

В. А. Глива<sup>1</sup>, К. К. Ткачук<sup>2</sup>, М. С. Кашлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ШУМУ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ Й ВІДНОВЛЕННІ БУДІВЕЛЬ І ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХОДІВ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ

**Анотація.** Досліджено рівні будівельної техніки, яка використовується для ремонтів і відновлення будівель у межах житлової забудови. Встановлено, що у більшості випадків має місце перевищення гранично допустимих значень для населених місць. Аналіз вимірювань у октавних смугах частот свідчить, що переважає низькочастотний шум. Для ефективного зниження такого шуму доцільно застосовувати резонансні поглиначі. Надано розрахункову формулу для визначення резонансної частоти панелі. Налаштування панелі на частоту звуку найбільшої амплітуди значень перевищує ефективність захисту. Вимірні рівні шуму найбільш поширених електрогенераторів резервного електропостачання. Встановлено, що шум дизельних генераторів не перевищує гранично допустимих рівнів. Шум бензинових електрогенераторів значно перевищує граничні рівні. Запропоновано порядок розроблення захисної конструкції. У якості критичної частоти доцільно обрати частоту звуку з найбільшою амплітудою. Для цього на попередньому етапі проектування доцільно отримати максимально неперервний спектр звуку. Для одночасного екранування звуку та інфразвуку використовується двошарова панель. Кожен шар (панелі) налаштовується на певну частоту – резонансну і критичну. Це робить конструкцію широкосмуговою. Для підвищення ефективності конструкції прошарок між двома панелями слід заповнювати звукопоглинальним матеріалом, наприклад, гранульованим пінополістиролом. За можливості відстань між двома панелями конструкції повинна дорівнювати чверті довжини хвилі максимальної амплітуди.

**Ключові слова:** захист від шуму, панель, резонансна частота, екранування.

### Вступ

Дослідженню акустичних характеристик технічних засобів, зокрема будівельної техніки та розробленню заходів і засобів їх нормалізації приділяється багато уваги. У більшості це стосується капітального будівництва, дорожніх робіт тощо. Тобто роботи здійснюються на задалегідь підготовлених майданчиках, достатньо віддалених від житлової забудови. Але на сьогодні в Україні потребують ремонту і відновлення багато об'єктів інфраструктури, які постраждали внаслідок бойових дій та терористичних атак. Це заклади освіти, охорони здоров'я тощо. Такі об'єкти як правило, розташовані у місцях щільної забудови, тому шум будівельної техніки може негативно впливати не тільки на працюючих, а й на населення. При цьому, якщо шум середньої та високої частоти достатньо швидко згасає з відстанню, то низькочастотний звук та інфразвук розповсюджується на великі відстані й практично не поглинається будівельними конструкціями та іншими перешкодами, наприклад, зеленими насадженнями. Цьому аспекту захисту від шуму майже не приділяється уваги. Відомо, що захист від низькочастотних коливань дуже складний, тому для вирішення задач захисту людей від шуму необхідно визначити акустичні характеристики типового обладнання. Крім того, в умовах дефіциту електроенергії в Україні широко застосовуються електрогенератори резервного електроживлення. Їх шумові характеристики надаються виробниками у вигляді еквівалентних значень шуму. Але для його зниження необхідне визначення спектрального складу шуму, що дозволить розробити адекватні заходи захисту. Наведене обумовлює актуальність дослідження.

**Аналіз публікацій з електромагнітної безпеки об'єктів енергетики.** У літературних джерелах з

охорони праці у будівництві надано шумові характеристики будівельної техніки. Але ці роботи певним чином застаріли через зміну номенклатури технічних засобів. До того ж такі дані стосувалися стандартних умов капітального будівництва. Сучасні дослідження щодо рівнів шуму будівельної техніки свідчать, проблема захисту людей від акустичних впливів залишається [1, 2]. У цих роботах надані тільки еквівалентні рівні шуму за шкалою корекції «А», що ускладнює розроблення засобів екранування та шумопоглинання. В той же час європейські нормативні акти підвищують вимоги щодо рівнів шуму [3]. Санітарні норми України не регламентують саме будівельний шум, а інфразвук регламентується тільки як фактор його суттєвості – за різницею показів за лінійною шкалою та шкалою корекції «А» [4]. В останні роки багато уваги приділяється низькочастотному звуку та інфразвуку [5, 6]. Але ця проблема виникла через з'ясування факту генерації інфразвуку вітроелектростанціями [7]. Майже усі ці роботи розглядають вплив низькочастотного звуку та інфразвуку на людей, не визначаючи шляхів його зниження. Прикладна робота [8] свідчить, що сучасні композиційні матеріали мають певний ефект у низькочастотній області звукового спектра і забезпечують індекси зниження шуму 6–8 дБ. Але для інфразвуку дослідження не проводилися. Частково шляхи вирішення проблеми наведено у дослідженні [9]. Зокрема показано можливість екранування шуму як звукового діапазону, так і інфразвуку. У дослідженні [10] наведено розрахунковий апарат та засади проектування конструкції резонансного типу, які дозволяють поглинати акустичні хвилі звукового діапазону та інфразвук. Такі конструкції призначені для стаціонарного використання у будівлях. Але актуальною є задача розроблення засад забезпечення зниження шуму у нестаціонарних умовах.

