

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.9.163-174

УДК 658.3.044:331.45

д.т.н., професор **Глива В.А.**,

hlyva.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1257-3351,

к.пед.н., доцент **Бурдейна Н.Б.**,

burdeina.nb@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-2812-1387,

Київський національний університет будівництва і архітектури

PhD **Токарський О.І.**,

tokarskiyoleksandr@ukr.net, ORCID: 0000-0001-6683-8437,

2 Державний пожежно-рятувальний загін головного управління державної

служби України з надзвичайних ситуацій у Закарпатській області,

PhD **Бірук Я.І.**,

biruk.iai@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-3669-9744,

Київський національний університет будівництва і архітектури

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКРАНУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ

Визначено недоліки чинної нормативної бази щодо отримання вихідних даних для проектування матеріалів і конструкцій для екранування електромагнітних і акустичних полів. Показано, що для отримання достовірних даних методом натурних вимірювань необхідно керуватися максимальною основною похибкою обладнання. Розрахунки сумарного електромагнітного поля відрізняються у двох чинних нормативних актах з електромагнітної безпеки. Вони дають різні результати, що ускладнює проектні роботи, вимушує робити засоби захисту надлишкової ефективності. Потрібно узгодити національні міжнародні нормативи щодо визначення електромагнітного навантаження на людей. На сьогодні в Україні відсутні метрологічна і методична бази щодо визначення питомої поглиненої енергії та питомої поглиненої потужності електромагнітного поля. Для захисту від низькочастотного звуку й інфразвуку ефективні тільки резонансні конструкції. Для отримання відомостей про частоти максимальних амплітуд, які обираються за резонансні необхідне вимірювання неперервного спектра коливань. Але це непередбачено чинними нормативами.

Ключові слова: електромагнітне поле, акустичне поле, екранування, низькочастотний звук, інфразвук.

Вступ. Захист людей від впливу техногенних фізичних полів – електромагнітних та акустичних є одним з пріоритетних напрямків цивільної

безпеки. Особливістю застосування захисних матеріалів і конструкцій для створення засобів колективного захисту є необхідність облицювання великих площ. Це зовнішні поверхні будівель і споруд, поверхні стін окремих приміщень. Тому до захисних покриттів, принаймні у будівельній галузі, висувається низка умов та обмежень. Головними з них є достатня ефективність захисту та прийнятна вартість. Тому як товщину, так і склад матеріалів необхідно певним чином раціоналізувати, виходячи з принципу розумної достатності. Але для цього необхідно максимально точно визначити амплітудно-частотні характеристики полів, які потребують екранування. Такі відомості є вихідними даними для проектування засобів захисту. Втім методики визначення таких параметрів у чинних національних нормативах відрізняються. Крім цього існують розбіжності між національним та міжнародними стандартами та нормами. Така неоднозначність викликає проблеми щодо проектування матеріалів і конструкцій достатньої ефективності та прийнятної вартості. Тому необхідно обрати головні критерії і методики визначення вихідних параметрів фізичних полів, що дозволить однозначно визначити необхідну ефективність матеріалів і конструкції для захисту людей у виробничих та побутових умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Кількісні значення електромагнітних полів та акустичного шуму регламентуються низкою національних та міжнародних нормативних актів. В Україні це санітарні норми з електромагнітної безпеки населення і працюючих [1, 2]. Крім того існують міжнародні нормативи, такі як європейська директива з електромагнітної безпеки [3]. Додаток до цієї директиви [4] є обов'язковим до виконання і визначає гранично допустимі рівні електромагнітних полів усіх частотних діапазонів для виробничих умов і населення. Крім того у європейській практиці широко застосовується стандарт [5], який регламентує електромагнітні поля у житлових приміщеннях. Також існують нормативи щодо акустичного шуму. В Україні це санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [6]. Відповідно для житлової забудови чинними є санітарні норми [7]. Чинною є європейська директива щодо шуму у виробничих умовах [8]. Для населення загальноєвропейським є документ, розроблений ВООЗ [9].

