УДК 538:69:331:45

ДЕЯКІ НАПРЯМИ РОБІТ ЗІ ЗНИЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ

О.І. Запорожець д.т.н. (НАУ), Б.Д. Халмурадов, к.м.н. (НАУ), В.А.Глива, д.т.н (НАУ), Л.О.Левченко, к.е.н (НТУУ «КПІ»)

Вступ. На сьогоднішній день електромагнітне забруднення територій населених пунктів і промислових підприємств з розвиненими мережами електротранспорту та засобів бездротового зв'язку, високою щільністю житлової та промислової забудови стає дедалі вагомішим фактором негативного впливу на людей та екосистему в цілому. При цьому персонал підприємств з великою кількістю електричного та електронного обладнання піддається додатковому впливу цього фізичного фактора.

Це обумовлене низкою причин об'єктивного та суб'єктивного характеру. До об'єктивних слід віднести зростання навантаження на повітряні і підземні лінії передавання електроенергії, відкриті та закриті розподільчі пристрої високої напруги, яке є наслідком збільшення енергонасиченості будівель і споруд. Це відбувається внаслідок розширення мереж електротранспорту, збільшення кількості електричного та електронного обладнання промислових підприємств і адміністративних будівель. Окрім цього спостерігається значне підвищення електрона вантаження у житловому секторі (потужні пральні машини, мікрохвильові печі, велика кількість персональних комп'ютерів тощо).

Необхідність забезпечення якісного зв'язку має наслідком появу великої кількості радіопередавальних пристроїв – базових станцій мобільного зв'язку, які створюють постійний електромагнітний фон надвисоких та надзвичайно високих частот.

Щодо суб'єктивних причин електромагнітного забруднення довкілля, то до них слід віднести введення в експлуатацію ліній електропередавання, трансформаторних підстанцій без урахування реальної електромагнітної обстановки у даному місці, районі, території.

Сучасний стан проблеми. Системи розподілу електроенергії, внутрішньодомові мережі електроживлення (крім споруд, побудованих у останні кілька років) не пристосовані до живлення нелінійних електроспоживачів. Наслідком цього є те, що сучасні імпульсні джерела живлення з малими енергоспоживаннями, енергозаощаджувальні освітлювальні прилади генерують у силових енергомережах незкомпенсовані електроструми частотою 150 Гц і вищі, кратні трьом (гармоніки промислової частоти 50 Гц) та інтергармоніки (25, 12,5 Гц), які створюють магнітні поля гігієнічно значущих рівнів. Джерелами електричних та магнітних полів ненормативних рівнів є повітряні лінії електропередавання з великими термінами експлуатації через забруднення та зношеність гірлянд ізоляторів, надмірне провисання дротів, коронування на опорах тощо.

Наднормативне збільшення рівнів електромагнітних випромінювань надвисоких та надзвичайно високих частот обумовлюється, в основному, неузгодженістю щодо встановлення базових станцій мобільного зв'язку окремими

операторами та неврахування рельєфів місцевості. Відокремлення внесків різних станцій за допомогою сучасного вимірювального обладнання дуже ускладнюється практичним збігом їх робочих частот.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів та випромінювань регламентуються нормативами [1, 2].

Натурні вимірювання, виконані поблизу повітряних ліній електропередавання напругами 330 і 110 кВ показали, що навіть за межами санітарно - захисних зон у багатьох випадках спостерігається перевищення гранично допустимих рівнів магнітних полів промислової частоти 50 Гц (на 10 – 15%) і практично усюди перевищуються норми щодо експлуатації засобів обчислювальної техніки [3].

Згідно з методикою вимірювань, регламентованою санітарними нормами [1], контролюється густина потоку енергії на висоті 2 м від поверхні землі. За таких умов у м. Києві цей показник в усіх пунктах нижчий за критичний (2,5 мкВт/см^2), в той же час на висотах, які відповідають п'ятому і вищим поверхам будівель, цей показник у багатьох місцях складає 6 – 7 мкВт/см^2 [4].

Попередні дослідження довели, що зниження електромагнітного навантаження на довкілля можливе тільки на комплексній основі зі створенням відповідних баз даних [5] та урахуванням економічних чинників [6].

Метою статті є визначення основних напрямів та обґрунтування методів і засобів зі зниження та прогнозування електромагнітного навантаження на працюючих.

