

УДК 538.69.331.45

Перельот Тетяна Миколаївна

Аспірант Національного авіаційного університету, orcid.org/0000-0003-1545-3355

Національний авіаційний університет, Київ

ОЦІНЮВАННЯ ТА ЗНИЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТА ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВИРОБНИЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ

***Анотація.** Запропоновано виконувати оцінку електромагнітної обстановки у приміщеннях з багатьма однотипними джерелами та оцінку рівнів шуму, генерованого сукупністю технічних засобів, розташованих у цих приміщеннях, шляхом визначення параметрів одного з приладів і екстраполяції відповідних функцій. Проведено аналіз переваг та недоліків розрахункових і експериментальних методів оцінки і прогнозування електромагнітної та акустичної обстановки в приміщеннях. Запропоновано оптимальний підхід до раціоналізації заходів із захисту працюючих як на окремих робочих місцях, так і у робочих та побутових приміщеннях, та надано рекомендації щодо його реалізації.*

***Ключові слова:** електромагнітне поле; шум; навантаження; екранування; захисні властивості*

Вступ

Постійне підвищення насиченості виробничих, адміністративних та побутових приміщень потужними електронними та електричними пристроями потребує оцінки зміни електромагнітної і акустичної обстановки у цих приміщеннях та прогнозування її зміни залежно від часу доби, дня тижня, пори року, що обумовлюються зміною рівнів енергетичного навантаження на використовуване обладнання.

Стан питання

Значна частина сучасних технічних засобів (персональні комп'ютери, кондиціонери, мікрохвильові пічі тощо) обладнані вентиляторами охолодження та компресорами, які є джерелами шуму.

Як зазначається у ґрунтовному огляді [1], на сьогодні виконуються лише поодинокі дослідження щодо комбінованого впливу на людей електромагнітних полів та інших фізичних факторів, зокрема шуму. Як в Україні, так і в усьому світі оцінка одночасної дії електромагнітних полів, шуму та інших чинників впливу здійснюється згідно чинних нормативів для кожного фактора, без урахування біологічної взаємодії між ними, що не можна вважати задовільним [2; 3].

З огляду на економічне становище необхідно раціоналізувати заходи із захисту працівників. Одним з таких заходів є виготовлення захисних конструкцій для одночасного захисту від шуму та електромагнітних випромінювань.

Мета статті

Метою роботи є дослідження та розроблення комплексного підходу до попередньої оцінки електромагнітного і шумового навантаження у

приміщеннях різного призначення залежно від типу і характеристик використовуваного обладнання, параметрів електромережі та впроваджених організаційно-технічних заходів із захисту людей.

Методики оцінки рівнів відповідних фізичних факторів умовно можна розділити на розрахунково-теоретичні та експериментальні. При цьому, як показує досвід, кожна з них не може бути використана у повному обсязі. Тобто, для виконання розрахунків необхідна наявність базових експериментальних даних (або припущень), а експериментальні дослідження потребують використання відповідного математичного апарата для оброблення отриманих результатів та прогнозування змін обстановки залежно від часових та просторових факторів.

Особливістю задачі оцінки та прогнозування електромагнітної та акустичної обстановки є різноманітність технічних засобів, які є джерелами полів, широкий спектр частот та різні їх прояви (наявність ближньої і хвильової зон) [4; 5], що особливо важливе для оцінки рівнів полів у обмежених просторах (приміщеннях).

На сьогодні досить добре розроблені електродинамічні моделі випромінювальних властивостей засобів радіозв'язку, радіомовлення та телебачення, лінійних джерел низькочастотних електромагнітних полів. Проте електродинамічне моделювання побутової та офісної техніки залишається невирішеним на задовільному рівні. Не існує загальної концепції розрахункового прогнозування електромагнітної обстановки у промислових та житлових приміщеннях, яка б враховувала усю різноманітність наявних у приміщеннях джерел, а також специфіку їх просторової та часової локалізації.

Розрахунки квазістаціонарних полів від лінійних джерел, а також Т-подібних та Г-подібних розгалужень не викликають труднощів. Значно складніше отримати достовірні результати щодо джерел, локалізованих у просторі (електрогенератори, трансформатори тощо), особливо в умовах обмежених просторів.

Методологічні підходи до використання неоднорідних (перфорованих) екранів для захисту від шуму та електромагнітного випромінювання однакові і побудовані на дифракційних явищах. Різниця полягає у різній довжині падаючої хвилі.