Загальним недоліком усіх нормативів є розбіжності у гранично допустимих рівнів, різні одиниці вимірювань. Але головним недоліком, принаймні національних санітарних норм, є розбіжності у визначенні сумарного електромагнітного навантаження на середовище за наявності кількох джерел електромагнітних полів різних частотних діапазонів. Це ускладнює процес розроблення організаційно-технічних заходів безпеки фізичних факторів. Найбільшою проблемою акустичної безпеки є неоднозначність

визначення рівнів низькочастотного звуку та інфразвуку. В усіх директивах, стандартах та санітарних нормах наголошується на необхідності застосування електромагнітних та акустичних екранів. Цьому наряду приділяється багато уваги. У дослідженнях [10, 11] наведено результати розроблення композиційних матеріалів для захисту від високочастотних електромагнітних полів. Такі матеріали мають високі коефіцієнти екранування, але компоненти композитів і кінцевий продукт мають високу вартість. Частково це питання вирішено у розробці [12]. Але товщина такого облицювального матеріалу завелика, що ускладнює облицювання поверхонь складного рельєфу. У роботах [13, 14] застосовується дешевий наповнювач – залізорудний концентрат. При цьому матеріали або гнучкі, або рідкі, що обумовлює технологічність їх застосування. Але аналізуючи наведені результати, можна дійти висновку, що отримані коефіцієнти екранування як низькочастотних, так і високочастотних електромагнітних полів надлишкові, тобто для більшості навіть виробничих умов така ефективність не потрібна. Аналогічна ситуація склалася у галузі захисту від акустичного шуму. Якщо дані щодо зниження рівня низькочастотного шуму, наведені у роботі [15] достатні, то щодо шуму середніх та високих частот, вони надлишкові. Аналіз результатів моніторингу інфразвуку [16, 17] свідчить про неоднозначність отриманих даних як між собою, так і порівняно з іншими джерелами. Аналогічно, дані щодо шуму захисту в звуковому діапазоні [18, 19] не враховують реальної акустичної обстановки. У роботах [20, 21] показано, що для отримання необхідних і достатніх коефіцієнтів екранування електромагнітних та акустичних полів необхідні прийнятні за точністю вихідні дані. На сьогодні однозначність таких даних можна отримати тільки з урахуванням максимальної основної похибки вимірювальної апаратури. Але при цьому не враховується наявність багатьох джерел фізичних полів. Значною мірою це обумовлено відсутністю єдиної методології визначення інтегрального електромагнітного та акустичного навантаження на середовище, що обумовлює актуальність даної роботи.

Викладення основного матеріалу. Найбільш надійним і простим у реалізації способом отримання вихідних даних для проектування засобів захисту від пливу фізичних полів техногенного походження є метод натурних вимірювань. Результати вимірювань показують наскільки потрібно знизити напруженості електричних, магнітних полів та щільності потоків енергії електромагнітних полів, що закладається у техніці рішення. Точність таких даних визначається похибкою вимірювальних приладів. Але у багатьох випадках, принаймні для вимірювачів рівнів електромагнітних полів, похибка залежить від напруженості вимірюваного поля. Для найбільш поширених в Україні приладів серії ПЗ ця похибка складає 1–3 дБ напруженістю поля.

Мінімальна похибка відповідає максимальним рівням полів, наприклад, у діаграмі спрямованості випромінювання радіотехнічного об'єкта. На людей впливають випромінювання на межі діаграм спрямованості або паразитні (побічні) та відбиті сигнали. Тому у практичній діяльності слід застосовувати максимальну основну похибку.

