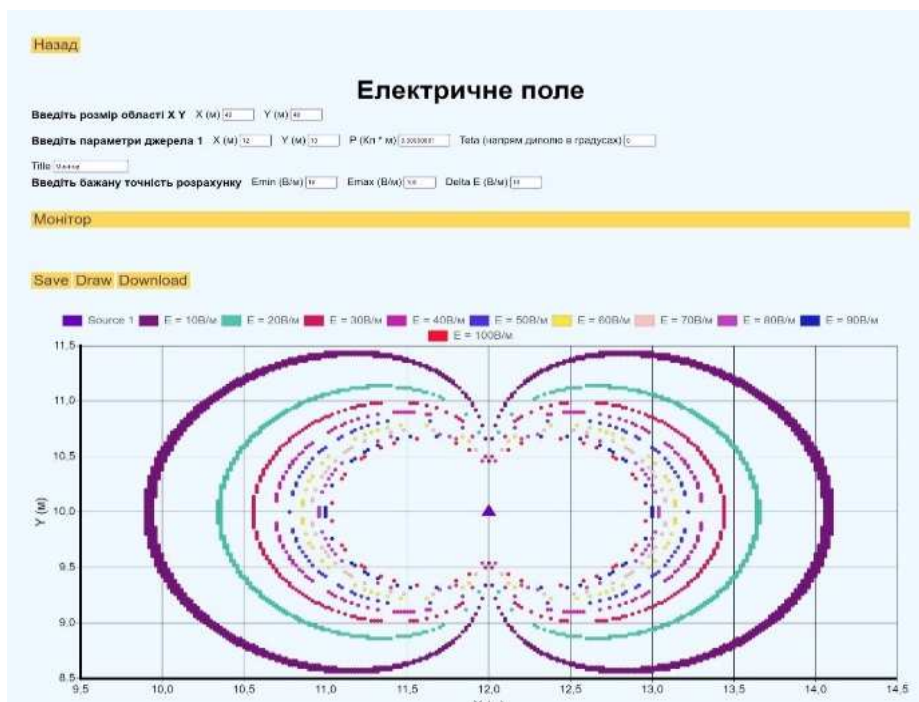


Рисунок 2 – Просторовий розподіл електричного поля монітора

Результати моделювання поширення магнітного поля системного блока персонального комп'ютера наведено на рис. 3.

Отримані моделі надають змогу визначити розподіли електричного та магнітного полів на окремому робочому місці (рис. 4, 5).

Проведене моделювання поширення електромагнітних полів у аудиторії з шістьма персональними комп'ютерами (6 моніторів, 6 системних блоків, 6 джерел безперебійного живлення (рис. 6, 7).