До визначеної частоти хвилі будь-який отвір (хвилевод) знижує (до певної міри) інтенсивність хвилі (частоти зрізу). Так, для електромагнітного випромінювання ця частота складає [6]:

– для круглого отвору

$$f_{\text{пк}} = \frac{1,75 \cdot 10^5}{D}, \text{ МГц};$$

– для прямокутного отвору

$$f_{\text{пк}} = \frac{1,5 \cdot 10^5}{l}, \text{ МГц};$$

де D – діаметр отвору; l – довжина прямокутного отвору.

Ефективність екранування для частот, нижчих за наведені, складає:

– для круглого отвору

$$A_{\text{пк}} = 32 \frac{d}{D};$$

– для прямокутного отвору

$$A_{\text{пк}} = 27,3 \frac{d}{l},$$

де d – товщина екрана.

Тобто, підвищити коефіцієнти поглинання можна за рахунок не просто збільшення товщини, а виготовлення отворів у вигляді хвилеводів.

Для екранування електромагнітних випромінювань більш низьких частот, для яких неможливо використовувати дифракційні ефекти, використовують суцільні електромагнітні екрани. Для розрахунку коефіцієнтів екранування як загального, так і внаслідок відбиття, доцільно взяти за основу фундаментальне співвідношення електродинаміки суцільних середовищ.

Так, коефіцієнт ослаблення електромагнітної хвилі K_e (за потужністю) визначаються так

$$K_e = \frac{(n+1) + \chi^z}{4n} \exp\left(\frac{z\chi c \omega x}{c}\right).$$

Коефіцієнт відбивання K_B у випадку нормально падаючої хвилі визначається як

$$K_B = \frac{(n-1)^2 + \chi^z}{(n+1)^2 + \chi^z},$$

де n – коефіцієнт заломлення матеріалу; x – товщина

зразка; ω – циклічна частота випромінювання; χ – коефіцієнт екстинкції матеріалу, який визначає швидкість затухання хвилі; z – імпеданс матеріалу.

Коефіцієнти n , χ і z легко визначаються зі співвідношень дійсної і уявної частин комплексної діелектричної проникності матеріалу та електрофізичних властивостей матеріалу:

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon_1 + \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}}{2}};$$

$$\chi = \sqrt{\frac{\epsilon_1 - \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2}}{2}},$$

де ϵ_1 та ϵ_2 – дійсна та уявна частини комплексної діелектричної проникності $\bar{\epsilon}$

$$\bar{\epsilon} = \epsilon + j \frac{4\pi\sigma}{\omega};$$

$$Z = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\mu}},$$

де σ – питома проникність матеріалу; μ – відносна магнітна проникність матеріалу; ϵ – діелектрична проникність матеріалу.

Зазвичай, джерелами електромагнітних випромінювань є випромінювальні контури.

Середня інтенсивність випромінювань контуру зі струмом $I_{\text{ср}}$ розраховується так

$$I_{\text{ср}} = \frac{S^2 \omega^4 J_0^2}{12\pi\epsilon_0 c^5} = \frac{S^2 J_0^2}{12\pi\epsilon_0 c} \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^4,$$

де S – площа контура; $\lambda = \frac{2\pi v}{\omega}$ – довжина хвилі, що

задовольняє вимозі $\lambda^2 \gg S$; J_0 – амплітуда струму $J = J_0 \sin \omega t$; ω – циклічна частота струму.

При цьому кутовий розподіл випромінювання від лінійного сегмента контуру, усередненого за часом, визначається так

$$\frac{dI}{d\Omega} = \frac{J_0^2}{8\pi^2 \epsilon_0 c} \begin{cases} \frac{\sin^2\left(\frac{n\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2 \theta}, & n - \text{парне} \\ \frac{\cos^2\left(\frac{n\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin^2 \theta}, & n - \text{непарне} \end{cases}$$

де Ω – тілесний кут; θ – кут між лінійним сегментом і напрямком до точки спостережень.

Недоліком методу є те, що для отримання чисельних результатів необхідне визначення чисельних значень магнітного та електричного моментів диполів, густин електрострумів тощо. Виходячи з цього, найбільш доцільним методом оцінки електромагнітної обстановки у приміщеннях з багатьма однотипними джерелами є визначення параметрів одного з приладів і екстраполяція відповідних функцій. При цьому амплітудні

значення відповідних полів є функціями відстаней і не потребують відомостей про інші параметри обладнання [7].