Аналогічна ситуація щодо вимірювання рівнів звуку. Навіть на сучасній акустичній апаратурі Брюль і К'єр похибка вимірювань складає до 3 дБ. Для поширених мобільних приладів Октава 110А з функцією вимірювання інфразвуку похибка ще більша. Вимірювання у звуковій частині акустичного спектра здійснюється за шкалою корекції «А», яка враховує чутливість людського вуха до різних звукових частот. Для вимірювання рівнів інфразвуку міжнародний стандарт ISO 7196 рекомендує застосовувати шкалу корекції «G». Це ж пропонується у проекті національних санітарних норм щодо гранично допустимих рівнів інфразвуку. Але прилади, атестовані в Україні, не мають такої шкали. В той же час є загальновизнаним, що надійним методом визначення суттєвості присутності інфразвуку є порівняння показів шумоміра за шкалами «Lin» та «A». За різниці показів 20 дБ інфразвук має шкідливі рівні. Такий підхід закладений у національних санітарних нормах щодо гігієнічної класифікації умов праці [22]. Тобто для визначення вихідних даних щодо рівнів інфразвуку формально можливо користуватися двома вимірними значеннями, які можуть відрізнитися суттєво.

Визначення необхідної ефективності захисту базується на порівнянні фактичних рівнів електромагнітних полів з гранично допустимими значеннями. Щодо електричних полів промислової частоти, граничні значення для виробничих та житлових будівель однозначні. Для магнітних полів промислової частоти граничний рівень у виробничих умовах складає 1400 А/м [2], що у разі перевищує значення нормативів усіх країн Європи. Для побутових умов цей параметр у санітарних нормах [1] не згадується. Певним чином це обумовлено тим, що напруженості магнітного поля, на відміну від електричного, залежить від електронавантаження на силову мережу у даний момент (сили струму). Втім у методиці розрахунку напруженості електричних та магнітних полів ліній електропередачі [23] наведено офіційні тимчасові значення магнітних полів промислової частоти. Для житлових приміщень індукція магнітного поля промислової частоти у житлових приміщеннях не повинна перевищувати 0,5 мкТл, на території житлової забудови – 3 мкТл. Але у санітарних нормах, якими повинні керуватися фахівці з охорони праці та цивільної безпеки такі дані відсутні. Неоднозначність присутня і щодо гранично допустимих рівнів електромагнітних полів дуже високих, ультрависоких і надвисоких частот. Остання редакція санітарних норм [1]

містить значення гранично допустимих щільності потоків енергії з боку радіотехнічних об'єктів у 100 мкВт/см^2 . Таке значення позбавляє сенсу застосування засобів захисту. Але прийняття такого граничного рівня мало на увазі засоби мобільного зв'язку. Граничні рівні решти критичних джерел – радіотехнічні засоби цивільної авіації, метеорологічних локаторів тощо залишилися без змін – $10\text{--}25 \text{ мкВт/см}^2$. Тобто, поблизу аеропортів, у межах визначених зон необхідно керуватися саме цими значеннями, але виділити їх із загального впливу станцій мобільного зв'язку неможливо.

Найбільші проблеми виникають у процесі оцінювання сумарного електромагнітного впливу на середовище і людей із застосуванням національних нормативів. Згідно [1] повинне виконуватися співвідношення:

$$\frac{E_1}{EGDP_1} + \frac{E_2}{EGDP_2} + \dots + \frac{E_n}{EGDP_n} + \dots + \frac{GPE_1}{GPEGDP_1} + \dots + \frac{GPE_n}{GPEGDP_n} = 1,$$

де E_n – напруженості електричного поля 1, 2...n джерела,

EPE_n – густини потоків енергії 1, 2...n джерела,

ГДР – гранично допустимі рівні для цієї частоти або частотної смуги.

Про магнітне поле навіть не згадується.

У санітарних нормах [2] сумарне навантаження оцінюється зі співвідношення:

$$\frac{E_1^2}{GDR_1^2} + \frac{E_2^2}{GDR_2^2} + \dots + \frac{E_n^2}{GDR_n^2} + \frac{H_1^2}{GDR_1^2} + \frac{H_2^2}{GDR_2^2} + \frac{H_n^2}{GDR_n^2} + \frac{W_1}{GDR_1} + \frac{W_2}{GDR_2} + \dots + \frac{W_n}{GDR_n} \leq 1.$$

де E, H – напруженості електричного та магнітного полів,

W – щільності потоків енергії,

ГДР – гранично допустимі рівні відповідних діапазонів.