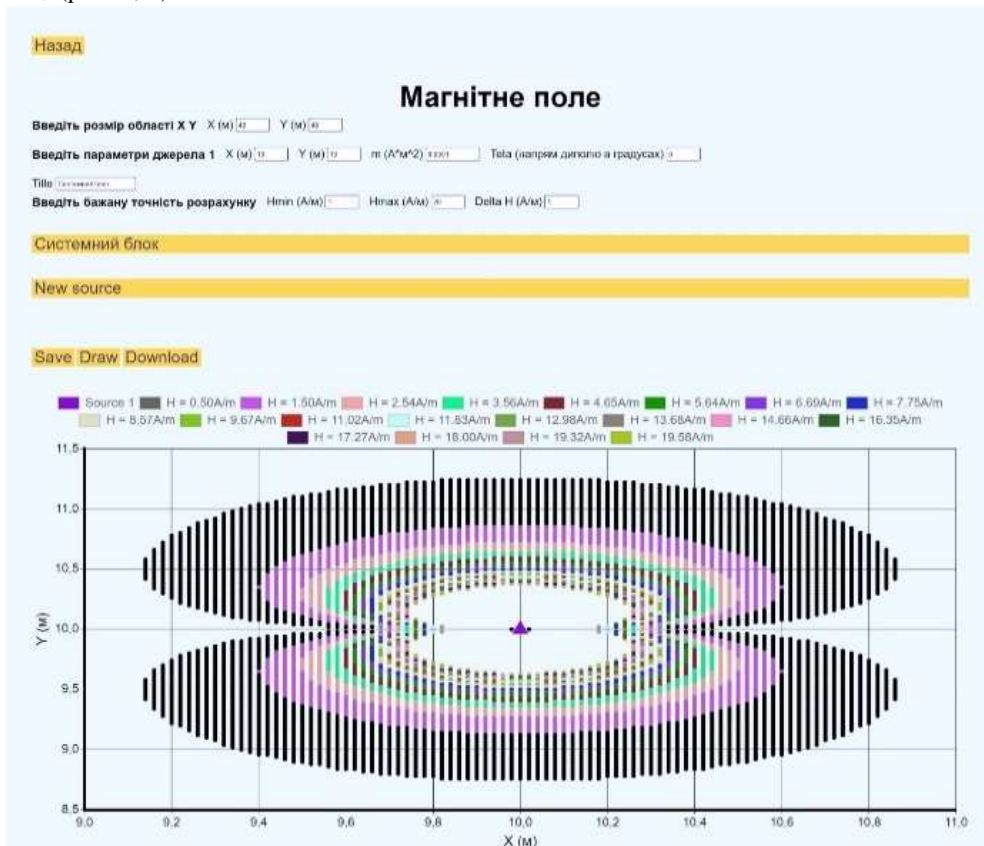


Рисунок 3 – Просторовий розподіл магнітного поля системного блока персонального комп'ютера

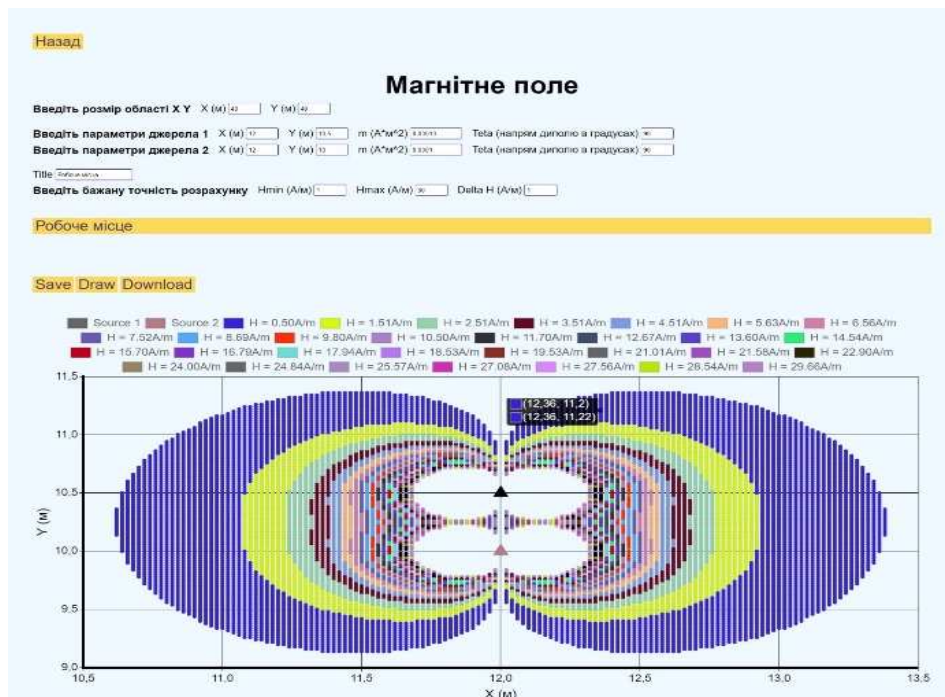


Рисунок 4 – Просторовий розподіл магнітного поля на комп'ютеризованому робочому місці

