

УДК 538.69.331.45

В.Г. Здановський<sup>1</sup>, В.В. Коваленко<sup>2</sup>, В.А. Глива<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці, Київ<sup>2</sup> Національний авіаційний університет, Київ

## КРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧІ СЕРЕДОВИЩА

Для розроблення і впровадження заходів з підвищення електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів необхідна алгоритмізація процесу визначення критичних джерел електромагнітних полів. Це дозволить прискорити виконання таких робіт та знизити їх вартість. Особливо це важливо для виявлення усіх джерел електромагнітних впливів на об'єктах критичної інфраструктури, де електромагнітна безпека та електромагнітна сумісність обладнання є двоєдиною задачею.

**Ключові слова:** електромагнітна безпека, електромагнітна сумісність, критерій, екранування.

### Вступ

Попереднє оцінювання можливих впливів на електромагнітну обстановку у виробничих приміщеннях є важливим аспектом якості контролю рівнів електромагнітних полів джерел з різними амплітудно-частотними характеристиками та розроблення адекватних заходів з її нормалізації. Однак і досі не існує чітких критеріїв щодо вибору обладнання та методик вимірювання, які можуть гарантувати коректність прийнятих рішень, не залишивши поза увагою істотні чинники впливу на електромагнітну обстановку. В той же час загальною тенденцією є суворе нормування заходів з контролю стану об'єктів критичної інфраструктури та стратегічних об'єктів. У галузі електромагнітної безпеки це як безпека людей, так і електромагнітна сумісність електричного та електронного обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як в Україні, так і в усьому світі методичним питанням з цієї проблематики приділяється багато уваги [1,2]. Але, в основному, це або чисто метрологічний аспект, або визначення критеріїв електромагнітного навантаження у одному діапазоні. Наприклад, оцінюється внесок магнітних полів гармонік промислової частоти за кількістю електроспоживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками [3]. При цьому поза увагою залишаються джерела високочастотних впливів. Для України це питання особливо актуальне. Так, у галузі цивільної авіації досі використовуються методичні вказівки з визначення рівнів електромагнітного поля засобів керування повітряним рухом [4], які застаріли через зміну парку обладнання, що проаналізовано у дослідженні [5]. Аналогічна проблема існує і у галузі управління судноплавством, особливо у морських та річкових портах.

Важливість задач підсилюється необхідністю додержання вимог з електромагнітної сумісності технічних засобів, наприклад, [6,7], які з 2016 р. є чинними в Україні. При цьому слід враховувати, що існують певні суперечності вимог нормативів з елект-

ромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності [8]. Таким чином, нагальна потреба полягає у розробленні науково обґрунтованих та практично значущих критеріїв, за якими треба визначати електромагнітне навантаження у будівлях і спорудах.

**Мета роботи** – розроблення цілісної системи критеріїв оцінювання якісного та кількісного складу джерел електромагнітних впливів на виробниче середовище широкого частотного спектра з різними амплітудами.

### Виклад основного матеріалу

Головна задача – розроблення алгоритму визначення електромагнітного навантаження на виробниче середовище у окремих приміщеннях, будівлях, на території підприємства з урахуванням усіх можливих джерел впливу на електромагнітну обстановку. Це дає можливість за відомими даними з'ясувати частоти поля, генерованого конкретним джерелом, його просторову структуру, а також обрати необхідні методи та засоби вимірювання напруженості поля.

Очевидно, що конкретні показники електромагнітного поля у окремих виробничих приміщеннях обумовлені багатьма факторами – внутрішніми та зовнішніми. Тобто напруженостями полів, генерованих технологічним та допоміжним обладнанням і полями та випромінюваннями зовнішніх джерел. При цьому на кількісні значення обох груп факторів впливає середовище їх розповсюдження – часткове екранування, відбиття та перевідбиття електромагнітних хвиль будівельними конструкціями, поверхнями обладнання тощо [9]. Врахування усіх факторів впливу потребує систематизації у логічній послідовності з визначенням їх пріоритетності та взаємозалежності. Визначальними, на нашу думку, є синусоїдальність електричного струму, склад електротехнічного та електронного обладнання та інші чинники. Розглянемо їх окремо.

