

УДК 53869:331.45

<sup>1</sup> В.А. Глива

Доктор технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності

<sup>1</sup> Т.В. Віднічук

Аспірант кафедри безпеки життєдіяльності

<sup>2</sup> Л.О. Левченко

Кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

<sup>2</sup> Ю.А. Тарнавський

Кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», Київ

## ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*З'ясовано структури і спрямованості електромагнітних полів навколо моніторів і системних блоків персональних комп'ютерів, а також джерел безперебійного живлення. Визначено, що ці поля перевищують нормативні. Розроблено метод зниження рівнів електромагнітного поля джерел дипольного типу з використанням ефекту явища віддзеркалювання. Досягнутий ефект становить до 20 відсотків. Зроблено висновок про достатність запропонованого методу для нормалізації електромагнітного стану на робочих місцях користувачів комп'ютерної техніки.*

**Ключові слова:** електромагнітне поле, диполь, комп'ютер

*Выяснены структуры и направленности электромагнитных полей вокруг мониторов и системных блоков персональных компьютеров, а также источников бесперебойного питания. Определено, что эти поля превышают нормативные. Разработан метод снижения уровней электромагнитного поля источников дипольного типа с использованием эффекта явления отражения. Достигнутый эффект составляет до 20 процентов. Сделан вывод о достаточности предложенного метода для нормализации электромагнитной обстановки на рабочих местах пользователей компьютерной техники.*

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, диполь, компьютер

*Elucidated the structure and direction of magnetic fields around the monitors and system units of personal computers and uninterruptible power supply. Specifically, these fields exceed normative. Developed a method for reducing the levels of electromagnetic field sources dipole type using the effect of the phenomenon of reflection. The achieved effect is up to 20 percent. The conclusion about the adequacy of the proposed method for the normalization of the electromagnetic environment in the workplace users of computer technology.*

**Keywords:** electromagnetic field, dipole, computer

### Постановка проблеми

Зміни кількісного та якісного складу технічних засобів постійного користування, задіяних у виробничих, адміністративних та навчальних процесах, викликають відповідні зміни частотних та амплітудних характеристик електромагнітних полів у приміщеннях, характеру навантаження на електромережу, рівня іонізації повітря, шуму тощо. Це потребує вдосконалення методів реєстрації фізичних параметрів середовища, розроблення

нових методів нормалізації або мінімізації відповідних факторів та їх наукового обґрунтування.

### Аналіз попередніх досліджень

На сьогодні найбільш динамічно прогресуючими галузями є обладнання інформаційних технологій, зв'язку та пов'язане з ним периферійне устаткування. Проблематиці підвищення його безпечності для працюючих приділяють увагу як спеціалісти з охорони праці, так і фахівці окремих галузей.

Більшість досліджень у цьому напрямку мають експериментальний характер і обмежуються, як правило, констатацією випромінювальних властивостей обладнання [1; 2]. Рекомендації щодо зменшення рівнів випромінювань стосуються конкретних приладів і не узагальнюються на комплекси технічних засобів, які зазвичай перебувають в експлуатації [3]. Теоретичні дослідження розподілу електромагнітних полів у приміщеннях [4] містять багато припущень і базуються на складному математичному апараті. Громіздкість розрахунків (навіть за використання сучасних програмних пакетів) робить такі роботи мало придатними для використання фахівцями-практиками.

Комплексний підхід для підвищення електромагнітної безпеки працюючих, запропонований у роботі [5], є правомірним та доцільним, проте не враховує появи нових зразків технічних засобів з іншими випромінювальними властивостями та напрацювання з екранування магнітних полів сучасними матеріалами [6; 7]. Таким чином, актуальною задачею є дослідження розподілів електромагнітних полів, генерованих сучасними технічними засобами та визначення умов та засобів зниження їх впливу на працюючих.