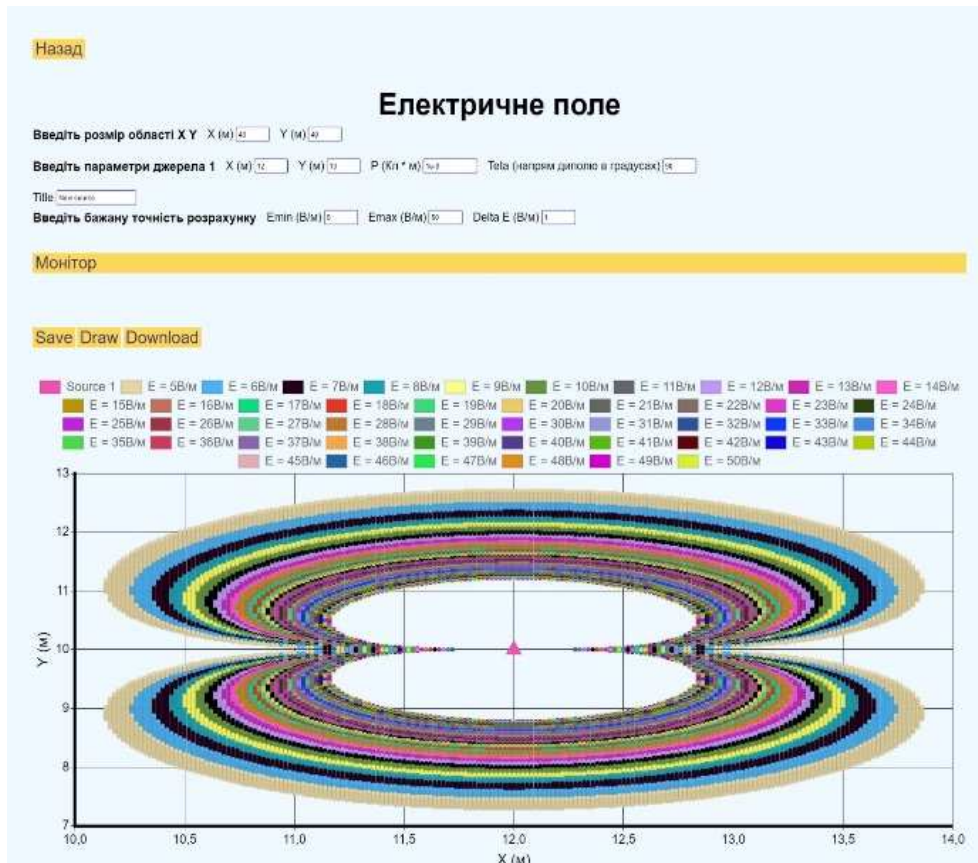


Рисунок 5 – Просторовий розподіл електричного поля на комп'ютеризованому робочому місці

