

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛАСЛОВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 625.7:504.06

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШУМОЗАХИСНИХ
ЕКРАНІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ
05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело



С. В. Ласлов

Науковий керівник –
Токін Олександр Павлович
кандидат технічних наук,
доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02



О. Ю. Усиченко

Київ – 2024

АНОТАЦІЯ

Ласлов С. В. Удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Національний транспортний університет, Київ, 2024.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі – підвищення ефективності застосування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах та мостових спорудах за рахунок удосконалення методу оцінювання параметрів при дії транспортних потоків.

Проведено огляд наукових досліджень стосовно основних конструкцій та характеристик шумозахисних екранів, які використовуються на автомобільних дорогах та транспортних спорудах, а також проаналізовано вплив екранів на міцнісні характеристики автодорожніх мостів.

Удосконалено математичну модель та методи оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, що враховує комплекс факторів, а саме: конструктивні, геометричні параметри екрану та характеристики автомобільної дороги, різну швидкість транспортного потоку та кліматичні умови.

Встановлено, що імпульсний метод вирішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від джерел, що рухаються (транспортного потоку) дозволяє визначити: рівень шуму, коли рух здійснюється по довільній траєкторії; рівень акустичного забруднення на певній відстані від вісі дороги при заданій рухомій системі координат, пов'язаній з джерелом звуку, а також дозволяє виконувати прогнозування рівня акустичного забруднення місцевості транспортним потоком, що рухається автомобільною дорогою.

Встановлено, що в однакових умовах експлуатації ділянок автомобільних доріг з різними типами покриття за умови сухої погоди формування рівня шуму виникає по-різному. Проведено натурні дослідження, за допомогою яких визначено, що

різниця загального рівня шуму може досягати значень у 7,5 дБА. Визначено, що загальний рівень шуму в придорожній смузі залежить від величини поздовжнього нахилу і середньої швидкості потоку.

Розроблено методичний підхід до проведення експериментальних досліджень ефективності шумозахисних екранів різних конструкцій на ділянках автомобільних доріг загального користування із урахуванням параметрів автомобільних доріг, шумозахисних екранів, відстаней від джерел шуму до місць проведення вимірювань шумового навантаження та пошкоджень шумозахисних екранів. Наведено методіку експериментальних вимірювань шумового навантаження на сельбищній території при застосуванні шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Для визначення ефективності функціонування шумозахисних екранів проведено експериментальні вимірювання їх характеристик на автомобільних дорогах Київської, Житомирської, Волинської, Рівненської, Львівської та Луганської областей. Окремо проведено вимірювання акустичних властивостей пошкоджених екранів. За результатами натурних вимірювань встановлено, що пошкодження шумозахисних екранів у вигляді вигинання, розривів та проломів призводять до зменшення їх акустичної ефективності. Встановлено, що наявність зазору між екранами та виконання стічного отвору в екрані призводять до зниження акустичної ефективності шумозахисних екранів на 1–3 дБА.

На основі проведених експериментальних досліджень отримано еквівалентні та максимальні рівні звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови на різних відстанях від шумозахисних споруд. Отримані результати експериментальним шляхом були співставлені з відповідними розрахунковими значеннями. Отримана розбіжність результатів порівняння знаходиться в межах 12%, при рівні довірчої вірогідності 0,95, що засвідчує високий рівень адекватності запропонованого методу прогнозування шумового забруднення навколишнього середовища.

Запропоновано базові принципи захисту навколишнього середовища від шумового навантаження при дії потоку транспорту, що рухається автомобільними

дорогами. Розроблено рекомендації із підвищення ефективності шумових характеристик існуючих екранів на автомобільних дорогах України та запропоновано удосконалену шумопоглинальну конструкцію екрану із покращеними параметрами шумозахисту і міцності.

Розроблено рекомендації для проектування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах загального користування, які містять основні вимоги до екранів, архітектурно-ландшафтні, планувальні та конструктивні рішення і вимоги до конструкцій та матеріалів шумозахисних екранів.

Ключові слова: автомобільні дороги, транспортні споруди, шумові навантаження, шумове забруднення, шумозахисні екрани, захисні екрани, акустичні характеристики, транспортний потік

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. *Теоретичні та практичні дослідження параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах при дії транспортних потоків : монографія.* Київ : Національний транспортний університет, 2022. 139 с. ISBN:978-617-555-005-2.
URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000799506>

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Ласлов С.В. Методика експериментальних досліджень шумового забруднення від автомобільного транспорту та акустичних параметрів шумозахисних екранів (in English). Збірник наукових праць “Сучасне будівництво та архітектура”, Вип. 1, 2022. С.63-69.
<https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-1-63-69>

3. Ласлов С.В. Аналіз заходів шумової безпеки на автомобільних дорогах світу. *Вісник НУБГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Вип. 1(97), 2022. С. 51-64. <https://doi.org/10.31713/vt120226>

4. Ласлов С.В. Архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей. *Науковий журнал Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Випуск 113. Частина 1, 2023. С. 54 – 60. <https://10.33744/0365-8171-2023-113.1-054-060>

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

5. Laslov S., Tokin O., Onyshchenko A. Determining regularities in the distribution of noise load from motorways and road bridges depending on the distance to a residential area. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10(115)), 2022. P. 55–64. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253389> (SCOPUS)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Токін О.П., Ласлов С.В. Експериментально-теоретичні дослідження параметрів захисних екранів при шумових навантаженнях від автомобільних доріг. *Міжнародна конференція «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»»*. <https://doi.org/10.33744/978-966-632-317-3-2022-2>.

7. Ласлов С.В. Встановлення параметрів захисних екранів при шумових навантаженнях на транспортних спорудах. *78-ма наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету*. 2022. <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

8. Онищенко А.М., Ласлов С.В. Методологія оцінювання шуму від транспортних засобів на автомобільних дорогах та мостах. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. №1, 2023. С. 28 – 35.

9. Ласлов С.В. Експериментально-теоретичні дослідження шумозахисних екранів на автомобільних дорогах. *III Міжнародна науково-технічна конференція*

“Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації”. Харків: ХНАДУ, 2023. ISBN 978-617-8130-37-4.

URL: <https://rcf.khadi.kharkov.ua/kafedri/proektuvannja-dorig-geodeziji-i-zemleustroju/seminari-ta-konferenciji/iii-mizhnarodna-naukovo-tekhnichna-konferencija-dorozhno-budivelnii-kompleks-problemi-perspektivi-innovaciji/>

Свідоцтва та патенти:

10. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110316 від 14 грудня 2021 р. Науковий твір “Розробка базових принципів захисту навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах”.

11. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В., Чиженко Н.П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110161 від 8 грудня 2021 р. Науковий твір “Моделі оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище”.

12. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111281 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Оцінювання впливу транспортного шуму автомобільних доріг на навколишнє середовище”.

13. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111282 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Дослідження ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування”.

14. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 116476 від 21 лютого 2023 р. Науковий твір “Розробка рекомендацій для просування захисних екранів на автомобільних шляхах України”.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

15. ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування.

URL: <https://drive.google.com/file/d/1ULEIkFIFKneKnggA3bd68zH1F19xugyP/view>

ABSTRACT

Laslov S. V. Improvement of methods for evaluating the parameters of noise protection screens on highways. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

The dissertation for candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.11 - highways and airfields. – National Transport University, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the solution of an actual scientific and practical problem - increasing the effectiveness of the use of noise protection screens on highways and bridge structures due to the improvement of the method of evaluating parameters under the influence of traffic flows.

A review of scientific research on the main designs and characteristics of noise protection screens used on highways and transport facilities was conducted, and the impact of screens on the strength characteristics of road bridges was analyzed.

The mathematical model and methods of evaluating the parameters of noise protection screens on highways have been improved, which takes into account a complex of factors, namely: constructive, geometric parameters of the screen and characteristics of the highway, different speeds of traffic flow and climatic conditions.

It is established that the pulse method of solving the wave equation of acoustic radiation from moving sources (traffic flow) allows to determine: the noise level when the movement is carried out on an arbitrary trajectory; the level of acoustic pollution at a certain distance from the axis of the road at a given moving coordinate system associated with the sound source and allows you to predict the level of acoustic pollution from the traffic flowing on the road.

It is established that in the same operating conditions of dry sections of roads, but with different types of coverage, the formation of noise occurs differently. The difference in total noise level can reach values of 7.5 dBa. The total noise level in the roadside lane depends on the magnitude of the longitudinal slope and the average flow rate.

The methodology of experimental researches of efficiency of noise protection screens of various designs on sections of highways of public use taking into account

parameters of highways, noise protection screens, distances from noise sources to places of measurements of noise loading and damages of noise protection screens is developed.

The method of experimental measurements of noise load on the settlement territory at application of noise protection screens on highways is resulted.

To determine the effectiveness of noise protection screens of roads, experimental measurements of the characteristics of noise protection screens on the roads of Kyiv, Zhytomyr, Volyn, Rivne, Lviv and Luhansk regions were performed.

The acoustic properties of damaged screens were measured. As a result, it was found that damage to noise shields in the form of bending, ruptures and breaks leads to a decrease in the acoustic efficiency of noise shields.

It was found that the presence of a gap between the screens and the design of the drain hole at the bottom of the screen lead to a decrease in the acoustic efficiency of noise protection screens by 1-3 dBA.

On the basis of the conducted experimental studies, equivalent and maximum sound levels were obtained in the territory immediately adjacent to residential buildings at different distances from noise protection structures. The experimental results were compared with the corresponding calculated values. The obtained discrepancy of the results of the comparison is within 12%, with a confidence level of 0.95, which proves the high level of adequacy of the proposed method of forecasting noise pollution of the environment.

The basic principles of environmental protection against noise load under the action of the flow of traffic moving on highways are proposed. Recommendations have been developed to improve the noise characteristics of the existing screens on the highways of Ukraine, and an improved noise-absorbing design of the screen with improved noise protection and durability parameters has been proposed.

Recommendations for the design of noise-protective screens on public highways have been developed, which contain basic requirements for screens, architectural and landscape, planning and constructive solutions, and requirements for structures and materials of noise-protective screens.

Key words: highways, transport facilities, noise loads, noise pollution, noise protection screens protective screens, acoustic characteristics, traffic flow.

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE THEME OF THE DISSERTATION

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Monograph:

1. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. *Теоретичні та практичні дослідження параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах при дії транспортних потоків : монографія*. Київ : Національний транспортний університет, 2022. 139 с. ISBN:978-617-555-005-2.
URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000799506>

Articles in scientific and professional publications of Ukraine:

2. Ласлов С.В. Методика експериментальних досліджень шумового забруднення від автомобільного транспорту та акустичних параметрів шумозахисних екранів (in English). Збірник наукових праць “Сучасне будівництво та архітектура”, Вип. 1, 2022. С.63-69.
<https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-1-63-69>

3. Ласлов С.В. Аналіз заходів шумової безпеки на автомобільних дорогах світу. *Вісник НУВГП*. Технічні науки : зб. наук. праць. Вип. 1(97), 2022. С. 51-64.
<https://doi.org/10.31713/vt120226>

4. Ласлов С.В. Архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей. Науковий журнал *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Випуск 113. Частина 1, 2023. С. 54 – 60. <https://10.33744/0365-8171-2023-113.1-054-060>

Articles in scientific periodicals of other countries:

5. Laslov S., Tokin O., Onyshchenko A. Determining regularities in the distribution of noise load from motorways and road bridges depending on the distance to a residential

area. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10(115)), 2022. P. 55–64.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253389> (SCOPUS)

Published works of approbation nature:

6. Токін О.П., Ласлов С.В. Експериментально-теоретичні дослідження параметрів захисних екранів при шумових навантаженнях від автомобільних доріг. *Міжнародна конференція «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»»*.
<https://doi.org/10.33744/978-966-632-317-3-2022-2>.

7. Ласлов С.В. Встановлення параметрів захисних екранів при шумових навантаженнях на транспортних спорудах. *78-ма наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету*. 2022. <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

8. Онищенко А.М., Ласлов С.В. Методологія оцінювання шуму від транспортних засобів на автомобільних дорогах та мостах. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. №1, 2023. С. 28 – 35.

9. Ласлов С.В. Експериментально-теоретичні дослідження шумозахисних екранів на автомобільних дорогах. *III Міжнародна науково-технічна конференція “Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації”*. Харків: ХНАДУ, 2023. ISBN 978-617-8130-37-4.

URL: <https://rcf.khadi.kharkov.ua/kafedri/proektuvannja-dorig-geodeziji-i-zemleustroju/seminari-ta-konferenciji/iii-mizhnarodna-naukovo-tehnicna-konferencija-dorozhno-budivelnii-kompleks-problemi-perspektivi-innovaciji/>

Certificates and patents:

10. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110316 від 14 грудня 2021 р. Науковий твір “Розробка базових принципів захисту навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах”.

11. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В., Чиженко Н.П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110161 від 8 грудня 2021 р. Науковий твір “Моделі оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище”.

12. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111281 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Оцінювання впливу транспортного шуму автомобільних доріг на навколишнє середовище”.

13. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111282 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Дослідження ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування”.

14. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 116476 від 21 лютого 2023 р. Науковий твір “Розробка рекомендацій для просування захисних екранів на автомобільних шляхах України”.

Scientific works certifying the approval of the dissertation materials:

15. ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування.

URL: <https://drive.google.com/file/d/1ULEIkFIFKneKnggA3bd68zH1F19xugyP/view>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЩОДО КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ТА МОСТАХ.....	25
1.1. Загальна концепція оцінки впливу транспортного шуму від автомобільних доріг та транспортних споруд на навколишнє середовище.....	25
1.2. Моделі для оцінки затухання шумової хвилі у природному середовищі у залежності від конструктивних параметрів автомобільних доріг	29
1.3. Аналіз конструкцій шумозахисних екранів, які використовуються на автомобільних дорогах.....	35
1.4. Аналіз конструкцій шумозахисних екранів, що використовуються у різних країнах світу.....	42
1.5. Аналіз конструкцій шумозахисних екранів для автодорожніх мостів.....	47
Висновки до розділу 1.....	55
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	57
2.1. Фундаментальні принципи оцінки транспортного шуму від автомобільних доріг.....	57
2.2. Модель оцінки транспортного шуму від автомобільних доріг в придорожній смузі руху.....	58
2.3. Ймовірнісна модель оцінки шумового навантаження від автомобільних доріг при дії транспортних потоків.....	64
2.4. Дослідження середнього значення нестационарного акустичного випромінювання придорожнього простору.....	69
2.5. Кореляційні функції для оцінки шумових процесів від автомобільних доріг.....	73
2.6. Імпульсний метод вирішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від рухомого транспортного потоку.....	76

2.7. Модель віддзеркалення шумового проміння від ґрунту на слабо перехресній місцевості.....	77
2.8. Модель оцінки параметрів шумозахисних екранів для зниження шумового навантаження на автодорожніх мостах.....	84
2.9. Математична модель затухання шумової хвилі від транспортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами з урахуванням шумозахисного екрану та зовнішніх факторів.....	89
Висновки до розділу 2.....	97
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА ДІЛЯНКАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ.....	99
3.1. Експериментальні дослідження шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.....	99
3.1.1. Послідовність експериментальних досліджень та характеристики шумозахисних екранів.....	99
3.1.2. Методика та засоби експериментальних дослідження акустичної ефективності шумозахисних екранів	101
3.1.3. Методика вимірювання шуму на сельбищній території при застосуванні шумозахисних екранів.....	104
3.2. Вимірювання шумових характеристик транспортного потоку та шуму на сельбищній території від автомобільної дороги Київ-Чоп.....	105
3.3. Експериментальні вимірювання шумових характеристик транспортного потоку та шуму на автомобільній дорозі Київ-Чоп.....	107
3.4. Аналіз характеристик шумозахисних екранів на автомобільних дорогах Київської, Житомирської, Волинської, Рівненської, Львівської та Луганської областей.....	109
3.5. Рекомендації щодо підвищення ефективності шумових характеристик існуючих екранів на автомобільних дорогах.....	120

3.6. Розробка шумопоглинаючої конструкції екрану із покращеними параметрами шумозахисту і міцності.....	124
Висновки до розділу 3.....	126
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ УКРАЇНИ.....	128
4.1. Загальні положення проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах	128
4.2. Архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей.....	130
4.3. Планувальні та конструктивні рішення для захисту територій від шумового навантаження автомобільних доріг.....	134
4.4. Вимоги до конструкцій та матеріалів шумозахисних екранів.....	143
4.5. Експлуатаційні і технічні вимоги до шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.....	146
4.6. Ергономічні та екологічні вимоги до шумозахисних екранів.....	148
4.7. Вимоги безпеки до шумозахисних екранів.....	149
4.8. Критерії вибору шумозахисних екранів.....	152
4.9. Економічна та соціальна доцільність шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.....	155
Висновки до розділу 4.....	160
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	162
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	165
ДОДАТКИ.....	179
Додаток А. Розрахунок еквівалентного рівня звуку транспортного потоку, до складу якого можуть входити автомобілі, тролейбуси, мотоцикли, а також трамваї.....	180
Додаток Б. Терміни та визначення.....	182
Додаток В. Визначення середнього значення октавних рівнів звукового тиску, рівнів звуку і еквівалентних рівнів звуку.....	185

Додаток Г. Розрахунок еквівалентного рівня звуку переривчастого шуму, рівні звуку якого залишаються постійними в інтервалах тривалістю менше 0,5 хв, а також шуму, що коливається в часі, та імпульсного шуму.....	187
Додаток Д. Розрахунок еквівалентного рівня звуку переривчастого шуму, рівні звуку якого залишаються постійними в інтервалах тривалістю 0,5 хв і більше.....	188
Додаток Е. Протокол вимірів шумових характеристик транспортних потоків.....	189
Додаток Ж. Протокол вимірів шуму на сельбищній території.....	192
Додаток З. Протокол вимірів шумових характеристик транспортних потоків.....	196
Додаток І. Протокол вимірів шуму на сельбищній території.....	199
Додаток К. Патенти на винаходи та корисні моделі.....	200
Додаток Л. Акти із практичного впровадження результатів дисертаційної роботи.....	206
Додаток М. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	212

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ГБН	Галузеві будівельні норми;
ДБН	Державні будівельні норми;
ДСП 173-96	Державні санітарні правила;
ДСТУ	Державний стандарт України;
КЗП	Коефіцієнти звукопоглинання;
мкН/м ²	Мікроньютон на 1 м ² ;
мкПа	Мікропаскаль;
Тіньова зона	Область за екрануючим об'єктом, в якій додатково знижується інтенсивність звуку в порівнянні з відкритим простором;
ШЗЕ	Шумозахисний екран;
ШЗС	Шумозахисна споруда;
<i>L</i>	Еквівалентний рівень шуму, дБА;
<i>l_j</i>	Коефіцієнти рівняння регресії;
<i>N</i>	Перспективна інтенсивність руху, авт./ год.;
<i>P_i</i>	Початковий звуковий тиск, Па;
<i>P_t</i>	Звуковий тиск, Па;
SPL	Sound Pressure Level – рівень звукового тиску;
TL	Втрати звукопередачі екрану;
<i>Q</i>	Сферичний коефіцієнт віддзеркалення;
<i>S_j</i>	Коефіцієнти рівняння регресії, що встановлюють зв'язок між пошуковими параметрами і швидкістю транспортного потоку на відрізку шляху.

ВСТУП

Актуальність роботи. Останні десятиріччя стрімко зростає рівень акустичного забруднення від автомобільного транспорту. Це пояснюється значним зростанням інтенсивності дорожнього руху, загальним зростанням потужності двигунів автомобілів та збільшенням швидкостей руху. Все це спричиняє виникнення явища транспортного шумового забруднення навколишнього середовища, яке є складовою загальної соціальної проблеми захисту довкілля.

Шум від руху транспортних засобів автомобільною дорогою має три джерела: шум вихлопних газів, двигунів та шин, що взаємодіють з дорожнім покриттям. Такий шум частково поглинається конструкцією покриття та ґрунтовою основою дороги. У випадку руху транспорту мостовою спорудою шум практично не поглинається дорожнім покриттям, а навіть навпаки – може посилюватися в залежності від конструкції та розмірів прогонової будови. При цьому траєкторії розповсюдження шумового забруднення також матимуть різноманітний характер. Слід також зазначити, що у випадку руху транспортного потоку автомобільними дорогами через мостові споруди, інтенсивність шумового навантаження стає ще більшою в силу двох причин: резонансних явищ конструкцій мостів та значної висоти джерела шуму.

Задача зниження впливу шуму автомобільного транспорту на оточуючу територію сьогодні розглядається в проєктах будівництва і реконструкції автомобільних доріг. Одним з найбільш ефективних заходів з шумозахисту територій громад, прилеглих до автомобільної дороги, є здійснення додаткового озеленення та встановлення шумозахисних екранів. Науковцями визнається факт, що шум від транспорту на мостах покриває більшу територію та є більш інтенсивним ніж шум, спричинений рухом по наземній дорозі. Проте, незважаючи на високий рівень акустичного забруднення прилеглих територій, захисні пристрої в мостах, що проєктуються в Україні, застосовуються вкрай рідко на сучасному етапі. А ґрунтовні наукові дослідження шумового забруднення довкілля, спричиненого рухом транспорту по мостам, практично не ведуться.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення ефективності застосування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах та мостових спорудах за рахунок удосконалення методу оцінювання параметрів при дії транспортних потоків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного транспортного університету, а саме:

- держбюджетної теми «Розробити ГБН «Шумозахисні екрани на автомобільних дорогах та штучних спорудах. Вимоги до проектування» у 2013 р. (номер державної реєстрації 0113U003709);

- держбюджетних тем кафедри «Мости та тунелі» – «Теоретичні засади оцінки ресурсу транспортних споруд» (державний реєстраційний номер 0111U000095) та «Прогноз і оптимізація життєвого циклу транспортних споруд» (державний реєстраційний номер 0109U002145).

Тема дисертації відповідає актуальним напрямкам науково-технічної політики України щодо управління експлуатаційною надійністю і довговічністю споруд та конструкцій, зокрема, Постанові Кабінету Міністрів України № 409 від 5 травня 1997 р. «Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж», а також напрямам і задачам державної науково-технічної програми «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України № 430-р від 30.05.2018 р.).

Рівень участі автора – виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах з урахуванням різних факторів.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені наступні **завдання**:

- провести аналіз наукових досліджень, розробок та методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах;

- розробити математичну модель з оцінки впливу на оточуюче середовище шумового навантаження від рухомого транспортного потоку на автомобільних дорогах;
- експериментально дослідити параметри акустичної ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування із врахуванням технічного стану екранів;
- розробити практичні рекомендації щодо застосування отриманих методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів для їх ефективного проектування на автомобільних дорогах.