1. У сучасних умовах первинним заходом контролю електромагнітної обстановки повинно бути, визначення загального електронавантаження на виробничу будівлю, яке безпосередньо пов'язане з можливими рівнями електромагнітних полів. При цьому

важливою є якість електроенергії, перш за все її синусоїдальність. Як неодноразово зазначали фахівці-електротехніки, незадовільність цього параметра є причиною виникнення магнітних полів непередбаченого гармонічного складу.

2. Склад електричного обладнання. Основною задачею є з'ясування внеску споживачів з лінійними вольт-амперними характеристиками у загальне електронавантаження. Це обумовлює необхідність і достатність виірювання електромагнітних полів промислової частоти. Важливими є конструктивні особливості та параметри обладнання – потужність і полносність електричних машин, наявність і потужність вбудованих трансформаторів, наявність і конструкція вентиляційних систем тощо. Вони обумовлюють просторові структури поля електротехнічної установки та ступінь його неоднорідності на різних відстанях.

3. Сучасне електронне обладнання є найбільш критичним джерелом електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Для частини такого обладнання – персональних комп'ютерів (ПК) - чітко унормовані частотні смуги (5 Гц – 2 кГц та 2кГц - 400 кГц), для яких визначено гранично допустимі рівні (ГДР) електричних та магнітних полів, які є досить жорсткими. Наприклад, магнітне поле для першої смуги не повинно перевищувати 250 нТл, в той час як для магнітного поля промислової частоти цей показник – 0,5 мкТл. Таким чином, наявність та кількість комп'ютерного обладнання автоматично підвищує вимоги до електромагнітного фону. Водночас, у виробничих будівлях експлуатується значна кількість електронного обладнання, рівні випромінювання яких не регламентуються – це системи контролю доступу, відеоспостереження сигналізації тощо. Попередні вимірювання свідчать, що їх внесок у електромагнітну обстановку може бути суттєвим (до 0,2...5,0 мкТл). Особливо це стосується перших поверхів адмінбудівель. Досвід свідчить, що у цих умовах доцільно враховувати нормативи електромагнітної сумісності, які охоплюють практично усі діапазони частот, притаманних цьому обладнанню. Останнім часом все більш вагомими стають внутрішні джерела випромінювання ультрависоких і надвисоких частот – бездротові комп'ютерні мережі. Завдяки їх великій кількості спостерігається перевищення ГДР ( $2,5 \text{ мкВт/см}^2$ ) на частоті 2,4 ГГц. При цьому існує тенденція до підвищення робочих частот подібного обладнання (до 5 ГГц).

4. Зовнішні електромагнітні впливи. Найсуттєвішими факторами зовнішніх впливів на електромагнітну обстановку є джерела електромагнітних полів промислової частоти та базові станції мобільного зв'язку. Основними джерелами зовнішніх електричних та магнітних полів промислової частоти у більшості виробничих приміщень є повітряні і кабельні лінії електропередачі (ЛЕП), трансформаторні підстанції (ТП), відкриті розподільчі пристрої (ВРП) електроенергетики тощо. Рівні електричних полів зазвичай передбачувані і є функцією відстані, рівні ж магнітних полів залежать від миттєвих значень електричних струмів, що обумовлюють великі обсяги випромінювань.