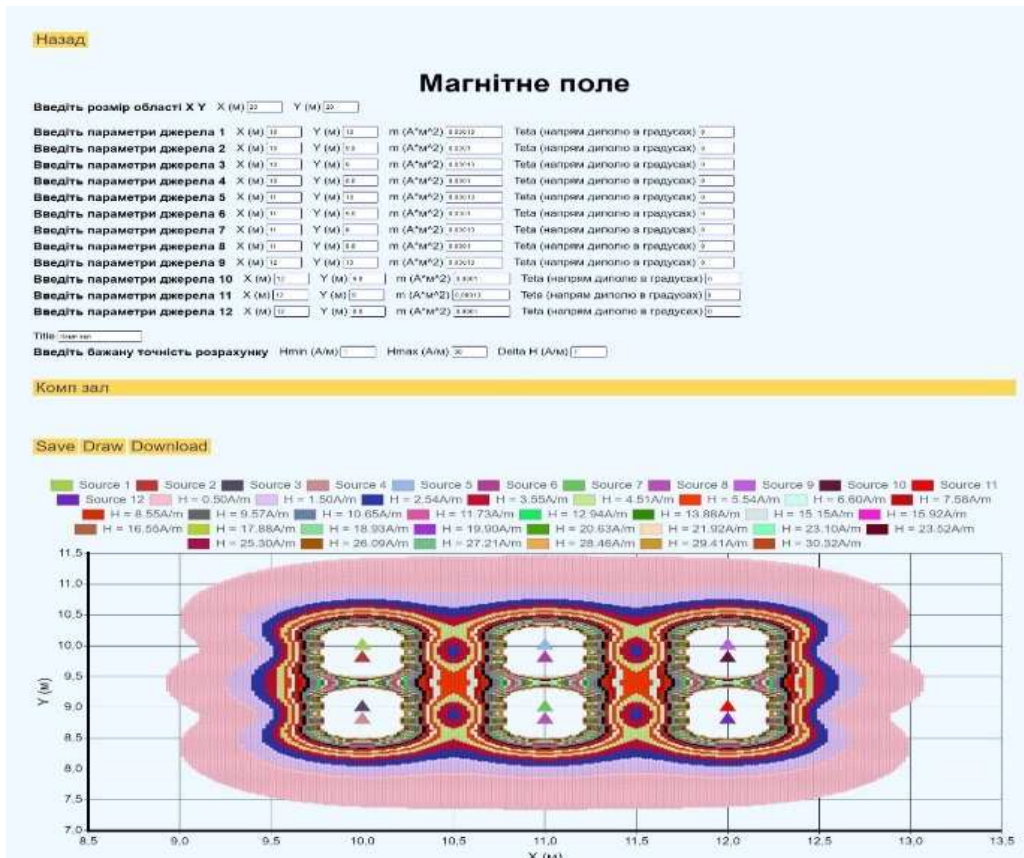


Рисунок 6 – Просторовий розподіл магнітного поля навколо шести робочих місць

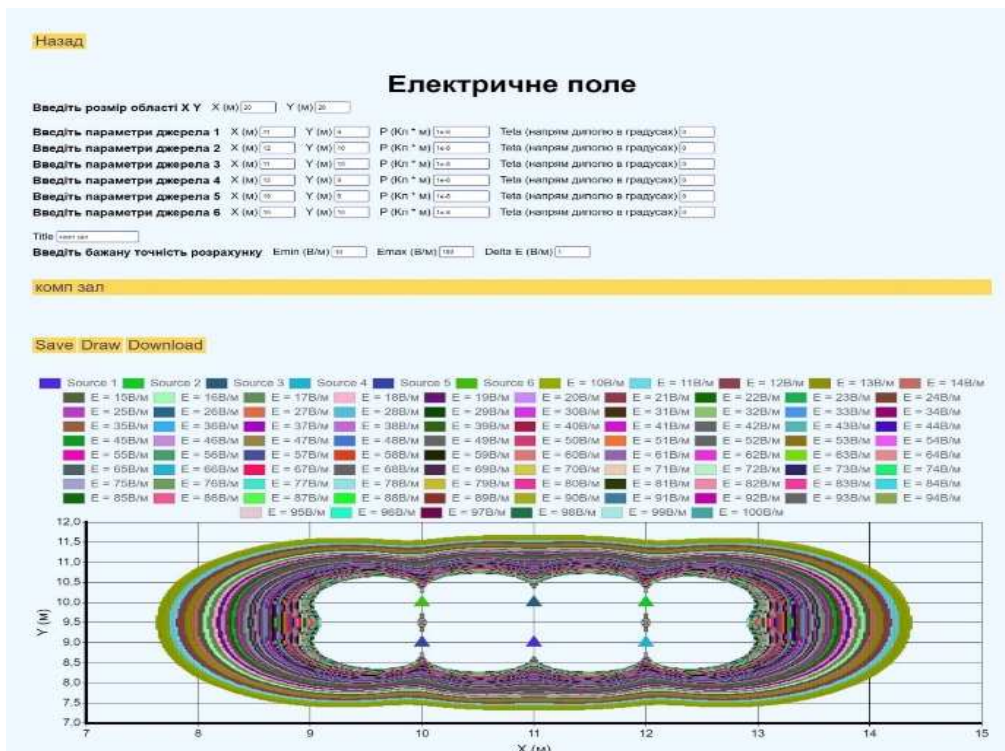


Рисунок 7 – Просторовий розподіл електричного поля навколо шести робочих місць

Висновки

Наведені результати допомагають компоувати робочі місця та визначити їх взаємне розташування з точки зору електромагнітної безпеки користувачів.

Використовуючи отримані моделі можна раціоналізувати, а за потреби й оптимізувати взаємне розташування комп'ютеризованих робочих місць у комп'ютерних класах та інших приміщеннях, у яких застосовуються персональні комп'ютери.

