УДК 537.87:669.162.12 (045) **doi: 10.26906/SUNZ.2021.3.126**

О. В. Панова

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ У КОМПЛЕКСІ ЗАХОДІВ З НОРМАЛІЗАЦІЇ РІВНІВ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА

Анотація Найбільш ефективним засобом зниження рівнів електричних, магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону у виробничих та побутових умовах є їх екранування. Але у реальних умовах потребують корекції і інші фізичні фактори. Показано, що найбільш критичними з них є акустичний шум та аероіонний склад повітря. Це обумовлює необхідність здійснювати нормалізацію фізичних факторів на комплексній основі. Застосування у якості матриці для електромагнітного екрана пінолатексу і наповнювача з залізорудного концентрату дозволяє знизити рівні електромагнітних полів і акустичного шуму до нормативних значень. Навіть, для частотних смуг 31,5 Гц та 63 Гц за товщини екрана 10 мм індекси зниження шуму складають 15-20 дБ. Для частот 6-8 кГц цей показник складає 40-45 дБ, що прийнято для більшості виробничих умов. При цьому коефіцієнти екранування магнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів ультрависоких частот відповідають нормативним вимогам. Показано, що головним фактором деіонізації повітря є електростатичні заряди, які накопичуються на полімерних повітрях, яке до того ж є причиною спрямованого руху дрібнодисперсного пилу. Перевагою латексу є відсутність електризації поверхні, що дозволяє застосувати його для облицювання поверхонь великих площ. При цьому він має пружні модулі, близькі за значеннями до модулів матеріалів, які традиційно застосовуються для шумопоглинання. Найефективнішим методом нормалізації та підтримання на нормативному рівні концентрацій аероіонів обох полярностей є застосування пристроїв штучної іонізації повітря. Для рівномірного розподілу аероіонів у об'ємі приміщень застосовують розсіюючі екрани. Перевагою екранів з латексу є відсутність часткового поглинання іонів під час розсіювань. Запропонований підхід з нормалізації рівнів електромагнітних полів акустичного шуму та концентрацій аероіонів, разом із застосуванням систем клімат-контролю дозволяє підтримувати на нормативному рівні увесь комплекс фізичних факторів виробничого середовища. Це найбільш актуально для приміщень об'єктів критичної інфраструктури (головних щитів керування, диспетчерських тощо).

Ключові слова: фізичні фактори, електромагнітне поле, акустичний шум, екранування, аероіони.

Вступ

Фізичні фактори техногенного походження негативно впливають на стан здоров'я працюючих. У сучасних умовах існує тенденція підвищення такого впливу через насиченість побутового середовища джерелами електромагнітних полів, акустичного шуму, деіонізацію повітря тощо, що обумовлює зниження реабілітаційного періоду (відпочинку) від виробничих впливів. В сучасних умовах постійного вдосконалення техніки та організації виробництва змінюються нормативні державні та міжнародні вимоги. Така реорганізація потребує як поліпшення національних санітарних норм, так і проведення параметрів виробничого та побутового середовищ у відповідність принаймні нормативним вимогам.

На сьогоднішній день добре розроблено системи керування мікрокліматичними параметрами приміщень, які входять до переліку фізичних факторів – температура, відносна вологість та швидкість спрямованого руху повітря. В той же час системи аероіонізації повітря опрацьовані недостатньо з точки зору взаємозв'язку з іншими факторами.

Це ж стосується комплексу заходів з електромагнітної безпеки. Ситуативний підхід до нормалізації фізичних факторів не завжди виправданий через їх складну динаміку у просторі і часі через внутрішні та зовнішні впливи. Найбільш дієвий спосіб зниження рівнів техногенних електромагнітних полів – екранування, може негативно вплинути на функціонування засобів зв'язку та потужність геомагнітного поля. У деяких випадках порушується аероіонний режим приміщень. Це потребує дослідження та розроблення комплексного підходу до нормалізації рівнів найбільш критичних фізичних факторів у виробничих та побутових умовах.

Огляд останніх публікацій і досліджень

У сучасних умовах найбільша увага приділяється дослідженням з мінімізації кількісних значень електромагнітних та акустичних полів.

Зокрема, розробляються фізичні засоби захисту – матеріали і конструкції для екранування електричних, магнітних, електромагнітних полів та поглиначів шуму [1–4].

Найбільш ефективними матеріалами для екранування електромагнітних полів є композити різного складу. Їх перевагами є менші, порівняно з металами, коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль [5].

Більшість досліджень зі зниження акустичного навантаження у приміщеннях стосуються розроблення відповідних будівельних та оздоблювальних матеріалів [6, 7].

 © Панова О. В., 2021

Але матеріали для одночасного зниження рівнів електромагнітних та акустичних полів практично не розглядаються [8].