Значно більш складна ситуація з зовнішніми високочастотними [8] впливами. Це пояснюється тим, що виникає проблема ідентифікації джерел випромінювань. Оператори мобільного зв'язку працюють у вузьких смугах випромінювань ультрависокого діапазону. У багатьох випадках неможливо виділити з загального фону випромінювань внесок джерел цивільної авіації, для яких ГДР принаймні у чотири рази вищий норм для мобільного зв'язку. Окремо слід розглядати внесок у електромагнітну обстановку випромінювань антен телебачення і радіомовлення. Їх вимірювання має особливості через те, що такі станції працюють на межі, яка нормативно розділяє нормування за напруженостями полів та щільностями потоків енергії. У будь-якому випадку визначення внеску таких джерел потребує вимірювань з певним кроком за частотою. При цьому слід враховувати характер навколишньої забудови. Вимірювання за методикою, закладеною у норматив [6], не гарантують коректність результатів. Проведені нами натурні вимірювання свідчать, що за рахунок відбиття від будівель та ділянок рельєфу рівні випромінювань у середині приміщень можуть зростати майже удвічі.

5. Електрофізичні характеристики будівельних та облицювальних матеріалів. Відомо, що значна частина будівельних та облицювальних матеріалів, особливо залізобетонні конструкції з малим кроком арматури та металеві фасадні облицювальні конструкції значно знижують рівні зовнішніх електромагнітних випромінювань. Але такі їх властивості можуть сприяти підвищенню рівнів високочастотних випромінювань у приміщеннях. Це відбувається за рахунок перерозподілу електромагнітних хвиль внутрішніх джерел (наприклад, Wi-Fi) та багатократного переідбиття зовнішніх випромінювань. Тому, для коректного проведення робіт, що забезпечують електромагнітну безпеку, необхідна інформація щодо екрануючих властивостей конструкційних матеріалів будівлі з визначенням внеску у нього екранування за рахунок відбиття електромагнітних хвиль.

6. Класифікація виробничих приміщень. Нестандартні приміщення. У загальному випадку слід враховувати градацію приміщень за кількістю обладнання, щільністю його розміщення, санітарними нормами щодо його випромінювальних характеристик та стійкості до електромагнітних впливів тощо.

Такими є приміщення більшості виробничих, офісних, навчальних установ тощо. На сьогоднішній день спостерігається зростання кількості нестандартних виробничих приміщень, у яких експлуатується специфічне електронне обладнання і формується складний електромагнітний фон. До них належать пульти керування і диспетчерські дільниці енергетичних систем та засобів керування повітряним рухом тощо. Враховуючи важливість робіт, які виконує диспетчерський персонал, охороні праці, створенню абсолютно безпечних та комфортних умов праці цієї дуже відповідальної категорії працівників слід приділити особливу увагу. Досвід показав, що крім врахування чинників, наведених вище, для

коректного визначення фактичної електромагнітної обстановки у таких приміщеннях та розроблення необхідних і достатніх заходів з її поліпшення доцільно визначити спектральний склад і амплітуди електромагнітного поля на критичних частотах. Це пов'язано з певними метрологічними труднощами, тому виконувати таку процедуру необхідно принаймні у наднизькочастотній області – до 1 кГц та для частот 0,3 – 30 ГГц з урахуванням паспортних даних обладнання, що перебуває у експлуатації.

## Висновки

1. У статті розглянуто концептуальні проблеми забезпечення охорони праці в умовах впливу та шкідливої дії електромагнітних полів різного походження, на що до останнього часу в нашій країні мало зверталася увага.

2. Особлива увага повинна приділятися персоналу, що постійно обслуговує електротехнічне та електронне устаткування, а також персоналу з високим психоемоційним навантаженням - диспетчерам та операторам енерго- та телекомунікаційних систем, авіа, морських та залізничних перевезень тощо. Для цих працівників необхідно розробити особливі умови контролю як самих приміщень на наявність електромагнітного випромінювання, так і стану здоров'я і придатності цих працівників до тривалого виконання функціональних обов'язків.

3. Ефективність заходів підвищення електромагнітної безпеки працюючих забезпечується урахуванням всіх чинників впливу на електромагнітну обстановку у виробничих приміщеннях.

4. Отримання достовірних даних щодо кількості джерел електромагнітних полів, їх випромінювання та критичності здійснюється у запропонованій послідовності з урахуванням внутрішніх та зовнішніх чинників впливу.