### Мета статті

Метою роботи є дослідження амплітудних і частотних характеристик електромагнітних полів засобів обчислювальної техніки останнього покоління, просторового розподілу цих полів, надання практичних рекомендацій щодо зниження їх впливу на працюючих та теоретичне обґрунтування отриманих результатів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Вимірювання чисельних рівнів та визначення просторових розподілів електромагнітних полів навколо сучасних технічних засобів потребує високоточного обладнання, датчиків малих розмірів із задовільними калібрувальними характеристиками. Це пояснюється відносно низькими амплітудами полів, генерованих такими приладами та їх локалізацією у просторі. Невеликі розміри датчиків мінімізують їхній вплив на вимірюваний параметр.

У даній роботі використовувався спеціально розроблений модуляційний датчик реєстрації амплітуди магнітного поля (рівень електричної складової отримується перерахунком, виходячи з фундаментальних фізичних співвідношень). Датчик являє собою котушку з двома гальванічно розв'язаними контурами, на один з яких подається струм сигналу збудження 15-20 мА. Модуляційна частота збудження – 750-1000 кГц. З другого контура знімаються необхідні покази. Конттури намотані на магнітне осердя зі стрічкового аморфного сплаву ММ-11N, відпаленого за температури 520°C. Перевагами датчика є незначні розміри (10x5x5 мм) та лінійна залежність чутливості від частоти вимірюваного поля (рис.1).

Наведена частотна залежність чутливості датчика залишається лінійною до 100 кГц. За вищих частот (до 400 кГц) є незначне відхилення від лінійності, але воно враховувалося у процесі виконання вимірювань. Такі параметри датчика цілком задовольняють дослідження електромагнітних полів пристроїв обчислювальної техніки у регламентованих національними та міжнародними нормативами діапазонах частот (5 – 2000 Гц та 2 – 400 кГц). Реєстрація сигналів та оброблення отримуваної інформації здійснювалося за методиками та з використанням обладнання, описаного у [5; 6].

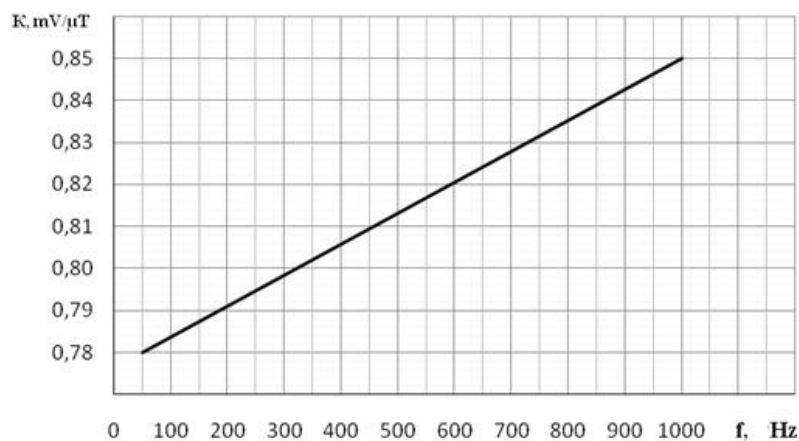


Рис.1. Залежність чутливості модуляційного датчика від частоти вимірюваного поля

На сьогодні відбувається процес масового переходу на використання рідкокристалічних моніторів (РК) нового покоління, які за споживчими якостями не поступаються моніторам на електронно-променевих трубках (ЕПТ). Вважається, що відсутність у конструкціях таких моніторів компонентів, у яких магнітне поле використовується як робоче, робить їх цілком безпечним для користувачів (принаймні з точки зору електромагнітної безпеки). Проте монітори великих діагоналей (Wide-монітори) досить потужні – 200 – 260 Вт, тому є необхідність визначення чисельних рівнів та просторових розподілів магнітних і електричних полів навколо таких приладів. Крім того, зростання продуктивностей комп'ютерів потребує збільшення потужностей вмонтованих блоків живлення, що є причиною виникнення підвищених рівнів електромагнітних полів. Враховуючи важливість робіт, виконуваних з використанням персональних комп'ютерів, у багатьох установах експлуатацію комп'ютерної техніки без використання джерел безперебійного живлення заборонено. При цьому блоки безперебійного живлення колективного використання поширення не набули. З причин, наведених вище, потужність таких джерел також зростає. На сьогодні зазвичай використовують індивідуальні джерела потужністю 550 – 600 Вт. У роботі [5] наведені амплітудні значення магнітних полів у фронтальній зоні найпоширеніших джерел, проте не визначені їх просторові розподіли. Системних досліджень з окреслених питань не виконувалось.