Масове застосування полімерних матеріалів, навіть у спеціалізованих приміщеннях (авіадиспетчерські) породжує проблему деіонізації повітря, що є вкрай шкідливим для здоров'я [9].

Але розробки та дослідження у цьому напрямі у більшості стосуються моделювання поширення аероіонів від джерела штучної іонізації [10].

На сьогоднішній день практично відсутня альтернатива застосування електромагнітних екранів у виробничих умовах з огляду на широкий частотний спектр та високі амплітуди електромагнітних полів. Тому актуальним є розглянути можливість застосування екранування у комплексі з заходами нормалізації інших фізичних факторів, які прямо або опосередковано пов'язані з рівнями електричних, магнітних та електромагнітних полів.

Мета статті – розроблення методологічних підходів із застосування матеріалів для екранування електромагнітних полів та їх складових одночасно і у комплексі з заходами нормалізації рівнів акустичного шуму та аероіонного режиму приміщень.

Виклад основного матеріалу

Розглядати засоби зниження рівнів техногенних полів та підвищення якості повітря за аероіонним складом доцільно у послідовності їх пріоритетності у сучасних умовах та взаємозв'язку.

Екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону необхідно реалізувати з урахуванням наступних вимог:

- зниження рівнів електромагнітних полів дуже високих і ультрависоких частот не повинне суттєво впливати на робото-спроможність засобів бездротового зв'язку. Захист за рахунок відбиття потрібно мінімізувати;
- обов'язковими є зниження рівнів магнітної складової електромагнітного поля наднизької частоти, в основному промислової (екранування електричної складової не є проблемою);
- електромагнітні екрани не повинні знижувати напруженість природного геомагнітного поля більше, ніж удвічі (більше 25 мкТл).

При цьому бажано, щоб електромагнітний захист поступово впливав на акустичну обстановку та концентрацію аероіонів.

Такі цілі можливо реалізувати за рахунок застосування композиційних магнітодіелектричних матеріалів.

У якості матриці доцільно використати рідкий латекс, який можна отримати у готовому вигляді, що знижує вартість кінцевого продукту. Наповнювачем може бути концентрат залізної руди, переважною складовою якого є магнетит.

Виготовлення матеріалу здійснюється за принципом градієнтного екрана із збільшенням концентрації дрібнодисперсного наповнювача (10-20 мкм) від поверхні падіння електромагнітних хвиль до внутрішньої поверхні. Це досягається обробленням шару рідкої суміші потрібної товщини неоднорідним постійним магнітним полем.

Досвід свідчить, що поля максимальною напруженістю 400–450 А/м достатньо для отримання значного градієнта концентрації. Головний чинник – неоднорідність магнітного поля. У цьому випадку на лицьовому боці матеріалу концентрація магнітних частинок незначна і в принципі регульована. Це потрібно для мінімізації відбиття електромагнітних хвиль у небажаний бік, наприклад у зону перебування людей, або перерозподіл інтенсивності випромінювання у будівлі.

Коефіцієнт відбиття визначається співвідношеннями імпедансів середовища розповсюдження електромагнітних хвиль та захисного матеріалу:

$$K_r = \frac{Z_м - Z_0}{Z_м + Z_0},$$

де Z_0 і $Z_м$ - імпеданси повітря та матеріалу.

Враховуємо, що

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$$

та

$$Z_м = \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}$$

де μ_0, ε_0 - магнітна та діелектрична сталі.

Абсолютні магнітна та діелектрична проникність матеріалу визначаються співвідношеннями:

$$\mu_a = \mu_0 \mu, \text{ та } \varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon,$$

де μ, ε - відносні магнітна та діелектрична проникність матеріалу (для мінімізації коефіцієнтів відбиття максимально наблизити співвідношення μ/ε до одиниці).

Відносна магнітна проникність магнетиту ~ 14, тобто за його малих концентрацій у полімері магнітна проникність буде знижуватися. Діелектричні проникності латексів 30-40, що не є задовільним. Враховуючи головну задачу – захист від електромагнітних впливів (особливо магнітної складової низькочастотного електромагнітного поля), розраховується необхідна для потрібного коефіцієнта екранування концентрація екрануючого наповнювача (наприклад, за формулою Лорентца). Вона визначає магнітну проникність матеріалу за даним об'ємним вмістом магнітного наповнювача.

Для отримання потрібного імпедансу необхідно забезпечити відповідне значення діелектричної проникності.

Для латексів вона складає 30–40. Але, як показано у [11], цей показник можна знизити за рахунок отримання пінолатексу. Діелектрична проникність залежить від кратності латексної піни.

За зміни кратності від 3 до 9 діелектрична проникність зменшується з 10 до 4. Потрібну кратність піноутворення можна визначити з емпіричного співвідношення:

$$\varepsilon = 16,65 - K^2,$$

де K – кратність піноутворення.