Об'єкт дослідження – процес спільної дії різних факторів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Предмет дослідження – закономірності впливу різних факторів на параметри шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі використано методи математичного моделювання та методи теорії ймовірності.

Під час експериментальних вимірювань акустичних характеристик шумозахисних екранів від дії транспортних потоків використано наступне обладнання: шумомір Октава 110А, електронну погодну станцію типу WM-918, анемометр крильчатий та рулетку ЗПКЗ-20АУТ/1.

Перевірка адекватності математичних моделей виконувалась шляхом порівняння із експериментальними вимірюваннями.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше отримані аналітичні залежності та параметри шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, що враховують технічні параметри екранів для їх ефективного застосування;
- удосконалено математичну модель та методи оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, що враховує комплекс факторів, а

са́ме: конструктивні, геометричні параметри екрану та характеристики автомобільної дороги, різну швидкість транспортного потоку та кліматичні умови;

- дістали подальшого розвитку моделі: модель оцінки транспортного шуму від автомобільних доріг; ймовірнісна модель оцінки шумового навантаження від автомобільних доріг при дії транспортних потоків; модель віддзеркалення шумового променя від ґрунту на слабо перехресній місцевості; а також наступні методи: імпульсний метод вирішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від рухомого транспортного потоку; кореляційні функції для оцінки шумових процесів від автомобільних доріг; метод дослідження середнього значення нестационарного акустичного випромінювання придорожного простору.

Практичне значення одержаних результатів.

У результаті проведених досліджень: розроблено метод оцінювання параметрів шумозахисних екранів, який дозволяє враховувати комплекс практичних факторів, а саме: конструктивні, геометричні та характеристики автомобільної дороги, різну швидкість транспортного потоку та кліматичні умови на автомобільних дорогах; запропоновані практичні рекомендації для ефективного проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Результати дослідження були основою для розробки та впровадження в дорожню галузь: ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проєктування; класифікації шумозахисних споруд; планувальних та конструктивних рішень шумозахисних споруд; конструктивних вимог до шумозахисних екранів: зокрема, обґрунтовані параметри шумозахисних екранів для захисту сельбищних територій від дії шумового навантаження автомобільних доріг; розроблено практичні рекомендації із проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах та транспортних спорудах, які рекомендується використовувати інженерним працівникам Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України і організаціям, які займаються проєктуванням, будівництвом та утриманням шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Метод та модель, розроблені у рамках дисертаційної роботи, були використані при виконанні науково-дослідних робіт на кафедрі екології та кафедрі мостів і тунелів Національного транспортного університету.

Нові підходи, положення й результати досліджень були використані під час виконання науково-дослідної роботи «Розробити ГБН «Шумозахисні екрани на автомобільних дорогах та штучних спорудах. Вимоги до проектування», (номер державної реєстрації 0113U003709).

Результати роботи впроваджено в навчальний процес за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія (освітні програми: «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів», «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів», «Мости і транспортні тунелі»), крім того, за спеціальністю 101 Екологія (освітня програма «Екологія») та 183 Технології захисту навколишнього середовища (освітня програма «Екологічна інженерія автотранспортної діяльності»).

Апробація основних теоретичних та практичних результатів дисертації на підприємствах та організаціях підтверджуються відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаним науковим дослідженням. Наукові результати, що містяться в роботі, отримані автором особисто. В тому числі розроблено, досліджено та практично апробовано удосконалений метод оцінювання шумозахисних екранів на автомобільних дорогах. Формулювання мети і задач дисертації, планування експериментів та обговорення результатів виконано разом із науковим керівником.

Автор дисертаційної роботи проаналізував методи оцінки шумового забруднення навколишнього середовища; удосконалив моделі для оцінки транспортного шумового навантаження на оточуюче середовище; виконав експериментальні вимірювання акустичних характеристик шумозахисних екранів на автомобільних дорогах Київської, Житомирської, Волинської, Рівненської та Львівської областей; запропонував шумопоглинальну конструкцію екрану із покращеними параметрами шумозахисту і міцності та розробив рекомендації до проектування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах (у співавторстві).

Усі основні результати дисертаційної роботи одержані самостійно. Особистий внесок автора в роботах, які надруковані [32, 33, 38, 52, 54, 57, 83, 84, 85, 86, 87, 88], полягає в отриманні наукових результатів, викладених у даній роботі:

В роботах [32, 54, 83, 84, 88] автором було проаналізовано досвід українських та закордонних науковців у питаннях шумового забруднення навколишнього середовища від автомобільних доріг, розглянуті математичні моделі, що описують шумове навантаження, було удосконалено математичні моделі для оцінки транспортного шумового навантаження при дії транспортних потоків на оточуюче середовище, встановлено різницю між шумовим забрудненням від автомобільної дороги та шумовим забрудненням від мостових споруд. В роботі [33, 85, 86] автором проаналізовані світові тренди та досвід у запобіганні шумового забруднення від автомобільних доріг на навколишнє середовище. В роботі [38] автором проаналізовані архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей. В роботах [52, 54, 57] проведені експериментальні вимірювання акустичних характеристик шумозахисних екранів від дії транспортних потоків на автомобільних дорогах України.

Автором удосконалені математичні моделі для оцінки транспортного шумового навантаження при дії транспортних потоків на оточуюче середовище, що дозволило отримати метод оцінювання параметрів шумозахисних екранів який враховує комплекс факторів, а саме: конструктивні, геометричні параметри екрану, характеристики автомобільної дороги, різну швидкість транспортного потоку а також прогнозувати акустичне забруднення автомобільними дорогами навколишнього середовища. В роботі [57, 87] автором були розроблені практичні рекомендації для ефективного проектування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах на підставі виконаних ним експериментальних досліджень шумозахисних екранів на автодорогах України.

Апробація дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи були представлені на наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників

відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету №№ 78 – 79 у 2022 – 2023 рр.; на міжнародній конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»» у 2022 р.; на III-й Міжнародній науково-технічній конференції «Дорожно-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації» у 2023 р. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія (освітні програми: «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів», «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів», «Мости і транспортні тунелі»), за спеціальністю 101 Екологія (освітня програма «Екологія») та 183 Технології захисту навколишнього середовища (освітня програма «Екологічна інженерія автотранспортної діяльності»).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 15 друкованих працях, у тому числі: 5 статей у фахових виданнях, 1 – у виданні, що індексується у наукометричній базі Scopus, 1 монографія, 5 охоронних документів (свідцтва України про реєстрацію авторського права), 5 тез доповідей у збірниках наукових конференцій, 1 галузеві будівельні норми та 3 статті без співавторів, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Внесок здобувача у роботах в співавторстві: в роботах [1, 5] автор дисертаційної роботи проаналізував методи оцінки шумового забруднення навколишнього середовища, виконав експериментальні вимірювання акустичних характеристик шумозахисних екранів на автомобільних дорогах Київської, Житомирської, Волинської, Рівненської та Львівської областей; у роботах [6, 8] автор запропонував шляхи удосконалення моделі для оцінки транспортного шумового навантаження на оточуюче середовище.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та дванадцяти додатків.

Основний текст роботи викладено на 149 сторінках. Дисертація містить

52 рисунка та 9 таблиць. Список літератури із 122 найменувань викладено на 14 сторінках, 12 додатків приведено на 27 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 218 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І РОЗРОБОК ЩОДО КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ТА МОСТАХ

1.1. Загальна концепція оцінки впливу транспортного шуму від автомобільних доріг та транспортних споруд на навколишнє середовище

Екологічний вплив транспорту виражається не лише в споживанні природних ресурсів, але й у забрудненні оточуючого середовища. Забруднення навколишнього природного середовища, з екологічного погляду, є складним комплексом негативних впливів на екологічні системи. Якщо рівень цих впливів перевищує межі адаптації організмів, це може призвести до їх загибелі. Перешкоди в екологічних системах можуть виникати в результаті накопичення різних відходів (інгредієнтів забруднення), непередбачених енергетичних втрат (параметричне забруднення) та змін природних екологічних систем (екологічне забруднення).

Загальна концепція являє собою комплекс вихідних положень, що орієнтують практичну діяльність на досягнення найбільш ефективного кінцевого результату по охороні навколишнього природного середовища та раціональному використанню природних ресурсів при дії шумового навантаження від транспортних засобів на автомобільних дорогах та автодорожніх мостах.

Положення концепції базується на результатах аналізу впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище при її експлуатації на транспортних спорудах.

Автомобільна дорога щільно пов'язана з навколишнім середовищем. З одного боку, дороги роблять любі території досяжними, але в той же час дорога шкідливо впливає на оточуюче середовище, цей вплив складається з суми різних факторів постійного та короткочасного характеру, що змінюють зв'язки окремими частинками природного середовища.

Оптимізація заходів по збільшенню технічного рівня доріг здійснюється на основі аналізу змін складових сумарних зведених витрат із розрахунком поетапної реалізації окремих заходів.

Одним з таких негативних факторів є шум від автомобільного транспорту на транспортних спорудах [1-9]. Шум від руху транспортних засобів в основному виникає від трьох чинників: вихлопних труб, двигунів транспортних засобів та шин, що взаємодіють з дорожнім покриттям [10-16]. Кожен з цих чинників відтворює звукову енергію, яка, в свою чергу, є джерелом рухомих та вібруючих звукових хвиль – коливань атмосферного тиску. Ці звукові коливання тиску зазвичай відображаються в тиску звука та вимірюються в мікроньютонах на 1 м^2 ($\text{мкН}/\text{м}^2$), або в мікропаскалях (мкПа). Зазвичай тиск звуку знаходиться у межах від 20 до 200 млн. мкПа . Через такий розкид тиск звуку вимірюється по логарифмічній шкалі (рис. 1.1). На цій шкалі значення 0 дБ дорівнює рівню звукового тиску (SPL) 20 мкПа та відповідає порогу слуху для більшості з людей. Значення 140 дБ дорівнює SPL 2×10^8 мкПа та є порогом больового відчуття для більшості з людей [17].

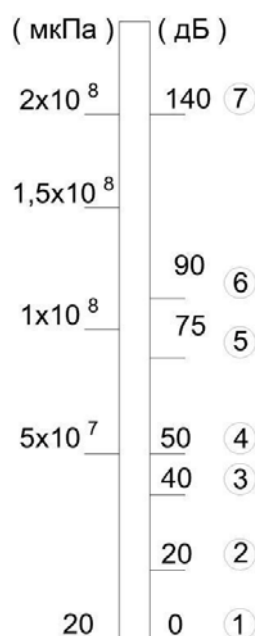


Рисунок 1.1 – Шкала рівнів звуку

Примітка 1 – границя чутності; 2 – шелестіння листя; 3 – «спальний» район вночі; 4 – ресторан без музики; 5 – безперервний транспортний потік на відстані 30 м; 6 – реактивний літак на висоті 300 м; 7 – больовий поріг

Щоб виразити енергію звуку, або тиск звуку в SPL, або в дБ, використовується наступне рівняння:

$$SPL=10Lg(P/P_{ref})^2 \quad (1.1)$$

де P – тиск звуку; P_{ref} – тиск звуку, що дорівнює 20 мкПа.

Зворотнім розрахунком енергія звуку пов'язана з SPL наступним шляхом:

$$(p/p_{ref})^2 = 10^{(SPL/10)}. \quad (1.2)$$

Так як децибели розраховуються по логарифмічній шкалі, вони не можуть бути об'єднані простим додаванням. Наприклад, якщо проїзд поодинокого транспортного засобу призводить SPL до 60 дБ на відстані 15 м від шосе, то проїзд двох, схожих транспортних засобів не створює SPL 120 дБ, а лише 63 дБ. Щоб об'єднати децибели, вони, спочатку, повинні бути перетворені у енергію, а потім складені, або відмінусовані та повторно перетворені. Для визначення приблизних значень зміни рівня звуку в децибелах з точністю ± 1 дБ можливо використовувати дані табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Значення приросту рівня звуку

При відмінності двох значень рівня звуку, дБ	Приріст до найбільшого значення рівня звуку, дБ	Приклад
0 - 1	3	50+51=54
2 - 3	2	62+65=67
4 - 9	1	65+71=72
10, або більше	0	55+65=65

Таблиця 1.1 може також використовуватись для розрахунку сум значень більш ніж двох джерел.

Наступна характеристика звуку – амплітуда, або гучність [18]. Джерела звуку виробляють звукову енергію, яка, в свою чергу, утворює мікро коливання атмосферного тиску. При цьому навколишні джерела – атоми або молекули – тимчасово зміщуються від своїх нормальних конфігурацій, утворюючи збурювання, яке переміщується від джерела звуку у вигляді хвиль з рівними проміжками. Для простоти хвилі можуть бути приблизно виражені синусоїдою. «Висота» синусоїди є її амплітудою, а відстань між хвилями, що повторюються – довжиною хвилі (λ). Амплітуда визначає силу, або гучність звукової хвилі.

Ще одна характеристика звуку – його частота, або тональність, що вимірюється в Гц, або період коливань у секунду. Частота визначається як число циклів повторення за секунду, або число довжин хвилі, які пройшли через стаціонарну точку за 1 с.

Так, на звукове враження, що отримує людина, великий вплив здійснює стан людини: її втома, попереднє роздратування звуком, одночасне звучання інших джерел (так зване маскування) та багато іншого. Крім того, при достатньо великих амплітудах звука у вушній раковині людини виникають нелінійні перекручування: вищі гармоніки в разі синусоїдального тону, вищі гармоніки та комбінаційні тони при несинусоїдальному тоні.

Для людського органу слуху такі комбінаційні тони та гармоніки є об'єктивно існуючими, однак у складі коливань, що дійшли до людини, цих часток не було. Тому їх відносять до індивідуальних нелінійних перекруток. Це тим більш справедливо, що виникнення такого роду перекручень різне у різних людей. Здатність людини відрізнити один тон від іншого по тій чи іншій властивості доволі різна у різних людей [19].

Більшість людей можуть чути в діапазоні частот від 20 до 20000 Гц. Однак людське вухо неоднаково чуттєве до всіх частот. Приймаючи це до уваги, більша частина шуму, пов'язаного з транспортними засобами, вимірюється за допомогою «А – навантаження», що враховує звуки між 1000 та 6300 Гц, для приближення до моделі реакції людського вуха на шум.

За власною природою шум щільно пов'язаний з явищем вібрації. На відміну від звуку вібрації сприймаються різними органами та частинами тіла. При низькочастотних коливаннях вібрації сприймаються отолітовим та вестибулярним апаратами людини, нервовими закінченнями шкіряного покриву, а вібрації високих частот сприймаються як ультразвукові коливання, що викликають теплові відчуття.

Вібрації, подібні до шуму, призводять до зниження продуктивності праці, погіршується діяльність центральної та вегетативної нервових систем, призводять до захворювань серцево-судинної системи [20].

1.2. Модель для оцінки затухання шумової хвилі у природному середовищі у залежності від конструктивних параметрів автомобільних доріг

Як видно зі шкали виміру шуму та з попередніх робіт [1 - 33], шумове навантаження від автомобільного транспорту є дуже великим. У зоні руху автотранспорту воно дорівнює реактивному літаку на висоті 300 м і далі затухає дуже повільно [17], адже атмосфера не може суттєво вплинути на скорочення розповсюдження звукової хвилі, і на відстані 90 м може загасити її потужність тільки на 6–10 дБ, у залежності від атмосферних умов. Адже в сухому повітрі, при температурі 0⁰С, швидкість звуку дорівнює 331,5 м/с, а із зростанням температури – збільшується [21-32].

Отже, збільшується опір звукової хвилі атмосфері. Тобто, при 20⁰С, дорівнює 343,1 м/с. Також, на затухання звукової хвилі має суттєвий вплив вологість середовища. Чим більша вологість, тим швидше розповсюджується звукова хвиля.

У роботі [31] наведені параметри залежності відносної зміни швидкості звуку від вологи, при постійній температурі.

Згідно з [17, 32, 33] розрахунок затухання звукової хвилі здійснюється за наступною формулою:

$$P_t = P_i \exp(-0.1151\alpha s), \quad (1.3)$$

де: P_t – звуковий тиск, Па; P_i – початковий звуковий тиск, Па; s – довжина траєкторії розповсюдження звуку, м, або км; (Довжина траєкторії розповсюдження звуку відноситься до фізичного поняття, яке вказує на відстань, яку звук подолає, перебуваючи в середовищі, до того, як він досягне сприймача (наприклад, вуха чи мікрофона). Довжина траєкторії розповсюдження звуку залежить від кількох факторів, включаючи:

Перешкоди: Об'єкти, що перебувають на шляху звуку, можуть впливати на траєкторію його розповсюдження. Наприклад, звук може відбиватися від стін або інших поверхонь, змінюючи свій шлях.

Середовище: Звук розповсюджується по різних середовищах (наприклад, повітрі, воді, твердих тілах) з різною швидкістю, що також може впливати на траєкторію.

Властивості звуку: Вибіркові характеристики звуку, такі як його частота і амплітуда, можуть впливати на те, як він розповсюджується.

Зовнішні умови: Погодні умови, температура, вологість та інші фактори можуть впливати на поведінку звуку в середовищі.)

α – коефіцієнт затухання звуку, внаслідок звукопоглинання атмосферою, дБ/м, або дБ/км.

Коефіцієнт затухання звуку визначаємо за формулою:

$$\alpha = 8,686 f^2 \left\{ \left[1,84 \times 10^{-11} \frac{p_r}{p_a} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \right] + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \left[\frac{0,01275 \exp\left(\frac{-2239,1}{T}\right)}{f_{r0} + \left(\frac{f^2}{f_{r0}}\right)} + \frac{0,1068 \exp\left(\frac{-3352}{T}\right)}{f_{rN} + \left(\frac{f^2}{f_{rN}}\right)} \right] \right\}. \quad (1.4)$$

Коефіцієнти, які входять у рівняння (1.4) визначаємо за наступними формулами:

$$f_{r0} = \frac{p_a}{p_r} \left(24 + 4,04 \times 10^4 h \frac{0,02 + h}{0,391 + h} \right) \quad (1.5)$$

$$f_{rN} = \frac{P_a}{P_r} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \left(9 + 280h \exp \left\{ -4,170 \left[\left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/3} - 1 \right] \right\} \right) \quad (1.6)$$

$$h = h_r \frac{P_r}{P_a} 10^C \quad (1.7)$$

$$C = -6,8346 \left(\frac{273,16}{T} \right)^{1,261} + 4,6151 \quad (1.8)$$

У поданих формулах f – частота звуку (Гц); T – температура атмосфери (°C); T_0 – відносна температура, яка приймається рівною 20°C; h_r – відносна вологість (%); p_a – атмосферний тиск (кПа); p_r – відносний атмосферний тиск в одну атмосферу, що приймається рівним 101,325 кПа.

На рис. 1.2 наведено процес затухання шумової хвилі у випадку автомобільної дороги, в рівні оточуючого середовища, а на рис. 1.3 затухання шумової хвилі у випадку дії рухомого складу на мості.

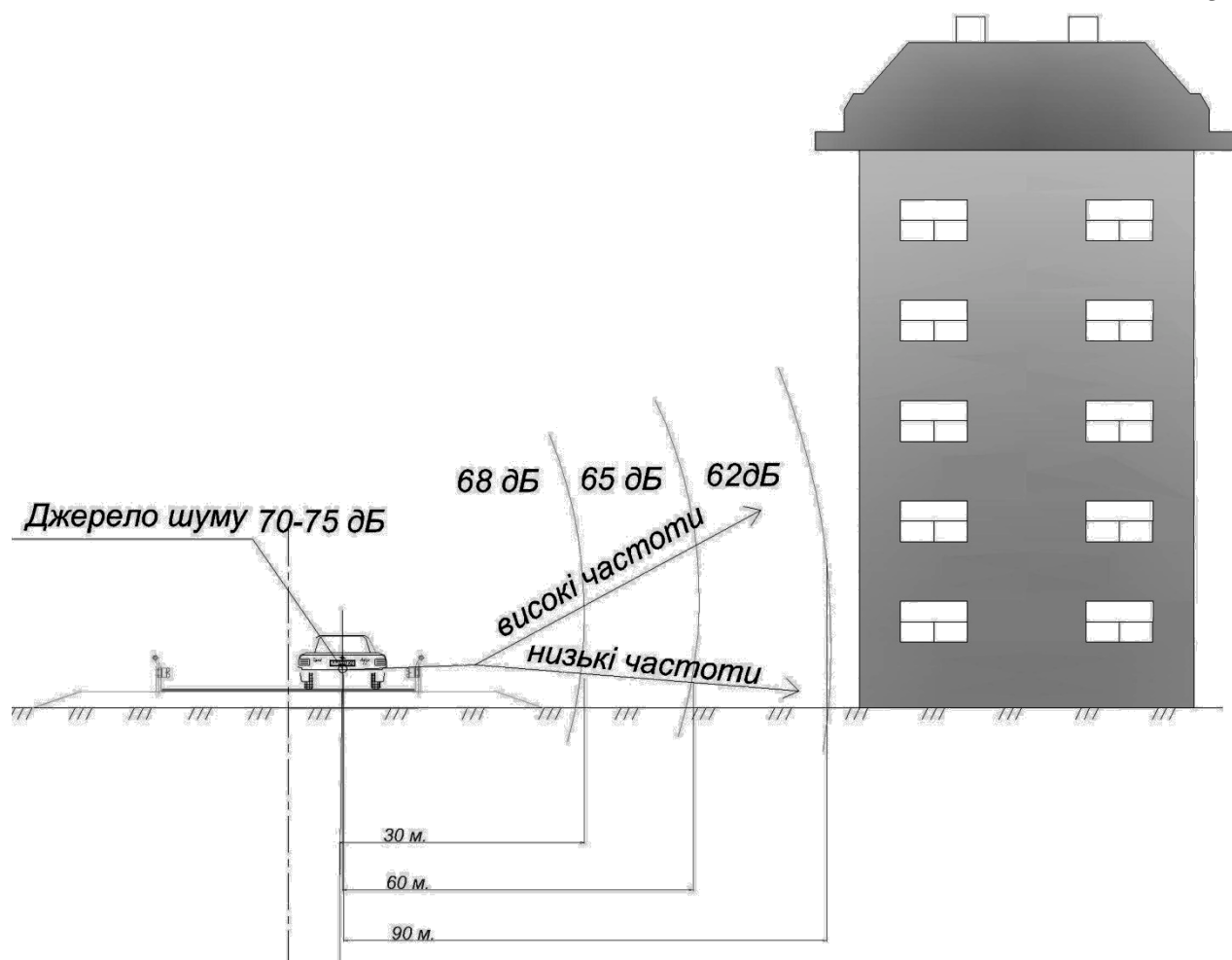


Рисунок 1.2 – Затухання шумової хвилі у випадку автомобільної дороги, на рівні оточуючого середовища

У випадку зелених насаджень, дослідження [9, 32, 33, 34, 35, 36, 38] показали, що листяні породи дерев можуть поглинати до 25 % звукової енергії, а 75 % віддзеркалювати та розсіювати. Найкращими в цьому відношенні є, з хвойних порід дерев: ялина, ялиця, туя; з листяних – липа, граб.