Вимірювання рівнів електромагнітних полів навколо системних блоків сучасних персональних комп'ютерів показали, що збільшення потужності вмонтованих імпульсних блоків живлення не призвело до суттєвого збільшення цих полів у навколишньому просторі, принаймні до рівнів, що межують з гранично допустимими.

Це можна пояснити частковою локалізацією електромагнітних полів металевими корпусами системних блоків, які зазвичай виготовляють з електротехнічних сталей. Факт такого екранування було встановлено раніше, при дослідженні екрануючих властивостей магнітом'яких матеріалів [7].

Обстеження сучасних рідкокристалічних моніторів з діагоналями екранів 22 та 24 дюйми здійснювалося згідно з методикою, регламентованою міжнародним стандартом ТСО 0,3. Дослідження показали, що як за спектральним складом, так і за просторовим розподілом електромагнітні поля таких моніторів суттєво відрізняються від аналогічних

показників для ЕПТ – моніторів. Зниження амплітудних значень полів до незначних рівнів (практично на один порядок) є очікуваним, проте на практиці це стосується діапазону 5 – 2000 Гц.

Дослідження показали, що рівні електричних полів діапазону 2 – 400 кГц перед екранами таких моніторів є гігієнічно значущими і у деяких випадках перевищують гранично допустимі. Структура полів має вигляд, притаманний полю електричного диполя, розташованого горизонтально у площині екрану. При цьому зміна напруженості поля у напрямку оператора відповідає залежності:

$$E = AL^{-2,7+2,9},$$

де  $L$  – відстань від екрана до точки контролю;

$A$  – коефіцієнт пропорційності.

Отримана залежність близька до оберненої кубічної, що притаманне полю диполя, а відхилення від неї пояснюється додатковими джерелами полів з іншими функціями згасання.

Цікавим є факт, що поля найбільших амплітуд у цьому діапазоні припадають на частоти 150 – 250 Гц. Враховуючи, що такі поля притаманні люмінесцентним лампам, можна зробити висновок, що основними джерелами електромагнітних полів РК – моніторів є системи підсвічування екранів.

Обстеження амплітудних значень та просторових розподілів електромагнітних полів найбільш вживаних джерел безперебійного живлення потужностями 350-650 Вт показали, що майже в усіх приладах має місце перевищення гранично допустимих рівнів. При цьому рівні магнітних полів з фронтальних та бокових площин суттєво відрізняються.

Для діапазону 5 – 2000 Гц:

– фронтальна грань – 90-1800 нТл;

– бокова грань – 120-2200 нТл.

Для діапазону 2 – 400 кГц:

– фронтальна грань – 8-30 нТл;

– бокова грань – 10-45 нТл.

Вимірювання виконувалися на відстані 50 см від приладу. Фронтальною гранню вважалася грань, на якій розташований вимикач живлення.

За просторовим розподілом магнітні поля таких джерел дуже схожі на поля магнітних диполів. Розміщення поряд з джерелом безперебійного живлення провідної заземленої поверхні дозволяло знизити рівні поля з іншого боку джерела у кілька разів. Пояснення такого явища можна знайти використовуючи раніше запропоновану дипольну модель технічного засобу.

Розглянемо магнітний диполь, розташований у початку координат (рис. 2).