5. Електромагнітна обстановка та її зміни у діапазонах ультрависоких та вищих частот визначається з урахуванням відбиваючих властивостей будівельних матеріалів споруди та наявності відбиваючих поверхонь за межами будівлі.

6. Для нестандартних приміщень, де використовується специфічне обладнання з непередбачува-

ними властивостями випромінювання, ідентифікація критичних джерел (частот) впливу на працюючих має здійснюватися за результатами отримання спектрів електромагнітних полів у необхідних смугах частот з наступним порівнянням їх амплітуд з ГДР.

## Список літератури

1. *Методологія визначення рівня електромагнітного навантаження на виробниче середовище* / В. А. Глива, Т.М. Перельот // *Проблеми охорони праці в Україні*. – 2014. – Вип. 28. – С. 91 – 95.
2. *Bhattacharjee S. Protective Measures to Minimize the Electromagnetic Radiation* / S. Bhattacharjee // *Electronic and Electric Engineering*.- 2014.-Vol. 4. – P. 375 – 380.
3. *Джерела гармонік магнітного поля у будівлях і спорудах та мінімізація їх рівнів* // В.А. Глива, В.Г. Здановський, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот / *Проблеми охорони праці в Україні*. – 2015. – Вип. 29. – С. 48 – 58
4. *Методичні вказівки з визначення рівнів електромагнітного поля засобів керування повітряним рухом цивільної авіації ВЧ-, ДВЧ-, УВЧ-, та НВЧ-діапазонів* / М.Г. Шандала, Ю.Д. Думанський та ін. – М., 1988. – 44 с.
5. *Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот* / В.В. Коваленко, О.М. Тихенко, Л.О. Левченко // *Вісник КрНУ ім. М. Остроградського*. – 2016. – Вип. 5(100). – С. 82 –86.
6. *ETSI EN 300 220-2 V2.4.1 (2012-05): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.*
7. *ETSI EN 301 489: "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services".*
8. *Electromagnetic load on the airport staff and basic methods of its reducing* / V.A. Glyva, V.V. Kovalenko, N.N. Kychata, L.A. Levchenko // *Proceedings The Sixth world congress "Aviation in the XXI-st century", September 23-25, 2014. – Vol.2. – Pp.5.2.14 – 5.2.18.*
9. *Wireless communication safety analysis* / V. Kovalenko, O. Tykhenko // *Proceedings the Seventh World Congress «Aviation in the XXI-st Century», September 19–21, 2016. – P. 5.4.46 – 5.4.48.*

Надійшла до редколегії 25.02.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

## КРИТЕРИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАГРУЗКИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ СРЕДУ

В.Г. Здановский, В.В. Коваленко, В.А. Глива

*Для разработки и внедрения мероприятий по повышению электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости технических средств необходима алгоритмизация процесса определения критических источников электромагнитных полей. Это позволит ускорить выполнение таких работ и снизить их стоимость. Особенно это важно для выявления всех источников электромагнитного воздействия на объектах критической инфраструктуры, где электромагнитная безопасность и электромагнитная совместимость оборудования является двуединой задачей.*

**Ключевые слова:** электромагнитная безопасность, электромагнитная совместимость, критерий, экранирование.

## CRITERIAL APPROACH TO THE ASSESSMENT OF ELECTROMAGNETIC LOAD ON THE PRODUCTION ENVIRONMENT

V.G. Zdanovskiy, V.V. Kovalenko, V.A. Glyva

*For the development and implementation of measures to improve electromagnetic safety and electromagnetic compatibility of technical means are necessary algorithmization of the process identifying critical sources of electromagnetic fields. Thus it's possible speed up the process and reduce their cost. This is especially important to identify all sources of electromagnetic effects on critical infrastructure where electromagnetic security and electromagnetic compatibility of the equipment united by a two-pronged task.*

**Keywords:** electromagnetic safety, electromagnetic compatibility, criterion, shielding.