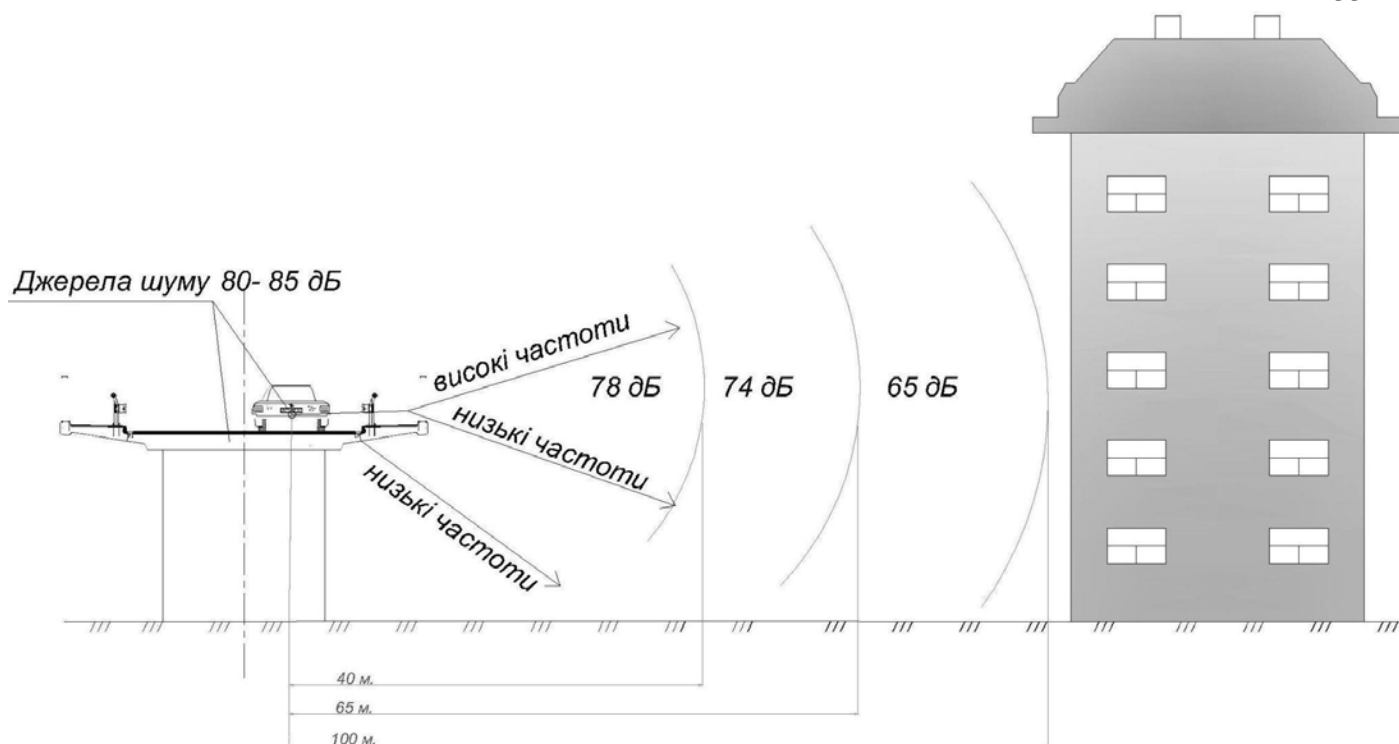


Рисунок 1.3 – Затухання шумової хвилі у випадку руху рухомого складу по мосту

У певній мірі функція залежить від того, які прийоми використовуються для озеленення. Наприклад, однорядна посадка дерев поряд з живою огорожею з кущів шириною 10 м може знизити рівень шуму на 3-4 дБ. Якщо ж посадка буде двохрядна та шириною 20-30 м, то зниження складе 6-8 дБ. Якщо відстань між рядами буде більшою та складе 30-50 м, то зниження рівня шуму становитиме 8-10 дБ. Бульвар з рядовою та груповою посадкою дерев та кущів шириною 70 м може знизити рівень шуму на 10-14 дБ, а багаторядна посадка або зелений масив шириною 100 м - на 12-15 дБ.

Теоретично, зменшення швидкості руху автомобільного транспорту є ще однією мірою зменшення рівня шуму автомобільного транспорту.

Дослідженнями [32,33] встановлено, що на високошвидкісних дорогах скорочення середньої швидкості автомобіля в 2 рази може призвести до зниження еквівалентного рівня шуму на 5–6 дБ, але на практиці важко досягти зниження швидкості автомобілів.

Завдяки проведеним дослідженням [32-34] встановлено, що деяких успіхів в зниженні шуму можна добитися за допомогою відповідної конфігурації рисунка протектора і конструкції шини. Проте конструювання шин з істотно зниженим рівнем шуму вступає в суперечність з гострою необхідністю забезпечення безпеки руху, попередження нагріву протектора і забезпечення економічності автомобіля.

Отже, великі можливості по зниженню шуму на автомобільних дорогах у зоні транспортних споруд відкриває створення перспективних альтернативних конструкцій дорожнього покриття [39,40,41].

Важливим, з погляду обмеження шуму є будова самого дорожнього покриття; чи утворено воно битумінізованим матеріалом з випадковим малюнком будови, або покриття бетонне, з домінуючою поперечною структурою.

У Великобританії були проведені вимірювання [42, 43, 44, 45, 46], в ході якого була отримана отримана інформація про співвідношення між опором автомобіля та рівнем шуму є важливою при розробці дорожнього покриття з міркувань безпеки та комфорту. Однак, виникає протиріччя між вимогами до безпеки та шумозахисту. Наприклад, гладке дорожнє покриття може забезпечувати низький рівень шуму, але водночас бути дуже небезпечним для руху в умовах дощу або снігу. З іншого боку, грубе дорожнє покриття може зменшувати ризик заносу, але при цьому створювати більше шуму. Тому, при проєктуванні дорожнього покриття необхідно збалансовувати вимоги до безпеки та шумозахисту, зважаючи на особливості кліматичних та географічних умов регіону, де воно буде використовуватись.

Було встановлено, що це співвідношення не має статистичної залежності від структури матеріалу дорожнього покриття. Незважаючи на те, що цей результат корисний для встановлення норм розробки дорожнього покриття, які враховують безпеку та охорону навколишнього середовища, виникає протиріччя між визначенням дорожніх покриттів з низьким рівнем шуму та задовільними стандартами безпеки при високих швидкостях. Наприклад, гладке дорожнє покриття може бути малошумним, але одночасно небезпечним для руху за вологої погоди.

Є такі дорожні покриття, в яких поєднується мала шумливість і задовільні характеристики опору бічному занесенню автомобіля. Такі дорожні покриття звичайно мають пористу структуру, яка є вологопроникною, але в той же час володіє задовільним звукопоглинанням в частотному діапазоні від 400 Гц до 2 кГц. [47, 48].

Проведення експерименту, під час якого було укладено спеціальне дорожнє покриття на рифленій поверхні бетонних ділянок кільцевої автомобільної дороги на схід від Брюсселя [49], призвело до зниження рівня шуму на приблизно 4 дБА для автомобілів, які рухаються зі швидкістю 70 км/год, і на 5,5 дБА при швидкості 120 км/год. Було встановлено, що зниження рівня шуму можливо досягти і з використанням інших типів пористих дорожніх покриттів.

В Швеції, наприклад, такі дані були отримані для пористого дорожнього покриття, скомпонованого з підібраного по гранулометричному складу кам'яного остову з емульсійним асфальтом у якості в'язучого [24, 26, 28], а в Канаді для дорожнього покриття, складеного з суміші «відкритого типу», з тонким захисним шаром бітуму [50].

У випадку з використанням інших типів пористих дорожніх покриттів було встановлено, що зниження рівня шуму становило 4-5 дБА порівняно зі шумом на дорогах, де застосовується звичайне асфальтове покриття, і 3 дБА порівняно зі зношеним бетонним покриттям, яке має менший опір бічному зносу, ніж дорожнє покриття, складене з суміші "відкритого типу" і покрите тонким захисним шаром бітуму.

Проте в Норвегії і Швеції виникли проблеми [51], пов'язані з зносостійкістю цих дорожніх покриттів, що викликане застосуванням шин з шипами у зимові місяці. Ці шини дроблять поверхневий шар у дрібний порошок, який потім забиває пори дорожніх покриттів «відкритого типу», поступово знижуючи їх звукопоглинання.

Результати аналізу існуючих моделей оцінки затухання шумової хвилі у природному середовищі у залежності від конструктивних параметрів автомобільних доріг свідчить про наступне, що проведені раніше дослідження носять розрізнений

характер так як не враховано комплекс параметрів, а саме: віддзеркалення шумового променя від характеру текстури поверхні покриття; вплив різної швидкості від транспортних потоків, конструктивні, геометричні параметри екрану та характеристики автомобільної дороги.

1.3. Аналіз конструкцій шумозахисних екранів, які використовуються на автомобільних дорогах

До основних типів шумозахисних екранів автомобільних доріг можна віднести: екрани на природній основі та екрани на штучних спорудах.

Проведемо аналіз типів шумозахисних екранів на природній основі. Встановлені на ґрунті екрани представляють собою конструкції, які змонтовані на ґрунтовій основі. Нижче розглянуто три типи таких конструкцій: шумозахисні насипи; шумозахисні стіни; комбіновані конструкції, що складаються з насипів і стін.

Шумозахисні екрани, виготовлені з природних ґрунтів, таких, як ґрунтові насипи, каміння, скеля, в натуральному вигляді називаються шумозахисними насипами [52, 53]. Вони влаштовуються з місцевих або привезених матеріалів. Шумозахисні насипи як правило займають більшу площу в порівнянні з екранами стінного типу, оскільки укоси насипів повинні забезпечувати достатню стійкість конструкції.

Для більшості насипів ухили укосів приймаються 2:1 (на 2 м по горизонталі, 1 м по вертикалі), в деяких випадках використовують ухил 1,5:1 [54-57]. Для насипів, відсипаних зі скельних матеріалів (без додаткового закріплення), допускається ухил 1:1. Верх насипу може мати мінімальну ширину, виходячи з умов стійкості укосів, або бути плоским. Якщо насип має плоский верх, то площа для всієї конструкції зростає, при цьому легше проводити роботи за змістом, надалі можна наростити насип без збільшення площі основи і використати її для посадки дерев, установки екрану стінного типу, а також у якості межі смуги відведення.

Інші фактори, що враховуються при виборі насипу як шумозахисної конструкції, наступні [54-57]:

- вимоги до площі смуги відведення: чи поміщається насип в існуючу смугу відведення або необхідне її розширення?

- розміщення насипу відносно межі смуги відведення: чи буде весь насип розташований у смузі відведення, за її межами або межа буде проходити по насипу?

- візуальне сприйняття насипу зі сторони дороги і прилеглої території: чи виглядатиме насип небезпечним для користувачів дороги або жителів невеликих будинків, розташованих за нею?

- чи потрібно зносити будівлі або вирубувати дерева для облаштування насипу?

- вимоги експлуатації і доступності: чи буде насип залишений в природному вигляді або облагороджуватися і якщо так, то ким?

- облаштування дренажу: які додаткові конструкції необхідні для запобігання стоку зливових вод з насипу на проїжджу частину і підпору ґрунтових вод?

Слід зазначити, що більшість конструкцій шумозахисних екранів являється привезеними, тобто всі конструкції виготовляються на заводі, потім доставляються на місце монтажу і збираються (за винятком монолітних конструкцій).

Нижче розглянуті наступні типи шумозахисних стін: панелі, розміщені між стійками; стіни з каменю і блоків; самонесучі шумозахисні стіни (із заздалегідь напруженого залізобетону, габіонів); панелі, вкопані в ґрунт; монолітні бетонні стіни (рис. 1.4–1.7).

Панелі розміщенні між стійками: основними елементами таких конструкцій є опори, фундаменти, панелі і зв'язки панелей з опорами (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Вид шумозахисних екранів розміщених між стійками

Тип закріплення стійок як правило визначається проектною організацією з урахуванням несучих властивостей.

Частіше за все застосовуються: залізобетонні фундаменти з випусками арматури або болтами із фундаменту – такі конструкції можуть мати вигляд бетонного циліндра (кесона), стрічкових фундаментів або стійок; залізобетонні фундаменти з частково заглибленими стійками в армований або неармований моноліт, заглиблення здійснюється при виготовленні фундаменту на місці з фіксацією стійок на період набору бетоном необхідної міцності; неармовані бетонні фундаменти із заглибленням стійок на всю глибину (не доходячи приблизно 30 см до нижньої площини фундаменту); дерев'яні стійки, вмонтовані в циліндрові отвори із засипкою вільного простору крупним щебенем.

Панелі екранів або їх компоненти як правило виготовляються на заводі і транспортуються на місце виробництва робіт.

Розмір і конфігурація панелей визначаються проектом. За винятком конструкцій з дерев'яними опорами і деяких виробів, тип панелей мало залежить від типу опор. Наприклад, сталеві опори можуть використовуватися для бетонних, дерев'яних і металевих панелей. Панелі можуть бути розділені на дві основні категорії – на всю висоту прольоту і збірні, які укладаються одна на одну.

При виборі типу панелі необхідно враховувати наступні фактори [58]: відстань між опорами, вимоги до перевезення, обмеження по вазі і розмірах, акустичні особливості, геометричні параметри, форма та матеріал, з якого виготовлено екран, наявність звукопоглинаючої обробки на робочій поверхні акустичного екрана, наявність екрануючих пристроїв, з протилежного боку транспортної магістралі, площа отворів та нещільностей в конструкції, естетичні міркування, особливості монтажу, зручність в експлуатації, зв'язок панелі і опор.

При виборі методу зв'язку найбільш вагомими конструктивними і акустичними міркуваннями, особливо при використуванні різнорідних матеріалів, таких, як сталь, алюміній, пластмаса, скло та ін.

Слід зазначити, що стик панелі з опорою не повинен погіршувати акустичні характеристики екрану, тому панелі повинні щільно прилягати до опори по всій площині поверхні [57].

Будь-який ізоляційний матеріал повинен забезпечити щільний стик на розрахунковий термін служби конструкції. Стик повинен забезпечувати мінімізацію пошкоджень, які можуть виникнути при вібрації, незначних поштовхах і зсувах панелі або опори.

Постійне навантаження від панелі, як правило, трансформується на стику в точкове навантаження на фундамент або на верх кожної опори, якщо панель навішується на неї. Передача навантаження на приварюванні, навішуванні на вільні петлі або фіксованої болтами панелі різна.

Вітрове навантаження, – навіть якщо розташування панелі відносно переважаючих напрямків вітрів, сприяє рівномірному розподілу навантаження на

обидві опори, розрахунок повинен проводитися до повного навантаження на одну опору.

Похилі опори і панелі застосовуються у випадках, коли вертикальні стіни не можуть забезпечити необхідний шумозахист. Цей тип екранів як правило виготовляється із заздалегідь напружених залізобетонних елементів, проте відомі і похилі екрани з дерева.

Оскільки кут відхилення таких екранів звичайно біля 10 град., сторона, яка звернена до житлового сектора, не заважає людям. З естетичної точки зору перехід від вертикальних стін до похилих надає сприятливе враження.

Стіни з каменю і блоків облаштовуються на стрічковому фундаменті [59]. У деяких випадках екрани такого типу кладуться на балки, які спираються на фундаменти стійок опор.

Самонесучі шумозахисні стіни не мають проміжних опор і діляться на три основні типи [60, 61]: з готових бетонних елементів, з елементів ґратчастого типу з посадкою рослин, кладки з габіонів.

Екрани з готових бетонних блоків як правило збираються у вигляді ламаної зигзагоподібної стіни або у вигляді трапецій (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Вигляд шумозахисних екранів із блоків

Екрани з елементів ґратчастого типу з посадкою рослин звичайно виготовляються із матеріалів зі стабільною структурою типу бетону або пластика, з лунками, які заповнюються ґрунтом з рослинами [62].

Для таких екранів частіше за все використовуються стрічкові бетонні фундаменти.

У залежності від конструкції та виду рослин екрани можуть спиратися безпосередньо на ґрунт. При облаштуванні даних екранів слід звертати особливу увагу на можливість відповідного догляду за рослинністю і заміни або ремонту окремих елементів.

Кладка з габіонів облаштовується з крупного роздробленого щебеню, укладеного на жорстку сітку (рис. 1.6). З естетичних міркувань сітка може виготовлятися з пластика різних кольорів. Сітки укладаються одна на одну у вигляді стіни, що має в розрізі пірамідальний профіль.



Рисунок 1.6 – Вигляд шумозахисних екранів із габіонів

Габіонні екрани звичайно облаштовуються на добре дреноуючих ущільнених ґрунтах. Структура такого екрану достатньо гнучка, щоб витримувати незначні деформації основи. У деяких випадках такі екрани можуть служити сіткою для декоративних рослин.

Панелі, укопані в ґрунт і виготовлені із залізобетону або деревини, закопуються в ґрунт без облаштування фундаменту (рис. 1.7). В таких системах наземна частина панелей відповідає розрахунковій висоті екрану, стикування панелей – «паз у виступ».

Це дозволяє одержувати різний у плані профіль екрану, проте через нерівномірність просадки ґрунту верх екрану може виглядати нерівним. Просадка ґрунту може призвести до розкриття стиків, а також до відхилення окремих панелей від вертикалі.



Рисунок 1.7 – Вигляд шумозахисних екранів вкопаних у ґрунт

У деяких випадках необхідно і доцільно засипати частину шумозахисного екрану ґрунтом з боку житлових забудов, або проїзної частини. Такі конструкції добре працюють при розташуванні екранів поблизу сповзаючих схилів або у виїмках [57].

У даному випадку проводиться монтаж панелей екрану на звичайний фундамент із зворотною засипкою однієї сторони на висоту до 50 см від рівня землі.

При цьому слід провести ретельний аналіз системи, щоб переконатися, що панелі, опори і стики можуть витримати додаткове постійне навантаження від досипаного тиску ґрунту. Дренаж стін слід облаштовувати так, щоб уникнути підпору води, перезволоження ґрунту зворотної засипки і замулювання дренажних отворів.

Інші типи шумозахисних екранів (з бетонних блоків, самонесучих та ін.) також можуть розглядатися для зворотної засипки, але тільки після аналізу вказаних вище

факторів. Комбінація підпірних стін і шумозахисних екранів, як правило, вимагає більшої глибини зворотної засипки.

Монолітні залізобетонні шумозахисні конструкції облаштовуються безпосередньо на місці. Їх будівництво включає виїмку ґрунту для фундаменту, монтаж опалубки, установку арматури, укладки бетону, ущільнення і обробку.

За винятком деяких елементів фундаменту, такі системи значно відрізняються від шумозахисних збірних конструкцій стінного типу з точки зору будівництва, архітектури, естетики і методів контролю якості. [56, 57, 59, 63, 64]

Більшість ефективних шумозахисних екранів отримуються шляхом застосування у нижній частині насипу із ґрунту з розміщенням на її верху додаткової стінки. Для таких комбінованих шумозахисних екранів необхідно враховувати наступні фактори, як навантаження на насип і реакція ґрунту насипу, що залежать від прольоту стіни; площа плоскої вершини насипу повинна забезпечувати стабільність основи стіни. Для цього мінімальна ширина майданчика по верху насипу повинна бути не менше 2 м. Це дозволить уникнути ерозії укосів [64].

Далі наведемо деякі приклади шумозахисних екранів, що їх використовують на автомобільних дорогах різних країн світу.

1.4. Аналіз конструкцій шумозахисних екранів, що використовуються у різних країнах світу

Найбільш відомий у Франції приклад екрану у 80-ті роки ХХ ст. — озеленений екрануючий бар'єр, розміщений вздовж магістралей А6 і В6 для захисту від шуму житлового району Ей-ле-Роз (рис. 1.8).

Відбиваючі екрани висотою від 2 до 6 м можуть бути із армованого бетону, металу, пластмаси, дерева і т. д. Ці екрани являють собою самонесучі стіни, які стоять на стрічковій основі або палях у залежності від якості ґрунту. [57, 65, 66]

Ці ж екрани можуть являти собою металічний профіль (із сталі або сплаву алюмінію), закріплений в землі на стрічковій основі – конструкції з плит заводського виготовлення, які проходять між несучими елементами.

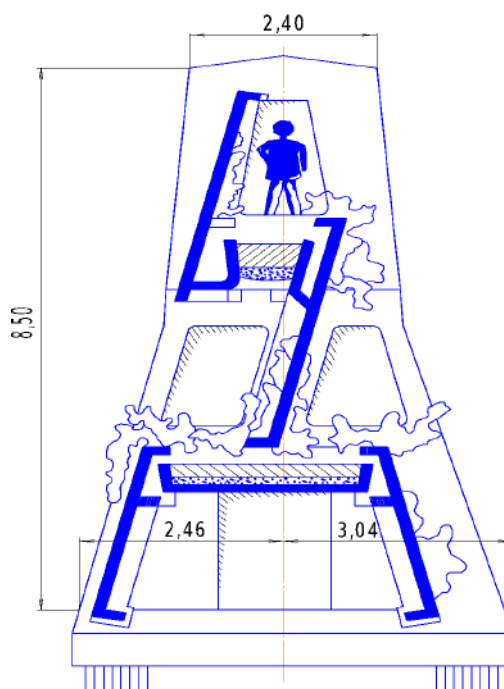


Рисунок 1.8 – Шумозахисний екран для житлової забудови на магістралі А6 і В6 (Париж) складної конфігурації: висота екрану – 8,5 м, довжина – 862 м, вартість 1 м² – 1400 фр., матеріал – бетон, екран має вертикальне озеленення, нижня частина використовується для гаражів

В екранах, споруджених з використанням абсорбуючих матеріалів, конструкція звичайно відокремлена від плит, формуючих екран, хоча це не є обов'язковою умовою їх акустичної ефективності.

При цьому використовуються різні матеріали, тому зовнішній вигляд екранів може бути різноманітний (рис. 1.9–1.17).

Шумозахисні екрани повинні відповідати всім вимогам, в т.ч. екран має бути прозорим (але не 100 %, щоб не розбивались об нього птахи).