**Мета роботи** – дослідити рівні та спектральний склад шуму будівельної техніки й допоміжних пристроїв та визначити засади зниження акустичного навантаження на працюючих і населення.

### Викладення основного матеріалу

Для визначення переліку та вмісту організаційно-технічних заходів зі зниження будівельного шуму необхідно виміряти фактичне значення рівнів

шуму будівельної техніки. Ці вимірювання треба здійснювати принаймні у октавних смугах частот. Такі дані дозволяють більш коректно визначити засоби захисту, що обумовлене різними технічними рішеннями для екранування звуку різних частотних смуг.

Результати вимірювання рівнів шуму типового обладнання, що використовується в процесах відновлювальних робіт наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Рівні шуму технічних засобів, що використовуються на будівництві

Технічний засіб	Рівень звукового тиску, дБ, у октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц.									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L <sub>екв</sub> , дБА
Бетонозмішувач	101	96	90	88	91	87	78	74	72	86
Компресорна станція	104	95	92	93	94	97	95	92	91	94
Бетононасос	95	95	90	87	94	85	86	78	70	86
Вібромолот	95	102	97	101	99	102	101	98	92	98
Вібраційний брус	98	90	84	89	92	85	84	79	77	85
Екскаватор	102	94	90	88	87	92	90	87	78	90
Будівельний перфоратор	103	76	92	92	89	88	91	85	77	90

Відстань вимірювання складала 5 м. Як видно з наведених даних, рівні шуму перевищують гранично допустимі рівні як працюючих, так і для населення. При цьому шум кожного агрегату вимірювався окремо. За їх одночасної роботи еквівалентні значення зростають. Відстань вимірювань невелика, але дані табл. 1 свідчать, що найвищі значення шуму припадають на низькочастотну область звукового спектра. Коефіцієнти згасання низькочастотного шуму незначні, тому він поширюється на великі відстані. В той же час засоби екранування такого шуму мають малу ефективність через великі довжини хвиль у цій області спектра. Резонансна частота розраховується зі співвідношення:

$$f_r = \frac{K}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho_m b h}},$$

де  $K$  – порядок резонансної частоти ( $K=1, 2, 3, \dots$ ),  $F$  – сила натягнення матеріалу панелі,  $\rho_m$  – густина матеріалу панелі,  $l$  – довжина,  $b$  – ширина,  $h$  – товщина панелі.

Таблиця 2 – Рівні шуму резервних електрогенераторів

Дизельні	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L <sub>екв</sub> , дБА
		92	94	90	85	78	74	65	65	62
Бензинові	84	86	72	88	105	97	100	102	98	92

Якщо використовувати одношарову панель, то її проектування доцільно здійснювати за певним алгоритмом, тобто у наступній послідовності.

На сітці координат по осі абсцис наносяться значення звуку для критичної частоти й її гармонік –  $0,25f_c$ ;  $0,5f_c$ ;  $f_c$ ;  $2f_c$ . По осі ординат – звукоізоляція  $R$  або індекси зниження звуку  $\Delta L$ .

Для кожної з чотирьох частот – графічно отримуються значення  $R$  або  $\Delta L$ .

Отримані чотири точки з'єднуються й отримується крива ефективності панелі у децибелах на октаву.

Значення  $K=1$  відповідає мінімальній резонансній частоті. Поглинання відбувається для усіх частот, кратних мінімальній.

Було виконано вимірювання рівнів шуму дизельних та бензинових електрогенераторів. Найбільш типовими потужностями дизельних генераторів є 34–55 кВт, бензинових – 2–4 кВт. У табл. 2 наведено усереднені дані.

Наведені дані орієнтовні через усереднення показників по октавних смугах частот, але чітко простежуються певні закономірності. Рівні шуму бензинових генераторів набагато вищі за дизельні і в усіх випадках перевищують гранично допустимі рівні. При цьому для дизельних генераторів максимальні амплітудні звуки притаманні низькочастотній області звукового спектра.

Як зазначалося, для низькочастотної області звукового спектра доцільно використовувати резонансні захисні панелі. Для шуму середніх і високих частот доцільно використовувати звукопоглинальні матеріали й конструкції з них.

Емпірична формула для визначення критичної частоти:

$$f_c = 0,55 \frac{v_0^2}{h v_m},$$

де  $v_0$  – швидкість звуку у повітрі,  $v_m$  – швидкість звуку у матеріалі,  $h$  – товщина панелі.