Аналогічний підхід може бути використано для оцінки рівнів шуму, генерованого сукупністю технічних засобів, розташованих у приміщенні. При цьому можна використовувати як результати сертифікаційних випробувань обладнання, так і вимірювання, виконані для окремих приладів в лабораторних умовах, або у обстежуваному приміщенні за умови, що решту обладнання вимкнено.

Розрахунки очікуваних рівнів звуку та акустичних параметрів приміщень, які є цілком придатними для прикладного використання, наведено у роботах [8; 9]. Припущення, використані при розрахунках акустики приміщень – дифузне поле у приміщенні ізотопне та однорідне за умови, що у приміщенні відсутні фокусуєчі елементи, розмір приміщення більший за середню довжину хвилі, поглинальна здатність поверхонь не дуже велика – слухні і доцільні та не впливають на достовірність результату.

Розрахунки можливих рівнів електромагнітних полів та шуму у приміщеннях дозволяють провести попередню оцінку умов перебування людей за наявності визначеної кількості технічних засобів і прогнозувати зміну обстановки при збільшенні їх кількості.

Важливим засобом зниження рівнів цих фізичних факторів, причому таким, що піддається попередній оцінці, є екранування та ослаблення полів оздоблювальними і спеціально призначеними для цього матеріалами [10; 11]. Фізичні механізми ослаблення електромагнітних та акустичних полів мають як принципові відмінності, так і спільні риси.

Електромагнітні поля низької частоти можуть ослаблюватися або взагалі екрануватися провідними магнітом'якими матеріалами за рахунок генерації зустрічного поля, що впливає з фундаментальних фізичних принципів. Магнітні властивості феромагнітних матеріалів відомі, тому прогнозування ступеня екранування поля цілком можливе. Крім того, для зниження рівнів електромагнітних полів біля окремого приладу можливе використання явища дзеркального відбиття відносно провідної поверхні.

Таким чином, можливе попереднє планування організаційно-технічних заходів зі зниження рівнів електромагнітних полів як на окремих робочих місцях, так і у робочих та побутових приміщеннях. Використання сучасних екрануючих матеріалів, таких як відпалені пермалої з високим вмістом нікелю (до 80 %) та магнітом'яких аморфних сплавів різного складу дозволяють послаблювати низькочастотні поля у 50 – 100 разів. Щодо високочастотних полів, то їх екранування можливе

за використання будь-якого провідного матеріалу. При цьому слід враховувати наявність вторинних полів (внаслідок відбиття від провідної поверхні), що буде розглянуто нижче.

Зменшення шумового навантаження у приміщеннях досягається за рахунок послаблення шуму окремих технічних засобів та зниження рівнів дифузного звукового поля.

Зниження рівнів дифузного звукового поля досягається облицюванням стін, стелі та підлоги шумопоглинальними матеріалами із заздалегідь відомими коефіцієнтами поглинання [12; 13]. Максимальні ефекти досягаються у разі використання перфорованих поверхонь та клинових конструкцій. Ефекти поглинання обумовлені дифракційними явищами в отворах та відбиттям хвиль від боків клиноподібних поверхонь. При цьому частотні смуги поглинання обумовлюються розмірами отворів та величинами кутів клинів. Аналогічні конструкції використовуються для поглинання електромагнітних випромінювань [14]. Пірамідальні або клиноподібні поглинальні елементи з малими кутами при вершинах ($18 - 20^\circ$) мають досить широкий діапазон ($0,03 - 40$ ГГц) та високу ефективність поглинання ($10 - 40$ дБ).

Це надає можливість використання відповідних покриттів для одночасного поглинання електромагнітних та звукових хвиль. Частотні смуги поглинання визначаються швидкостями їх поширення у просторі. Так, наприклад, покриття однакових геометричних характеристик можуть одночасно поглинати електромагнітні випромінювання частотою 900 Гц та звукові хвилі частотою 1 кГц, електромагнітні частотою 2,4 ГГц – звукові частотою 2,7 кГц тощо.

Розширення частотного діапазону одночасної дії захисних екранів можливе за умови використання кількох шарів матеріалу (як однорідних, так і з різними електромагнітними властивостями). При цьому пріоритетними є саме електромагнітні властивості. За умови використання кількох шарів вони повинні підвищуватися від шару до шару за ефективністю у обраному частотному діапазоні. Умовою підвищення акустичних властивостей є створення зазорів між шарами екрана. Величини цих зазорів легко розраховуються з використанням стандартного математичного апарату.

Висновки

Проведено аналіз переваг та недоліків розрахункових і експериментальних методів оцінки і прогнозування електромагнітної та акустичної обстановки в приміщеннях.