Рисунок 1.9 – Екрани напівпрозорі



Рисунок 1.10 – Екрани непрозорі, пластикові



Рисунок 1.11 – Екрани в Австрії



Рисунок 1.12 – Шумозахисні споруди



Рисунок 1.13 – Шумозахисні споруди вздовж залізничних шляхів (пластикові)

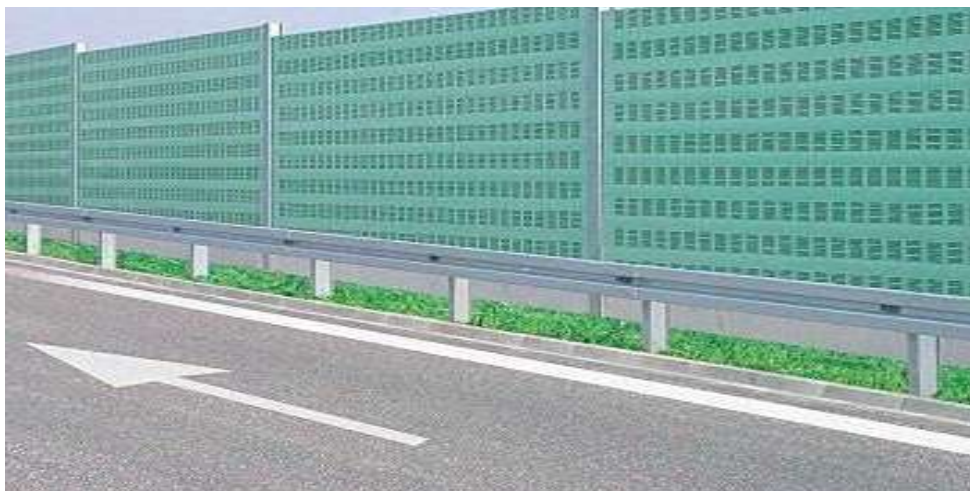


Рисунок 1.14 – Шумозахисні споруди пластикові



Рисунок 1.15 – Шумозахисні споруди дерев'яні

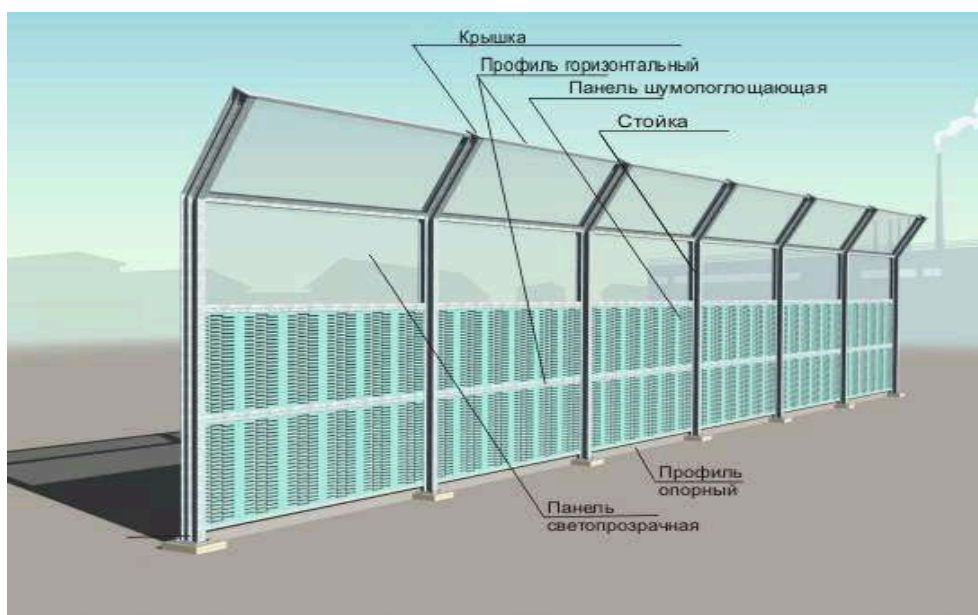


Рисунок 1.16 – Шумозахисні споруди комбіновані



Рисунок 1.17 – Шумозахисні споруди

Екран з пластика є акустично малоефективним. Екран з дерева, якщо нелакований, то відносно свого лакованого аналога є акустично ефективнішим, але його довговічність невисока – 2–3 роки – процес гниття. Якщо лакований, то порівняно значно нижчі акустичні (звукопоглинаючі) властивості. Залізобетонні екрани в розвинутих країнах не споруджують взагалі, оскільки ті мають вкрай низькі звукопоглинаючі властивості та низький естетичний рівень.

1.5. Аналіз конструкцій шумозахисних екранів для автодорожніх мостів

Основними особливостями шумозахисних екранів на мостах є їх конструкція та матеріал. Шумозахисні екрани мають бути досить міцними і в той же час мають бути набагато легшими, аніж шумозахисні екрани на автомобільних дорогах.

При руйнуванні шумозахисного екрану на мості або шляхопроводі (під час наїзду автомобіля тощо) уламки екрану, що падають з мосту можуть нанести шкоду автомобілям, людям, суднам, що можуть знаходитись під мостом під час пригоди. Тому шумозахисні екрани мають бути досить міцними на крихкість [57]. Доцільним

також є встановлення на мостах пристроїв, які запобігають падінню елементів екрана вниз у разі їх руйнування або випадіння з вузлів кріплення.

Прогонові будови мостів несуть дуже великі навантаження і збільшення навантаження за рахунок шумозахисних екранів дуже суттєво вплине на роботу як прогонів так, навіть, і опор в гіршому випадку.

Тому шумозахисні екрани мають бути досить легкими, щоб не перевантажувати мостові споруди. Завдяки цим чинникам, маємо дуже ретельно підходити до підбору матеріалу та конструюванню шумозахисних екранів на автодорожніх мостах.

Задача підбору параметрів шумозахисного екрану ускладнюється ще більше, якщо мова йде про існуючі старі, або ослаблені мости, що їх конструкція не в змозі витримати навантаження від шумозахисного екрану.

Розміщення шумозахисного екрану на існуючому мосту збільшує напруження, що викликані додатковими статичними та крутними навантаженнями, на які міст, можливо, не був розрахований [67].

Це може привести до підсилення конструкцій мосту. Можливо використання екранів, що їх монтують на паралельній парапету додатковій конструкції. Додатково треба розглянути можливість зниження ваги конструкції екрану за рахунок використання матеріалу з меншою густиною, або зниження висоти екрана.

Крім явних додаткових витрат на проведення таких робіт слід мати на увазі витрати на: утримання екрану; безпеку руху транспортних засобів на мосту та під ним; приступність ділянок, що потребують модифікації; коливання моста від будівельних робіт.

При збільшенні додаткових витрат виникає можливість запроєктувати шумозахисний екран як невід'ємну частину загальної конструкції мосту, що дозволить вирішити більшість проблем, що характерні для існуючих мостів [67, 68].

Близькість шумозахисного екрану до проїзної частини моста зазвичай робить його значно більш схильним до ушкоджень, що можуть виникнути в разі ударів

транспортними засобами, камінням, або розподілення протиожеледних матеріалів в зимовий період.

При розгляданні питання безпеки шумозахисного екрана у випадку його падіння, або аварійного руйнування мають бути враховані: відстань до суміжних землекористувачів та види землекористування; місцезнаходження шумозахисного екрана на мосту; додаткові кріпильні деталі для фіксації конструкцій екрану; вага, тип та кількість елементів частин шумозахисного екрану; будь-які механізми та приладдя (внутрішні або зовнішні по відношенню до конструкції екрана), що призначені для схоронності елементів.

Близькість шумозахисних екранів, що встановлені на автодорожніх мостах, до транспортного потоку виявили ускладнення, що пов'язані з відстанню від крайньої правої полоси руху до екрану, затемненням від екрану, що збільшує ризик зледеніння проїзної частини та поганий вплив на освітлення [57, 67, 68].

Накопичення снігу та обмеження в його складуванні, важкість для роботи бригад по експлуатації та огляду конструкцій мостів та обслуговування шумозахисного екрана, враховуючи миття, ремонт пошкоджень, фарбування тощо, повинні бути враховані на всіх стадіях проєктування та будівництва. При цьому мають бути враховані стислі умови праці та близькість рухомих транспортних засобів.

На даному етапі використання шумозахисних екранів існують декілька матеріалів з яких їх можливо виробляти: металеві шумозахисні екрани; шумозахисні екрани з матеріалу, подібного до прозорого пластика (Plexiglas). Конструкції таких екранів наведено нижче на рис. 1.18.

Металеві шумозахисні екрани досить міцні і достатньо легкі для використання на мостах. Однак суттєвим недоліком таких шумозахисних екранів є їх недостатня світло пропускна можливість – тобто вони суттєво затемнюють автомобільну дорогу, по якій рухається потік транспорту, створюючи, так би мовити, щось на подобі «тунельного ефекту».

Недоліками металевих шумозахисних екранів можуть бути наступні аспекти:

1. Естетичний вигляд: Металеві шумозахисні екрани можуть мати не привабливий зовнішній вигляд, що впливає на естетичний аспект дорожньої інфраструктури та прилеглих територій.

2. Вартість: Металеві шумозахисні екрани можуть бути витратними у вигляді матеріалів та встановлення. Вони можуть бути високою інвестицією для проектів шумозахисту, особливо на великих відстанях.

3. Вага та просторові обмеження: Металеві шумозахисні екрани можуть мати значну вагу, що може вимагати додаткових структурних зусиль та обмежувати їх використання у деяких областях або на вузьких ділянках.

4. Погіршення видимості: Металеві шумозахисні екрани можуть обмежувати видимість для водіїв та спостерігачів, зокрема при поворотах, перехрестях або виїздах з доріг, що може підвищити ризик аварій.

5. Підвищення резонансу та ехо: Металеві поверхні можуть сприяти резонансу та відбивати звук, що може створювати небажане ехо та погіршувати ефективність шумозахисних заходів.

6. Обмежена акустична ефективність: Залежно від конструкції та матеріалів, металеві шумозахисні екрани можуть мати обмежену ефективність в поглинанні та відбиванні звуку, особливо на певних частотах.

7. Потенційні пошкодження: Металеві шумозахисні екрани можуть піддаватися корозії, ушкодженням від погодних умов.

8. Обмежена ефективність у низьких частотах: Металеві шумозахисні екрани можуть бути менш ефективними у поглинанні низькочастотного шуму, який часто асоціюється з важкими транспортними засобами, такими як вантажівки або мотоцикли.

9. Потенційні відбиття звуку: Некоректно встановлені або неправильно спроектовані металеві шумозахисні екрани можуть відбивати звук, що може створювати небажані відбиття та погіршувати загальний рівень шуму в околиці.

10. Підвищена пожежна небезпека: Метал є провідником тепла, тому металеві шумозахисні екрани можуть збільшувати ризик поширення пожежі, якщо

вони встановлені недалеко від джерел тепла, таких як мотори автомобілів або освітлення.

11. Потреба у регулярному обслуговуванні та ремонті: Металеві шумозахисні екрани можуть вимагати регулярного обслуговування, включаючи фарбування та виправлення пошкоджень, щоб забезпечити їх ефективність та довговічність.

12. Екологічний вплив: Виробництво та утилізація металевих шумозахисних екранів можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище через використання природних ресурсів, енерговитрати та викиди в атмосферу.

13. Можливі візуальні перешкоди: Металеві шумозахисні екрани можуть перешкоджати видові на пейзажі або природні красиви, що може негативно вплинути

14. Потенційні пошкодження від ударів: Металеві шумозахисні екрани можуть бути вразливими до пошкоджень, особливо внаслідок ударів автомобілів або небезпечних погодних умов, таких як сильний вітер або град.

15. Відсутність звукопоглинання: Метал як матеріал має властивість відбивати звук, а не поглинати його. Це означає, що металеві шумозахисні екрани можуть не забезпечувати достатнього рівня звукопоглинання, що може обмежувати їх ефективність у зниженні шуму.

16. Обмежена прозорість та видимість: Металеві шумозахисні екрани, особливо ті, які мають густу конструкцію або великі панелі, можуть обмежувати прозорість та видимість вздовж дороги. Це може бути проблемою для водіїв, які потребують чіткого огляду дороги та прилеглих об'єктів.

17. Стійкість до погодних умов: Металеві шумозахисні екрани можуть піддаватися впливу погодних умов, таких як корозія внаслідок вологості, розширення та стиснення внаслідок температурних змін, що може призводити до знецінення та несправностей.

18. Вимоги до установки та технічного обслуговування: Металеві шумозахисні екрани можуть потребувати спеціальної установки та регулярного

технічного обслуговування, включаючи перевірку стану кріплення, затягування гвинтів, заміну пошкоджених елементів тощо.

19. Можливі проблеми з розширенням та модернізацією: Металеві шумозахисні е

20. Вплив на водостічну систему: Металеві шумозахисні екрани можуть створювати перешкоди для ефективного функціонування системи водовідведення та водостічних каналів, особливо якщо вони не враховані в проєкті будівництва.

21. Можливі вібрації та резонанс: Металеві шумозахисні екрани можуть стати джерелом вібрацій та резонансу при взаємодії зі швидким рухом повітря або коливаннями, що можуть створювати додатковий шум та незручності.

22. Потреба у регулярному контролі стану: Металеві шумозахисні екрани потребують систематичного контролю стану та інспекцій, оскільки вони можуть піддаватися втомному пошкодженню, тріщинам або іншим дефектам з часом, що може знизити їх ефективність.

23. Вплив на ландшафт та природні екосистеми: Металеві шумозахисні екрани можуть мати вплив на природні екосистеми, зокрема на рослинність та життя тварин, якщо їх встановлюють у природних або зелених зонах. Це може призводити до порушення біологічного рівноваги та зниження біорізноманіття.

24. Обмежена гнучкість та адаптивність: Металеві шумозахисні екрани можуть мати обмежену гнучкість та адаптивність до змінних умов, таких як розширення дорожньої інфраструктури або зміна транспортного потоку. Це може вимагати додаткових витрат на реконструкцію або заміну екранів.

25. Економічний фактор: Металеві шумозахисні екрани можуть бути витратними з точки зору виробництва, встановлення тощо.

26. Економічний фактор: Металеві шумозахисні екрани можуть бути витратними з точки зору виробництва, встановлення та обслуговування. Вони можуть вимагати значних інвестицій на початковому етапі, а також додаткових витрат на ремонт, заміну та підтримку протягом їх експлуатації.

27. Візуальний вигляд: Металеві шумозахисні екрани можуть не відповідати естетичним вимогам архітектурного оточення або ландшафту, особливо в житлових або рекреаційних районах. Вони можуть порушувати гармонію середовища та впливати на візуальний комфорт мешканців.

28. Соціальний вплив: Металеві шумозахисні екрани можуть мати соціальний вплив на мешканців та користувачів доріг. Вони можуть створювати відчуття замкнутості або віддаленості від навколишнього середовища, а також обмежувати сприйняття природних звуків та комунікацію.

29. Проблеми зі звуком від екрану: Металеві шумозахисні екрани можуть створювати нові акустичні проблеми, які не пов'язані зі шумом від транспорту. Наприклад, вони можуть відбивати звук внутрішнього двору або будинку, створюючи ефект еха або відблиску.

Ці недоліки варто враховувати при виборі металевих шумозахисних екранів та розгляді альтернативних рішень для зниження шуму на автомобільних дорогах.

Більш доцільним, на мій погляд, є використання шумозахисних екранів з прозорого матеріалу, що пропускає світло в достатній кількості та не створює зорового дискомфорту для водіїв транспортних засобів.

Такими шумозахисними екранами можуть бути екрани з прозорого пластику «Plexiglas». Вони цікаві не лише тим, що при достатній прозорості мають достатню міцність, щоб витримати навал автомобільного транспорту, а також мають достатню легкість і різноманітні кольорові відтінки, що дає можливість конкурувати з металевими аналогами у архітектурному питанні.

Для надання більшої міцності, таким екранам, їх армують поліамідними струнами. Армування поліамідними струнами суттєво не впливає на прозорість шумозахисного екрану на автодорожніх мостах, але значно покращує його крихку міцність. Тому, навіть, якщо шумозахисний екран руйнується внаслідок наїзду важкого автотранспорту, його уламки не летять донизу, створюючи небезпеку під мостом, а утримуються цими поліамідними струнами. [69, 70].

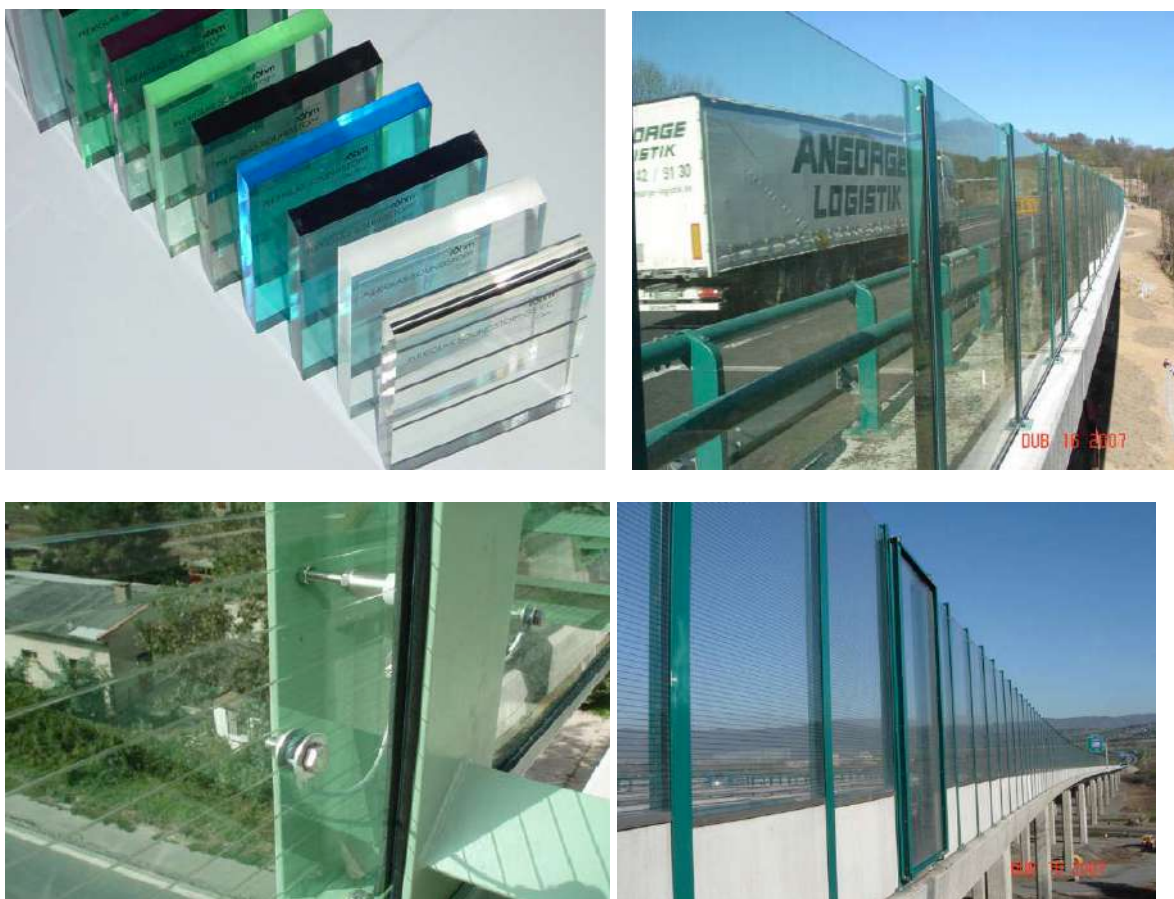


Рисунок 1.18 – Конструкції шумозахисних екранів на автодорожніх мостах

Результати аналізу засвідчили про необхідність удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах з урахуванням комплексу факторів, а саме: конструктивні, геометричні параметри екрану, характеристики дороги та різну швидкість транспортного потоку. Необхідність в розробці математичної моделі для оцінки транспортного шумового навантаження від рухомого транспортного потоку на автомобільних дорогах та експериментального дослідження параметрів акустичної ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування із врахуванням їх технічного стану;

Висновки до розділу 1

В результаті узагальнення стану питань стосовно підвищення ефективності проектування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах при дії транспортних потоків, можна сформулювати наступні висновки:

1. Аналіз існуючих моделей оцінки затухання шумової хвилі у природному середовищі у залежності від конструктивних параметрів автомобільних доріг свідчить про наступне, що проведені раніше дослідження носять розрізнений характер так як не враховано комплекс параметрів, а саме: віддзеркалення шумового променя від характеру текстури поверхні покриття; вплив різної швидкості від транспортних потоків, конструктивні, геометричні параметри екрану та характеристики автомобільної дороги.

2. Проведено аналіз наукових досліджень і розробок щодо оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, що встановив існуючі недоліки в конструктивних параметрах шумозахисних екранів та встановлено, що найбільшого ступеню захисту від дії шумового навантаження від автомобільних доріг, мостів при дії шумового навантаження транспортних засобів можна досягти за допомогою застосування шумозахисних екранів, які дозволяють знизити транспортний шум за рахунок поглинання, зміни довжини хвилі, віддзеркалення, або дифракції.

3. Аналізуючи існуючі конструкції шумозахисних споруд, встановлено, що найбільш доцільними шумозахисними екранами, для застосування на автомобільних дорогах та мостах, є екрани, які мають достатню прозорість, володіють достатньою міцністю при дії потоку автомобільного транспорту, а також мають достатню легкість і різноманітні кольорові відтінки. Встановлено, що обґрунтування параметрів шумозахисних екранів при застосуванні їх на автомобільних дорогах та мостах є актуальною задачею, особливо на мостах із достатнім терміном експлуатації.

Грунтуючись на перерахованих вище особливостях, **метою дисертаційної роботи** є удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах з урахуванням різних факторів.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені наступні **завдання**:

- провести аналіз наукових досліджень, розробок та методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах;
- розробити математичну модель з оцінки впливу на оточуюче середовище шумового навантаження від рухомого транспортного потоку на автомобільних дорогах;
- експериментально дослідити параметри акустичної ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування із врахуванням технічного стану екранів;
- розробити практичні рекомендації щодо застосування отриманих методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів для їх ефективного проєктування на автомобільних дорогах.

Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [33, 38, 83, 85, 86].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТА МОДЕЛІ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

2.1. Загальні положення з оцінки впливу транспортного шуму на навколишнє середовище

Дослідженнями [71 - 88] встановлено, що найбільший вплив на рівень транспортного шуму здійснюють основні експлуатаційні показники дороги, геометричні параметри як дорожнього одягу, так і самого мосту, а також матеріал прогонових будов мостів.

За основу більшості методів прогнозування акустичного забруднення навколишнього середовища прийнятий розрахунковий еквівалентний рівень звуку [57], що являється функцією шуму від інтенсивності транспортного потоку, який рухається зі швидкістю 40 км/год по горизонтальному відрізку з покриттям із дрібнозернистого асфальтобетону.