Викладення основного матеріалу. Вплив технологічного обладнання у виробничих умовах є найбільш непередбачуваним і потребує визначення і аналізу у кожному окремому випадку. Це пояснюється тим, що амплітудні значення та частотні діапазони полів більшості стандартних джерел відомі або можуть бути розраховані, виходячи з відстаней до них, робочих електострумів, потужностей випромінювачів і т.ін. В той же час, спектри та чисельні значення електромагнітних полів промислового обладнання не завжди відомі і залежать від конструктивних особливостей і робочих навантажень у даний момент та суперпозиції полів окремих одиниць електричного та електронного обладнання.

Як зазначалося, найвагомішим чинником зовнішніх електромагнітних полів промислової частоти 50 Гц є повітряні лінії електропередач. У межах населених пунктів зазвичай використовуються лінії напругою 330 кВ і нижчою. Усі вони побудовані з додержанням розмірів санітарно-захисних зон (зони, де напруженості електричного поля перевищують 1кВ/м). Але врахування їх впливу на людей у будівлях і спорудах необхідне через низку причин. Рівні цих полів знижуються обернено пропорційно відстаням до фазних дротів, що є найменшим затуханням порівняно з іншими джерелами (наприклад для більшості технічних засобів обчислювальної техніки – зворотно пропорційно кубу відстані).

Відомо, що більшість ліній електропередач в Україні мають великі терміни експлуатації. Наслідком цього є зношеність і забруднення арматури, значні рівні електромагнітних випромінювань за рахунок коронування, ненормативне провисання дротів у літній період, залежність рівнів електротехнічних полів

від відносної вологості тощо. Це потребує проведення як разового, так і поточного контролю електромагнітних полів ліній електропередач, які пролягають поблизу виробничих приміщень.

У більшості випадків можливе попереднє оцінювання рівнів цих полів за електричними і магнітними складовими

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} \text{ (В/м);} \quad (1)$$

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_{e\phi}}{2\pi r} \text{ (Тл)} \quad (2)$$

де E – напруженість електричного поля, B – індукція магнітного поля,
r – відстань до фазного дроту, ε_0 , μ_0 – електрична і магнітні сталі,
ε, μ - діелектрична і магнітна проникності середовища (для повітря $\varepsilon=\mu=1$),
τ – лінійна густина заряду, $I_{еф}$ – ефективне значення електроструму.

При цьому значення електроструму береться максимально допустимим для довготривалого навантаженні лінії за номінальної напруги (для лінії 330 кВ – біля 600 А).

Це дозволить з'ясувати внесок ліній електропередач у загальний електромагнітний фон у виробничих приміщеннях. Особливо це стосується енергетичної або енергоємної галузей (металургійні підприємства з індукційними пічками), для яких гранично допустимі рівні електромагнітних полів значно вищі.

Співвідношення дозволяють розрахувати параметри полів на будь-якій відстані від ліній електропередач. Враховуючі деякі труднощі з визначенням лінійної густини заряду у провідниках, доцільним є розрахунок магнітної складової електромагнітного поля з наступним перерахунком його у значення напруженості електричного поля, виходячи з фундаментальних співвідношень:

$$\varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2 \text{ та } B = \mu\mu_0 H,$$

де H – напруженість магнітного поля.

Розрахунок рівня індукції магнітного поля повітряної лінії електропередач напругою 110 кВ (поширених у населених пунктах) з номінальним електрострумом 200 А на відстані 50 м від проекції фазного дроту дає значення 600 нТл, що відповідає напруженості електричного поля 170 В/м (захисна зона навіть для ліній 330 кВ складає 20 м).

Отримані значення далеко за межами санітарно-захисних зон значно перевищують, наприклад, нормативи для комп'ютерної техніки (у діапазоні 5 Гц-2000 Гц). Таким чином, при розміщенні комп'ютерів у приміщеннях поблизу повітряних ліній електропередач дозволене згідно [1], але не відповідає чинним нормативам з електромагнітної безпеки при експлуатації комп'ютерної техніки. Дослідження довели, що електромагнітні поля повітряних ліній електропередач напругами 110 кВ навіть за межами захисних зон мають значний вплив на біологічні об'єкти.

Слід врахувати, що розрахунки рівнів електромагнітних полів повітряних ліній виконуються для ідеальних умов та фіксованих електронавантажень на них.

Натурні вимірювання цих параметрів у межах населених пунктів наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Рівні магнітних полів поблизу повітряних ліній електропередач

Напруга, кВ	Відстань, м	Індукція магнітного поля, мкТл
110	10	5,5 – 7,3
	50	0,5 – 0,9
330	20	6,4 – 10,5
	50	0,9 – 1,7

Отримані результати кількісно дещо відрізняються від наведених у [7], але збігаються за порядком. Це пояснюється як технічним станом конкретної лінії електропередач, так і електрострумом у ній на момент проведення вимірювань.

