

УДК 528.811:656.71(043.2)

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ У МЕЖАХ АЕРОПОРТІВ МЕТОДОМ МОДЕЛЮВАННЯ

В. А. Глива

Національний авіаційний університет
просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна.

Л. О. Левченко

Національний технічний університет України «КПІ»
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: larlevch@mail.ru

На основі теоретичних досліджень було визначено математичні функції просторових змін рівнів електромагнітних полів різного типу. Це дозволило розробити програмне забезпечення для автоматизованого моделювання розподілу та прогнозування рівнів електромагнітних полів у районі аеропорту з наступною їх візуалізацією.

Ключові слова: електромагнітне поле, електромагнітна обстановка, математичне моделювання.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТОВ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. А. Глива

Национальный авиационный университет
просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина.

Л. А. Левченко

Национальный технический университет Украины «КПИ»
просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: larlevch@mail.ru

На основе теоретических исследований были определены математические функции пространственных изменений уровней электромагнитных полей разного типа. Это позволило разработать программное обеспечение для автоматизированного моделирования распределения и прогнозирования уровней электромагнитных полей в районе аэропортов с последующей их визуализацией.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитная обстановка, математическое моделирование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогодні авіаційні підприємства мають значну кількість джерел електромагнітних полів широкого спектра частот і амплітуд.

Зниження впливу на людей цього фізичного фактора за рахунок зменшення кількості джерел електромагнітних полів та зниження їх потужностей не уявляється можливим через їх необхідність для забезпечення безпеки польотів та інших потреб авіаційних підприємств.

Виходячи з цього, основним напрямом зниження негативного впливу на людей електромагнітних полів та випромінювань є розроблення інженерно-технічних і санітарно-гігієнічних заходів із захисту населення і працюючих від їх впливу.

Як в Україні, так і за кордоном виконуються дослідження та прикладні розробки щодо вирішення цих завдань [1–3]. Втім актуальною залишається задача попереднього визначення можливості зниження рівнів електромагнітних полів як у приміщеннях, так і на територіях до нормативних за наявної або потрібної кількості технічних засобів. При цьому згідно з [4] електромагнітні поля бажано знижати до технічно досяжних рівнів, що потребує проведення додаткових досліджень.

Дієвим засобом визначення електромагнітної обстановки є її математичне моделювання залежно від кількості технічних засобів, що дає можливість прогнозувати рівні електромагнітних полів та їх динаміку залежно від потужності обладнання,

електронавантаження тощо.

Виконані на сьогодні дослідження стосуються моделювання просторового розподілу електромагнітних полів джерел високої напруги [5], електромагнітних полів у приміщеннях з фіксованою кількістю технічних засобів [6] в одній площині, яка в останньому випадку відповідає площині перебування персоналу й не враховує вплив цих полів на електромагнітну обстановку в суміжних приміщеннях.

Використання сучасних програмних засобів для моделювання електромагнітних полів промислової частоти дозволило отримати моделі, які добре збігаються з натурними вимірюваннями, але вони також стосуються джерел високої напруги. Розрахунки для відкритого простору методом сітчастих елементів потребують штучного обмеження розрахункової області та надання додаткових граничних умов. Ґрунтовне дослідження [7] стосується, в основному, високочастотних джерел, якими є радіопередавальні пристрої, локаторне обладнання тощо.

Прогнозування електромагнітної обстановки потребує отримання тривимірних моделей, які враховують закономірності формування та поширення електромагнітних полів різних джерел, що потребує їх попереднього аналізу та розроблення методології реалізації такого моделювання.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Метою роботи є формування методологічного

підходу до моделювання та прогнозування електромагнітної обстановки у приміщеннях з джерелами електромагнітних полів різного походження з різними закономірностями поширення, а також унаочнення отриманих моделей.

У більшості випадків інтегральне електромагнітне поле формується з електромагнітних полів та випромінювань різного походження, що обумовлено конструктивними особливостями як присутніх у приміщеннях технічних засобів, так і тих, що перебувають за їх межами, але створюють електромагнітні поля гігієнічно значущих рівнів. При цьому формальне використання принципу суперпозиції полів не завжди можливе й доцільне через різні значення гранично допустимих рівнів електромагнітних полів різних частот та різні одиниці їх вимірювання.

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 електропередавання, –

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r};$$

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_{ef}}{2\pi r},$$

де E – напруженість електричної складової електромагнітного поля; B – індукція магнітної складової; τ – лінійна густина заряду у провіднику; I_{ef} – ефективне значення змінного електричного струму $\left(I_{ef} = \frac{I}{\sqrt{2}}\right)$; r – відстань від фазного провідника; ϵ_0 , μ_0 – електрична і магнітна проникненість сталі; ϵ , μ – діелектрична і магнітна проникненість середовища (для повітря $\epsilon = \mu = 1$).