Виходячи з дипольних моделей електричного обладнання, можна змоделювати і визначити безпечні розташування обладнання у фізичних, електротехнічних навчальних лабораторіях.

Перспективним напрямом дослідження щодо проектування безпечних для студентів та викладачів навчальних приміщень і лабораторій є створення інтегральних моделей поширення кількох фізичних чинників. Наприклад, критичними є концентрації аероіонів та рівні звуку і інфразвуку в навчальних приміщеннях.

Ефективним засобом забезпечення безпечних умов у навчальних аудиторіях та лабораторіях є попереднє моделювання поширення у приміщеннях несприятливих фізичних чинників техногенного походження навколо кожного технічного засобу та за різної конфігурації взаємного розташування обладнання.

На прикладі моделювання поширення електричної та магнітної складових електромагнітного поля компонентів персональних комп'ютерів показана можливість надати безпечні конфігурації окремих робочих місць та багатьох робочих місць у комп'ютерних класах. Використовуючи застосовані підходи, можна змоделювати поширення магнітних полів навколо будь-якої кількості електротехнічного обладнання.

Перспективним напрямом досліджень є розроблення моделей поширення й динаміки концентрації аероіонів, звуку, інфразвуку та їх обрахування у процесі проектування навчальних приміщень.

Список літератури

1. Подольцев А. Д., Кучерявая И. Н. Многомасштабное моделирование в электротехнике. Київ : Институт электродинамики НАН Украины, 2011. 255 с.
2. Заблодский Н. Н., Филатов М. А., Грицюк В. Ю. Численное моделирование электромагнитных полей в полифункциональных электромеханических преобразователях с полым перфорированным ротором. *Електротехніка і електромеханіка*. 2012. № 1. С. 25–27.

3. Pryor R.W. Mutiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach. Jones and Bartlett Publishers. 2011. 872 p.
4. Левченко Л. О. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів повітряних ліній електропередачі. *Системи обробки інформації*. 2016. № 1. С. 29–37.
5. Левченко Л. О., Глива В. А., Карпенко С. Г. Просторові розподіли електромагнітних полів кабельних ліній електропередачі. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2016. Вип. 1/2016 (33). С. 55–67.
6. Глива В. А., Теренчук С. А., Перельот Т. М. Моделі і методи розрахунку магнітних полів електротехнічного обладнання промислових будівель. *Техніка будівництва*. 2013. № 30. С. 70–73.
7. Кирпанев А. В., Лавров В. Я. Электромагнитное поле: Теория идентификации ее применение: 3-е изд. Москва : Вузовская книга, 2012. 278 с.
8. Моррис Д. Моделирование электромагнитных полей – как выбрать лучший метод. *Электроника: Наука. Технология. Бизнес*. 2012. № 3 (00117). С. 124–129.
9. Ходаковський О. В., Левченко Л. О., Колумбет В. П., Козачук А. Д., Кужавський Д. С. Розрахунковий апарат моделювання поширення електромагнітних полів різномірних джерел. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5. № 1. С. 34–38.
10. Глива В. А., Левченко Л. О., Паньків Х. В. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів електротехнічного обладнання. *Управління розвитком складних систем*. 2014. Вип. 20. С. 174–179.
11. Гетьман А. В. О нормировании уровня магнитного поля с помощью мультипольных магнитных моментов. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2011. Т. 4. № 5. С. 7–10.
12. Перельот Т. М. Моніторинг та нормалізація рівнів низькочастотних електромагнітних полів у виробничих умовах : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01. Київ, 2017. 145 с.