Знаходження оптимальних параметрів реалізується вирішенням загальної задачі лінійного програмування. У результаті вирішення задачі при заданих обмеженнях на рівень транспортного шуму, інтенсивності та швидкості транспортного потоку можна отримати максимальне значення витрат на реконструкцію одного кілометра дороги і експлуатацію шумозахисних споруд при оптимальних значеннях геометричних елементів дороги.

У даний час досить актуальною задачею являється задача зниження рівня забруднення навколишнього природного середовища, а також задача шумового забруднення. У зв'язку з цим дисертаційна робота є актуальною та своєчасною для проведення зазначених досліджень.

Основні експлуатаційні показники автомобільних доріг спричиняють шумове забруднення. Тому було розглянуто і вдосконалено моделі оцінки транспортного

шуму від автомобільних доріг в придорожній смузі руху. В роботі враховані ймовірнісна модель оцінки шумового навантаження від автомобільних доріг при дії транспортних потоків, середнє значення нестационарного акустичного випромінювання придорожного простору, кореляційні функції для оцінки шумових процесів від автомобільних доріг, імпульсний метод вирішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від рухомого транспортного потоку, модель віддзеркалення шумового проміння від ґрунту на слабо перехресній місцевості.

Вирішення важливого питання по забезпеченню акустичного комфорту пришляхового простору населених пунктів дає можливість враховувати вплив перспективної інтенсивності руху, поздовжнього та поперечного профілю дороги, відстань між автомобільними дорогами і наявними шумозахисними об'єктами, експлуатаційним станом проїзної частини, середньою швидкістю руху потоку на рівень транспортного шуму в придорожній смузі.

2.2. Моделі оцінки транспортного шуму від автомобільних доріг в придорожній смузі руху

Основними критеріями, за якими можливо оцінювати транспортний шум слугують такі показники: тиск звуку, що вимірюються в мікроньютонах на 1м^2 ($\text{мкН}/\text{м}^2$), або в мікропаскалях (мкПа). Наступна характеристика звуку – амплітуда, або гучність [57, 63, 87] та ще одна характеристика звуку – його частота, або тональність, що вимірюється в Гц.

Забезпечення необхідного рівня акустичного комфорту є однією з основних задач охорони навколишнього середовища для густонаселених регіонів України, що мають розвинену транспортну інфраструктуру з високою інтенсивністю. Дослідженнями [10 - 16, 54, 55, 56, 57,] встановлено, що найбільший вплив на рівень транспортного шуму здійснюють основні експлуатаційні показники та геометричні параметри дороги.

Для прогнозування акустичного забруднення навколишнього середовища від автомобільних доріг використовуємо розрахунковий еквівалентний рівень звуку [90].

Метою даного статистичного моделювання являється встановлення взаємозв'язку між досліджуваними параметрами доріг і отримання математичних залежностей, що характеризують цей зв'язок. Для статистичного моделювання по результатах теоретичних досліджень були відібрані наступні параметри автомобільних доріг: X1 – поздовжній похил дороги, ‰; X2 – тип покриття автомобільної дороги; X3, X4 – основні експлуатаційні показники автомобільної дороги (показник рівнинності Sp1, см/км; коефіцієнт зчеплення j); X5 – поперечний уклон дороги, ‰; X6 – наявність шумозахисного бар'єру; X7 – відстань від осі дороги до лінії забудови населеного пункту, м.

Показник рівнинності Sp1 або інакше називають індексом рівнинності, є одним з параметрів, які використовуються для оцінки географічної рельєфності (пересічення рельєфу) певної території. Цей показник вимірює, наскільки рівнинною або гірською є даний регіон.

Sp1 обчислюється за формулою:

$$Sp1 = (H_{max} - H_{min}) / D, \quad (2.1)$$

Де H_{max} - найвища точка рельєфу на досліджуваній території;

H_{min} - найнижча точка рельєфу на досліджуваній території;

D - діаметр (або діагональ) квадрата, обмеженого межами території.

Зазвичай Sp1 виражається у відсотках або у відносних одиницях. Чим більше значення Sp1, тим більше рельєфності має територія, і навпаки.

Цей показник корисний для географів, геологів, туристів і планувальників місцевості, які вивчають і розуміють характер рельєфу певної області або території.

Необхідно встановити кореляційну залежність і побудувати рівняння множинної регресії для вище перерахованих параметрів із наступних результуючих

показників: Y_1 – рівень шуму, дБа; Y_2 – інтенсивність руху, авт./ год; Y_3 – швидкість руху транспортного потоку, км/год.

Статистична обробка результатів вимірювань параметрів доріг і рівня шуму на них, а також проектних рішень і кошторисної вартості запроєктованих доріг реалізується за програмою множинного кореляційно-регресійного аналізу.

У результаті аналізу встановлюється взаємозв'язок між досліджуваними параметрами, за допомогою коефіцієнта кореляції.

Для знаходження оптимальних геометричних елементів доріг необхідно розглянути різноманітні варіанти шумозахисних заходів з визначенням їх вартості і ефективності, з точки зору зниження транспортного шуму.

Використовуючи математичні залежності (рівняння регресії), отриманні при статистичному моделюванні, рівня шуму, інтенсивності і швидкості руху, можна побудувати лінійну модель, рішенням якої будуть оптимальні геометричні елементи доріг. Така модель включає цільову функцію і ряд технічних обмежень, що враховуються при проектуванні і будівництві доріг.

У якості функції цілі приймається мінімум затрат на реконструкцію дороги, що визначається за формулою:

$$F = \sum_{j=1}^9 C_j X_j \rightarrow \min \quad (2.2)$$

де C_j – коефіцієнти рівняння регресії, яке визначає залежність реконструкції і подальшої експлуатації дороги від незалежних параметрів (геометричних елементів) дороги; X_j – значення пошукових параметрів, що визначаються у процесі режиму рішення математичної задачі.

Обмеження, що накладаються на цільову функцію, наступні: рівень транспортного шуму не повинен перевищувати допустимого:

$$\sum_{i=1}^9 l_j x_j \leq a \quad (2.3)$$

де l_j – коефіцієнти рівняння регресії, що встановлює зв'язок між пошуковими параметрами і рівнем шуму; a – максимально допустимий рівень шуму в об'єкта, дБа.

Інтенсивність руху на відрізку дороги не нижче мінімальної I_{min} і не вище максимально допустимої величини I_{max} :

$$\sum_{i=1}^9 l_j x_j \geq i \min \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^9 l_j x_j \leq i \max \quad (2.5)$$

де l_j – коефіцієнти рівняння регресії, що встановлює зв'язок між пошуковими параметрами та інтенсивністю руху.

Швидкість руху транспортного потоку не нижче мінімально необхідної V_{min} і не вище максимально допустимої V_{max} :

$$\sum_{j=1}^9 V_j X_j \geq V \min \quad (2.6)$$

$$\sum_{j=1}^9 V_j X_j \leq V \max \quad (2.7)$$

де V_j – коефіцієнти рівняння регресії, встановлюючи зв'язок між пошуковими параметрами і швидкістю транспортного потоку на відрізку шляху.

Технічні обмеження, що встановлюють співвідношення між геометричними елементами наступні:

$$KX_j - X_{j+1} = 0 \quad (2.8)$$

де K – коефіцієнт, що встановлює співвідношення між пошуковими параметрами X_j і X_{j+1} .

Пошукові значення геометричних елементів дороги повинні бути не нижчі мінімально необхідних і не вищі максимально допустимих величин:

$$S_j \min \leq X_j \leq S_j \max \quad (2.9)$$

Наряду з вище перерахованими в економіко-математичну модель можуть бути включені допоміжні обмеження, що встановлюють зв'язок із пошуковими параметрами.

Знаходження оптимальних параметрів реалізується вирішенням загальної задачі лінійного програмування.

У результаті вирішення задачі при заданих обмеженнях на рівень транспортного шуму, інтенсивності та швидкості транспортного потоку можна отримати максимальне значення витрат на реконструкцію одного кілометра дороги і експлуатацію шумозахисних споруд при оптимальних значеннях геометричних елементів дороги.

Побудову математичної моделі починаємо з визначення розрахункового еквівалентного рівня шуму від транспортного потоку на відстані 7,5 метра від осі найближчої смуги руху з покриттям із дрібнозернистого асфальтобетону на відрізьку з нульовим нахилом.

$$L = 50 + 8.8LgN \quad (2.10)$$

де L – еквівалентний рівень шуму дБА; N – перспективна інтенсивність руху, авт./ год.

В отриманий результат вносять поправки на склад транспортного потоку, так як вантажні автомобілі та автобуси з карбюраторним і дизельним двигуном створюють різний рівень шуму.

У залежності від стану поверхні, над якою розповсюджується шум і видалення точки відліку від осі смуги руху визначається величина поправки:

$$L = 10 \times K_p L_g \frac{L + L_m - 7.5}{L_m} + \frac{\alpha \cdot 1}{100} \quad (2.11)$$

де 10 – поправка на розрахунок до осі смуги руху, дБа; K_p – коефіцієнт, що враховує поглинання звуку поверхневим покриттям; L – відстань від точки розрахунку до найближчої смуги руху; α – коефіцієнт поглинання звуку в повітрі; L_m – відстань від точки 7,5 м до осі еквівалентної смуги руху, м.

Слід зазначити, що в однакових умовах експлуатації сухих відрізків автомобільних доріг, але з різними типами покриття, формування шуму виникає по-різному. Різниця загального рівня шуму може досягати 7,5 дБа [54, 56, 57].

Вплив мокрого покриття на збільшення рівня шуму враховувати не доцільно, так як в негоду більшість вікон в приміщеннях буває зачинено.

Останнім часом за кордоном почали влаштовувати покриття із шумопоглинального асфальтобетону, що являється різновидністю дренажного асфальтобетону. Цей матеріал забезпечує зниження рівня шуму на 4,1–5,5 дБ [24, 25, 26, 47, 48, 49].

Загальний рівень шуму в придорожній смузі залежить, крім того, від величини поздовжнього ухилу і середньої швидкості потоку, на який вносяться поправки.

До обмежень, які враховуються при вирішенні задачі по підвищенню акустичного комфорту, необхідно віднести ефективну висоту укусу виїмки, яка визначається за формулою:

$$h_{эф} = \frac{l(H - h_1) - (k + m)(H - h_1 + h_2)}{\sqrt{l^2 + (H - h_1 + h_2)^2}} \quad (2.12)$$

де H – глибина виїмки; h_1 – висота геометричного центру джерела шуму над поверхнею дороги, м; k – відстань від розрахункової осі смуги руху до кордону укусу

чи бар'єра, м; m – проекція укосу на горизонтальну площину, м; $h_{\text{еф}}$ – повинна бути не меншою 0,1 м.

Точка виміру шуму повинна бути видалена від краю виїмки на відстані не менше глибини цієї виїмки:

$$(k + m + H) \leq l \quad (2.13)$$

Вирішення важливого питання по забезпеченню акустичного комфорту пришляхового простору населених пунктів дає можливість враховувати вплив перспективної інтенсивності руху, поздовжнього та поперечного профілю дороги, відстань між автомобільними дорогами і наявними шумозахисними об'єктами, експлуатаційним станом проїзної частини, середньою швидкістю руху потоку на рівень транспортного шуму в придорожній смузі.

2.3. Ймовірнісна модель оцінки шумового навантаження від автомобільних доріг при дії транспортних потоків

Велике значення для підтримки акустичного комфорту придорожного простору малих населених пунктів має регулярний контроль за станом навколишнього середовища. Розв'язок задачі по забезпеченню акустичного комфорту дає можливість визначити вплив експлуатаційних та геометричних факторів автомобільних доріг на зниження рівня шуму, що у свою чергу дозволяє визначити найефективніші шумозахисні заходи. Одна з акустичних величин (щільність розподілу ймовірності) має велике значення для характеристики акустичного процесу.

Для нестационарного процесу одновимірну щільність розподілу можна записати у наступній формі

$$P' [p(x_i) t_1] = \lim_{\Delta p(t) \rightarrow 0} \frac{W_1 [p(x_i, t) \setminus p(x_i, t_1) \leq p(x_i, t + \Delta t)]}{\Delta p(t)} = \frac{dW_1(t)}{dp(t)}, \quad (2.14)$$

Вимірювання нестационарної щільності розподілу, як видно із роботи [17], є задачею великої експериментальної складності навіть для одомірної щільності розподілу. Ця складність обумовлена необхідністю перебору випадкових величин за часом t та по ансамблю (кількості) реалізацій.

У загальному випадку потрібне усереднення за ансамблем вибіркового реалізацій. Практично нестационарний випадковий процес представляє одна, максимум дві-три реалізації.

В окремих випадках усереднення за часом приводить до фізично змістовних оцінок. Проте в більшості випадків усереднення тільки за часом приводить до сильно спотворених оцінок, зокрема, при визначенні щільності розподілу ймовірності.

Проілюструємо вищезазначене наступним прикладом. Розглянемо деякий випадковий процес; при цьому половина наявних реалізацій є вибіркою із стаціонарного нормального процесу з нульовим математичним очікуванням і дисперсією σ_1^2 , а друга половина реалізації відрізняється від першої тільки значенням дисперсії $\sigma_2^2 > \sigma_1^2$. Іншими словами функція $p(t)$ представлена у формі сходинки в діапазоні $0 - T$, а її щільність розподілу характеризується відповідно законами:

$$P(x, t) = \begin{cases} (\sigma_1 \sqrt{2\pi})^{-1} \exp - x^2 / 2\sigma_1^2, & 0 \leq t \leq T \\ (\sigma_2 \sqrt{2\pi})^{-1} \exp - x^2 / 2\sigma_2^2, & \frac{T}{2} \leq t \leq T. \end{cases} \quad (2.15)$$

Якщо при розрахунку щільності розподілу функції $p(t)$, де $0 \leq t \leq T$ не зважає на факт нестационарності, то відповідна оцінка при будь-якому значенні $p(t)$ у

вказаному інтервалі представить просте середнє значення щільності розподілу вірогідності для двох рівних відрізків реалізації, тобто

$$[P(x)]_{cp} = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \left[\frac{1}{\sigma_1} \exp - \frac{x^2}{2\sigma_1^2} + \frac{1}{\sigma_2} \exp - \frac{x^2}{2\sigma_2^2} \right] \quad (2.16)$$

У роботі [17] розглянута нестационарна щільність розподілу. Там же для порівняння приведена стаціонарна щільність розподілу для нормального закону з такою ж дисперсією.

Щільність розподілу процесу з нестационарним середнім значенням дисперсії для малих і великих відхилень випадкової величини $p_{cp}(t)$ виявляється завищеною в порівнянні з відповідними стаціонарними значеннями, а в проміжній області – заниженої.

У цілому приведений приклад ілюструє похибки, що виникають при заміні нестационарного розподілу щільності її середнім значенням, навіть при збігу дисперсій.

Застосування методу аналізу дисперсій для тестування випадкових процесів не виключає можливості перегляду реально існуючої не стаціонарності досліджуваного процесу, зокрема, руху транспортного потоку по автодорожньому мосту.

Щільність розподілу ймовірності відноситься до статистичних характеристик випадкової величини і вказує на те, наскільки вірогідно різні значення випадкової величини будуть зустрічатися в околі конкретної точки. Вона вимірюється як кількість випадкових подій, які потрапляють у дуже малий інтервал, поділена на ширину цього інтервалу.

Щільність розподілу ймовірності може бути використана для визначення форми розподілу ймовірностей. Якщо щільність розподілу ймовірності є великою в околі певної точки, це означає, що ймовірність отримати значення, близьке до цієї точки, є високою. Зворотно, якщо щільність розподілу ймовірності є мала, це означає, що ймовірність отримати значення в околі цієї точки є низькою.

Важливою характеристикою щільності розподілу ймовірності є гладкість або неперервність розподілу. Гладкий розподіл має високу щільність розподілу ймовірності, що означає, що випадкові значення розподілені рівномірно та неперервно. Нерегулярний розподіл може мати низьку щільність розподілу ймовірності та може включати розриви або піки в розподілі.

У практичних застосуваннях, щільність розподілу ймовірності може бути використана для оцінки ймовірності події або визначення оптимального рішення на основі розподілу ймовірностей.

Припустимо, що ми хочемо прогнозувати рівень шуму від автодороги в певній точці зору, наприклад, у житловому районі поруч з дорогою. Для цього можна використати щільність розподілу ймовірності звукових рівнів.

Припустимо, що проведені вимірювання показали, що середній рівень шуму в цій точці виміру становить 70 децибелів (дБ). Тоді ми можемо використати розподіл ймовірностей, щоб оцінити, наскільки ймовірним є отримання певного рівня шуму.

За допомогою знань про розподіл шуму на автодорозі та використання статистичних даних, ми можемо побудувати щільність розподілу ймовірності звукових рівнів. Наприклад, можна отримати графік або функцію, яка відображає ймовірності отримання певного рівня шуму в даній точці збору інформації.

На основі цього розподілу ймовірностей ми можемо робити прогнози щодо рівня шуму в цій точці вимірювання. Наприклад, якщо щільність розподілу ймовірності показує, що рівень шуму 80 дБ має низьку ймовірність, а рівень шуму 60 дБ має високу ймовірність, то можна зробити прогноз, що шум буде ближче до 60 дБ.

Прогнозування шуму з точки зору ймовірності дозволяє краще оцінити вплив дорожнього трафіку на навколишнє середовище та прийняти відповідні заходи для контролю рівня шуму або захисту житлових районів.

Продовжуючи дискусію про прогнозування шуму з точки зору ймовірності від автодороги, важливо зазначити, що щільність розподілу ймовірності може бути вплинута різними факторами, такими як:

1. Інтенсивність дорожнього руху: Більші потоки транспорту, які пролягають через дорогу, можуть призводити до вищих рівнів шуму. Тому врахування інтенсивності руху транспорту може впливати на щільність розподілу ймовірності.

2. Тип дороги та дорожнє покриття: Різні типи доріг, такі як автомобільні дороги загального користування, міські вулиці або сільські дороги, можуть мати різний рівень шуму. Також дорожнє покриття, таке як асфальт або бетон, може впливати на рівень шуму. Розгляд цих факторів може допомогти уточнити щільність розподілу ймовірності.

3. Відстань від дороги: Відстань між точкою спостереження і автодорогою також може впливати на рівень шуму. Зазвичай зі збільшенням відстані шум зменшується, але це може бути залежне від умов та параметрів конкретної ситуації.

4. Географічні фактори: Географічні особливості, такі як наявність природних перешкод (гір, лісів, будівель тощо), можуть впливати на розподіл шуму. Наприклад, наявність гір може створювати ефект відбиття і підсилювати шум.

Враховуючи ці фактори і аналізуючи дані про шумове середовище, можна побудувати більш точні моделі ймовірності для прогнозування шуму від автодороги. За допомогою статистичних методів, таких як регресійний аналіз або аналіз даних, можна встановити зв'язок між різними факторами (інтенсивність руху, тип дороги, відстань від дороги і т.д.) і рівнем шуму. На основі цих зв'язків можна створити модель прогнозування, яка дозволить оцінити ймовірність виникнення певного рівня шуму у конкретних умовах.

Наприклад, за допомогою регресійного аналізу можна встановити залежність між інтенсивністю руху транспорту і рівнем шуму. Використовуючи цю модель, можна прогнозувати рівень шуму від автодороги на основі інформації про інтенсивність руху.

Також можна використовувати географічні інформаційні системи (ГІС) для прогнозування шуму. ГІС дозволяють інтегрувати географічні дані, такі як тип дороги, географічні особливості та відстань до дороги, з даними про шумові

параметри. За допомогою ГІС можна створити карту шуму, яка відобразатиме розподіл шуму в різних областях і допоможе прогнозувати ймовірність виникнення певного рівня шуму в конкретних місцях.

Важливо врахувати, що прогнозування шуму є складним завданням, оскільки воно залежить від багатьох факторів і може мати значну варіабельність. Точність прогнозування може покращуватися зі збільшенням обсягу і якості вхідних даних, використання більш складних моделей і методів аналізу даних, а також здійснення валідації і калібрування моделей на основі фактичних вимірювань шуму. Також важливо враховувати можливі зміни в умовах, такі як зміна інтенсивності руху або розширення дороги, які можуть вплинути на рівень шуму.

При прогнозуванні шуму від автодороги також слід враховувати потенційні заходи зменшення шуму, такі як встановлення шумозахисних екранів або використання шумопоглинаючих матеріалів на дорожньому покритті. Ці заходи можуть впливати на розподіл ймовірності шуму і повинні бути враховані при прогнозуванні.

Прогнозування шуму від автодороги має важливе значення для планування і розвитку міського середовища, розташування житлових зон, проєктування інфраструктури та прийняття рішень щодо зменшення шумового навантаження на населення. Використання адекватних методів прогнозування допоможе забезпечити ефективні заходи з контролю шуму та покращення якості життя мешканців.

2.4. Дослідження середнього значення нестационарного акустичного випромінювання придорожного простору

Для оцінки акустичного комфорту придорожного простору малих населених пунктів необхідна початкова інформація про статистичні характеристики нестационарних акустичних процесів. До основних акустичних величин, які оцінюватимуться, можна віднести: середнє значення стаціонарного процесу; середнє

значення квадрата нестационарного процесу; спектральну щільність; щільність розподілу ймовірності.

Як нестационарний процес приймається рух автомобільного транспорту $P(N_i, x_i)$. Де N – інтенсивність руху автомобільного транспорту, авт./год; x_i – експлуатаційні показники автомобільних доріг.

Оцінку середнього значення акустичного нестационарного процесу можна записати у вигляді:

$$m_1[m_t[p(N)]] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N p(N, x_i). \quad (2.17)$$

Очевидно, що оцінки за формулою (2.17) будуть різними при різній вибірці реалізацій $p(t, x_i)$. Тому при кожному фіксованому наборі реалізацій необхідно встановлювати ступінь наближення оцінки (2.17) до істинного значення середнього, яке є математичним очікуванням поточного середнього

$$m_1[m_{1t}[p(N)]] = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{1}{NT} \int_0^T \sum_{i=1}^N p(N, x) dt. \quad (2.18)$$

Вираз (2.17) реалізує усереднення випадкової величини по реалізаціях та ансамблю, тобто є істинним середнім.

При $N \rightarrow \infty$, $\sigma[m_{1t}] \rightarrow 0$, у зв'язку з чим поточне середнє представляє спроможну оцінку істинного середнього для всіх значень t .

Оцінку середніх значень нестационарних процесів можна здійснити за допомогою ЕОМ по схемі, зображеній на рис. 2.1.

Реалізація N може бути записана в безперервній або дискретній формі. Для всіх N реалізацій проводиться операція усереднення за ансамблем, яка зводиться до підсумовування реалізацій і розподілу одержаної суми на число реалізацій N . Якщо кожна реалізація $p_i(t)$ складається з M дискретних відліків, то в пам'ять машини

вводиться MN відліків. Проте, звичайно, досліджуваний нестационарний процес представлено однією реалізацією. В таких випадках нестационарні середні оцінюються по цій реалізації.