Цей аналіз та експериментальні дослідження дозволяють дійти висновку, що одночасна оцінка та прогнозування електромагнітного і шумового

навантаження як у окремих приміщеннях, так і у будівлях в цілому можливі і доцільні.

Ступінь достовірності результатів залежить від коректності визначення попередніх умов і припущень та точності базових експериментальних даних навантаження на силову електромережу, випромінювальні властивості окремих технічних засобів тощо.

Використання виключно аналітично-розрахункових методів (моделювання окремих джерел і електромагнітних та акустичних полів, які вони генерують) трудомістке і не забезпечує достатність відомостей щодо очікуваної електромагнітної та акустичної обстановок та просторових розподілів полів у приміщеннях.

Найбільш доцільними є попереднє визначення випромінювальних властивостей одного з однотипних технічних засобів та подальший розрахунок електромагнітних полів та рівнів шуму в необхідних точках приміщень.

Необхідним є розроблення та тестування в реальних умовах програмно-технічного комплексу з моделювання розподілу електромагнітних та акустичних полів від джерел з відомими випромінювальними властивостями та просторово-часовими змінами генерованих полів. Програмне забезпечення має враховувати геометричні параметри приміщень, відбивні характеристики обмежуючих поверхонь тощо.

Список літератури

1. Назаренко В. І. Комбінована дія ЕМП промислової частоти, шуму, підвищеної температури повітря як проблема медицини праці // Гігієна населених місць. – 2007. – Вип. 50. – С. 201 – 205.
2. EN 61439-1:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. General rules.
3. EN 61439-2:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. Power switchgear and controlgear assemblies.
4. Peric M. Electromagnetic field analysis in vicinity of power line. / M. Pirec, S. Plic, S. Aleksic // *Electrotechnika and Electronica*, 2008. – № 11-12. P. 51-56.
5. Глива В.А. Просторові критерії екранування низькочастотних магнітних полів / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот // *Управління розвитком складних систем*. – 2015. – № 22. – С. 158 – 164.
6. Демский Д. В. Методы расчета эффективности экранирования для неоднородных электромагнитных экранов: дис.канд.техн.наук.: 05.12.04. – М.: 2014. – 114 с.
7. Глива В. А. Моніторинг та нормалізація фізичних факторів виробничого середовища при експлуатації автоматизованих систем: дис.докт.техн.наук.: 05.26.01. – К.: 2011. – 276 с.
8. Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий / В. И. Заборов, М. И. Могилевский, В. Н. Мякишин, Е. П. Самойлюк / Под ред. В. И. Заборова. – К.: Будівельник, 1989. – 160 с.
9. Коновалова Е.В. Усовершенствование проектирования генерального плана аэропорта с учётом акустического фактора: дис.канд.техн.наук.: 21.06.01 / Коновалова Елена Викторовна. - К., 2005. – 220 с.
10. Xingcun Colin Tong, *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*: CRS Press, 2009. – 342 p.
11. Панова О.В. Экранування електромагнітних полів для електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності обладнання / О.В. Панова // *Управління розвитком складних систем*. – 2015. – № 22. – С. 207 – 213.
12. Кечиев Л.Н., Кузьмин В.И. Требования к установке прокладок для обеспечения внутриаппаратурной ЭМС // *Новое в ЭМС.: сб. науч. тр.* – М.: Изд-во МИЭМ, 1997. – С. 59-67.
13. Запорожець О.І. Сучасні підходи до моделювання просторових змін геомагнітного поля у будівлях та спорудах / О.І. Запорожець, В.І. Клапченко, Л.О. Левченко, Панова О.В. // *Управління розвитком складних систем*. – 2015. – № 21. – С. 133 – 138.
14. Панова О.В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис.канд.техн.наук.: 05.26.01. – К.: 2014. – 152 с.

Стаття надійшла до редколегії 10.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Глива, Національний авіаційний університет, Київ.

Перелёт Татьяна Николаевна

Аспирант Национального авиационного университета, orcid.org/0000-0003-1545-3355
Национальный авиационный университет, Киев

ОЦЕНКА И СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ И ШУМОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ СРЕДУ

Аннотация. Предложено проводить оценку электромагнитной обстановки в помещениях с многими однотипными источниками и оценку уровней шума, генерируемого совокупностью технических средств, расположенных в этих помещениях, путем определения параметров одного из приборов и экстраполяции соответствующих функций. Проведен анализ преимуществ и недостатков расчетных и экспериментальных методов оценки и прогнозирования электромагнитной и акустической обстановки в помещениях. Предложен оптимальный подход по рационализации мер по защите работающих как на отдельных рабочих местах, так и в рабочих и бытовых помещениях, и даны рекомендации по его реализации.