Очевидно, що підрахунки за двома наведеними співвідношеннями дають різні результати. До того ж є термінологічні розбіжності – для фахівця з охорони праці однаковість термінів «густина потоку енергії» та «щільність потоку енергії» не є очевидною.

У національних нормативах сумарне електромагнітне навантаження на людей з боку електричного, магнітного та електромагнітного полів різних частот визначається, виходячи з часу впливу у одиницях вимірювання $(\text{В/м})^2 \cdot \text{год}$, $(\text{А/м})^2 \cdot \text{год}$, $(\text{мкВт/см}^2) \cdot \text{год}$.

У міжнародних нормативах застосовуються SA – питома поглинена енергія (Дж/кг) та SAR – питома поглинена потужність (Вт/кг). Ці два критерії фігурують у національному нормативі щодо мінімальних вимог до рівнів

електромагнітних полів, але приладів для їх вимірювання та методики визначення в Україні не існує.

Щодо сумарного рівня декількох джерел з однаковими рівнями звукового тиску, то його значення розраховується зі співвідношення:

$$L_c = L + 10 \lg n,$$

де L – рівень звукового тиску одного джерела,

n – кількість джерел.

У випадку, коли джерела мають різні рівні звукового тиску $L_i, i=1, 2 \dots n$, то:

$$L_c = 10 \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_i}).$$

Ці співвідношення є однозначними, але з методичної точки зору важливим є з мінімальною похибкою виміряти рівні звукового тиску кожного джерела звуку. Крім того слід враховувати, що звуковий тиск та інтенсивність звуку є точковими характеристиками акустичного поля. Вони залежать від розташування точки вимірювання та умов поширення звукової хвилі. Певні труднощі пов'язані з визначенням необхідних параметрів низькочастотного звуку та інфразвуку. Згідно [6] рівні інфразвуку визначаються у октавних смугах частот. Але відомо [20], що ефективним засобом зниження рівнів інфразвуку є резонансні панелі, налаштовані на частоту найбільшої амплітуди. Тому вимірювання рівнів інфразвуку октавних і навіть третинооктавних смугах частот не дає необхідної інформації щодо проектування ефективних засобів захисту. А вимірювання неперервного спектра не передбачено чинними нормативами. Цю проблему необхідно вирішувати розробленням і офіційним затвердженням методики визначення параметрів низькочастотного звуку та інфразвуку.

Реалізація викладених задач дозволить підвищити захисні властивості матеріалів і конструкцій для екранування електромагнітних та акустичних полів й зменшити час і витрати на розроблення і впровадження засобів захисту.

ВИСНОВКИ

1. При отриманні вихідних даних щодо проектування матеріалів і конструкцій для екранування електромагнітних та акустичних полів натурними вимірюваннями необхідно застосовувати максимальну основну похибку вимірювальних приладів. Це обумовлено тим, що негативний вплив на людей мають в основному побічні (паразитні) високочастотні електромагнітні поля, шум на великих відстанях від джерел з високими рівнями звукового тиску тощо.

2. Для коректного розрахункового визначення сумарних значень електричних, магнітних полів необхідно внести корективи у чинні санітарні норми з електромагнітної безпеки. Існуючі розбіжності у методиках розрахунків дають відмінні результати, що ускладнює процеси проектування засобів захисту необхідної і достатньої ефективності.

3. Для проектування засобів захисту від впливу низькочастотного звуку та інфразвуку необхідно внести зміни у чинні методики вимірювання цих параметрів. Враховуючи, що ефективний захист від низькочастотних пружних хвиль забезпечують тільки резонансні конструкції, вимірювання амплітуд значень низькочастотного звуку та інфразвуку у октавних і третинооктавних смугах частот не дає потрібних вихідних даних. Точне визначення частот максимальних амплітуд (частот налаштування захисної конструкції) можливе тільки вимірюванням неперервного спектра.