Рисунок 2.1 – Блок-схема виміру нестационарного середнього значення: 1 – запам'ятовування ансамблю реалізації MN чисел; 2 – блок усереднення за ансамблем (сумування та поділу на N); 3 – $M_N[p(t,x)]M_N[p(t,x)]$ – оцінка середнього

Розглянемо можливий метод оцінки змінного в часі (поточного) значення квадрата нестационарного випадкового процесу для ансамблю з N реалізацій, аналогічно розглянутому поточному середньому значенню нестационарної випадкової функції (2.17). Оцінка середнього поточного значення квадрата процесу $p(t,xi)$ знаходиться усереднення за ансамблем реалізацій:

$$p_t = \begin{cases} p_1(t), 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ p_2(t), \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases} \quad (2.19)$$

Величина $m_{1[p^2]}$ представляє собою у кожний момент часу незміщену оцінку істинного середнього квадрата досліджуваного процесу незалежно від числа реалізацій, оскільки математичне очікування $m_{1[p^2]}$ рівне:

$$m_1[m_{1r}[p^2(N, x)]] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_1[p^2(N, x_i)] \quad (2.20)$$

причому $m_1[p^2(N, x_i)] = m_1^2[p(N, x_i)] + \sigma_p^2$.

Математичне очікування $m_1[m_i^1]$ – рівняння (2.20), – представляє істинне середнє значення квадрата нестационарного процесу аналогічне рівнянню (2.18).

Практична важливість середнього квадрата нестационарного статистичного процесу (поточного, локального або істинного середнього) аналогічна ролі середнього квадрата випадкового стаціонарного процесу – він є нормуючим множником відповідної кореляційної функції, характеризуючи поточну, локальну або середню потужність процесу.

Оцінку середніх значень квадратів нестационарного випадкового процесу можна виконати, усереднивши за ансамблем вхідні реалізації, подібно тому, як показано на рис. 2.1, простою заміною $p(N, x_i)$ на $p^2(N, x_i)$.

Для деяких класів нестационарних процесів, наприклад, мультиплікативного типу, оцінка змінного в часі середнього квадрата може бути одержана по одиничній реалізації шляхом низькочастотної фільтрації, аналогічно описаній вище процедурі виділення середньої величини для адитивного процесу.

Дисперсію процесу в припущенні, що $p_1(x_i, N)$ має нульове середнє і одиничну дисперсію, можна записати у вигляді:

$$\sigma[p(x_i, N)] = \sigma[p_1(x_i, N)\varphi(x_i, N) = \varphi^2(x_i, N)\sigma[p_1(x_i, N)] = \varphi^2(x_i, N). \quad (2.21)$$

Як і для оцінок середнього, при повільній зміні функції $\varphi(x_i, N)$ в порівнянні із зміною низькочастотних складових $p_1(x_i, N)$, вона може бути відокремлена від випадкової складової шляхом фільтрації одиничної реалізації. Одержані таким чином оцінки середнього значення квадрата будуть зміщені, і до них повністю застосовні зауваження, зроблені вище у зв'язку з оцінкою середньої величини випадкового процесу на підставі одиничної реалізації.

2.5. Кореляційні функції для оцінки шумових процесів від автомобільних доріг.

Один з найпоширеніших методів оцінки шумових процесів від автомобільних доріг - це використання кореляційної функції.

Кореляційна функція - це математичний інструмент, який використовується для вимірювання ступеня подібності між двома випадковими процесами. В контексті шумових процесів від автомобільних доріг, кореляційна функція може бути використана для оцінки ступеня взаємозв'язку між різними вимірами шуму, такими як рівень шуму, частота шуму, тривалість шуму тощо.

Нижче наведено приклади кореляційних функцій, які можуть бути використані для оцінки шуму від автомобільних доріг:

1. Кореляційна функція автокореляції: ця функція може бути використана для вимірювання ступеня подібності між сигналом шуму та його затримкою на певний час. Чим більше кореляція між сигналом та його затримкою, тим сильніше вплив шуму на оточуюче середовище.

2. Функція хрестової кореляції: ця функція може бути використана для вимірювання ступеня подібності між двома різними сигналами шуму. Вона може бути використана для визначення, наскільки сильно шум від одного джерела впливає на шум від іншого джерела.

3. Функція перехресної кореляції: ця функція може бути використана для вимірювання ступеня подібності між сигналом шуму та певними зовнішніми факторами, такими як час доби або погодні умови. Вона може бути використана для визначення, які фактори мають найбільше значення.

Як наголошувалося раніше, кореляційна функція $R_p(N_1, N_2, x_1, x_2)R_p(N_1, N_2, x_3, x_3)$ випадкового процесу $p(N, x)$ - є математичне очікування добутку двох миттєвих значень процесу $p^0(N, x_i) = p(N, x_i) - m_1(N, x_i)$.

Відповідно до визначених вище поточними, локальними та середніми статистичними характеристиками, для кореляційних функцій вводяться аналогічні залежності.

Для поточних авто кореляційних і взаємно-кореляційних функцій нестационарного випадкового процесу (рух транспортного потоку) справедливі співвідношення:

$$R_{p_l}(t, \tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p(N, x_i) p(t + \tau, x_i); \quad (2.22)$$

$$R_{p_1, p_2}(t, \tau) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_1(N, x_i) p_2(t + \tau, x_i) \quad (2.23)$$

Для локальних кореляційних і взаємно-кореляційних функцій розглядається k – фіксована реалізація

$$R_p(\tau) = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{1}{NT} \int_{\tau}^{T+\tau} \sum_{i=1}^N p(N, x_k) p(t + \tau, x_k) dt \quad (2.24)$$

$$R_{p_1 p_2}(x_k, \tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^{T+\tau} p_0(N, x_k) p_2(t + \tau, x_k) dt \quad (2.25)$$

і, відповідно, середні авто кореляційні і взаємно-кореляційні функції:

$$\overline{R_p(\tau)} = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{1}{NT} \int_{\tau}^{T-\tau} \sum_{i=1}^N p(N, x_k) p(t + \tau, x_k) dt \quad (2.26)$$

$$\overline{R_p(\tau)} = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ T \rightarrow \infty}} \frac{1}{NT} \int_{\tau}^{T-\tau} \sum_{i=1}^N p_1(N, x_k) p_2(t + \tau, x_k) dt \quad (2.27)$$

Риска зверху означає усереднення за часом, а кутові дужки – усереднення за ансамблем реалізацій.

Як наголошувалося, поточні (тимчасові) кореляційні функції на підставі їх явної залежності від часу називають функціями тимчасового статичного зв'язку.

Тому узагальнення поточних тимчасових на поточні просторові кореляційні функції статично неоднорідних процесів слід було б за аналогією називати функціями просторового статичного зв'язку.

Для нестационарних випадкових процесів так само, як і для стаціонарних, при

виконанні умови абсолютного інтегрування квадрата випадкової функції $\int_{-\infty}^{\infty} p^2(t) dt < \infty$

межа кореляційної функції $\lim_{|t_1-t_2| \rightarrow \infty} R_{pt}(t_1, t_2) \rightarrow 0$, що фізично відображає сутність зниження акустичного забруднення придорожнього простору малих населених пунктів.

Велике значення при розгляді практичних питань аналізу роботи вимірювальних пристроїв, вибору інтервалу осереднення і встановлення розумного часового накопичення випадкового сигналу має так званий інтервал кореляції τ_0 , що характеризує час, протягом якого випадковий процес можна вважати статично зв'язаним.

Поточний інтервал кореляції $\tau_{0i}(t)$ залежить від часу, а локальний $\tau_{0i}(t)$ – від номера реалізації.

Слід зазначити, що існують інші критерії оцінки інтегральних масштабів кореляції, що враховують особливості даних процесів. Ці питання складають зміст спеціальних робіт і виходять за рамки даного аналізу.

З приведенного розгляду основних властивостей кореляційних функцій нестационарних випадкових процесів видно, що особливості локальних і середніх кореляційних функцій у малій ступені відрізняються одна від одної.

Що ж до поточних кореляційних функцій та їх очевидних узагальнень для неоднорідних просторових кореляційних функцій, то вони істотно відрізняються від своїх стаціонарних аналогів. Дана особливість вказує на те, що поточні (часові та просторові) характеристики ймовірності є носіями інформації про власне нестационарні властивості процесу, тоді як локальні відображають їх властивості як процесів неенергетичних.

2.6. Імпульсний метод вирішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від рухомого транспортного потоку

Імпульсний метод рішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від джерел, що рухаються, зручний, коли рух здійснюється по довільній траєкторії, заданій параметрично. Тоді, виходячи з роботи [17] маємо:

$$\frac{d^2\varphi}{d(y'_i)^2} - \frac{1}{c^2} \frac{d^2\varphi}{d\tau^2} - \frac{2}{c^2} (U_0, grad) \frac{d\varphi}{d\tau} - \frac{1}{c^2} (U_0, grad) \times (U_0, grad) \varphi - \frac{1}{c^2} \left(\frac{dU_0}{d\tau}, grad \right) \varphi \quad (2.28)$$

Це рівняння можна розглядати як хвильове рівняння, що характеризує розповсюдження звуку в середовищі, що рухається зі швидкістю $\overline{U_0(t)}$, залежно від часу, але незалежно від координат.

Припустимо, про наявність акустичного випромінювання в оберненому русі відповідає основним законам механіки стиснутого середовища. Рівняння механіки суцільного стиснутого середовища, при наявності зовнішніх об'ємних сил P_g за [3] мають вигляд:

$$\frac{dU}{dt} + (U, grad)U = -p^{-1} grad p + g; div p U = 0 \quad (2.29)$$

Вважаючи, що U і P є функції часу і не залежать від координат, отримаємо:

$$g(y_i, t) = G(t) \delta[y_i - Y(t)], \quad (2.30)$$

тобто такий рух здійснюється якби у фіктивному полі важкості з прискоренням.

Таким чином, розглядаючи звукове поле джерел звуку, що рухаються, можна вважати, що джерела нерухомі, але тоді в середовище слід ввести змінний вітер, прискорення якого обумовлено силовою напругою, що створює прискорення:

$$g = -\frac{dU}{dt} \quad (2.31)$$

Рішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від джерел, що рухаються (транспортного потоку) дозволяє визначити: рівень шуму, коли рух здійснюється по довільній траєкторії; рівень акустичного забруднення на певній відстані від осі дороги; при заданій рухомій системі координат $y'_i(t)$, пов'язаній з джерелом звуку та дозволяє прогнозувати рівень акустичного забруднення.

2.7. Модель віддзеркалення шумового проміння від ґрунту на слабо перехресній місцевості

Спростуючи підхід до цього питання, приймемо, що район розповсюдження складається з плоскої та однорідної поверхні, що характеризується специфічним акустичним опором Z , представляє шумове поле геометричними променями (рис. 2.2).

Затухання променю в ґрунті розраховується формулами:

$$R = \sqrt{R_{hor}^2 + (h_S - h_R)^2} \quad (2.32)$$

$$R' = \sqrt{R_{hor}^2 + (h_S + h_R)^2} \quad (2.33)$$

де R та R' – це відстані основного та віддзеркаленого променю; Q – коефіцієнт сферичного віддзеркалення, як функція опору ґрунту Z ; Θ – кут віддзеркалення [8].

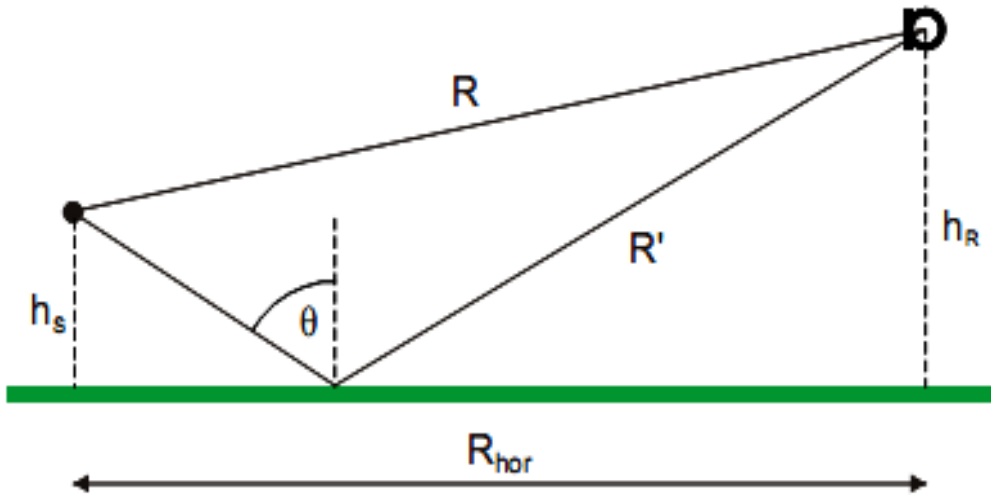


Рисунок 2.2 – Основний промінь та віддзеркалений від поверхні землі у межах одинарного шляху

На місцевості, повне затухання від ґрунту A_{gr} визначається логарифмічною надбавкою ґрунтового ефекту для різних ґрунтових сегментів N .

$$A_{gr} = \text{MIN} \left| X_F A_{gr,flat} + (1 - X_F) A_{gr,val} \right|, \quad (2.34)$$

де:

$$X_F = \frac{1}{1 + \left[\text{MAX} \left(\sum_{i=1}^N W_i; 1 \right) - 1 \right]^2};$$

$$A_{gr,flat} = \sum_{i=1}^N W_i A_{gr,LOG,i};$$

$$A_{gr,LOG} = -10 \log \left(\left| 1 + C_{coh} \frac{R'}{R} Q e^{jk(R'-R)} \right| + (1 - C_{coh}^2) \left| \frac{R'}{R} Q e^{jk(R'-R)} \right|^2 \right);$$

$$A_{gr,val} = -10 \log \left(\left| 1 + \sum_{i=1}^N w_i C_{coh} \frac{R'}{R} Q e^{jk(R'-R)} \right|^2 + \sum_{i=1}^N w_i (1 - C_{coh}^2) \left| \frac{R'}{R} Q e^{jk(R'-R)} \right|^2 \right)$$

Втрата послідовності. Повний фактор послідовності C_{coh} визначає втрату непослідовності через діапазон частот, інтеграцію та турбулентність.

$$C_{coh} = C_{fba} C_{turb} \quad (2.35)$$

Фактором послідовності через діапазон частот, в середньому, C_{fba} , можливо записати:

$$C_{fba} = \frac{\sin[0.115k(R'-R)]}{0.115k(R'-R)} \quad \text{for } 0.115k(R'-R) < \pi \quad (2.36)$$

$$C_{fba} = 0 \quad \text{for } 0.115k(R'-R) \geq \pi \quad (2.37)$$

де k – кількість хвиль.

Фактором послідовності через турбулентність C_{turb} записуємо:

$$C_{turb} = \exp\left(-\frac{3}{8}0.364F_k k^2 \gamma_p R\right) \quad (2.38)$$

$$\gamma_p = \left(\frac{h_s h_R}{h_s + h_R}\right)^{5/3} \quad (2.39)$$

де k – кількість хвиль що рівний $2\pi f/c$ [м^{-1}]; R – відстань від джерела до приймача, м; F_k – параметр структури Холмогорова, $\text{м}^{2/3} \text{с}^{-1}$; h_s – висота джерела, м; h_R – висота приймача, м.

Типові оцінювання для параметра структури Холмогорова знаходяться між 10^{-7} та 10^{-5} [82].

Визначення втрати енергії під час віддзеркалення.

Ефективність віддзеркалення виражається кількісно через ефект віддзеркалення A_{refl} , врахований рівнянням (2.39) [79]. Перша частина у рівнянні – виправлення для ефективного коефіцієнта відображення енергії p_E і друга частина – виправлення для розміру поверхні, що віддзеркалює S_{refl} , область поверхні в межах зони Френеля у плані віддзеркалення та S_{Fz} , тотальна область зони Френеля, яка

визначена перетином між планом віддзеркалення і еліпсоїдом Френеля навколо звукового променя із умовного джерела на приймач як показано на рис. 2.3.

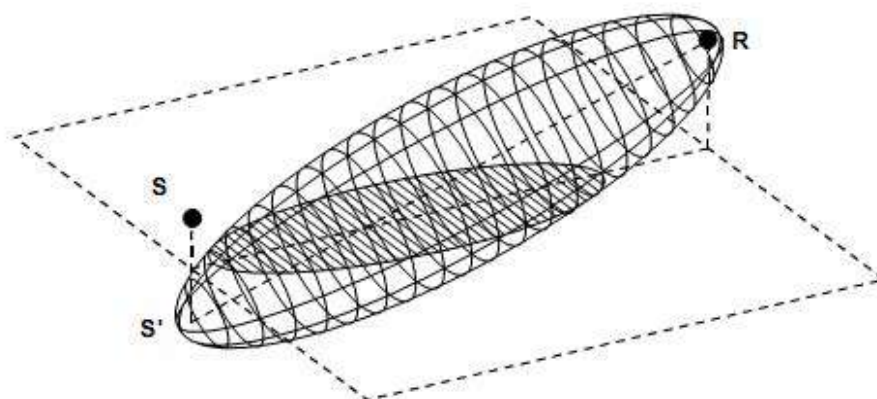


Рисунок 2.3 – Перетин між планом віддзеркалення і еліпсоїдом Френеля навколо звукового променя із умовного джерела на приймач

Розмір зони Френеля обчислена, базуючись на фракції $F_\lambda=1/8$.

$$A_{refl,i} = 10 \log(p_{e,i}) + 20 \log\left(\frac{S_{refl,i}}{S_{Fz,i}}\right) \quad (2.40)$$

Приклади для широкосмугового коефіцієнта віддзеркалення енергії наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Приклади для широкосмугового коефіцієнта віддзеркалення енергії

Властивості поверхні, що віддзеркалює	p_E
Плоска поверхня та акустично тверда поверхня (бетон, камінь, цегляна стіна, металеві листи)	1.0
Негіроскопічні фасади будівель з вікнами і маленькими несправностями, щільні дерев'яні групи	0.8
Фабричні стіни з поверхні, на 50 %, складеної із отворів, установок або труб	0.4

Для поверхні, що віддзеркалює з коефіцієнтом віддзеркалення енергії p_E , що розраховується формулою:

$$p_E = 1 - \alpha \quad (2.41)$$

де α_i – коефіцієнт поглинання залежної частоти.

Якщо поверхня тверда або майже тверда з грубою структурою випадкової природи, коефіцієнтом віддзеркалення описується рівнянням:

$$p_E = \exp(-2(k\sigma \cos\theta)^2) \quad (2.42)$$

де k – кількість хвиль, σ – середньоквадратичні випадкові (Гауссовські) несправності в структурі та θ – кут падіння (відносно нормалі поверхні).

Перепони нерегулярної форми мають бути розділені на декілька підповерхонь, кожна з яких виконує вимоги того, щоб бути плоскою поверхнею, і сукупний ефект можемо отримати простим незв'язаним додаванням всіх поверхонь.

Опір основи. Акустичний опір Z основи може бути розраховано прямим виміром або за допомогою моделі імпеданса.

Для непористих поверхонь основи акустичний опір задано моделлю з одним параметром [9]:

$$Z = 1 + 9.08\left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.75} + j11.9\left(\frac{f}{\sigma}\right)^{-0.73} \quad (2.43)$$

де $f - 1/3$ частота центра групи октав в Гц, а σ – ефективний питомий опір потоку в кНсм^{-4} (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Питомий опір потоку σ , що обумовлюється класами імпеданса основи

Класи основи	Питомий опір σ , кНсм ⁻⁴
Дуже м'який (сніг або подібний моху)	12.5
М'який лісний пол (короткий, щільний подібний вереску або товстий мох)	31.5
Не ущільнена, вільна основа (торф, трава, вільний ґрунт)	80
Нормальна не ущільнена основа (лісові ґрунти, область пасовища)	200
Слабо ущільнена область і гравій (ущільнені лужайки, паркові області)	500
Добре ущільнена основа (дорога з гравію, місце для стоянки машин)	2000
Тверда поверхня (щільний асфальт, бетон), вода	200000

Імпеданс пористого шару розраховано за допомогою моделі імпеданса [89]. Це задано рівняннями:

$$Z = \left(\frac{q}{\Omega}\right) F_{\mu}^{1/2} \left[\gamma - \frac{\gamma-1}{F_0} \right]^{-1/2} \cos(-jkd) \quad (2.44)$$

Де

$$k = \frac{qc}{2\pi f} F_{\mu}^{1/2} \left[\gamma - \frac{\gamma-1}{F_0} \right]^{1/2};$$

$$F_{\mu} = \frac{1+jf}{f};$$

$$F_0 = \frac{1+jf_0}{f};$$

$$f_{\mu} = \frac{\Omega+\sigma}{2\pi\rho q^2};$$

$$f_0 = \frac{\Omega+\sigma}{2\pi\rho N_{pr}}$$

де d – товщина шару пористого шару, м; q_2 – постійна структура; Ω – пористість шару; σ – питомий опір потоку шару, кНсм⁻⁴; ρ – щільність повітря, кгм⁻³; c – адіабатична звукова швидкість, мс⁻¹; f – 1/3 частоти центра групи октави у Гц; N_{pr}

– число Прандті, що рівне 0.71]; γ – відношення характерно високої температури, що приймається 1,4.

Щільність повітря ρ та адиабатична звукова швидкість підлягає атмосферним змінам. Можливо прийняти $\rho=1,225 \text{ кгм}^{-3}$ та $c=340,5 \text{ мс}^{-1}$.

Для пористого асфальту технічні параметри наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні властивості пористого асфальтобетону

d [м]	q2 [-]	Ω [-]	σ [кНсм ⁴]
0.04	5	0.2	5

Сферичний коефіцієнт віддзеркалення. Сферичний коефіцієнт віддзеркалення Q є функція довжини шляху R' віддзеркаленого променя, кут віддзеркалення θ (що складає $\pi/2 - \psi G$, де ψG – кут зачеплення), кількість хвиль k та нормалізованого імпедансу Z .

Сферичний коефіцієнт віддзеркалення Q розраховуємо за рівнянням:

$$Q = R_p(\theta) + (1 - R_p(\theta))E(\rho_z)$$

$$R_p(\theta) = \frac{\cos(\theta) - \frac{1}{Z}}{\cos(\theta) + \frac{1}{Z}}$$

$$E(\rho_z) = 1 + j\sqrt{\pi} \rho_z e^{-\rho_z^2} \operatorname{erfc}(-j\rho_z)$$

$$\rho_z = \frac{1+j}{2} \sqrt{kR'} \left(\cos(\theta) + \frac{1}{Z} \right)$$

(2.45)

де $R_p(\theta)$ – коефіцієнт віддзеркалення плоскої хвилі; функція $E(\rho_z)$; $\operatorname{erfc}(z)$ – додаткова помилкова функція, що поширюється на комплекс аргументів. Складна функція $w(\rho_z) = \exp(-\rho_z^2) \operatorname{erfc}(-jz)$ може бути визначена приблизним методом за рівняннями, у залежності від області для дійсних та уявних частин x та y ($\rho_z = x + jy$).

