

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА CIVIL SAFETY

UDC 534.6:625.7

Artem Maksymenko, Post-Graduate of the Department of Labour and Environmental Protection

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-7880-8167> *e-mail*: mksmknkart@gmail.com

Iryna Klimova, Candidate of technical sciences, Docent of the Department of Labour and Environmental Protection

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5591-9952> *e-mail*: iryinaklimova63@gmail.com

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

REDUCING THE LEVEL OF ACOUSTIC POLLUTION GENERATED BY ROAD TRANSPORT

***Annotation.** The current rate of construction and the level of technological development lead to a significant increase in the level of acoustic pollution in the urban environment. Usually, efforts to minimize the negative effects of noise on humans are limited to formal acoustic solutions at the design stage, but even more often – to the implementation of construction-acoustic solutions at the stage of an already implemented object. In pursuit of the desire to satisfy the buyer and obtain financial benefit, Ukrainian developers neglect project decisions and recommendations on noise and vibration protection issues and as a result, create problems not only for their customers, but also negatively affect the environment in general. The reasons for such a negative impact are: lack of acoustic solutions aimed at reducing noise and vibration from engineering equipment and its incorrect placement, incorrect placement of residential buildings in relation to already existing stationary sources of noise (motorways, railways, airports, existing industrial and production zones). Also, the reasons for the negative impact of noise on the environment include the lack of a global strategy for assessment, forecasting and development of methods of combating noise pollution. This strategy will make it possible to assess the general level of noise pollution in cities, the presence and number of "quiet zones" (territories with no excesses of permissible noise levels), and to create noise maps. The purpose of this work is an example of an acoustic approach, when at the stage of reconstruction of highway M 01, on the Kyiv-Chernihiv section, the necessity of applying acoustic solutions to reduce the noise load on the territory of residential buildings located in close proximity to the road was determined. The result of the work is an assessment of the presence of exceeding permissible noise levels and the development of constructive solutions to minimize acoustic pollution. The use of acoustic screens was chosen as a constructive solution. On-site acoustic measurements were carried out as a tool for assessing the exceedances of permissible noise levels in the residential area. The construction of a calculation model was chosen as a method for predicting the reduction of noise levels. The practical value of this work lies in the preliminary assessment of possible acoustic pollution at the design stage.*

***Key words:** noise level, sound pressure level, calculation model, shielding.*

А.В. Максименко, І.В. Клімова

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ АКУСТИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ, ЩО ГЕНЕРУЄТЬСЯ АВТОТРАНСПОРТОМ

***Анотація.** Сучасний темп забудови та рівень розвитку технологій призводять до суттєвого збільшення рівня акустичного забруднення в урбанізованому середовищі. Зазвичай, зусилля щодо мінімізації негативних наслідків впливу шуму на людину обмежуються формальними акустичними рішеннями на етапі проектування, але ще частіше – впровадженням будівельно-акустичних рішень, на етапі вже реалізованого об'єкта. В погоні за бажанням задовільнити покупця і отримати фінансову вигоду українські забудовники нехтують проектними рішеннями та рекомендаціями з питань захисту від шуму та вібрацій і, як результат, створюють проблеми не тільки своїм клієнтам, а і загалом негативно впливають на навколишнє середовище. Причинами такого негативного впливу виступають: відсутність акустичних рішень, направлених на зниження шуму та вібрацій від інженерного обладнання, його некоректне розміщення, некоректне розміщення житлових будівель по відношенню до вже існуючих стаціонарних джерел шуму (автомобільні дороги, залізниці, аеропорти, наявні промислово-виробничі зони). Також, до причин негативного впливу шуму на довкілля можна віднести відсутність глобальної стратегії з оцінки, прогнозування та розробки методів боротьби з акустичним забрудненням. Дана стратегія дозволить оцінювати загальний рівень шумового забруднення в містах, наявність та кількість «тихих зон» (території з відсутніми перевищеннями допустимих рівнів шуму), створювати шумові карти. Метою даної роботи є приклад акустичного підходу, коли на етапі реконструкції автошляху М 01, на ділянці Київ-Чернігів, визначалась необхідність застосування акустичних рішень зі зменшення шумового навантаження на територію житлових будинків, які розташовані в безпосередній близькості до дороги. Результатом роботи є оцінка наявності перевищень допустимих рівнів шуму і розробка конструктивних рішень щодо мінімізації акустичного забруднення. У якості конструктивних рішень було обрано використання акустичних екранів. У якості інструмента для оцінки перевищень допустимих рівнів шуму на прибудинковій території були проведені натурні акустичні вимірювання. Побудова розрахункової моделі була обрана в якості методу для прогнозування зниження рівнів шуму. Практична цінність даної роботи полягає в попередній оцінці імовірного акустичного забруднення на стадії проектування.*