Обстеження трансформаторних пунктів, розташованих за межами будівель показало, що вони не дають суттєвого внеску у рівні магнітних полів в розташованих поблизу спорудах старої забудови.

Реаліями сьогодення є зростання кількості та ущільнення систем передачі та перетворення електроенергії у населених пунктах, що потребує розроблення системи заходів зниження їх впливу як на людей, так і на засоби обчислювальної техніки, діагностичну апаратуру медичних закладів тощо. Дистанціювання робочих місць від джерел електромагнітних полів промислової частоти у таких умовах є проблематичним. Найбільш дієвими засобами зниження електромагнітних впливів на працюючих є перехід на підземні лінії електропередач (особливо на підприємствах з великими енерговитратами). Реалізація такого рішення на підприємстві «Дніпросталь» (м. Дніпропетровськ) показало, що кабельна лінія електропередачі напругою 330 кВ генерує електромагнітні поля на порядок нижчих рівнів, ніж аналогічні повітряні лінії.

Теоретичне обґрунтування та методика практичного втілення переходу на підземні лінії електропередач надано у [8].

Більшість джерел, що використовуються у виробничих, адміністративних та навчальних закладах, генерують низькочастотні електромагнітні поля (комп'ютерна та оргтехніка, допоміжні пристрої, системи електроживлення, освітлення, кондиціювання, побутова техніка тощо). Для відповідних розрахунків доцільно розглядати одну з компонент електромагнітного поля, враховуючи, що за низьких частот поле можна вважати квазістаціонарним. При цьому для більшості джерел доцільно використовувати дипольну модель [4].

Розрахунки амплітудних значень полів окремих джерел можливо виконувати у декартових координатах з додавання їх знань у точках спостережень, як показано у [4].

В загальному випадку магнітне поле системи квазістатичних струмів, розподілених у об'ємі V і обмежених поверхнею S, у деякій точці однорідного невідповідного немагнітного середовища (поза об'ємом джерела) задовольняє однорідним рівнянням Максвела

$$rot\ B = 0, \quad div\ B = 0$$

та закону Біо-Савара

$$B(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{\left[j(r') \times (r - r') \right]}{|r - r'|} \cdot dV,$$

де B – вектор магнітної індукції у точці спостереження з координатами r=(r_x, r_y, r_z) ; j – вектор густини струму у точці $\mathbf{r}' = \left(r_{x'}, r_{y'}, r_{z'} \right)$, μ_0 – магнітна стала.

У точці простору, де r >> r′, згідно з дипольною моделлю джерела,

$$B = \frac{\mu}{4\pi} \frac{3(mr)r - mr^2}{r^5} = \frac{\mu}{4\pi r^5} \begin{pmatrix} 3r_x^2 - r^2 & 3r_x r_y & 3r_x r_z \\ 3r_x r_y & 3r_y^2 - r^2 & 3r_y r_z \\ 3r_x r_z & 3r_y r_z & 3r_z^2 - r^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{pmatrix},$$

де m – вектор магнітного моменту диполя.

Якщо координата точок спостереження r відома, то за допомогою наведених співвідношень можливе розв'язання прямої задачі магнітостатики, а саме: за заданими випромінювальними спроможностями джерел поля визначити значення вектора магнітної іидукції та його просторових похідних у необхідних точках простору. При цьому кількість точок контролю, їх взаємне розташування у просторі, кількість магнітних диполів, які одночасно є джерелами магнітного поля, та їх взаємне розташування можуть бути довільними.

На практиці випромінювальні властивості окремих приладів або відомі (наприклад, за результатами сертифікаційних випробувань), або легко визначаються за допомогою стандартного або спеціального обладнання, тому для виконання розрахунків потрібні тільки математичні функції просторових змін амплітуди поля. Крім того, зважаючи на те, що інтерес становлять рівні полів у місцях постійного перебування працівників, достатнім є розв'язання задачі у площині, яка відповідає рівню, приблизно, одного метра над підлогою. При цьому для обладнання, розташованого на підлозі і на висоті більше обраного значення, доцільно ввести якість фіксовані константи з урахуванням додаткових відстаней.

В ортогональній системі координат, за орієнтацією магнітного диполя у напрямі z, компоненти індукції магнітного поля у гаусовій системі (що не впливає на результати) виражається:

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

$$\mathbf{B_y} = 0$$

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

де m – магнітний момент диполя,
θ – кут між віссю z та напрямком до точки визначення поля,
r – відстань від диполя до точки визначення поля.

