

В. А. Глива, М. С. Кашлев

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

ЕКРАНУВАННЯ ШУМУ БУДІВЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Проведено експериментальні дослідження шумових характеристик будівельного обладнання. З'ясовано, що у більшості випадків перевищення гранично допустимих значень звукового тиску складає не більше 20–25 дБ. Це обумовлює можливість застосування акустичних екранів для нормалізації рівнів шуму на робочих місцях і територіях. Перевагою екранів є простота виготовлення та низька вартість. Це дозволяє використовувати екрануючі конструкції великих площ. Визначено внесок у поглинання шуму найбільш типових підстилаючих поверхонь. Ці дані дозволяють внести корективи у необхідну ефективність акустичних екранів. Досліджено амплітудно-частотні характеристики типових джерел шуму на будівельних майданчиках. Надано розрахунки щодо прогнозування ефективності акустичних екранів у залежності від умов їх використання. Враховано наявність дифракційних явищ на кромках екранів для великих значень кутів дифракції з урахуванням розташування екрана на поверхні та над поверхнею. Представлено розрахунок щодо значення коефіцієнта дифракції звукових хвиль з урахуванням відстані від джерела звуку до екрана та його кромки, а також відстані від кромки екрана до зони зниження рівня звуку. Враховані фізичні характеристики матеріалу, з якого виготовлений акустичний екран. Надано практичні рекомендації щодо підвищення ефективності акустичних екранів з урахуванням розташування, форми екрана та амплітудно-частотних характеристик шуму, який підлягає екрануванню.

Ключові слова: будівельне обладнання, шум, акустичний екран, коефіцієнт звукопоглинання.

Вступ

Не дивлячись на значну увагу, що приділяється проблематиці зниження акустичного навантаження на виробничі й оточуюче середовище, дана задача ще далека від вирішення. Це пояснюється як різноманітністю джерел шуму, так і зміною їх кількісного та якісного складу.

У багатьох випадках суттєвим джерелом шуму на територіях населених місць є будівельні майданчики з різною кількістю будівельної техніки й обладнання. Для України задачі, пов'язані з будівельним шумом залишаються актуальними на багато років. У значній кількості населених пунктів є багато часткового або повністю зруйнованих об'єктів, відновлення яких є доцільним.

Як правило, такі об'єкти розташовані у зонах житлової або промислової забудови, де постійно або тимчасово перебуває велика кількість людей.

Тому бажана мінімізація шуму різноманітної техніки при виконанні будівельних або відновлювальних робіт.

Розроблення відповідних заходів повинне базуватися на визначенні амплітудно-частотних характеристик будівельного обладнання.

Це дозволить мінімізувати витрати на розроблення й впровадження відповідних заходів зниження впливу шуму на людей.

Огляд літературних джерел. Рівні виробничого шуму, ультразвуку й інфразвуку нормуються в Україні санітарними нормами [1].

Шум будівельного обладнання обмежується еквівалентним значенням 80 дБА. Але це гранично допустимий рівень для виробничих умов на робочому місці. При виконанні робіт на території населених місць він повинен бути нижчий [2].

Тому при виконанні робіт у населених місцях необхідно вживати заходи зі зниження акустичного навантаження на середовище.

Найбільш ефективним засобом є шумопоглинальні конструкції [3, 4].

Але такі матеріали й конструкції призначені для облицювання поверхонь великих площ.

У дослідженні [5] запропоновано теоретичні й експериментальні підходи до проектування резонансних звукопоглинальних панелей обмежених розмірів. Такі конструкції мають високу вартість й призначені, в основному, для захисту від низькочастотного звуку та інфразвуку.

У багатьох випадках складні конструкції [6] можуть бути надлишковими за ефективністю.

Найбільш відпрацьованими конструкціями для захисних рівнів шуму є шумозахисні екрани [7, 8]. Але їх ефективність функціонально пов'язана з амплітудно-частотними характеристиками шуму джерел та розмірами екранів. При цьому необхідно зважити на дифракційні ефекти на кромках екрануючих конструкцій.