***Ключові слова:** рівень шуму, рівень звукового тиску, розрахункова модель, екранування.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.4.81-91>

Вступ

Швидкий розвиток урбанізації призводить до створення нових викликів у сфері екології та безпеки життєдіяльності. Однією з проблем, яку неможливо ігнорувати, є збільшення рівня акустичного забруднення в навколишньому середовищі.

Основними джерелами акустичного забруднення виступають: шум від роботи інженерного обладнання, технологічні процеси, автомобільні дороги, залізничні дороги, аеропорти, людський фактор (спортивні майданчики, гучні музичні клуби, стадіони тощо).

Згідно з результатами досліджень Всесвітньої Організації Охорони здоров'я [1], постійний вплив акустичного забруднення може призводити до розвитку фізіологічних та психологічних захворювань людини. До таких захворювань відносяться ішемічна хвороба серця, проблеми з метаболізмом в організмі [2], когнітивні порушення у дітей та проблеми зі сном. Згідно зі звітом про шум навколишнього середовища у Європі за 2020 рік [3], кількість людей, на яких негативно впливає шум від автомобільних доріг, складає 82 млн. А кількість людей, які знаходяться під впливом шуму від авіаційного транспорту, складає близько 3 млн людей у Європі [4].

Окрім негативного впливу на здоров'я людини, шумове навантаження у навколишньому середовищі відчутно впливає на нормальне існування тваринного та рослинного світів [5]. Наприклад, вплив шуму здатен підвищувати рівень гормонів (кортизолу) у риб, що призводить до погіршення репродуктивних функцій та підвищує рівень поглинання кисню [6].

В Україні оцінка наявності або відсутності високого рівня шумового навантаження (перевищення допустимих рівнів звукового тиску в нормованих зонах, які визначаються законодавством кожної країни) проводиться шляхом розрахунків на стадії проектування або методом інструментального вимірювання, для зон та об'єктів, які вже введені в експлуатацію.

У разі наявності перевищень допустимих рівнів звукового тиску, проблему зниження рівня шумового забруднення можна вирішувати на різних етапах проектування та з використанням різних методів та рішень. До таких методів та рішень можна віднести містобудівні, архітектурні, об'ємно-планувальні, конструктивні та технічні рішення, адміністративно-організаційні рішення для зон та об'єктів, що проектуються. У випадку об'єктів, які вже експлуатуються, необхідно впроваджувати комплекс будівельно-акустичних рішень для джерел акустичного забруднення і для зон та об'єктів, які необхідно захистити від шуму [7].

В Україні проблема шумового забруднення враховується на етапі проектування, але в більшості випадків ці рішення не враховуються на етапі реалізації. Тому дуже часто впроваджується комплекс будівельно-акустичних рішень для наявних об'єктів та зон. Такий підхід не є ефективним (оскільки додаткові будівельно-акустичні рішення не можуть в повній мірі вирішити проблему шумового забруднення, якщо ці питання ігнорувались на етапі проектування) і є економічно не вигідним.

Більш ефективним підходом в оцінці акустичного забруднення (наявного чи прогнозованого) є впровадження глобальних нормативних документів, директив, програм у питаннях прогнозування та оцінки шумового забруднення. В Європейському Союзі таким документом є Сьома Екологічна Програма Дій (7th EAP), яка направлена на вирішення проблем екології в Європі [8]. Окремим акустичним документом є Директива щодо шуму в навколишньому середовищі (END).