Список літератури

1. ДСН 239-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [Чинний від 2017-12-22]: затв. наказом М-ва охорони здоров'я України від 01.08.1996 р. № 239. Київ, 2017. 28 с. (Державні санітарні норми України).
2. ДСНіП 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Чинний від 2003-03-13]: затв. наказом М-ва охорони здоров'я України від 18.12.2002 р. № 476. Київ, 2003. 16 с. (Державні санітарні норми України).
3. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj>
4. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics. 1998. № 74. p. 494–522.
5. Standard of Building Biology Testing Methods. SBM-2015/ Building biology evaluation guidelines for sleeping areas. Baubiologie Maes. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN. GUIDELINES. 4 p. URL: <https://buildingbiology.com/building-biology-standard/>
6. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова Міністерство охорони здоров'я від 01.12.1999 № 37. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>

7. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів [Чинний від 2019-03-07]: наказ М-ва охорони здоров'я України від 19.06.1996 № 173. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>
8. Directive 2003/10/EC – noise. Of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) (Seventeenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). European Agency for Safety and Health at Work. Latest update: 19/03/2021. URL: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/82>
9. Environmental noise guidelines for the European region. 2018:160. World Health Organization. URL: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-europeanregion-2018>
10. Kefeng Ji; Jun GAO; Xiangyu CAO; Jiangfeng HAN; Huanhuan YANG. Design of Ultra-wideband Low RCS Reflecting Screen Based on Phase Gradient Metasurface. *Radioengineering*. Jun 2021, Vol. 30 Issue 2, p. 314-322. <https://doi.org/10.13164/re.2021.0314>.
11. Kolcunová I., Zbojovský J., Pavlík M., Bucko S., Labun J., Hegedus M., Vavra M., Cimbala R., Kurimský J., Dolník B., Petráš J., Džmura J. Shielding Effectiveness of Electromagnetic Field by Specially Developed Shielding Coating. *Acta Physica Polonica, A*. May 2020, Vol. 137 Issue 5, p. 711-713. <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.137.711>
12. Glyva V., Levchenko L., Panova O., Tykhenko O., Radomska M. The composite facing material for electromagnetic fields shielding. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020)*: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 907. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012043/meta>
13. Glyva, V., Kasatkina, N., Nazarenko, V., Burdeina, N., Karaieva, N., Levchenko, L., Panova, O., Tykhenko, O., Khalmuradov, B., Khodakovskyy, O. Development and study of protective properties of the composite materials for shielding the electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 2(12-104), pp. 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330>.
14. Glyva, V., Bakharev, V., Kasatkina, N., Levchenko, O., Levchenko, L., Burdeina, N., Guzii, S., Panova, O., Tykhenko, O., Biruk, Y. Design of liquid composite materials for shielding electromagnetic fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 3(6-111), pp. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231479>.
15. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 6/5 (96). P. 54–61.
16. McKenna M.H., McComas S.L., Danielle Whitlow R., Diaz-Alvarez H., Jordan A.M., Daniel Costley R., Simpson C.P. Remote structural infrasound: Case studies of real-time infrastructure system monitoring. *Journal of Infrastructure Systems*. 2021. 27(3), 04021021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000623](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000623)

17. Keith S.E., Daigle G.A., Stinson M. R. Wind turbine low frequency and infrasound propagation and sound pressure level calculations at dwellings. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018. 144(2). P. 981-996. <https://doi.org/10.1121/1.5051331>.
18. Liang, M., Wu, H., Liu, J. et al. Improved sound absorption performance of synthetic fiber materials for industrial noise reduction: a review. *J Porous Mater* 29, 869–892 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10934-022-01219-z>
19. Zhang C, Li H, Gong J, et al. The review of fiber-based sound-absorbing structures. *Textile Research Journal*. 2023;93(1-2):434-449. doi:10.1177/00405175221084736
20. Бурдейна Н.Б. Актуальні напрями удосконалення державних будівельних норм проектування нових і реконструкції існуючих закладів освіти. Містобудування та територіальне планування. Київ. 2023. Вип. 82. С. 43-52. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.43-52>.
21. Ткаченко Т.М., Бурдейна Н.Б., Ченчева О.О. Екранування електромагнітних полів та шуму у будівлях і спорудах. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2023. Т 2(72) – С. 186-189. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.186>.
22. ДСНтаП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затв. Наказом МОЗ України від 8.04.2014 № 248. [Чинний від 2014-05-30] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>
23. СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008 Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання. Методика. Зі змінами. Київ. Науково-технічний центр електроенергетики «НЕК «Укренерго», 2016.