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

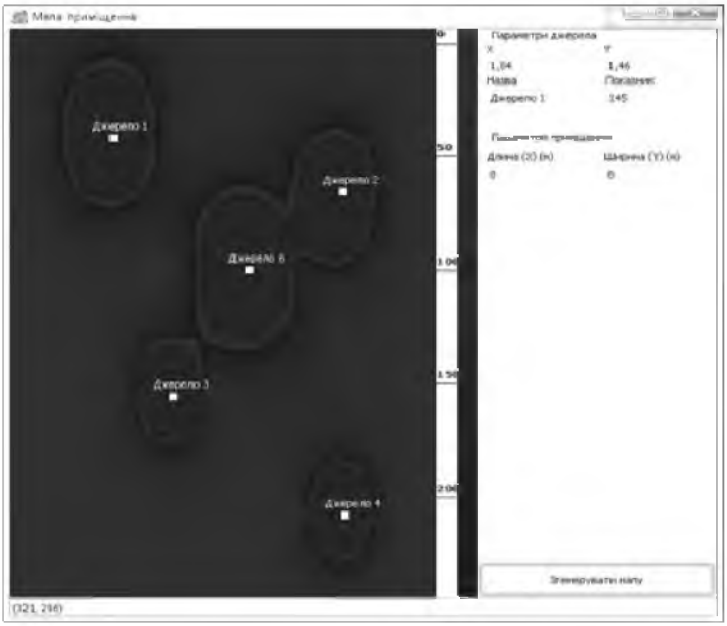

Рис.1 Розподіл рівнів магнітних полів у приміщенні

Розроблений пакет дозволяє автоматично врахувати розміри приміщень та джерел. За необхідності отримання чисельних даних магнітний момент дипольних джерел визначається з технічних даних обладнання.

Висновки

1. Розміщенню джерел низькочастотних і високочастотних електромагнітних полів та випромінювань повинне передувати моделювання просторових їх розподілів та часових змін на прилеглих територіях.

2. Перспективними напрямами зниження негативного впливу цього фізичного фактора на людей і довкілля є поступовий перехід на територіях міст на підземні кабельні лінії передачі електроенергії та модернізація внутрішньобудівельних мереж електроживлення.

3. Навіть за впровадження сучасних заходів зі зниження рівнів електромагнітних полів у будівлях, оптимізація розміщення зовнішніх джерел такого

впливу не завжди можлива. Ефективним захистом від зовнішніх електромагнітних полів та випромінювань є екранування необхідних боків будинків, їх частин або окремих приміщень.

4. Необхідною умовою ефективності пропонованих заходів є картографування усіх об'єктів енергопостачання та електропередавання, радіотехнічних об'єктів різного призначення з використання геоінформаційних технологій.

Перспективним напрямом подальших досліджень зі зниження негативного впливу електромагнітних полів на працюючих є визначення його опосередкованої складової, яка полягає у підвищенні інтенсивності корозійних процесів у металевих конструкціях, трубопроводах тощо через наявність електрострумів, індуктивно наведених зовнішніми магнітними полями.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: ДСН 239-96.-К.: МОЗ України, 1996. – 28 с.- (Державні санітарні норми України).
2. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: Д Сан Пін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-01-04]. - К.: МОЗ України, 2003. – 16 с.- (Державні санітарні норми України).
3. Запорожець О.І. Конструктивні особливості систем електроживлення і можливі шляхи підвищення електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів / О.І. Запорожець, В.А. Глива, В.І. Клапченко [та ін.] // Гігієна населених місць. – 2008. – Вип.51. – С.231-237.
4. 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. - № 31. – С.85-90.
5. Левченко Л.О. Інформаційний супровід екологічного моніторингу / Л.О.Левченко, В.А.Глива, В.І.Клапченко, А.Ю.Репко // Науково-технічна інформація. – 2009. - № 1.- С.16-19.
6. Левченко Л.О. Оцінка економічної складової екологічних досліджень / Л.О.Левченко, С.О.Лук'яненко, С.Г.Карпенко, В.А.Глива // Науко-технічна інформація . – 2009. - № 3. – С.7-9.
7. Думанський В.Ю. ЛЕП- джерело електромагнітного поля, його гігієнічне значення та нормування в умовах населених місць / В.Ю. Думанський // Гігієна населених місць. – 2010. – Вип.56 . – С. 196-202.
8. Думанський В.Ю. Гігієнічна оцінка електромагнітного поля, що створюються підземними кабельними лініями електропередач змінного струму / В.Ю. Думанський, С.В. Біткін, А.А. Квинцинський // Гігієна населених місць. – 2009. – Вип.53. – С.174-186.