Для зовнішніх джерел необхідно враховувати затухання поля у будівельних конструкціях (методика врахування затухання існує).

Ураховуючи повне блокування електричної складової електромагнітного поля металом (оплітка кабелів, металеві рукава тощо) та взаємозв'язок електричної та магнітної складових, доцільно розглянути магнітну складову. Електрична складова визначається із фундаментального співвідношення

$$\epsilon\epsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2;$$

$$B = \mu\mu_0 H;$$

$$B = E\sqrt{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}.$$

Параметри поля лінійного провідника кінцевих розмірів, що характерно для приміщень, визначаються як

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_{ef}}{4\pi r} (\cos \phi_1 - \cos \phi_2),$$

де ϕ_1 , ϕ_2 – кути між провідником та напрямками від кінців сегменту до точки визначення рівня магнітного поля.

За умови огинання провідником зі струмом

периметра приміщення

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

де a – довжина приміщення; b – ширина приміщення.

Розрахунки показали, що незбалансований струм 3 А, джерелом якого є імпульсні блоки живлення комп'ютерної техніки, у центрі приміщенні розмірами 5×6 м дає магнітне поле індукцією 600 нТл (гранично допустимий рівень для користувачів комп'ютерної техніки складає 250 нТл).

Магнітні поля більшості сучасних технічних засобів є полями дипольного типу, тобто зниження їх рівнів з відстанню відповідає зворотній кубічній залежності.

Вихідні дані для моделювання просторового розподілу електромагнітних полів розраховуються, виходячи зі значення вектор-потенціалу поля магнітного диполя А:

$$B = \text{rot} A. \quad (1)$$

Якщо вектор магнітного моменту m збігається з додатнім напрямком осі Z ортогональної системи координат, то для визначення вектор-потенціалу у будь-якій точці простору (X , Y , Z) необхідно врахувати, що $r^2 = x^2 + z^2$, де r – відстань до точки визначення величини магнітного поля, a

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

де θ – кут між віссю Z і напрямком r .

Модуль А у цій точці дорівнює

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

У площині XZ , згідно з (1),

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

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

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

де ∇ – оператор Гамільтона

$$\left(\nabla = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j + \frac{\partial}{\partial z} k \right),$$

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 Delphi було розроблено спеціальне програмне забезпечення. Управління базою даних здійснювалося з використанням Microsoft SQL Server 5. Це дозволило отримати своєрідну мапу розподілу рівнів магнітних полів від багатьох джерел. Її горизонтальну проекцію наведено на рис. 1.

Кількісні дані щодо рівнів полів виділяються кольором у екранній формі з відповідною шкалою.

Розроблений пакет дозволяє автоматично враховувати 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 силову електромережу, а й прогнозувати їх значення зі збільшенням струму живлення обладнання, що відбивається на значеннях m у вихідних функціях.

Виходячи з прогнозованих результатів, визначаються заходи щодо зниження електромагнітного навантаження, одним з найефективніших методів є використання фундаментального явища дзеркального відбиття у поєднанні з раніше розробленою дипольною моделлю джерела магнітного поля [8].

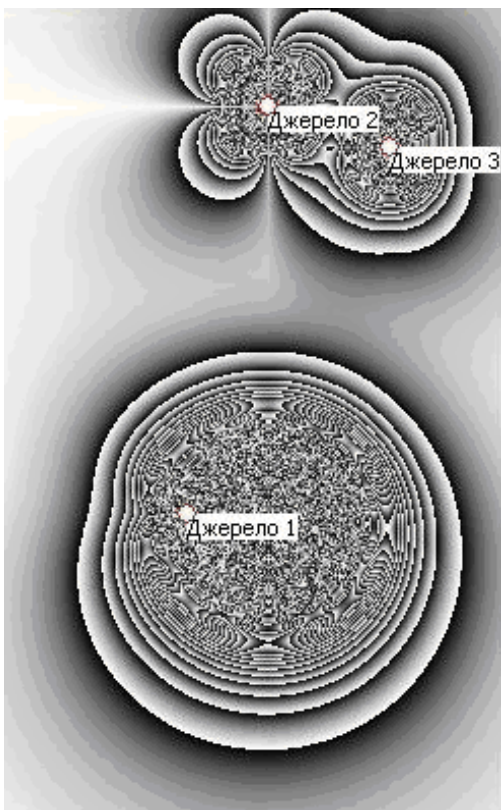


Рисунок 1 – Приклад моделювання просторових розподілів рівнів магнітних полів

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 наступним їх об'єднанням, виходячи з фактичних рівнів електромагнітних полів різних частотних діапазонів методом оптимізації. Розв'язання задачі оптимізації досить складне з урахуванням наявності як мінімум двох класів джерел електромагнітних полів, що потребує подальших теоретичних розробок та експериментальної перевірки отриманих результатів.