Ця Директива займається такими питаннями [9]:

- визначення впливу шуму навколишнього середовища та оцінка його впливу на здоров'я людини на рівні окремого помешкання;
- забезпечення доступу громадськості до інформації про рівень шуму навколишнього середовища та його вплив;
- запобігання та зменшення шуму навколишнього середовища;
- збереження низького рівня шуму навколишнього середовища в районах, де він не є високим;
- збереження «тихих зон» [10].

У свою чергу, в Сполучених Штатах Америки існує акт про контроль шуму 1972 року [11], основними задачами якого є:

- Зменшення рівня шуму. Закон мав на меті зменшити рівень шуму від різних джерел, таких як транспортні засоби, промислові установки, побутова техніка;
- Захист здоров'я та добробуту. Мета закону полягала в захисті здоров'я та добробуту громадян від шкідливих наслідків шумового забруднення;
- Створення стандартів. Закон передбачав розробку федеральних стандартів для різних джерел шуму, щоб забезпечити єдиний підхід до його регулювання.

Основною метою даної статті є аналіз результатів натурних вимірювань шуму від автотранспорту у населеному пункті Київської області, побудова розрахункової моделі на базі результатів вимірювань, оцінка рівня шуму на прибудинковій території, розробка заходів зі зниження шумового навантаження.

Основна частина

З метою виключення впливу інших джерел шуму (інженерне обладнання, людський фактор) вимірювання проводились на трасі Київ-Чернігів в денний час. Точки вимірювань обиралися у населеному пункті Семиполки, Київської області з однієї сторони автодороги на різних відстанях від траси, термін проведення вимірювань $\Delta t = 15$ хвилин. Результати представлені в таблиці 1.



Рисунок 1. Маркування точок вимірювань у н.п. Семиполки

Таблиця 1. Результати вимірювань

Точки вимірювань	Рівні звукового тиску L (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{екв}$) в дБ у октавних смугах частот із середньгеометричними частотами в Гц								Еквівалентні рівні звуку L_A екр, дБА	Максимальні рівні звуку L_A макс, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	76	71	71	72	73	66	58	50	76	86
2	73	67	65	63	62	57	49	41	66	75
3	77	70	67	66	67	62	54	45	70	80

Шум від автотранспорту містить в собі декілька джерел [10], які відрізняються за характером спектру шуму (широкосмуговий і тональний), а саме:

- Шум двигуна;
- Шум від контакту покришок з покриттям (в залежності від типу покриття він може бути різним);
- Аеродинамічний шум авто;
- Шум деталей корпусу автотранспорту.

Результати натурних вимірювань дозволяють побудувати максимально наближену до реальних умов розрахункову модель, оскільки у вимірюваннях враховані всі джерела, описані вище.

Побудова розрахункової моделі дозволяє визначити прогнозовані рівні шуму у будь яких точках і в усіх октавних смугах частот моделі. Це допомагає оцінити, чи будуть перевищення рівня шуму в нормованих зонах, таких як прибудинкова територія. Розрахунок проводився для денного часу, оскільки вимірювання проводились у денний час.