Такий підхід, як показали попередні експерименти, дозволяє знизити коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль ультрависокої частоти до 0,15-0,20, що, скоріш за все, є технічно досяжною метою. Для більш точного визначення імпедансу матеріалу на конкретній частоті випромінювання доцільно скористатися співвідношенням:

$$Z_м = \sqrt{\frac{j2\pi f \mu}{\sigma + j2\pi f \varepsilon}},$$

де j – уявна одиниця, σ - питома провідність матеріалу, f – частота електромагнітної хвилі.

Потрібну товщину матеріалу визначають, виходячи з еквівалентної глибини проникнення поля (зниження до $1/e$ від початкового значення):

$$\delta = \sqrt{\pi f \mu \sigma}.$$

Якщо для зниження техногенного низькочастотного магнітного поля потребує екранування вертикальна площина з орієнтацією за магнітним полем Землі, необхідно розрахувати екранування горизонтальної складової геомагнітного поля (~ 46 мкТл на широті Києва). Це можливо із застосуванням формул Релея або Оделевського для стаціонарних магнітних полів, які враховують різний вміст магнітних частинок у діелектричній матриці.

Використання пінолатексу надає можливість застосувати електромагнітний екран для одночасного зниження рівнів акустичного шуму.

Відомо, що ефективність шумопоглинання залежить від значень пружних модулів і наявності неоднорідностей у матеріалі.

Пружні модулі латексу близькі за значеннями до модулів полімерів, які традиційно використовуються для захисту від шуму. Для латексу значення модуля Юнга становить 11 ГПА, модуль Пуассона – 0,44; для матеріалу твінтекс модуль Юнга відповідає значенню 15,7 ГПА, а модуль Пуассона – 0,204 [8]. Додавання до полімеру піноутворювача дозволяє отримати ті ж індекси зниження шуму для матеріалів удвічі меншої товщини.

Попередні експерименти показали, що для октавних смуг частот 31,5 та 63 Гц індекси зниження шуму складають 15-20 дБ, (товщина матеріалу складала 10 мм), а для частот 4-8 кГц – 40-45 дБ, що навіть для більшості виробничих умов цілком прийнятне. З такого матеріалу можливо виробляти кожухи та огороджувальні конструкції для потужного електротехнічного обладнання. Наприклад, напруженість магнітних полів турбогенераторів потужністю 150 МВт складають 1,6-1,7 кА/м на відстанях 10-15 м, а рівні шуму – 110-115 дБА.

Також потребують одночасного зниження рівні електромагнітних полів та шуму у приміщеннях щитів керування енергетичних об’єктів та інших об’єктів критичної інфраструктури (наприклад, диспетчерських підприємств цивільної авіації).

Проблемою останніх є незадовільна якість повітря за аероіонним складом [9].

Причиною є електризація поверхонь, виготовлених з полімерних матеріалів.

Перевагою латексів є відсутність накопичення поверхневих зарядів у процесі експлуатації з будь-яких причин.

Тобто застосування електромагнітного та шумозахисного матеріалу на основі латексу не сприяє, на відміну від інших полімерів, деіонізації повітря. Але деіонізація обумовлюється також іншими чинниками – незадовільною якістю зовнішнього повітря, металеві вентиляційні канали тощо.

Тому для нормалізації та підтримання на нормативному рівні аероінного режиму приміщень необхідно застосовувати іонізатори повітря. При цьому доцільне застосування ультразвукових іонізаторів [12], які додатково не генерують озон та сполуки азоту. Для рівномірного розподілу аероіонів застосовують розсіюючі екрани, які теж доцільно виготовляти на основі латексу, що знижує поглинання іонів поверхнею розсіювачої конструкції.

Наведено підходи, одночасно із застосуванням систем клімат-контролю дозволяють нормалізувати і підтримувати на нормативному рівні увесь комплекс фізичних факторів виробничого середовища.

Висновки

1. Основними фізичними факторами виробничого та побутового середовища, рівні яких потребують корекції є електромагнітні поля, акустичний шум та концентрації аероіонів. Такі заходи доцільно запроваджувати на комплексній основі із урахуванням їх певного взаємозв’язку.

2. Застосування магнітних та електромагнітних екранів доцільно здійснювати з урахуванням акустичної обстановки. Вироблення екрана на основі пінолатексу дозволяє нормалізувати рівні електромагнітних полів та акустичного шуму. При цьому індекси зниження шуму (15-20 дБ на низькій частоті та 40-45 дБ на середній) прийнятне для будь-яких виробничих умов.