Стаття надійшла до редколегії 22.06.2022

Levchenko Larysa

DSc (Eng.), Associate Professor, Professor of Department of Digital Technologies in Energy,

<https://orcid.org/0000-0002-7227-9472>

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Glyva Valentyn

DSc (Eng.), Professor, Professor of Department of Physics, <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Burdeina Nataliia

PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Physics,

<https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>

Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv

AUTOMATION OF DESIGN OF EDUCATIONAL PREMISES WITH SAFE WORKING CONDITIONS

Abstract. When organizing the educational process in higher education institutions, safe conditions must be created that meet all the general current requirements of labor protection. The most common physical factor of adverse effects on students in classrooms are man-made electromagnetic fields around each technical means and in different configurations of the relative location of equipment. Based on the fundamental physical relations and dipole models of propagation of electric and magnetic components of electromagnetic fields using EMF LFSourse software, models of propagation of electric and magnetic fields of personal computer components were obtained. This visualized the propagation of an electric field around liquid crystal monitors, magnetic fields around personal computer system units, and uninterruptible power supplies. The result is a spatial distribution of electric and magnetic field strengths in computerized workplaces. These models allow you to streamline the relative position of personal computers in computer classrooms and other classrooms where computers are located in terms of electromagnetic safety. Detailed models of the configuration of electric and magnetic fields allow to obtain the propagation of fields around the electrical equipment of training laboratories. The example of modeling the propagation of the electric and magnetic components of the electromagnetic field of personal computer components shows the possibility of providing safe configurations of individual workplaces and many workplaces in computer classrooms. It is expedient to create models of propagation of other physical factors of technogenic origin – sound, infrasound, anomalous distribution of air ion concentrations, etc. Modeling allows you to place equipment in training laboratories at the design stage, adhering to safe conditions in the organization of the educational process.

Keywords: modeling; dipole model; electromagnetic field; a personal computer

References

1. Podoltsev, A. D., & Kucheryavaya, I. N. (2011). Multiscale modeling in electrical engineering. Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 255.
2. Zablodsky, N. N., Filatov, M. A. & Gritsyuk, V. Y. (2012). Numerical modeling of electromagnetic fields in multifunctional electromechanical transducers with a hollow perforated rotor. *Electrical engineering and electromechanics*, 1, 25–27.
3. Pryor, R. W. (2011). Mutiphysics Modeling Using COMSOL: A First Principles Approach. Jones and Bartlett Publishers, 872.
4. Levchenko, L. O. (2016). Modeling of spatial distributions of electromagnetic fields of overhead power lines. *Information processing systems*, 1, 29–37.
5. Levchenko, L. O., Glyva, V. A. & Karpenko, S. G. (2016). Spatial distributions of electromagnetic fields of cable transmission lines. *Electromechanical and energy saving systems*, 1,(33), 55–67.
6. Glyva, V. A., Terenchuk S. A. & Perel'ot, T. M. (2013). Models and methods for calculating the magnetic fields of electrical equipment of industrial buildings. *Construction equipment*, 30, 70–73.
7. Kirpanev, A. V. & Lavrov, V. Y. (2012). Electromagnetic field: Theory of identification and its application. Vuzovskaya knjiga, 278.
8. Morris, D. (2012). Modeling of electromagnetic fields – how to choose the best method. *Electronics: Science. Technology. Business*, 3 (00117), 124–129.
9. Khodakovsky, O. V., Levchenko, L. O., Kolumbet, V. P., Kozachuk, A. D. & Kuzhavsky, D. S. (2021). Computational apparatus for modeling the propagation of electromagnetic fields of dissimilar sources. *Modern information systems*, 5, 1, 34–38.
10. Glyva, V. A., Levchenko, L. O. & Pankiv, H. V. (2014). Modeling of spatial distributions of electromagnetic fields of electrical equipment. Management of development of complex systems, 20, 174–179.
11. Hetman, A. V. (2011). On the normalization of the magnetic field level with the help of multipole magnetic moments. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, 4, 5, 7–10.
12. Perel'ot, T. M. (2017). Monitoring and normalization of levels of low-frequency electromagnetic fields in production conditions: PhD thesis, 145.

Посилання на публікацію

- APA Levchenko, Larysa, Glyva, Valentyn & Burdeina, Nataliia. (2022). Automation of design of educational premises with safe working conditions. *Management of Development of Complex Systems*, 50, 60–67, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.50.60-67 [in Ukrainian].
- ДСТУ Левченко Л. О., Глива В. А., Бурдейна Н. Б. Автоматизація проектування навчальних приміщень з безпечними умовами праці. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 50. С. 60 – 67, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2022.50.60-67.