Ключевые слова: электромагнитное поле; шум; нагрузка; экранирование; защитные свойства

Perelot Tetiana

PhD student National Aviation University, *orcid.org/0000-0003-1545-3355*

National Aviation University, Kiev

**ASSESSMENT AND REDUCTION OF ELECTROMAGNETIC
AND NOISE LOAD ON PRODUCTION ENVIRONMENT**

Abstract. To date there is no general concept of settlement prediction of noise and electromagnetic environment in industrial and residential buildings, which would take into account the diversity of sources present in the premises, as well as the specifics of their spatial and temporal localization. Therefore there is a need for research and development of an integrated approach to the preliminary assessment of the electromagnetic and noise pollution in different premises depending on the type and characteristics of the equipment used, the parameters of electricity grid and organizational and technical measures which are used to protect people. Proposed to assess electromagnetic environment with multiple sources of the same type and evaluate the noise levels generated by the combination of technical means arranged in these premises, by determining the parameters of one of the devices and extrapolating the respective functions. Reducing of noise and electromagnetic fields is possible with using the shielding and attenuation fields finishing and specially designed materials. Thus, it is possible to pre-plan organizational and technical measures to reduce noise levels and electromagnetic fields both at individual workplaces and in working and living buildings. It was analyzed the advantages and disadvantages of computational and experimental methods to assess and predict the electromagnetic and acoustic environment in the buildings. It was proposed an optimal approach to the problem and recommendations for its implementation. The proposed approach will provide an opportunity streamline measures to protect working on individual workplaces and in working and living buildings.

Keywords: *electromagnetic field; noise; load; shielding; protective properties*

References

1. Nazarenko, V. (2007). The combined effect of industrial frequency electromagnetic fields, noise, increased temperature as a problem of Occupational Medicine. *Hygiene of settlements*, 50, 201-205.
2. EN 61439-1:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. General rules.
3. EN 61439-2:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. Power switchgear and controlgear assemblies.
4. Peric, M., Ilić S., Aleksic, S. (2008). Electromagnetic field analysis in vicinity of power line. *Electrotehnika and Electronica*, 11-12, 51-56.
5. Glyva, V., Levchenko, L., Perelot, T. (2015). Spatial criteria of shielding low frequency magnetic fields. *Management of development of complex systems*, 22, 158–164.
6. Demskiy, D. (2014). Computational methods of the effectiveness the shielding for Nonhomogeneous electromagnetic shields. *Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.12.04*, 114.
7. Glyva, V. (2011). Monitoring and normalization physical factors of production environment during operation of automated systems. *Dis. Doctor of Technical Sciences: 05.26.01*, 276.
8. Zaborov, V., Mogilevskiy, M., Myakshin, V. et al. (1989). *Guide to the protection against noise and vibration residential and public buildings*, 160.
9. Konovalova, E. (2005). Improvement of the design master plan for the airport, taking into account the acoustic factor. *Dis. Candidate of Technical Sciences 21.06.01*, 220.
10. Xingcun Colin Tong (2009). *Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding*. CRS Press, 342.
11. Panova, O. (2015). Screening of electromagnetic fields for electromagnetic safety and electromagnetic compatibility of equipment. *Management of development of complex systems*, 22, 207-213.
12. Kechiev, L., Kuzmin, V. (1997). Requirements for the installation of gaskets for ensuring EMC in hardware. *New in EMC*, 59-67.
13. Zaporozhets, A., Klapchenko, V., Levchenko, L., Panova, E. (2015). Current approaches to modeling spatial changes in the geomagnetic field in the buildings and structures. *Management of development of complex systems*, 21, 133-138.
14. Panova, O.K. (2014). Protect workers from exposure to electromagnetic fields screening. *Dis. Candidate of Technical Sciences: 05.26.01*, 152.

Посилання на публікацію

- APA Perelot Tetiana (2015). Assessment and reduction of electromagnetic and noise load on production environment. *Management of Development of Complex Systems*, 24, 183 – 188.
- ГОСТ Перельот Т.М. Оцінювання та зниження електромагнітного та шумового навантаження на виробниче середовище [Текст] / Т.М. Перельот // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 24. – С. 183 – 187.