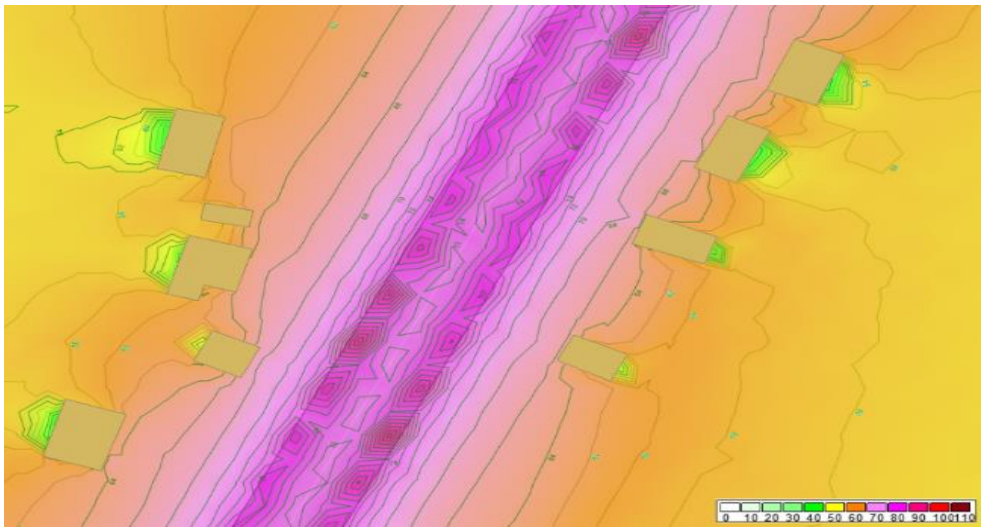


Рисунок 2. Рівні еквівалентного звукового тиску для денного часу $L_{Аекв}$, дБА, відмітка +1,500 в н.п. Семиполки

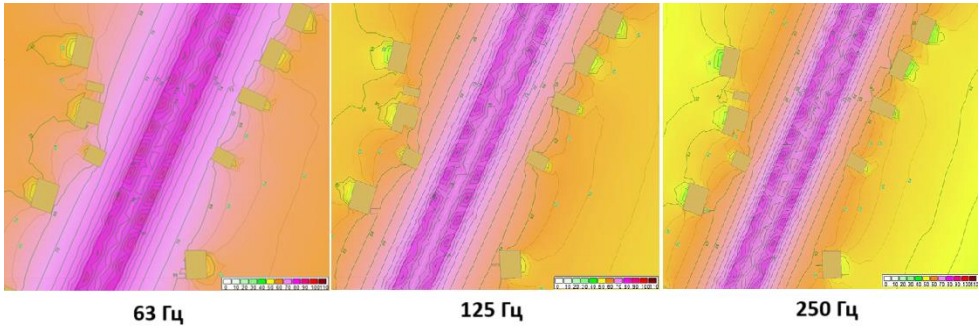


Рисунок 3. Рівні звукового тиску в октавному діапазоні для денного часу, дБ, відмітка +1,500 в н.п. Семіполки, частоти 63, 125, 250 Гц