Doctor of Science, Professor **Valentyn Glyva**,
PhD, Associate Professor **Nataliia Burdeina**,
Kyiv National University of Construction and Architecture,
PhD, **Oleksandr Tokarskiy**
2 State Fire and Rescue Detachment of the Main Directorate
of the State Emergency Service of Ukraine in the Zakarpattia Oblast,
PhD, **Yana Biruk**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR OBTAINING BASELINE DATA TO RATIONALISE THE EFFECTIVENESS OF SHIELDING PHYSICAL FIELDS

The shortcomings of the current regulatory framework for obtaining initial data for the design of materials and structures for shielding electromagnetic and acoustic fields are identified. It is shown that in order to obtain reliable data by the method of

field measurements, it is necessary to be guided by the maximum basic error of the equipment. The calculations of the total electromagnetic field differ in the two existing acts on electromagnetic safety. They give different results, which complicates design work and forces the use of over-efficiency protection. It is necessary to harmonise national and international standards for determining the electromagnetic load on people. Currently, Ukraine lacks a metrological and methodological framework for determining the specific absorbed energy and specific absorbed power of an electromagnetic field. Only resonant structures are effective for protection against low-frequency sound and infrasound. To obtain information about the frequencies of maximum amplitudes that are selected as resonant, it is necessary to measure the previous vibration spectrum. But this is not provided for by the current standards.

Keywords: electromagnetic field; acoustic field; shielding; low-frequency sound; infrasound.

REFERENCES

1. DSN 239-96. Derzhavni sanitarni normy i pravyla zakhystu naseleennia vid vplyvu elektromahnitnykh vyprominiuvan [Chynnyi vid 2017-12-22]: zatv. nakazom M-va okhorony zdorovia Ukrainy vid 01.08.1996 r. № 239. Kyiv, 2017. 28 s. (Derzhavni sanitarni normy Ukrainy). {in Ukrainian}
2. DSNiP 3.3.6.096-2002. Derzhavni sanitarni normy i pravyla pry roboti z dzherelamy elektromahnitnykh poliv [Chynnyi vid 2003-03-13]: zatv. nakazom M-va okhorony zdorovia Ukrainy vid 18.12.2002 r. № 476. Kyiv, 2003. 16 s. (Derzhavni sanitarni normy Ukrainy). {in Ukrainian}
3. Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/35/oj> {in English}
4. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Health Physics. 1998. № 74. p. 494–522 {in English}
5. Standard of Building Biology Testing Methods. SBM-2015/ Building biology evaluation guidelines for sleeping areas. Baubiologie Maes. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN. GUIDELINES. 4 p. URL: <https://buildingbiology.com/building-biology-standard/> {in English}
6. DSN 3.3.6.037-99 Sanitarni normy vyrobnychoho shumy, ultrazvuku ta infrazvuku. Postanova Ministerstvo okhorony zdorovia vid 01.12.1999 № 37. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text> {in Ukrainian}

7. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh pravyl planuvannia ta zabudovy naselenykh punktiv [Chynnyi vid 2019-03-07]: nakaz M-va okhorony zdorovia Ukrainy vid 19.06.1996 № 173. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96> {in Ukrainian}

8. Directive 2003/10/EC – noise. Of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) (Seventeenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC). European Agency for Safety and Health at Work. Latest update: 19/03/2021. URL: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/82> {in English}

9. Environmental noise guidelines for the European region. 2018:160. World Health Organization. URL: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-europeanregion-2018> {in English}