Цей напрям добре розроблений, але потребує уточнення застосування екрануючих конструкцій для зниження шуму будівельного обладнання в умовах обмежених розмірів будівельних матеріалів.

Мета роботи – дослідити ефективність зниження шуму будівельного обладнання із застосуванням екрануючих конструкцій.

Викладення основного матеріалу

Певною складністю у процесі розроблення заходів зі зниження шуму будівельного обладнання є розбіжності у визначенні значень шуму.

Це пояснюється різними режимами роботи обладнання, а також відбиттям звукових хвиль від різних поверхонь, що потрібно враховувати у практичній діяльності [9].

Проведені інструментальні дослідження з використанням каліброваного шумоміру ОКТАВА 110 А дозволили отримати усереднені дані щодо шуму окремих агрегатів.

Таблиця 1 – Середні рівні шуму будівельного обладнання

Тип обладнання	Рівень шуму, дБ
Машина для забивання паль	115–120
Будівельно-монтажні пістолети	115–120
Бетонозмішувач гравітаційної дії	95–105
Пневмомолотки	105–110
Бульдозери	95–105
Віброплити	95–105
Машини для різки бетону	95–100
Трактори	90–95
Зварювальні апарати з дизельними генераторами	95–105
Генератори резервного живлення	80–95
Вантажні автомобілі, крани	80–90
Екскаватори	80–90
Бетононаноси	80–90
Вібраційний брус	85–95

Як видно з табл. 1, рівні шуму будівельного обладнання досить високі, що обумовлює необхідність його зниження.

У реальних умовах слід враховувати, що на певних відстанях відбувається часткове звукопоглинання поверхнями (табл. 2).

Таблиця 2 – Середні коефіцієнти звукопоглинання відбиваючих поверхонь

Відбиваюча поверхня	Октавні смуги частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Асфальт, бетон	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
Невисока трава, рихлий ґрунт	0,10	0,33	0,40	0,80	0,80	0,80	0,80	0,70

Коефіцієнти звукопоглинання на будівельних майданчиках мають середні значення між наведеними у табл. 2 значеннями. Але вони впливають на рівні шуму на великих відстанях.

У табл. 3 представлено рівні звукового тиску у октавних смугах частот двох різних джерел шуму, які використовуються у будівництві.

Таблиця 3 – Рівні звукового тиску обладнання з двигунами різного типу

Джерело шуму	Рівні звукового тиску, дБ						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Транспортна машина, бензиновий двигун	69	72	75	79	80	82	73
Пересувна компресорна станція, дизельний двигун	95	90	92	88	92	80	74

Амплітудно-частотні характеристики наведених джерел суттєво відрізняються у низькочастотній області.

Для таких частот гранично допустимі рівні звукового тиску достатньо високі – 90–95 дБ. Відмінності на середніх і високих частотах не критичні, а

значення звукового тиску не перевищують граничні значення. Для цих частотних смуг можливе зниження рівнів шуму акустичними екранами. За низьких частот звуку й високих амплітуд їх ефективність поступається ефективності резонансних та шумопоглинальним конструкціям.

Але акустичні екрани мають низьку вартість, що надає можливість монтажу захисних конструкцій великих площ.

Звукоізолюючий ефект акустичного екрана визначається зоною акустичної тіні за ним.

Тому розмір екрана є критичним для значення звукопоглинання, особливо з відстанню від нього у захищеній зоні.

Зниження ефективності екранування з відстанню обумовлене дифракційними явищами на кромках екрана.

Внесок дифракції збільшується зі зменшенням площі екрана, кута дифракції та довжини звукової хвилі. За великих кутів дифракції рівні звукового тиску можна знизити на 10–20 дБ. У середньо та високочастотних областях звукового спектра. У більшості випадків це буває достатньо для нормалізації рівня шуму.

Акустичні екрани найбільш ефективні у наступних випадках: переважність середньо та високочастотних складових шуму; невеликі розміри джерела шуму; відносно вузька спрямованість випромінювання звуку.

Усі відомі методи розрахунку акустичних екранів застосовують оптико-дифракційний підхід [10]. Слід враховувати, що для великих кутів дифракції такий підхід дає значну похибку. Також не враховуються особливості розташування акустичних екранів у просторі, наявність відбиваючих поверхонь. Цей недолік можна подолати, додавши до відповідного рівняння ще один член.