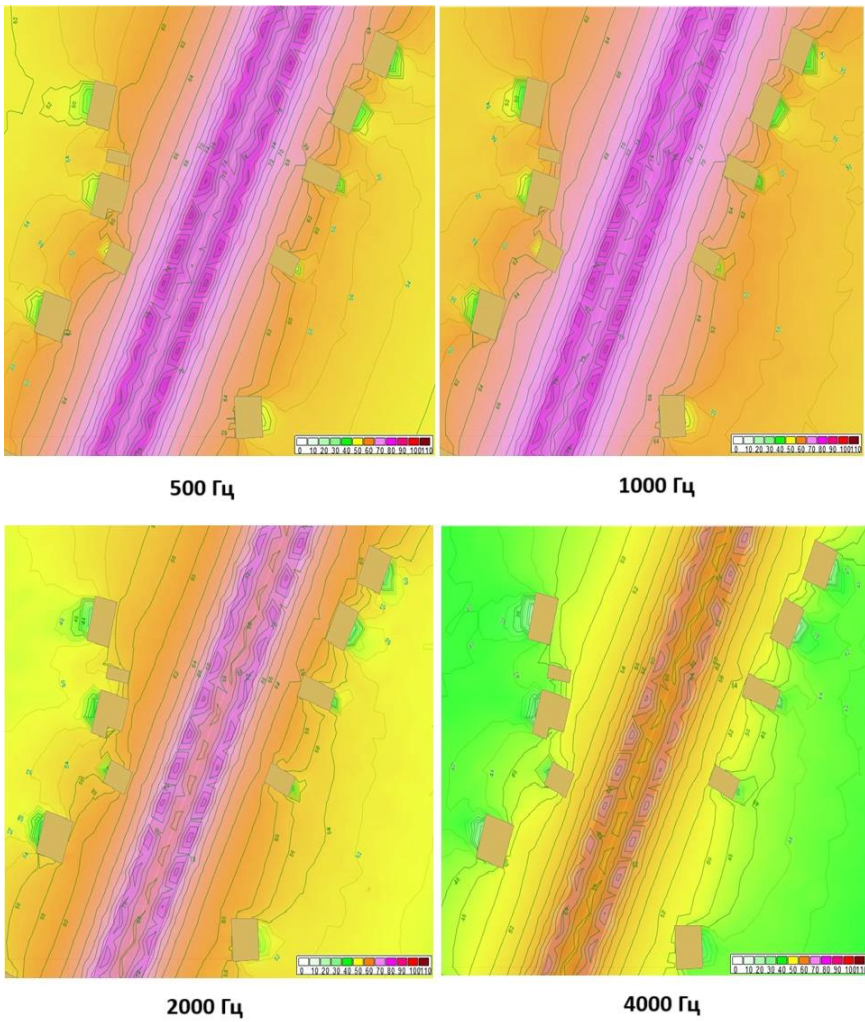


Рисунок 4. Рівні звукового тиску в октавному діапазоні для денного часу, дБ, відмітка +1,500 в н.п. Семіполки, частоти 500, 1000, 2000, 4000 Гц

Таблиця 2. Результати моделювання і порівняння з допустимими значеннями рівня шуму

Точки вимірювань	Рівні звукового тиску L (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{екв}$) в дБ у октавних смугах частот із середньгеометричними частотами в Гц								Еквівалентні рівні звуку $L_{Аекв}$, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Допустимий рівень шуму, день 8:00 – 22:00	77	70	64	59	56	54	53	52	65
2(фасад будівлі)	73	67	65	63	62	57	49	41	66
3(фасад будівлі)	77	70	67	66	67	62	54	45	70
Перевищення для точки 2	-	-	1	4	6	3	-	-	1
Перевищення для точки 3	-	-	3	7	11	8	1	-	5

Еквівалентний рівень шуму на фасаді найближчої будівлі від дороги складає 66 дБА. Допустимий еквівалентний рівень звуку $L_{Аекв}$, дБА на прибудинковій території для денного часу має бути ≤ 65 , а для нічного часу ≤ 55 [13] (з урахуванням поправки на район житлової забудови, яка склалась). В октавному діапазоні частот перевищення присутні в діапазоні 250-4000 Гц. Тому необхідно змоделювати заходи зі зменшення рівня шуму на прибудинковій території.

Оптимальним рішенням буде розміщення акустичного екрану максимально близько до джерела шуму [14]. Висота екрану становить 3 метри, товщина 104 мм.

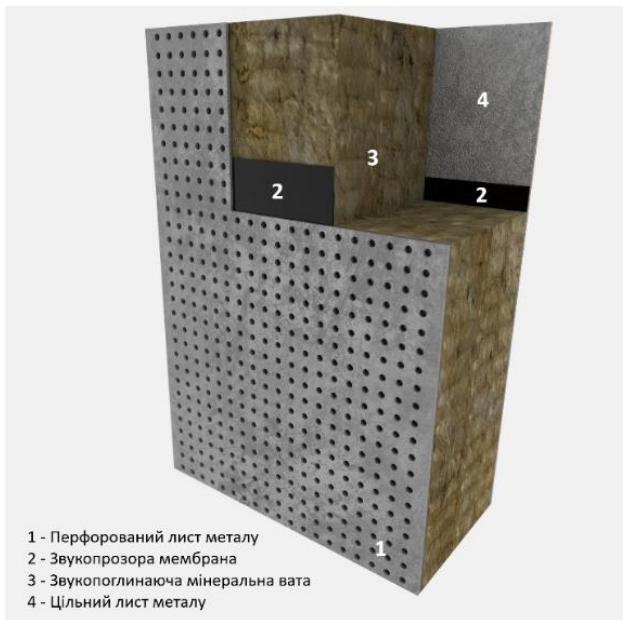


Рисунок 5. Конструкція звукопоглинаючого екрану

Акустичні характеристики екрану були задані згідно з такою конфігурацією [15]:

- Перфорований лист металу зі сторони джерела шуму, товщина 2 мм;
- Звукопрозора мембрана;
- Звукопоглинаюча мінеральна вата, з середнім коефіцієнтом звукопоглинання α_w 0,95-1, товщина 100 мм;
- Цільний лист металу, товщина 2 мм.