3. Перевагою латексів є відсутність накопичення на них поверхневих електростатичних зарядів, що знижує деіонізацію повітря приміщень. Їх доцільно використовувати для вироблення конструкцій для розсіювання потоків повітря від приладів штучної іонізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рябов Ю. Г., Гуров И. Б. Способ оценки электромагнитной безопасности. Патент на изобретение № 2398246 от 27.08.2010 г. (Ru). ДСТУ IES/ISO31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання.
2. Panova O.P., Krasnianskyi G. Iu., Aznaurian I. O. Evaluation of electromagnetic radiation shielding characteristics of facing building materials. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1164. 012057. DOI 10.1088/1757-899X/1164/1/012057
3. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты. 2012. Авиакосмическая и экологическая медицина. Т. 46. № 2. С. 9-16.
4. Биковський А.І., Громов М.Д., В.О. Шандра та ін. Методи та акустичні засоби віброшумозахисту на транспорті та будівництві. 2010. Наук.техн.зб.: Комунальне господарство міст. Вип .91. С. 150-155.
5. Панова О. В. Захист працюючих від впливу електромагнітних полів екрануванням: дис. … канд. техн. наук: 05.26.01. Панова Олена Василівна. Київ. 2014. 151 с.
6. Боганик А.Г. Эффективные конструкции для дополнительной звукоизоляции помещений. 2004. Строительные материалы. № 10. С. 18—19.
7. Старцева О.В., Овсянников С.Н. 2012. Исследование звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок. Жилищное строительство. № 6. С. 43—46.
8. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. 2018. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Iss. 6/5(96). P. 54–61. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150778.
9. Касаткіна Н.В., Левченко Л.О., Панова О.В., Тихенко О.М., Ченчевой В.В. Оптимізація параметрів екранування електромагнітних полів різнорідних джерел у виробничих будівлях. 2020. ВІСТІ Донецького гірничого інституту №1 (46). С.181-188. ISSN 1999-981X. https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-1-181-188
10. Левашова Ю.С., Коваленко А.В., Косенко Н.А. Наслідки підвищеної чи зниженої іонізації повітря в робочому просторі приміщень. 2018. Науковий вісник будівництва. Х.: ХНУБА. ХОТВ, АБУ. Вип.3(93). С. 253
11. Латышенко К.П.. Исследование електрофизических характеристик латексов, латексных пен и промышленной воды. 2006. Вестник ТГТУ.Т12.№2А. С.339-343.
12. Патент 147191, Україна МПК (2020.01), G12B 17/00 (2006.01), H05K 9/00. Спосіб виготовлення композиційного матеріалу для екранування іонізуючих та неіонізуючих електромагнітних випромінювань. Бурдейна Н.Б., Глива В.А., Касаткіна Н.В., Панова О.В., Осадчий Б.М., Халмурадов Б.Д.. Володілець: Бурдейна Н.Б., Глива В.А., Касаткіна Н.В., Панова О.В., Осадчий Б.М., Халмурадов Б.Д.. № u 2020 06476; заявл. 07.10.2020; опубл. 22.04.2021, Бюл. № 16.

Received (Надійшла) 22.07.2021
Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.08.2021

Application of electromagnetic shields in a set of measures to normalize the levels of physical environmental factors

O. Panova

Abstract. Shielding is the most effective means of reducing the levels of electric, magnetic and electromagnetic fields of a wide frequency range in industrial and domestic conditions. But in real conditions, other physical factors also need to be corrected. It is shown that the most critical of them are acoustic noise and air ion composition. This necessitates the normalization of physical factors on an integrated basis. The use of pinolatex and an iron ore concentrate filler as a matrix for the electromagnetic shield allows the levels of electromagnetic fields and acoustic noise to be reduced to standard values. Even for the frequency bands of 31.5 Hz and 63 Hz with a screen thickness of 10 mm, the noise reduction indices are 15-20 dB. For frequencies 6-8 kHz, this figure is 40-45 dB, which is accepted for most industrial conditions. At the same time, the screening coefficients of magnetic fields of industrial frequency and electromagnetic fields of ultra-high frequency comply with regulatory requirements. It is shown that electrostatic charges which accumulate in the polymer air are the main factor in air deionization and they cause the directional movement of finely dispersed dust. Latex has the advantage of having a non-electric surface, which makes it possible to use it for cladding surfaces of large areas. At the same time, it has elastic modules, which are close in values to the modules of materials that are traditionally used for noise reduction. The most effective method for normalizing and maintaining the concentrations of air ions of both polarities at the standard level is the use of artificial air ionization devices. For uniform distribution of air ions in the volume of the premises, scattering screens are used. The advantage of latex screens is the absence of partial absorption of ions during scattering. The proposed approach to normalize the levels of electromagnetic fields of acoustic noise and the concentration of air ions, together with the use of climate control systems, allows maintaining the entire complex of physical factors of the industrial environment at the standard level. This is most relevant for the premises of critical infrastructure facilities (main control rooms, control rooms, etc.).

Keywords: physical factors, electromagnetic field, acoustic noise, shielding, air ions.