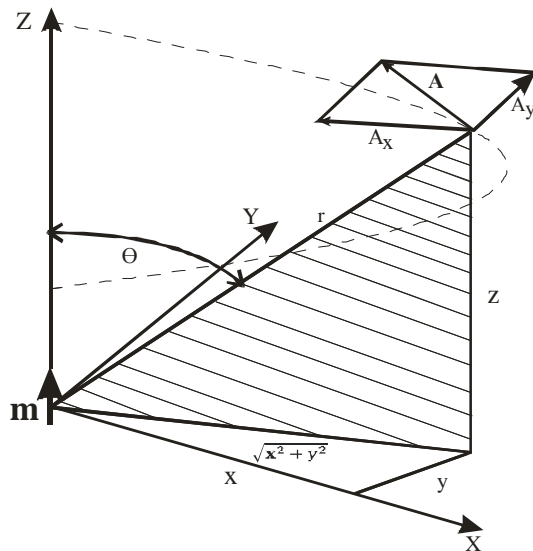


Рис. 2. До розрахунку компонентів магнітного поля:  
*m* – магнітний диполь;  
*A* – вектор-потенціал поля диполя

Вектор дипольного моменту *m* збігається з додатним напрямком осі *z*. Для визначення вектор-потенціалу у будь-якій точці (*x*, *y*, *z*) необхідно врахувати, що  $r^2 = x^2 + z^2$ , а  $\sin \theta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{r}$ .

Для спрощення виразів загальні розрахунки доцільно виконувати у гаусовій системі, що не впливає на кінцевий результат.

Модуль *A* вектор-потенціалу у цій точці дорівнює:

$$A = \frac{m \sin \theta}{r^2} = \frac{m \sqrt{x^2 + y^2}}{r^3}.$$

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

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

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

$$A_z = 0.$$

Обчислимо компоненти вектора магнітної індукції *B* для точки у площині *XZ*, визначаючи  $\text{rot} A$  та враховуючи, що  $y=0$

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

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

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

У площині *XZ*  $y=0$ ,  $\sin \theta = \frac{x}{r}$ ,  $\cos \theta = \frac{z}{r}$ ,

тому компоненти магнітного поля у будь-якій точці площини дорівнюють

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

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

За наявності поблизу диполя пласкої провідної поверхні, магнітне поле у точці спостереження є різницею полів дійсного та індукованого диполів, що впливає з принципу дзеркального відображення (рис. 3).

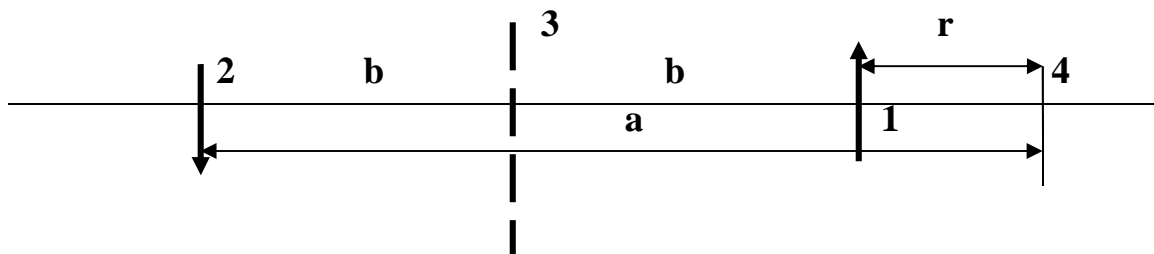


Рис. 3. Розташування дійсного та індукованого диполів при дзеркальному відображенні:  
 1, 2 – дійсний та індукований диполі; 3 – поверхня дзеркального відображення;  
 4 – точка визначення магнітного поля

Таким чином, розрахунки відносного зниження рівнів магнітних полів у будь-якій точці робочого місця не потребують визначень магнітних моментів диполів, а є функціями відповідних відстаней. Це значно спрощує роботи зі зниження рівнів магнітних полів при впровадженні організаційно-технічних заходів з електромагнітної безпеки. Так, відносне зменшення рівня магнітного поля у точці спостереження відповідає відношенню:

$$B = \frac{B_1 - B_2}{B_1},$$

де  $B_1$  – індукція магнітного поля дійсного диполя;

$B_2$  – індукція магнітного поля індукованого диполя.