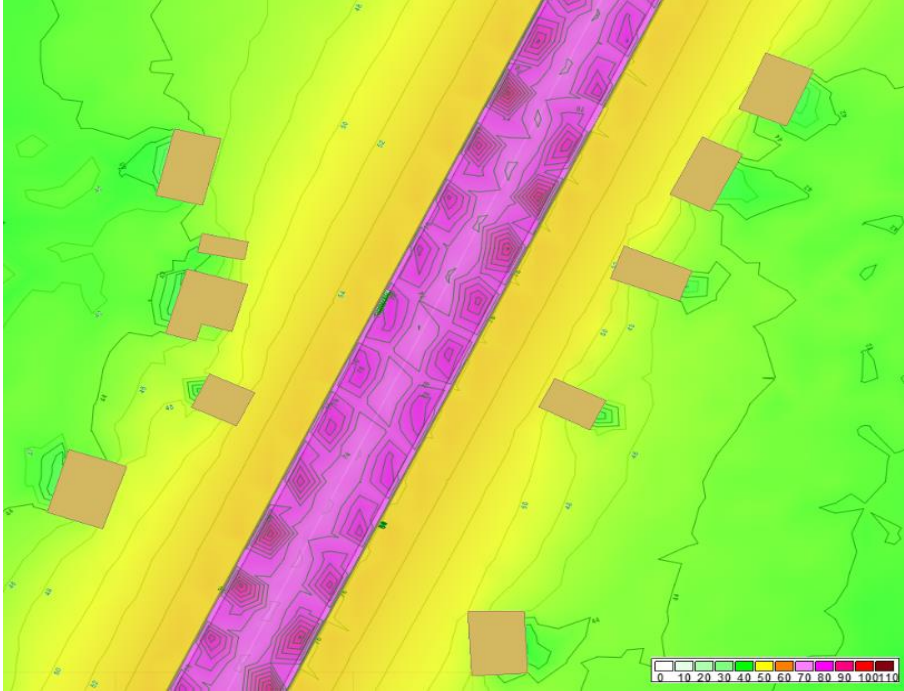


Рисунок 6. Рівні еквівалентного звукового тиску для денного часу $L_{A,eq}$, дБА, відмітка +1,500 в н.п. Семіполки, екран 3 м

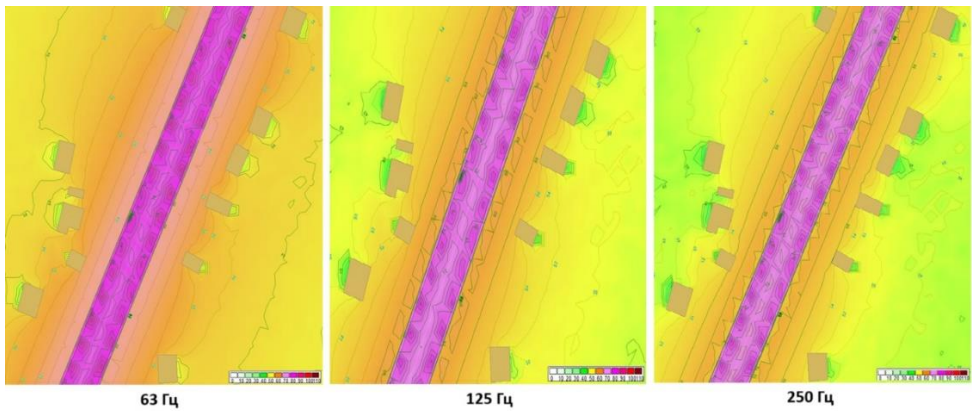


Рисунок 7. Рівні звукового тиску в октавному діапазоні для денного часу, дБ, відмітка +1,500 в н.п. Семіполки, частоти 63, 125, 250 Гц, екран висотою 3 м