Ефективність акустичного екрана у загальному випадку визначається як:

$$\Delta L = L_0 - L_e,$$

де L_0 – рівень звукового тиску до екрана, L_e – у екранованій зоні, дБ.

Для вирішення інженерних задач для прямокутної конструкції прийнятну точність дає співвідношення:

$$\Delta L = -10 \lg \left(\tau + \sum_{i=1}^4 K_{di} + \sum_{n=1}^N K_{en} \right) + 10 \lg \left(1 + \sum_{n=1}^N K_{en} \right),$$

де τ – коефіцієнт звукопровідності матеріалу екрана, K_{di} – коефіцієнт дифракції i -тої кромки екрана, K_{en} – коефіцієнт відбиття n -ї поверхні, N – кількість відбиваючих поверхонь.

Розгляд кожної кромки екрана обов'язковий через те, що чотири боки конструкції можуть бути нерівноправними: наприклад, один бік розташований на поверхні і дифракція відсутня.

Коефіцієнт звукопровідності зв'язаний зі звукоізоляцією матеріалу екрана R (дБ) стандартним співвідношенням:

$$\tau = 10^{-0,1R}.$$

Коефіцієнт дифракції визначається співвідношенням:

$$K_{di} = \frac{\gamma_i (10 - 3\varphi\alpha) h}{f \gamma_0 (r_i + l_i - r_0)},$$

де r_0 – відстань від джерела звуку до точки визначення звуку за екраном, r_i – відстань від джерела звуку до відповідної кромки екрана, l_i – відстань від кромки екрана до точки визначення звуку за екраном, α – коефіцієнт звукопоглинання матеріалу екрана, γ_0 , γ_i – характеристики спрямованості джерела звуку, які визначаються значенням кута дифракції f – кут між векторами R та l . Параметр h визначається розташуванням екрана.

Експериментально встановлено, що $h = 1$ у разі, якщо відстань від поверхні до нижньої кромки екрана більша за 1,5 м.

У інших випадках (відстань від 0 до 1,5 м) цей параметр дорівнює $0,6 h$. Частота звуку обирається f як середньгеометрична октавних смуг.

Для підвищення ефективності акустичних для різних умов можна сформулювати декілька вимог.

Якщо у спектрі шуму джерела переважають низькочастотні складові, то найбільш дієвими засобами підвищення ефективності екранів є такі:

- збільшення розмірів екранів;
- застосування екранів більш складної форми, наприклад, Г-подібної та П-подібної;
- зменшення відстані між джерелом шуму та екраном;
- зменшення відстані між екраном та зоною, яка потребує захисту.

Також підвищення ефективності можливо за наявності великої кількості відбиваючих поверхонь й переважно середньо та низькочастотних складових шуму при таких умовах:

- облицювання поверхні екрана звукопоглинальним матеріалом;
- зміна кута відбиття звуку від усіх критичних поверхонь;
- зменшення ефективної площі відбиття; зменшення зазорів між відбиваючими поверхнями та екраном зміна розташування та форми екрана.

Не дивлячись на те, що вважається можливим досягнення зниження рівнів звукового тиску за допомогою акустичних екранів на рівні 18–20 дБ, у реальних умовах такі значення майже недосяжні. За площ акустичних екранів розумних розмірів та їх встановлення на прийнятних відстанях зниження рівнів звукового тиску складає 10–12 дБ.

Цей факт необхідно врахувати у практичній діяльності й визначати потрібну ефективність акустичних екранів, виходячи з реальних умов розповсюдження звуку та принципу розумної достатності.

Висновки

1. Проведено експериментальні дослідження рівнів шуму будівельного обладнання. Визначено, що у більшості випадків перевищення гранично допустимих рівнів складає 10–15 дБ. Це надає змогу використовувати шумозахисні екрани простої конструкції та низької вартості.