10. Kefeng JI; Jun GAO; Xiangyu CAO; Jiangfeng HAN; Huanhuan YANG. Design of Ultra-wideband Low RCS Reflecting Screen Based on Phase Gradient Metasurface. *Radioengineering*. Jun 2021, Vol. 30 Issue 2, p. 314-322. <https://doi.org/10.13164/re.2021.0314>. {in English}

11. Kolcunová I., Zbojovský J., Pavlík M., Bucko S., Labun J., Hegedus M., Vavra M., Cimbala R., Kurimský J., Dolník B., Petráš J., Džmura J. Shielding Effectiveness of Electromagnetic Field by Specially Developed Shielding Coating. *Acta Physica Polonica, A*. May 2020, Vol. 137 Issue 5, p. 711-713. <http://doi.org/10.12693/APhysPolA.137.711> {in English}

12. Glyva V., Levchenko L., Panova O., Tykhenko O., Radomska M. The composite facing material for electromagnetic fields shielding. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020): IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 907. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012043/meta> {in English}

13. Glyva, V., Kasatkina, N., Nazarenko, V., Burdeina, N., Karaieva, N., Levchenko, L., Panova, O., Tykhenko, O., Khalmuradov, B., Khodakovskyy, O. Development and study of protective properties of the composite materials for shielding the electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 2(12-104), rr. 40–47. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330>. {in English}

14. Glyva, V., Bakharev, V., Kasatkina, N., Levchenko, O., Levchenko, L., Burdeina, N., Guzii, S., Panova, O., Tykhenko, O., Biruk, Y. Design of liquid composite materials for shielding electromagnetic fields. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021, 3(6-111), rr. 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231479>. {in English}

15. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 6/5 (96). P. 54–61. {in English}
16. McKenna M.H., McComas S.L., Danielle Whitlow R., Diaz-Alvarez H., Jordan A.M., Daniel Costley R., Simpson C.P. Remote structural infrasound: Case studies of real-time infrastructure system monitoring. *Journal of Infrastructure Systems*. 2021. 27(3), 04021021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000623](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000623) {in English}
17. Keith S.E., Daigle G.A., Stinson M. R. Wind turbine low frequency and infrasound propagation and sound pressure level calculations at dwellings. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018. 144(2). R. 981-996. <https://doi.org/10.1121/1.5051331>. {in English}
18. Liang, M., Wu, H., Liu, J. et al. Improved sound absorption performance of synthetic fiber materials for industrial noise reduction: a review. *J Porous Mater* 29, 869–892 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10934-022-01219-z> {in English}
19. Zhang C, Li H, Gong J, et al. The review of fiber-based sound-absorbing structures. *Textile Research Journal*. 2023;93(1-2):434-449. doi:10.1177/00405175221084736 {in English}
20. Burdeina N.B. Aktualni napriamy udoskonalennia derzhavnykh budivelnykh norm proektuvannia novykh i rekonstruktsii isnuichykh zakladiv osvity. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*. Kyiv. 2023. Vyp. 82. S. 43-52. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.82.43-52>. {in Ukrainian}
21. Tkachenko T.M., Burdeina N.B., Chencheva O.O. Ekranuvannia elektromahnitnykh poliv ta shumy u budivliakh i sporudakh. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats. – Poltava: PNTU, 2023. T 2(72) – S. 186-189. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.2.186>. {in Ukrainian}*
22. DSNtaP «Hihienichna klasyfikatsiia pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychoho seredovyscha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovoho protsesu», zatv. Nakazom MOZ Ukrainy vid 8.04.2014 № 248. [Chynnyi vid 2014-05-30] URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text> {in Ukrainian}
23. SOU-N EE 20.179:2008 Rozrakhunok elektrychnoho i mahnitnoho poliv linii elektroperedavannia. *Metodyka. Zi zminyamy*. Kyiv. Naukovo-tekhnichnyi tsentr elektroenerhetyky «NEK «Ukrenerho», 2016. {in Ukrainian}.