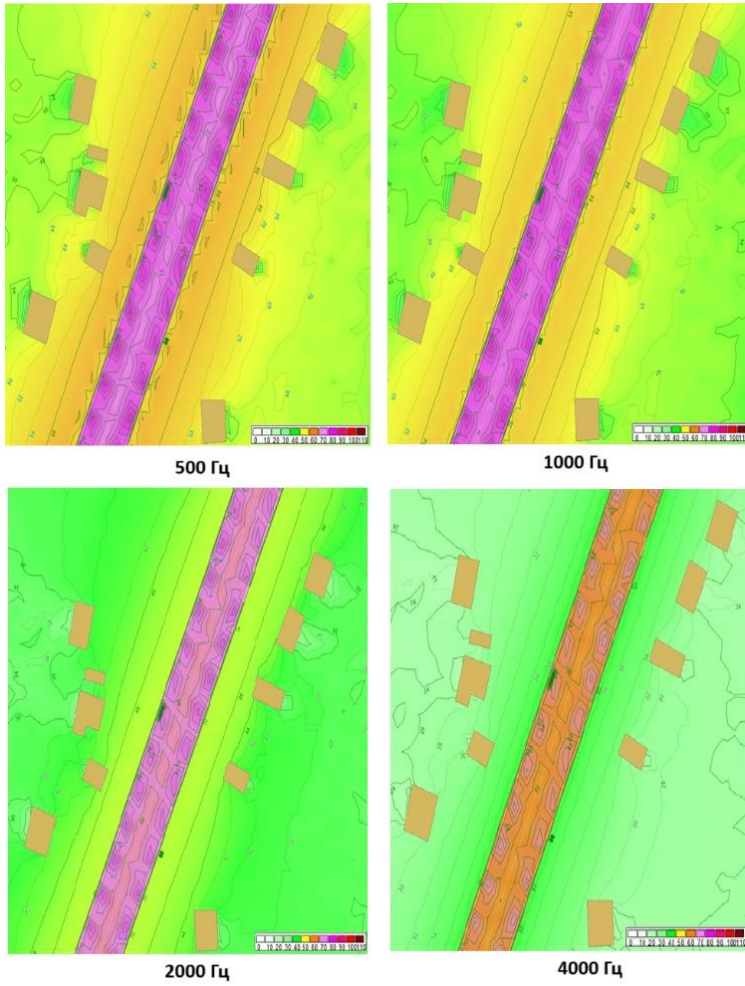


Рисунок 8. Рівні звукового тиску в октавному діапазоні для денного часу, дБ, відмітка +1,500 в н.п. Семіполки, частоти 500, 1000, 2000, 4000 Гц, екран висотою 3 м