$x > 6, y > 6$:

$$w(\rho_z) = j\rho_z \left(\frac{0.512442}{\rho_z^2 - 0.2752551} + \frac{0.05176536}{\rho_z^2 - 2.724745} \right) \quad (2.46)$$

(3.9 < x < 6 \wedge y < 6) \vee (x < 6 \wedge 3 < y < 6):

$$w(\rho_z) = j\rho_z \left(\frac{0.4613135}{\rho_z^2 - 0.1901635} + \frac{0.09999216}{\rho_z^2 - 1.7844927} + \frac{0.002883894}{\rho_z^2 - 5.5253437} \right) \quad (2.47)$$

x < 3.9 \wedge y < 3:

$$w(\rho_z) = H + P_2 + j(K - Q_2) \quad (2.48)$$

Де

$$H = \frac{hy}{\pi(x^2 + y^2)} + \frac{2yh}{\pi} \sum_{n=1}^5 \frac{e^{-n^2 h^2} (x^2 + y^2 + n^2 h^2)}{(y^2 - x^2 + n^2 h^2)^2 + 4x^2 y^2};$$

$$P_2 = 2e^{-(x^2 + 2y\pi/h - y^2)} \frac{A_1 C_1 - B_1 D_1}{C_1^2 + D_1^2};$$

$$K = \frac{hx}{\pi(x^2 + y^2)} + \frac{2yh}{\pi} \sum_{n=1}^5 \frac{e^{-n^2 h^2} (x^2 + y^2 - n^2 h^2)}{(y^2 - x^2 + n^2 h^2)^2 + 4x^2 y^2};$$

$$Q_2 = 2e^{-(x^2 + 2y\pi/h - y^2)} \frac{A_1 C_1 + B_1 D_1}{C_1^2 + D_1^2};$$

$$h = 0.8;$$

$$A_1 = \cos(2xy);$$

$$B_1 = \sin(2xy);$$

$$C_1 = e^{-2y\pi/h} - \cos(2x\pi/h);$$

$$D_1 = \sin(2x\pi/h)$$

Далі наведемо модель для оцінки параметрів шумозахисних екранів для зниження шумового навантаження на дорогах та автодорожніх мостах.

2.8. Модель оцінки параметрів шумозахисних екранів для зниження шумового навантаження на дорогах та автодорожніх мостах

Для зниження шумового навантаження на дорогах та автодорожніх мостах використовуються шумозахисні екрани.

Шумозахисні екрани зменшують рівень шуму, що виникає від транспорту, за допомогою поглинання звуку та зміни довжини звукових хвиль.

Дифракція, або огинання звуковими хвилями перешкоди, може відбуватися і по верху екрану, і навколо нього. Через природу звукових хвиль дифракція не змінює всі частоти рівномірно. Високі частоти (більш короткі хвилі) дифрагують у меншій степені; тоді як більш низькі частоти (більш довгі хвилі) дифрагують глибше в «тіньову» зону позаду екрану. Тому екран більш ефективний для зменшення хвиль звуку з високою частотою у порівнянні з хвилями звуку з більш низькими частотами.

На рис. 2.4–2.5 наведено процес дифракції навколо шумових екранів на автомобільній дорозі та автодорожньому мосту.

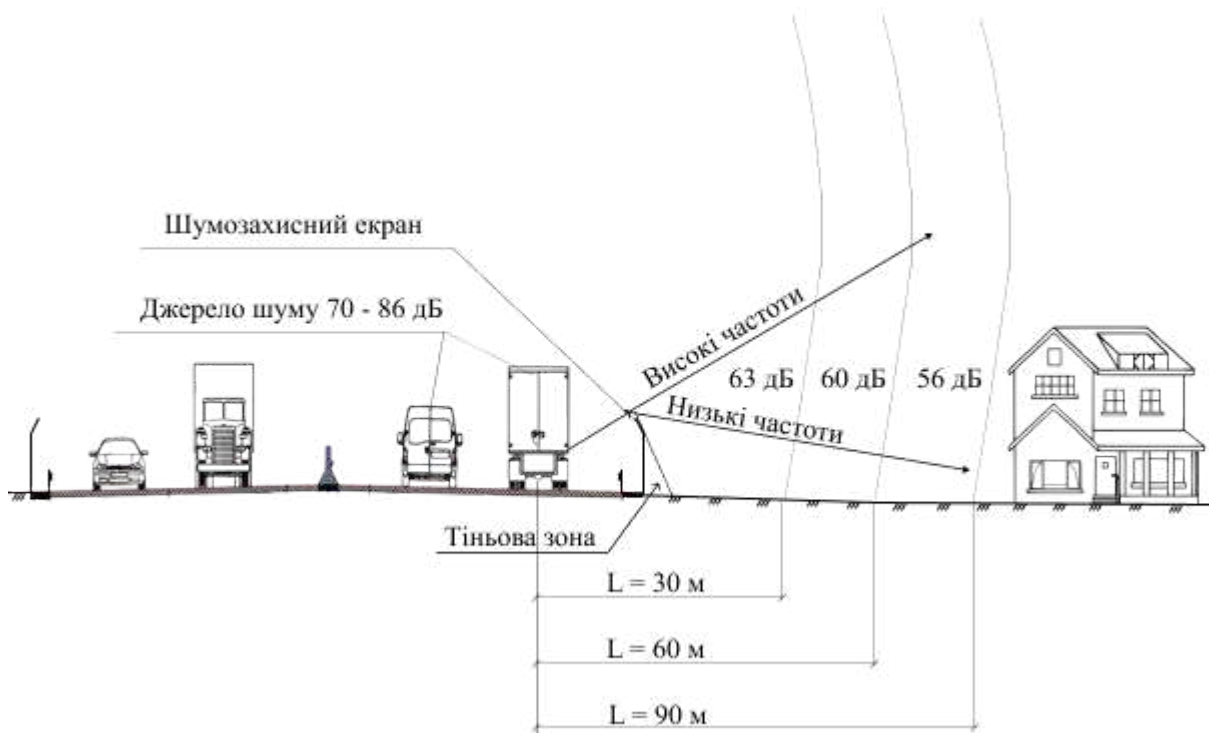


Рисунок 2.4 – Явище дифракції навколо шумозахисного екрану на автомобільній дорозі

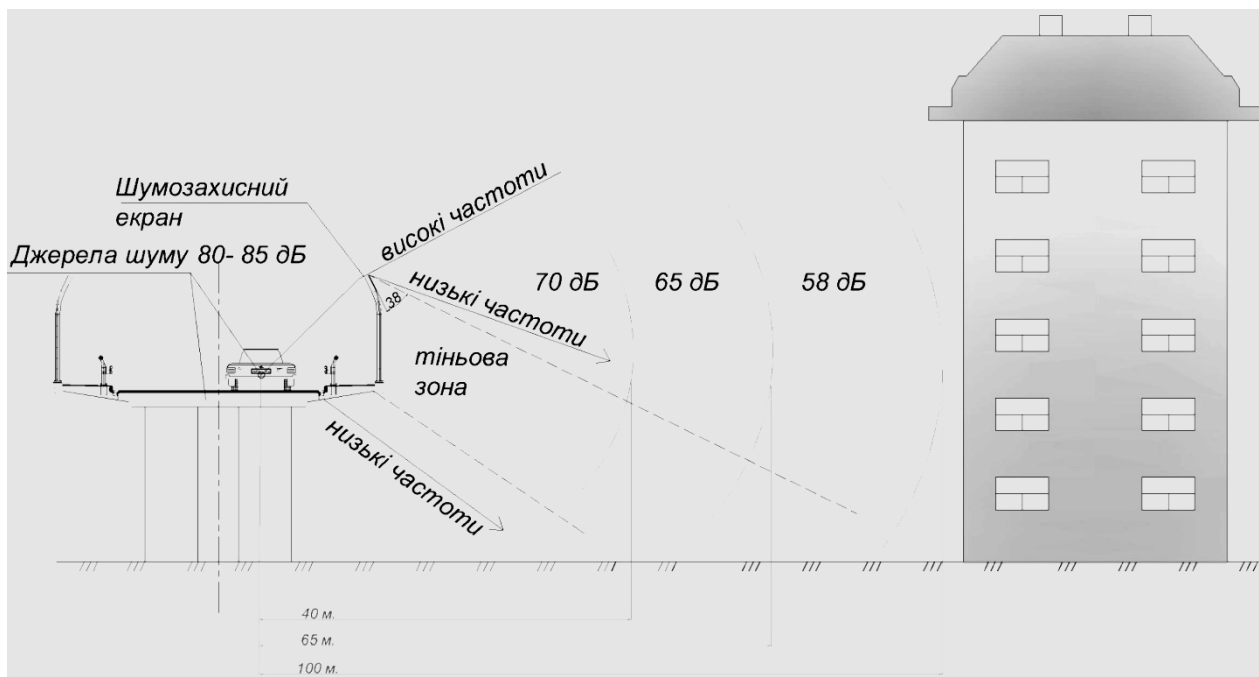


Рисунок 2.5 – Явище дифракції навколо шумозахисного екрану у випадку руху по автодорожньому мосту

Важливий аспект дифракції – різниця довжини між траєкторією від джерела через вершину екрану до приймача і прямого шляху від джерела до приймача за відсутності між ними перешкод (рис. 2.4–2.5).

Різниця довжин траєкторій використовується для визначення числа Френеля (N_0), яке є безрозмірним значенням, що використовується для прогнозування послаблення звуку, шумозахисним екраном, розташованим між джерелом і приймачем. Число Френеля визначається таким чином:

$$N_0 = \pm 2 \frac{\delta_0}{\lambda} = \pm 2 \frac{f \delta_0}{c}, \quad (2.49)$$

де N_0 – число Френеля; \pm - «плюс» у випадку, якщо лінія розповсюдження звуку між джерелом і приймачем більш низька, ніж точка дифракції і «мінус», коли

лінія розповсюдження вище, аніж точка дифракції; δ_0 – різниця довжин траєкторій, м; λ – довжина звукової хвилі, що випромінює джерело, м; f – частота звуку, що випромінюється джерелом, Гц; c – швидкість звуку, м/с.

Якщо збільшуються різниця довжин траєкторій і число Френеля, то посилюється потенціал екрану.

Кількість звуку, яку передає екран, може бути описана показником «втрати звукопередачі» (TL). Вимірювання для визначення TL (дБ) повинні бути зроблені відповідно до стандарту ASTM E413-87 «Класифікація рівнів звукового впливу» [3].

Втрати звукопередачі екрану TL визначаються за наступною формулою:

$$TL = 10 \log_{10} [10^{(SPL_s / 10)} / 10^{(SPL_r / 10)}], \quad (2.50)$$

де SPL_s – рівень звукового тиску на стороні джерела, дБ; SPL_r – рівень звукового тиску на стороні приймача, дБ.

Для шумозахисних екранів уздовж доріг будь-яким звуком, який передається через екран, можна нехтувати, оскільки він буде слабкий за початковий звук щонайменше на 20 дБ (А).

У науково-дослідній роботі [82], зазначено, як емпіричне правило можна прийняти, що будь-яка конструкція, що має щільність по поверхні 20 кг/м^2 або більше, забезпечує загасання звуку принаймні на 20 дБ (А). Такий показник адекватний загальному зниженню рівня шуму на 10 дБ (А) через дифракцію. При цьому показник щільності поверхні, рівний 20 кг/м^2 , може бути досягнутий за рахунок використання легких і більш товстих або важких і тонких конструкцій. Чим більша щільність матеріалу, тим більше тонкий шар може використовуватися. TL також залежить від твердості матеріалу екрану і частоти звуку від джерела.

У більшості випадків максимальне зниження шуму, яке може бути досягнуте екраном, складає 20дБ(А) для стін і 23 дБ(А) для берм [3]. Для прикладу, шумопоглинання зелених насаджень вздовж дороги складає всього 4–12 дБ [24].

У роботах [90-92] встановлено, що важливим параметром при оцінюванні ефективності шумозахисних властивостей екранів є їх висота. Висота шумозахисних екранів має бути не менше ніж 1 м. Шум від дорожніх машин є низькочастотними коливаннями з частотою 50–200 Гц, що відповідає довжинам хвиль 7,2–1,8 м. Для захисту від шуму з такими частотами необхідний екран висотою 7 м.

У працях [90, 91] встановлено, що екрани висотою 2,5–3,0 м мають доволі гарний ефект зниження шуму.

Для визначення довжини шумозахисного екрану на XV міжнародному дорожньому конгресі в Мехіко в 1975 р. [108-109, 17] був запропонований графік залежності мінімальної довжини екрану D від відстані від джерела звуку L та величини зниження еквівалентного рівня звука ΔL (рис. 2.6).

Деякі системи екранів розроблені з отворами для скидання води. При цьому слід враховувати наступне [57]: маленький, до 20 см в поперечнику, отвір в шумозахисному екрані дає приріст шуму в межах 1дБ(А); отвори повинні мати належний захист у вигляді ґрат або стрижнів, щоб обмежити вхід дрібних тварин.

У роботах [93-99] наведено і інші показники характеристик звукопередачі матеріалу, один із них клас звукопередачі (STC). STC – бальна оцінка, по якій визначають, наскільки крива відповідає значенням TL, виміряним для частотних смуг однієї третини октави між 125 і 4000 Гц. Сума відхилень не повинна перевищувати 32 дБ, при одиничному відхиленні – не більше 8 дБ.

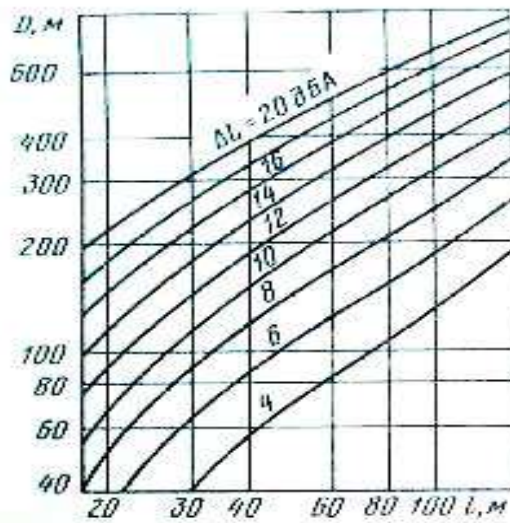


Рисунок 2.6 – Графік залежності мінімальної довжини екрану від відстані від джерела звуку L та величини зниження еквівалентного рівня звуку ΔL [17]

Значення STC є значенням TL при 500 Гц. Недолік STC полягає в тому, що цей показник розроблений для оцінки зниження шуму для частот, характерних для побутових і офісних приміщень, а не для більш низьких частот шуму від руху транспортних засобів.[100 - 107] Для частот транспортного шуму STC звичайно на 5-10 дБ(А) більше, ніж TL , і використовується тільки для приблизних оцінок шумозахисних екранів.

2.9. Математична модель затухання шумової хвилі від транспортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами з урахуванням шумозахисного екрану та зовнішніх факторів

Для розробки математичної моделі затухання шумової хвилі від автомобільної дороги з урахуванням шумозахисного екрану можна використати закон затухання звуку від джерела, який описується формулою:

$$I = I_0 / (4\pi r^2) \quad (2.51)$$

де I_0 - інтенсивність звуку на відстані $r = 1$ м від джерела звуку;

I - інтенсивність звуку на відстані r від джерела звуку.

Для випадку шумозахисного екрану, можна ввести поправку на затухання, яка буде відображати його ефективність в зменшенні інтенсивності звуку:

$$I = I_0 / (4\pi r^2) \cdot \exp(-kx) \quad (2.52)$$

де k - коефіцієнт затухання звуку, що залежить від властивостей матеріалу, з якого зроблений екран;

x - довжина ділянки, на якій встановлений шумозахисний екран.

Крім того, треба врахувати, що під час руху автомобілів на дорозі виникає дифракція звуку на екрані, яка забезпечує зменшення інтенсивності звуку на певній відстані від екрана. Для врахування цього ефекту можна використати наступну формулу:

$$I = I_0 / (4\pi r^2) \cdot \exp(-kx) \cdot (a/r)^2 \cdot \sin^2(\theta) \quad (2.53)$$

де a - висота екрану;

r - відстань від джерела шумового навантаження до точки спостереження;

θ - кут між напрямком до джерела звуку і напрямком до точки спостереження.

Отже, математична модель затухання шумової хвилі від транспортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами з урахуванням шумозахисного екрану може бути записана наступним чином:

$$I = I_0 / (4\pi r^2) \cdot \exp(-kx) \cdot (a/r)^2 \cdot \sin^2(\theta) \quad (2.54)$$

де I_0 - інтенсивність звуку на відстані $r = 1$ м від джерела звуку;

I - інтенсивність звуку на відстані r від джерела звуку. Вимірюється в одиницях потоку енергії на площинну одиницю, наприклад, ваттах на квадратний метр (W/m^2);

x - довжина ділянки, на якій встановлений шумозахисний екран, може бути виміряна в будь-яких одиницях довжини, наприклад, метрах (м);

a - висота екрану, може бути виміряна в будь-яких одиницях довжини, наприклад, метрах (м);

r - відстань від джерела шумового навантаження до точки спостереження, може бути виміряна в будь-яких одиницях довжини, наприклад, метрах (м);

θ - кут між напрямком до джерела звуку і напрямком до точки спостереження, вимірюється в градусах ($^{\circ}$);

k - коефіцієнт затухання звуку, залежно від властивостей матеріалу, з якого зроблений екран. Він залежить від декількох факторів, таких як щільність матеріалу, його товщина, акустичні властивості та інші параметри.

Для конкретного матеріалу коефіцієнт затухання може бути експериментально визначений або наведений у технічних даних виробника. Він може бути виражений у вигляді числового значення або у вигляді частотної залежності.

У конкретному випадку необхідно зазначити, який саме матеріал використовується для шумозахисного екрану, і використовувати відповідні дані щодо коефіцієнта затухання для цього матеріалу.

Якщо немає точних даних, можна використовувати середні значення коефіцієнту затухання для матеріалів, що часто використовуються для виготовлення шумозахисних екранів. Наприклад, для стандартного бетонного екрану можна вважати, що $k \approx 0.02 - 0.05 \text{ м}^{-1}$. Однак, слід зазначити, що точність такої оцінки буде залежати від конкретних умов експлуатації та властивостей шумозахисного екрану.

Далі, інтенсивність можна перевести в децибели (dB), що є логарифмічною шкалою вимірювання звукового тиску чи потоку енергії.

Формула для перетворення ват на квадратний метр (W/m^2) в децибели (dB) виглядає так:

$$L = 10 \log_{10}(I/I_0) \quad (2.55)$$

де:

L - рівень звуку або інтенсивності в децибелах,

I - інтенсивність у ваттах на квадратний метр (W/m^2),

I_0 - початкова інтенсивність у ваттах на квадратний метр (W/m^2).

Отже, ви можете використовувати цю формулу для перетворення значень інтенсивності у ваттах на квадратний метр (W/m^2) в децибелі (dB).

Ця модель враховує ефективність шумозахисного екрану та дифракцію звуку на екрані, що забезпечує більш точну оцінку інтенсивності шуму на певній відстані від дороги. Застосування цієї моделі може допомогти в плануванні будівництва нових доріг та оцінці ефективності шумозахисних екранів.

Математична модель затухання шуму від автомобільної дороги з урахуванням шумозахисного екрану, вологості повітря, температури повітря та швидкості вітру може бути складною і залежить від багатьох факторів.

Щоб створити таку модель, можна використовувати різні емпіричні формули та спеціальні алгоритми, які враховують фізичні закони і ефекти.

Одна з можливих моделей затухання шуму може включати наступні параметри:

- Відстань від дороги: зазвичай зі збільшенням відстані звук слабшає, і це можна описати законом зворотного квадрату.
- Шумозахисний екран: такий екран може скорочувати розсіювання звуку і тим самим знижувати його рівень. Це можна описати різними моделями залежно від конструкції екрану та його розташування.
- Температура та вологість повітря: звук поширюється залежно від фізичних властивостей повітря, які змінюються з температурою та вологістю. Це можна описати різними формулами залежно від обраних моделей фізичних законів.
- Вітер: сильний вітер може впливати на поширення звуку, зміщуючи його в різні сторони. Це можна врахувати за допомогою спеціальних моделей вітру та його впливу на звук.

Зважаючи на ці параметри, можна створити математичну модель затухання шумової хвилі від транспортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами з урахуванням шумозахисного екрану, вологості повітря, температури повітря та швидкості вітру. Однак, необхідно докладати багато зусиль.

Математична модель затухання шуму від автомобільної дороги з урахуванням шумозахисного екрану, вологості повітря, температури повітря та швидкості вітру може виглядати наступним чином:

$$L = L_0 - 10 \cdot \log_{10}(D) - G - T - W \quad (2.56)$$

де L - рівень звуку після затухання,

L_0 - початковий рівень звуку (без будь-якого затухання),

D - відстань від джерела шуму (автомобільної дороги),

G - внесок шумозахисного екрану,

T - внесок, пов'язаний з температурою та вологістю повітря,

W - внесок вітру.

У цій моделі рівень звуку після затухання (L) обчислюється шляхом віднімання внесків від початкового рівня звуку (L_0). Фактори затухання включають відстань (D), внесок шумозахисного екрану (G), внесок, пов'язаний з температурою та вологістю повітря (T) і внесок вітру (W).

Детальний вигляд формул для кожного з цих факторів може варіюватись залежно від конкретних моделей, що використовуються для опису затухання шуму та його впливу на різні параметри. Ці формули можуть бути емпіричними або ґрунтуватися на фізичних законах та дослідженнях. Тому важливо проводити детальні дослідження та використовувати відповідні моделі для конкретних умов та ситуацій.

Модель затухання шуму від автомобільної дороги з урахуванням шумозахисного екрану, вологості повітря, температури повітря та швидкості вітру може бути представлена у вигляді наступної формули:

$$L = L_0 - 20\log_{10}(r) - \alpha d - \beta h - \gamma t - \delta v \quad (2.57)$$

де L - рівень шуму на певній відстані (в децибелах, dB);

L_0 - початковий рівень шуму від автомобільної дороги без будь-яких впливів (в децибелах, dB);

r - відстань від джерела шуму (в метрах, м);

d - відстань від джерела шуму до шумозахисного екрану (в метрах, м);

h - вологість повітря (у відсотках);

t - температура повітря (у градусах Цельсія);

v - швидкість вітру (у метрах за секунду, m/s);

α , β , γ , δ - коефіцієнти, що характеризують вплив кожного фактора (екрану, вологості, температури, вітру) на затухання шуму.