Якщо є потреба одночасної звукоізоляції у звуковому діапазоні та інфразвуковому діапазоні, то панель робиться двошаровою. При цьому друга панель (для інфразвуку) розташовується позаду першої відносно променів розповсюдження шуму. У цьому

випадку відстань між панелями можливо обрати такою, яка буде відповідати одній чверті звукової хвилі найбільшою амплітуди, що різко підвищить ефективність шумозахисту. Для підвищення ефективності конструкції проміжок між панелями доцільно заповнити шумопоглинальним неоднорідним матеріалом, наприклад, гранульованим пінополістиролом. Для екранування звуку електрогенераторів доцільно застосовувати конструкцію у формі паралелепіпеда. Єдиним обмеженням є необхідність забезпечення вентиляції та газовідводу від генератора.

### Висновки

1. Виміряні значення шуму будівельної техніки у октавних смугах частот свідчать, що багатьох випадках є перевищення гранично допустимих рівнів.

У більшості випадків шум технічних засобів переважно низькочастотний. Це обумовлює розроблення засобів захисту працюючих з використанням конструкції резонансного типу.

2. Виміряні значення шуму електрогенераторів аварійного живлення. Встановлено, що дизельні генератори мають шумність, яка не перевищує гранично допустимі рівні. Бензинові генератори мають шумові характеристики, які значно перевищують граничні значення.

3. Розроблено послідовність проектування захисних панелей для екранування звуку та інфразвуку. Для проектування захисної конструкції необхідно мати дані щодо амплітудно-частотних характеристик шуму, що надасть можливість налаштувати захисні панелі на частоти максимальних амплітуд.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошкіна О.С., Ковальова А.В. (2021). Розрахунок виробничого ризику від шумового забруднення для безпеки працюючих на відкритому повітрі. Вісті Донецького гірничого інституту. Вип. 2 (49) С. 104 – 112. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2021-2-104-112>
2. Kovalova, A. (2021). Виробничий ризик від постійного шумового навантаження для робітників відкритого повітря. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, 4(66), 90-93. <https://doi.org/https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.4.090>
3. 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-european-region-2018>
4. 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>
5. Myshchenko I., Nazarenko V., Stopa M., Maslakiewicz M. OCCUPATIONAL EXPOSURE TO INFRASONIC AND LOW FREQUENCY NOISE: ACTUAL PROBLEMS OF HYGIENIC STANDARDIZATION. Український журнал Охорона праці. 2021. 17 (4). PP. 235-244. <https://doi.org/10.33573/ujoh2021.04.235>.
6. Van Kamp I., van den Berg F. Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. Acoustics Australia/ Australian Acoustical Society. 46(82). 2018. PP. 31-57. <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0115-6>.
7. Swen M., Stefan H., Martin H., Susanne K. Can infrasound from wind turbines affect myocardial contractility? A critical review. Noise and Health. 2022. 24(113), PP. 96-106. URL: <https://eref.uni-bayreuth.de/id/eprint/73087/>
8. 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.
9. 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>.
10. V. Glyva, O. Zaporozhets, L. Levchenko, N. Burdeina, V. Nazarenko. Methodological Foundations Protective Structures Development For Shielding Electromagnetic And Acoustic Fields. Strength of Materials and Theory of Structures. 2023. Issue No. 110. PP. 245-255. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.245-255>

Received (Надійшла) 10.09.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.11.2024

### Investigation of noise levels during the reconstruction and restoration of buildings and identification of noise reduction measures

V. Glyva, M. Kashlev, K. Tkachuk

**Abstract.** The levels of construction equipment used for repair and restoration of buildings within residential areas are investigated. It is established that in most cases there is an excess of maximum permissible values for populated areas. The analysis of measurements in octave frequency bands shows that low-frequency noise prevails. To effectively reduce this noise, it is advisable to use resonant absorbers. A calculation formula for determining the resonant frequency of a panel is presented. Adjusting the panel to the sound frequency of the highest amplitude values exceeds the effectiveness of protection. The noise levels of the most common backup power generators have been measured. It was found that the noise of diesel generators does not exceed the maximum permissible levels. The noise of petrol generators significantly exceeds the limit levels. The procedure for developing a protective structure is proposed. It is advisable to choose the frequency of sound with the highest amplitude as the critical frequency. To do this, it is advisable to obtain the most continuous sound spectrum at the preliminary design stage. A two-layer panel is used for simultaneous sound and infrasound shielding. Each layer (panel) is tuned to a specific frequency – resonant and critical. This makes the structure broadband. To increase the efficiency of the structure, the gap between the two panels should be filled with sound-absorbing material, such as granular polystyrene foam. If possible, the distance between the two panels should be a quarter of the wavelength of the maximum amplitude.

**Keywords:** noise protection, panel, resonant frequency, shielding.