ВИСНОВКИ. Проведені теоретичні дослідження та порівняння отриманих результатів з експериментальними даними довели можливість коректного моделювання просторових розподілів електромагнітних полів. Таке моделювання доцільно виконувати на стадіях проектування розміщення радіотехнічних об'єктів, виробничих будівель і споруд, а також при модернізації технологічного обладнання.

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

Моделювання розподілу електромагнітних полів виконується для кожного частотного діапазону з наступною оптимізацією розміщення технічних засобів. Пріоритетність при розв'язанні задачі оптимізації визначається, виходячи з фактичних або прогнозованих рівнів електромагнітних полів у кожному діапазоні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Думанский Ю.Д., Никитина Н.Г., Биткин С.В. и др. Электромагнитное загрязнение окружающей среды – гигиеническая проблема, результаты и пути её решения в Украине. Итоги и перспективы научных исследований по проблеме экологии человека и окружающей среды. – М., 2006. – С. 248–253.
2. Запорожец О.І., Глива В.А., Клапченко В.І. та інш. Система електроживлення та електромагнітна безпека в енергонасичених будівлях і спорудах. Вісник Національного авіаційного університету. – 2008. – № 1. – С. 113–116.
3. Матошек З., Якуб Й., Гикел А. Измерение паразитного излучения электрических приборов и оборудования // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – Вып. 27. – С. 50–55.
4. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields.–Geneva: World Health Organization, 2004. – 67 p.
5. Krajewski W. Numerical modeling of the electric field in HV substation. IEE Proc. Sci. Means. Technol. – 2004. – Iss. 151. – № 4. – PP. 267–272.
6. Шевченко С.Ю., Окунь А.А. Исследование электрических полей промышленной частоты типовых подстанций ВН в городской черте // Гігієна населених місць. – 2011. – Вип. 58. – С. 199–206.
7. Биткин С.В., Думанский В.Ю., Сердюк Е.А. и др. Методологические подходы к определению и моделированию электромагнитных излучений при гигиенических исследованиях // Гігієна населених місць. – 2011. – Вип. 57. – С. 220–231.
8. Глива В.А., Левченко Л.О., Геренчук С.А. Моделювання просторових розподілів електромагнітних полів множинних джерел // Новітні комп'ютерні технології: VII міжнародна наук.-техн. конф., 14–17 вересня 2010 р.: матеріали. – Севастополь, 2010. – С. 34–35.

DETERMINATION AND FORECAST OF ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT IN THE AIRPORT AREA USING MODELLING METHOD

V. Gliva

National Aviation University

prosp. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, 03058, Ukraine. E-mail: gliva@mail.ru

L. Levchenko

National Technical University of Ukraine «KPI»

prosp. Peremohi, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: larlevch@mail.ru

Mathematical functions of spatial changes of different electromagnetic fields levels have been determined on the basis of theoretical studies. It enables to develop program for automatic distribution modelling and forecast of electromagnetic fields levels in the airport area with subsequent visualization.

Key words: electromagnetic fields, electromagnetic environment, mathematic modelling.

REFERENCES

1. Dumansky U.D., Nikitina N.G., Bitkin S.V. and oth. *Electromagnetic environmental pollution – hygienic problem, results and ways of its solution. Results and perspectives of scientific research on problem of ecology of human environment.* – M., 2006. – PP. 248–253. [in Russian]
2. Zaporozhets O.I. Gliva V.A., Klapchenko V.I., Potapenko G.D. and oth. System of power supply and electromagnetic safety in building and constructions. *Proceedings of National Aviation University.* – 2008. – № 1. – PP. 113–116. [in Ukrainian]
3. Matoushek Z., Jakub J., Gikel A. and oth. Measurements of parasitic emission of electric devices and equipment // *Proceedings of NTU “KhPI”.* – 2008. – № 27. – PP. 50–55. [in Russian]
4. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields.-Geneva: *World Health Organization*, 2004. – 67 p.
5. Krajewski W. Numerical modeling of the electric field in HV substation // *IEE Proc. Sci. Means. Technol.* – 2004. – Iss. 151. – № 4. – PP. 267–272.
6. Shevchenko S.U., Okun A.A. Study of powerline frequency electric fields of high voltage typical substation in urban area // *Hygiene of residential areas.* – 2011. – № 58. – PP. 199–206. [in Russian]
7. Bitkin S.V., Dumansky V.U., Serdjuk E.A. and oth. Methodological approaches of determination and modelling of electromagnetic radiation in hygienic study // *Hygiene of residential areas.* – 2011. – № 58. – PP. 220–231. [in Russian]
8. Gliva V.A., Levchenko L.O., Terenchuk S.A. Modelling of electromagnetic fields spatial distribution of multiple sources // *Modern computer technologies: VII International scientific technical conference, 14–17 september 2010: materials.* – Sevastopol, 2010. – PP. 34–35. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 13.07.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чорним О.П.