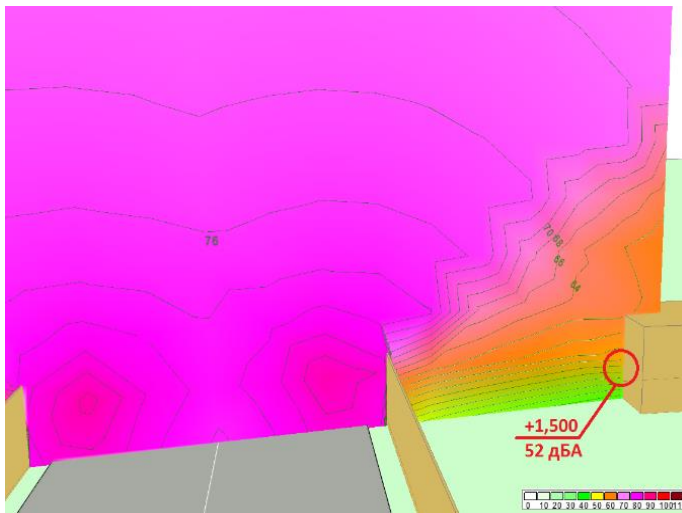


Рисунок 9. Поперечний переріз карти шуму для екрану висотою 3 м

Таблиця 3. Результати моделювання з урахуванням екранів висотою 3 м

Точки вимірювань	Рівні звукового тиску L (еквівалентні рівні звукового тиску L_{eq}) в дБ у октавних смугах частот із середньгеометричними частотами в Гц								Еквівалентні рівні звуку L_A екв, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Допустимий рівень шуму, день 8:00 – 22:00	77	70	64	59	56	54	53	52	65
1(7,5 м)	65	60	58	54	53	46	38	36	60
2(10 м)	62	58	56	52	49	41	32	29	57
3(20 м)	56	52	51	44	44	36	26	26	52
Прогнозоване зниження рівня шуму у точці 2 (фасад будівлі), для денного часу	11	9	9	11	13	16	17	12	9
Прогнозоване зниження рівня шуму у точці 3 (фасад будівлі), для денного часу	21	18	16	22	23	26	28	19	18

Висновок

Отримані результати свідчать про високу ефективність зниження рівня шуму від автотранспорту методами екранування. Використання такої конструкції дозволяє знизити рівень звукового тиску на прибудинковій території на 9-18 дБА, що є оптимальним рішенням при розташуванні джерела шуму поблизу нормованих зон.

Побудова акустичної моделі дозволяє завчасно виявити перевищення допустимих значень рівня шуму, ще на стадії проєктування.

REFERENCES

1. WHO. (2019). Environmental health inequalities in Europe. Second assessment report (2019), WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. 30-34 p.
2. Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise (2018), WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.
3. European Environment Agency. (2020). Environmental noise in Europe. Copenhagen, Denmark. 23-27 p.
4. EASA, et al. (2019). European aviation environmental report 2019. European Union Aviation Safety Agency, Cologne, Germany.
5. Francis, C. D. and Barber, J. R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305-313.
6. HELCOM. (2019). Noise sensitivity of animals in the Baltic Sea. Underwater noise. Baltic Sea Environment Proceedings 167. Baltic Marine Environment Protection Commission. 13-18 p.

7. DBN V.1.1-31:2013. Protection of territories, buildings and structures from noise. [Effective from 2014-01-06]. Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (In Ukrainian). [ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-01-06]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України].
8. Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 'Living well, within the limits of our planet'. OJ L 354/171; 28.12.2013.
9. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. OJ L 189, 18.7.2002.
10. EEA. (2016). Quiet areas in Europe – the environment unaffected by noise pollution, EEA Report No 14/2016, European Environment Agency. 80 p.
11. ACEA. (2017). Vehicles in use – Europe 2017. European Automobile Manufacturers' Association.
12. Public Law 92-574, Oct. 27, 1972. 17 p.
13. "On the approval of the State sanitary norms of permissible noise levels in the premises of residential and public buildings and on the territory of residential buildings." Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 463 of February 22, 2019 (In Ukrainian). [«Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови». Наказ МОЗ України N 463 від 22.02.2019].
14. DSTU-NB V.1.1-33:2013. Guidelines for calculation and design of noise protection of agricultural areas. [Effective from 2014-01-01]. Edition officer. Kyiv: Ministry of the Region of Ukraine, 2014 (In Ukrainian). [ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014].
15. DSTU-NB V.1.1-32:2013. Guidelines for the design of noise protection in premises by means of sound absorption and shielding. [Effective from 2014-01-01]. Edition officer. Kyiv: Ministry of the Region of Ukraine, 2014 (In Ukrainian). [ДСТУ-Н Б В.1.1-32:2013 Настанова з проектування захисту від шуму в приміщеннях засобами звукопоглинання та скранування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014].

Стаття надійшла до редакції 08.08.2024 і прийнята до друку після рецензування 25.11.2024

The article was received 08.08.2024 and was accepted after revision 25.11.2024

Максименко Артем Віталійович

аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітряних сил України, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-7880-8167> **e-mail:** mksmknart@gmail.com

Клімова Ірина Володимирівна

кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці Київського національного університету будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітряних сил України, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5591-9952> **e-mail:** irynaklimova63@gmail.com