2. Показано, що для визначення засобів захисту необхідно виміряти амплітудно-частотні характерис-

тики шуму джерел, що дозволить раціоналізувати конструкцію захисних поверхонь. Визначено середні значення коефіцієнтів звукопоглинання типових підстилаючих поверхонь, які дають внесок у зниження акустичного навантаження на середовище.

3. Надано розрахунки ефективності акустичних екранів достатньої точності для застосування у інженерній практиці. Враховано внесок у проникнення шуму дифракції звукових хвиль на кромках

акустичних екранів стандартної форми.

4. Надано практичні рекомендації щодо підвищення ефективності акустичних екранів за рахунок їх форми та з урахуванням частотних характеристик шуму.

5. Наголошено, що у реальних умовах експлуатації зниження рівнів звукового тиску за рахунок застосування акустичних екранів не перевищує 10–12 дБ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Постанова Міністерство охорони здоров'я від 01.12.1999 № 37.
2. 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.
3. E. Jayamani, M.K.B. Bakri, Lignocellulosic fibres reinforced polymer composites for acoustical applications. In: Kalia, S. (ed.) Lignocellulosic Composite Materials, pp. 415-444. Springer, Berlin (2018)
4. S. Secchi, et al. Experimental and environmental analysis of new sound-absorbing and insulating elements in recycled cardboard. J. Build. Eng. 5, (2016), 1-12
5. 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 110, 2023, PP. 245-255. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.245-255>
6. E. Taban, A. Tajpoor, M. Faridan et al. Acoustic Absorption Characterization and Prediction of Natural Coir Fibers. Acoust Aust 47, 67–77 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40857-019-00151-8>
7. Hsiao Mun Lee, Zhao Meng Wang, Kian Meng Lim, Heow Pueh Lee. Investigation of the effects of sample size on sound absorption performance of noise barrier. Applied Acoustics, Volume 157, 2020, 106989, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.07.037>
8. Salehian, S., & Mankbadi, R. (2020). Jet Noise in Airframe Integration and Shielding. Applied Sciences, 10(2), 511. <https://doi.org/10.3390/app10020511>
9. K. Attenborough. Acoustical impedance models for outdoor ground surfaces. Journal of Sound and Vibration, V. 99, I. 4, 1985, p. 521-544, [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(85\)90538-3](https://doi.org/10.1016/0022-460X(85)90538-3)
10. Ulrich J. Kurze. Noise reduction by barriers. J. Acoust. Soc. Am. 55, 504–518 (1974), <https://doi.org/10.1121/1.1914528>

Received (Надійшла) 23.02.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.04.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Глива Валентин Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри фізики, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна;

Valenty Glyva – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Physics, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: hlyva.va@knuba.edu.ua, ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-3351>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210185162>.

Кашлев Михайло Сергійович – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна;

Mykhailo Kashlev – PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine;

e-mail: kashlev_ms-2022@knuba.edu.ua, ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0004-6240-4630>.

Shielding the noise of construction equipment

Valenty Glyva, Mykhailo Kashlev

Abstract. Experimental studies of the noise characteristics of construction equipment have been carried out. It has been found that in most cases, the excess of the maximum permissible sound pressure values is no more than 20–25 dB. This makes it possible to use acoustic screens to normalise noise levels at workplaces and territories. The advantage of screens is their ease of manufacture and low cost. This makes it possible to use shielding structures of large areas. The contribution to noise absorption of the most typical underlying surfaces was determined. These data allow us to make adjustments to the required efficiency of acoustic screens. The amplitude-frequency characteristics of typical noise sources at construction sites are investigated. Calculations are presented to predict the effectiveness of acoustic screens depending on the conditions of their use. The presence of diffraction phenomena at the edges of the screens for large values of diffraction angles is taken into account, taking into account the location of the screen on the surface and above the surface. The calculation of the value of the sound wave diffraction coefficient is presented, taking into account the distance from the sound source to the screen and its edges, as well as the distance from the screen edges to the sound reduction zone. The physical characteristics of the material from which the acoustic screen is made are taken into account. Practical recommendations for improving the effectiveness of acoustic screens are given, taking into account the location, shape of the screen and amplitude-frequency characteristics of the noise to be screened.

Keywords: construction equipment, noise, acoustic screen, sound absorption coefficient.