Тобто для осі  $Z$  у точці спостереження 4 з урахуванням того, що  $\cos\theta=1$ ,

$$B(\%) = \frac{\frac{2m}{r^3} - \frac{2m}{a^3}}{\frac{2m}{r^3}} = \frac{a^3 - r^3}{a^3} \cdot 100\%.$$

Отримані результати добре узгоджуються з експериментом. Відхилення у 8-10% пояснюються тим, що більшість технічних засобів (відеомонітори, джерела безперебійного живлення) можуть бути змодельовані не як дипольні джерела, а як більш складні випромінювачі.

### Висновки

Враховуючи викладене, можна зробити кілька основних висновків.

Нагальною потребою є ретельне дослідження шкідливих фізичних факторів, зокрема електромагнітних полів та випромінювань, генерованих технічними засобами нового покоління, що масово використовуються у виробництві, адміністративних та навчальних процесах.

Зниження рівнів електромагнітних полів на робочих місцях можливе за рахунок простих технічних рішень з використанням провідних заземлених екранів, у якості яких можуть використовуватися металеві корпуси інших технічних засобів.

При впровадженні організаційно-технічних заходів з підвищення безпеки праці слід враховувати зміни у частотних спектрах електромагнітних полів, генерованих засобами обчислювальної техніки останнього покоління.

Потребують коригування чинні державні нормативи з охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. Необхідні подальші експериментальні дослідження та теоретичне обґрунтування вибору контрольованих діапазонів частот з урахуванням параметрів периферійного та допоміжного обладнання.

Доцільним є розроблення простого у практичному використанні аналітичного методу прогнозування рівнів фізичних факторів антропогенного походження на окремих робочих місцях, приміщеннях та будівлях в цілому.

Перспективним є моделювання розподілів електромагнітних полів, шуму тощо у приміщеннях, виходячи з експериментальних даних щодо окремих приладів та відомих функцій розповсюдження відповідних полів у просторі. Такі роботи є предметом подальших досліджень.

### Список літератури

1. Назаренко В.У. Комбінована дія ЕМП промислової частоти, шуму, підвищеної температури повітря як проблема медицини праці / В.У. Назаренко // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип.50. – С. 201-205.
2. Будянская Э.Н., Безопасность жизнедеятельности человека в условиях воздействия электромагнитных полей / Э.Н. Будянская, Л.Г. Евтушенко, С.В. Нестеренко // Комунальне господарство міст: Науково-технічний збірник. – К.: Техніка. – 2006. – Вип.64. – С. 131-135.
3. Думанський Ю.Д., Один із засобів зниження електромагнітного забруднення, створюваного цифровими системами рухомого зв'язку / Ю.Д. Думанський, В.М. Павлик, С.В. Біткін // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип.49. – С. 260-263.
4. Маслов М.Ю. Исследование электромагнитных полей в помещениях для целей электромагнитной и информационной безопасности: Дис. канд. техн. наук: 05.12.07. – Саратов, 2003. – 240с.
5. Глива В.А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем: дис...докт.техн.наук: 05.26.01. / Глива Валентин Анатолійович. – К.: 2012. – 273с.
6. Запорожець О.І. Система електроживлення та електромагнітна безпека в енергонасичених будівлях і спорудах / О.І. Запорожець, В.А. Глива, В.І. Кляпченко, Г.Д. Потапенко, А.В. Лук'янчиков // Вісник національного авіаційного університету. – 2008. – №1. – С.113-116.
7. 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.

Стаття надійшла до редколегії 18.10.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., О.І. Запорожець, директор Інституту екологічної безпеки Національного авіаційного університету, Київ.