Значення коефіцієнтів α , β , γ , δ залежатимуть від конкретних умов і можуть бути визначені шляхом експериментальних вимірювань або за допомогою спеціальних модельних розрахунків, враховуючи характеристики шумозахисного екрану, властивості повітря та вітру.

Ця формула враховує затухання шуму зі зростанням відстані, вплив шумозахисного екрану, вологості повітря, температури повітря та швидкості вітру на рівень шуму. Проте, конкретні значення коефіцієнтів і підходи до моделювання можуть варіюватись в залежності від конкретної ситуації і обмежень моделі.

Об'єднуючі дві формули (2.57 та 2.61) - отримуємо остаточну математичну модель шумового навантаження від автомобільної дороги із врахуванням багатьох факторів та виражаємо її через Децибели за допомогою заміни звукової інтенсивності I на рівень звукового тиску L_p за формулою $L_p = 10\log_{10}(I/I_0)^2$, де I_0 - порівняльна звукова інтенсивність (для референсного значення звукового тиску зазвичай використовується $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м²):

$$L_p = 10\log_{10}((L_0 + 20\log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) /$$

$$/ (-20k \log_{10} e \cdot (a/r)^2 \cdot \sin^2(\theta)) / I_0)^2 \quad (2.62)$$

Далі, можемо використати властивості логарифмів, а саме:

$$\log_{10}(a/b) = \log_{10}(a) - \log_{10}(b) \text{ та } \log_{10}(a^2) = 2 \cdot \log_{10}(a) \quad (2.58)$$

щоб спростити формулу:

$$L_p = 10 \log_{10}((L_0 + 20 \log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) / I_0)^2 - 10 \cdot 2 \cdot \log_{10}(e) - 10 \log_{10}((a/r)^2) - 10 \log_{10}(\sin^2(\theta)) - 20 \cdot \log_{10}(k)$$

$$L_p = 20 \log_{10}((L_0 + 20 \log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) / I_0) - 43.4 - 20 \cdot \log_{10}(a/r) - 10 \cdot \log_{10}(\sin^2(\theta)) - 20 \cdot \log_{10}(k) \quad (2.59)$$

Отже, модель звукового тиску

$$I = (L_0 + 20 \log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) / (-20k \log_{10} e \cdot (a/r)^2 \cdot \sin^2(\theta)) \quad (2.60)$$

може бути виражена через рівень звукового тиску в децибелах (L_p) за формулою:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10}((L_0 + 20 \log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) / I_0) - 43.4 - 20 \cdot \log_{10}(a/r) - 10 \cdot \log_{10}(\sin^2(\theta)) - 20 \cdot \log_{10}(k) \quad (2.61)$$

У даній формулі, число 43.4 відповідає постійній, яка використовується для врахування деяких фізичних констант і перетворень одиниць у формулі для звукового тиску.

У цій формулі, використовується ряд фізичних величин і коефіцієнтів. Щоб краще зрозуміти значення числа 43.4 в контексті формули, давайте розглянемо окремі складові формули:

$20 \cdot \log_{10}((L_0 + 20\log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) / I_0)$ - це перший доданок у формулі і відповідає за розрахунок рівня звукового тиску. В цьому доданку використовується набір величин, які описують поширення звуку в середовищі.

$20 \cdot \log_{10}(a/r)$ - це другий доданок у формулі і відповідає за розрахунок ефекту зменшення звукового тиску залежно від відстані до джерела звуку.

$10 \log_{10}(\sin^2(\theta))$ - це третій доданок у формулі і відповідає за розрахунок впливу кута спостереження на звуковий тиск. Він використовує тригонометричну функцію синуса, щоб визначити цей вплив.

$20 \log_{10}(k)$ - це четвертий доданок у формулі і відповідає за розрахунок ефекту поглинання звуку середовищем.

Отже, число 43.4 є постійною, яка враховується для забезпечення правильних фізичних одиниць і констант у формулі.

Для проведення прикладного розрахунку за формулою $L_p = 20 \cdot \log_{10}((L_0 + 20\log_{10}(r) + \alpha d + \beta h + \gamma t + \delta v) / I_0) - 43.4 - 20 \cdot \log_{10}(a/r) - 10 \log_{10}(\sin^2(\theta)) - 20 \cdot \log_{10}(k)$, потрібно мати значення всіх вказаних величин (L , L_0 , r , α , d , β , h , γ , t , δ , v , I_0 , a , θ , k).

Для демонстрації прикладу, припустимо такі значення:

$L_0 = 75$ дБ (початковий рівень шуму від транспортного засобу);

$r = 30$ м (відстань від джерела шуму);

$\alpha = 0.5$ (коефіцієнт затухання звуку на одиницю відстані через атмосферу.

Його значення залежить від таких факторів, як вологість повітря, температура та інші.);

$d = 10$ м (довжина шумозахисного екрану);

$\beta = 0.3$ (коефіцієнт затухання шуму, який враховує вплив вологості повітря на затухання шуму. Значення β може змінюватися від 0 до 1, де 0 вказує на відсутність впливу вологості повітря, а 1 вказує на максимальний вплив);

$h = 3$ м (висота шумозахисного екрану);

$\gamma = 0.2$ (коефіцієнт затухання шуму, який враховує вплив температури повітря на затухання шуму. Значення γ може змінюватися від 0 до 1, де 0 вказує на відсутність впливу температури повітря, а 1 вказує на максимальний вплив);

$t = 25$ °С (температура повітря);

$\delta = 0.1$ (коефіцієнт затухання шуму, який враховує вплив швидкості вітру на затухання шуму. Значення δ може змінюватися від 0 до 1, де 0 вказує на відсутність впливу швидкості вітру, а 1 вказує на максимальний вплив);

$v = 10$ м/с (швидкість вітру);

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² (рівень інтенсивності звуку на початковій відстані. Може використовуватися як базове значення для порівняння з іншими значеннями інтенсивності звуку на різних відстанях);

$a = 7.5$ м (відстань від джерела шуму до шумозахисного екрану);

$\theta = 30^\circ$ (кута розташування точки спостереження відносно джерела шуму);

$k = 0.02$ (коефіцієнт затухання звуку, залежно від властивостей матеріалу, з якого зроблений екран).

$$L_p = 20 \cdot \log_{10}((75 + 20\log_{10}(30) + 0.510 + 0.33 + 0.225 + 0.110) / 10^{-12}) - 43.4 - 20 \cdot \log_{10}(7.5/30) - 10 \cdot \log_{10}(\sin^2(30)) - 20 \cdot \log_{10}(0.02)$$

$$L_p = 20 \cdot \log_{10}(2.82511 \times 10^{11}) - 43.4 - 20 \cdot \log_{10}(0.25) - 10 \cdot \log_{10}(0.25) - 20 \cdot \log_{10}(0.02)$$

$$L_p = 61.6 \text{ дБ}$$

Розраховуючи це вираз, отримаємо значення рівня звукового тиску L_p для заданих величин: $L_p = 61.6$ дБ

Отже, при заданих значеннях параметрів, рівень звукового тиску L_p буде дорівнювати 61.6 дБ. Зауважимо, що це лише приклад розрахунку, і натурні значення можуть відрізнятися в залежності від точних значень параметрів та їх взаємозв'язку а також експлуатаційних характеристик екранів та автомобільної дороги.

Висновки до розділу 2

Основними результатами, що викладені в даному розділі теоретичних досліджень стосовно математичних моделей та удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах можна вважати:

1. Розроблено математичну модель для оцінки транспортного шумового навантаження від автомобільних доріг від рухомого транспортного потоку на оточуюче середовище, що дозволило отримати метод оцінювання параметрів шумозахисних екранів який враховує комплекс факторів, а саме: конструктивні, геометричні параметри екрану, геометричні параметри дороги та зовнішні погодні фактори впливу.

2. Розроблені загальні схеми явища дифракції навколо шумозахисних екранів на автомобільних дорогах та мостах, що дозволило отримати аналітичні залежності та параметри акустичної ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування, що враховує технічний стан екранів;

3. Удосконалено метод з прогнозування акустичного забруднення автомобільними дорогами навколишнього середовища прийнято розрахунковий еквівалентний рівень звуку, що являється функцією шуму від інтенсивності транспортного потоку, який рухається з відповідною швидкістю по прямій дорозі, по дорожньому покриттю автомобільної дороги.

4. За основу методів прогнозування акустичного забруднення автомобільними дорогами навколишнього середовища прийнято розрахунковий еквівалентний рівень звуку, що являється функцією шуму від інтенсивності транспортного потоку, який рухається зі швидкістю 40 км/год по прямій дорозі з покриттям із дрібнозернистого асфальтобетону.

5. Обґрунтовані основні критерії, за якими можливо оцінювати транспортний шум від автомобільних доріг, а саме: тиск звуку, амплітуда, або гучність, частота, або тональність.

6. Результатами теоретичних досліджень встановлено, що в однакових умовах експлуатації сухих відрізків автомобільних шляхів, але з різними типами

покриття, формування шуму виникає по-різному. Різниця загального рівня шуму може досягати 7,5 дБа.

7. На основі проведених теоретичних досліджень виявлено, що загальний рівень шуму в придорожній смузі залежить, також від величини поздовжнього ухилу і середньої швидкості потоку, на який вносяться поправки.

8. Рішення хвильового рівняння акустичного випромінювання від джерел, що рухаються (транспортного потоку) дозволяє визначити: рівень шуму, коли рух транспорту здійснюється по довільній траєкторії; рівень акустичного забруднення на певній відстані від осі дороги при заданій рухомій системі координат, пов'язаній з джерелом звуку та дозволяє прогнозувати рівень акустичного забруднення.

Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [52, 54, 84, 88,] .

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА ДІЛЯНКАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

3.1. Експериментальні дослідження шумозахисних екранів на автомобільних дорогах

3.1.1. Програма експериментальних досліджень та характеристики шумозахисних екранів

Місця проведення вимірювань ефективності шумозахисних екранів (далі – ШЗЕ) були визначені на основі попередніх натурних обстежень, а саме, наближенням сельбищної території до автомобільної дороги.

Вимірювання шуму робились у відповідності до вимог [111] у суху погоду (без атмосферних опадів) та при сухій поверхні автомобільної дороги.

У кожній точці були зроблені наступні вимірювання:

– температури та вологості повітря, атмосферного тиску та швидкості руху повітря;

– шумових характеристик транспортного потоку (до ШЗЕ та на відстані 2 м після нього) і максимального та еквівалентного рівнів звуку на сельбищній території, яка наближена до автомобільної дороги. При цьому вимірювання проводилось за 2 м до огороження будинку, якщо воно є, або за 2 м до самого будинку за його відсутності на висоті 1,2–1,5 м від рівня поверхні території;

– інтенсивності руху і складу транспортного потоку. При цьому фіксувалися дані щодо:

– типу та стану покриття (наприклад, цементно бетонне чи асфальтобетонне покриття; дрібнозернистий, крупнозернистий тощо; стан задовільний чи є ямковість, колійність, відлущення щебеню від покриття тощо);

– кількості смуг руху;

- відстань від осі крайньої смуги руху (джерела шуму) до ШЗЕ;
- висоту ШЗЕ;
- кут нахилу стійок частини або ШЗЕ в цілому;
- стан ШЗЕ (наявність оцинкованого чи лакофарбового покриття, корозії на частинах ШЗЕ, перфорованих та прозорих частин екранів тощо);
- відстань від джерела шуму до точки вимірювання на сельбищній території;
- профілю автомобільної дороги у місці проведення вимірювань;
- напрямок вітру;
- наявність зелених насаджень;
- пошкодження ШЗЕ (при необхідності).

При наявності пошкодження ШЗЕ вимірювання проводились до його виявлення та безпосередньо на місці цього пошкодження за вищезазначеним алгоритмом. У випадках, якщо цих пошкоджень багато, вимірювання проводилися у місці найбільшого пошкодження, яке максимально унеможлиблює виконання екраном своїх захисних функцій і знаходилися на одному рівні з житловою забудовою.

Усі місця проведення досліджень, а також різні пошкодження ШЗЕ були сфотографовані. Дані вимірювання та схеми ділянок представлені у Протоколах проведення вимірювання (Додаток Е–І).

Загальні характеристики шумозахисних екранів (рис. 3.1), на яких проводилось вимірювання, що розміщені на автомобільній дорозі Київ-Чоп, мають наступні фізичні характеристики:

- матеріал, з якого виготовлені ШЗЕ – сталевий лист (перфорований), пластик (прозорий або напівпрозорий різних кольорів);
- висота екрану – від 2,5 м до 3,9 м (рис. 3.1);
- протяжність ШЗЕ – від 35 м до 555 м.



Рисунок 3.1 – Шумозахисні екрани на автомобільній дорозі Київ-Чоп

3.1.2. Методика та засоби експериментальних дослідження акустичної ефективності шумозахисних екранів

Вимірювання шуму транспортних потоків при застосуванні ШЗЕ здійснювалось згідно [111].

Обладнання для проведення вимірювань шуму транспортних потоків, наведено у табл. 3.1.

Слід зазначити, що перед проведенням вимірювань, апаратура перевірялась на працездатність (шумомір був прокалібрований). При цьому калібровка шумоміра здійснювалась до та після проведення вимірювання шуму згідно заводської інструкції по експлуатації.

Умови вимірювань. Місцем вимірювань обрані ділянки вулиць та доріг зі сталою швидкістю руху транспорту, розташовані на відстані не менше 50 метрів від перехресть, транспортних площ та зупинок громадського пасажирського транспорту.

Таблиця 3.1 – Перелік обладнання для вимірювання шуму від транспортних потоків

Найменування, тип, заводський	Параметри, що вимірюються	Діапазон вимірювань	Похибки вимірювань
1. Шумомір Октава 110А № АО60114	Шум	30–130 дБ (А)	± 1 дБ (А)
2. Електронна погодна станція типу WM-918, Заводський номер № 010	Температура повітря, відносна вологість, атмосферний тиск	(- 40 –0) °С (0–40) °С (25–40) % RH (40–80) % RH (80–90) % RH (795–1050) мбар	± 2 °С ± 1 °С ± 7 % RH ± 5 % RH ± 7 % RH ± 7 мбар
3. Анемометр крильчатий, АСО-3, зав. № 18345	Швидкість вітру	0,2–5,0 м/с	0,35 м/с
4. Рулетка, ЗПК3-20АУТ/1	Лінійні розміри	0–20 м	± 0,5 мм

Вимірювання були проведені при умові, що поверхня проїжджої частини вулиць і автомобільних доріг була чистою та сухою.

Час проведення вимірювання був встановлений в періоди максимальної інтенсивності руху транспортних потоків.

Вимірювання проводились під час відсутності атмосферних опадів та при швидкості вітру менше 5 м/сек. При швидкості вітру більше 1 м/с до 5 м/с застосовувався ковпак для захисту вимірювального мікрофону від вітру.

При проведенні вимірювання шуму була врахована дія вібрації, магнітних та електричних полів, радіоактивного випромінювання та інших несприйнятих факторів, що впливають на результати вимірювання, згідно інструкцій по експлуатації приладів [111].

Методика вимірювань. При проведенні вимірювання шумової характеристики транспортного потоку, до складу якого входили легкові і вантажні автомобілі, автопоїзди, автобуси (далі – автомобілі) вимірювальний мікрофон розташовувався на тротуарі або обочині на відстані $(7,5 \pm 0,2)$ м від осі найближчої до точки вимірювання смуги або шляху руху транспортного засобу на висоті $(1,5 \pm 0,1)$ м від рівня покриття проїжджої частини.

В умовах щільної забудови вимірювальний мікрофон розташовувався на відстані меншій 7,5 м від осі найближчої до точки вимірювання смуги або шляху руху транспортного засобу, але не ближче 1 м від стін споруд, безперервних парканів та інших споруд або елементів рельєфу, які відбивають звук.

У випадку розташування вулиці або дороги у виїмці вимірювальний мікрофон встановлювався на бровці виїмки на висоті $(1,5 \pm 0,1)$ м від рівня землі.

Вимірювальний мікрофон був направлений в сторону транспортного потоку. Оператор, який проводив вимірювання, знаходився на відстані не менше ніж 0,5 м від вимірювального мікрофону.

Перемикач частотної характеристики вимірювальної апаратури під час проведення вимірювання рівнів звуку був встановлений в положення «А», а перемикач часової характеристики – в положення згідно інструкції по експлуатації приладів [111].

Щоб отримати шумові характеристики транспортного потоку, який складався з автомобілів та мотоциклів, було виміряно проїзд не менше 200 транспортних засобів в обох напрямках.

Значення рівнів звуку зчитувались з монітору шумоміру з точністю 0,5 дБА.

Рівні звуку завод, що створювався сторонніми джерелами шуму в період вимірювання шумової характеристики транспортного потоку, були не менше ніж на 20 дБА нижче рівнів під час проходження перед вимірювальним мікрофон транспортних засобів, включаючи завади.

Одночасно з вимірюванням шумової характеристики транспортного потоку визначався його склад та інтенсивність руху.

Обробка та оформлення результатів вимірювання. Результати вимірювання шумової характеристики транспортного потоку та дані про його склад, інтенсивність та швидкості руху наведені у формі протоколу (Додатки Е–І). Еквівалентний рівень звуку транспортного потоку, до складу якого можуть входити автомобілі та мотоцикли під час проведення вимірювання шумоміром визначалися згідно з рекомендованим додатком (Додаток А).

3.1.3. Методика вимірювання шуму на сельбищній території при застосуванні шумозахисних екранів

Вимірювання шуму на сельбищній території при застосуванні ШЗЕ здійснювалися згідно [111].

Постійний шум оцінювався рівнем звуку L_A , дБА. Непостійний (той, що коливається в часі, переривчастий та імпульсний) шум оцінювався еквівалентним рівнем звуку $L_{A\text{екв}}$, дБА (Додаток Б).

Вимірювання шуму на сельбищній території проводилось на висоті 1,2–1,5 м від рівня поверхні майданчиків.

При проведенні вимірювання шуму апаратура не підлягала дії вібрації, магнітних і електричних полів, радіоактивного випромінювання та інших заважаючих факторів, що впливають на результати вимірювання.

Для вимірювання шуму транспортних потоків застосовувалася апаратура, наведена в табл. 3.1.

При проведенні вимірювань шуму мікрофон встановлювався у напрямку основного джерела шуму на відстані не менше ніж 0,5 м від оператора, який проводив вимірювання.

Перемикач частотної характеристики шумоміру при проведенні вимірювань рівнів звуку був встановлений в положення “А”.

Значення рівнів звуку відраховувався по шкалі шумоміра з точністю до 0,5 дБ А.

Тривалість вимірювання непостійних шумів в кожній точці була не менше 30 хв.

За результатами отриманих даних визначалося середнє значення октавних рівнів звукового тиску і рівнів звуку постійних шумів у кожній точці і для даного майданчика. Де середнє значення рівнів звукового тиску визначалося згідно з додатком В.

Еквівалентні рівні звуку переривчастих шумів, рівні звуку яких залишалися постійними в інтервалах, що величини яких менше 0,5 хв, а також тих, що

коливається з часом, та імпульсних шумів у кожній точці визначалися згідно з додатком Г.

Еквівалентні рівні звуку переривчастих шумів, рівні звуку яких залишалися постійними в інтервалах, величиною 0,5 хв і більше, в кожній точці визначалися згідно з додатком Д.

Середнє значення еквівалентних рівнів звуку переривчастих, тих, що коливаються з часом, та імпульсних шумів для даного майданчика визначалися згідно додатку В.

3.2. Вимірювання шумових характеристик транспортного потоку та шуму на сельбищній території на 238 км автомобільної дороги Київ-Чоп

Вимірювання шумових характеристик транспортного потоку були проведені на 238 км автомобільної дороги Київ-Чоп з метою визначення ефективності шумозахисних екранів, що наведені на рис. 3.1. Результати проведених вимірювань наведені в додатку Е - Ж.

У результаті вимірювань було встановлено, еквівалентний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 88,6 дБА, а максимальний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 103,9 дБА. Також було встановлено, що еквівалентний рівень звуку на відстані 2,4 м за шумозахисним екраном становить 70,7 дБА, а максимальний рівень звуку на відстані 2,4 м за шумозахисним екраном становить 89,8 дБА. З усього вищесказаного можна зробити висновок, що акустична ефективність даного екрану становить приблизно 16–18 дБА.

Вимірювання шуму на сельбищній території були проведені на 238 км автомобільної дороги Київ-Чоп з метою визначення рівня шуму біля житлового будинку в місці встановлення ШЗЕ. Процес вимірювань наведено на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Вимірювання транспортного шуму перед шумозахисним екраном на 238 км автомобільної дороги Київ-Чоп

Було встановлено, що еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) – 74,4 дБА, а максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) – 78,0 дБА (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Визначення рівня шуму біля житлового будинку в місці встановлення шумозахисного екрану

Вимірний еквівалентний рівень шуму на відстані 2 м від житлової забудови не відповідає встановленому нормативному рівню шуму згідно ДСП від 19.06.1996 р. № 173 для житлової забудови в денний час з 7:00 до 23:00.

На відстані 19,5 м від існуючої автомобільної дороги та на відстані 2 м до житлової забудови: вимірний еквівалентний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на 19,4 дБА; вимірний максимальний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на 8,0 дБА.

3.3. Експериментальні вимірювання шумових характеристик транспортного потоку та шуму на 157 км автомобільної дороги Київ-Чоп

Аналогічно попереднім вимірюванням були проведені вимірювання на 157 км автомобільної дороги Київ-Чоп (с. Березівка). Процес вимірювання шуму наведено на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Вимірювання транспортного шуму перед ШЗЕ на 157 км автомобільної дороги Київ-Чоп (с. Березівка)

Результати проведених вимірювань наведені в додатку 3 - І.

У результаті вимірювань було встановлено, що еквівалентний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном (рис. 3.4) становить 86,7 дБА, а максимальний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 99,8 дБА.

Також було встановлено, що еквівалентний рівень звуку на відстані 2,0 м за шумозахисним екраном становить 72,8 дБА, а максимальний рівень звуку на відстані 2,0 м за шумозахисним екраном становить 90,8 дБА.

З усього вищесказаного можна зробити висновок, що акустична ефективність даного шумозахисного екрану становить приблизно 14–15 дБА.

Вимірювання шуму на сельбищній території були проведені на 157 км автомобільної дороги Київ-Чоп з метою визначення рівня шуму біля житлового будинку в місці встановлення ШЗЕ (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Вимірювання шуму на відстані 2 м від житлової забудови

Було встановлено, що еквівалентний рівень звуку на території прилеглої до житлової забудови (2 м від паркану) становить 72,2 дБА, а максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) становить 90,1 дБА.

Вимірний еквівалентний рівень шуму на відстані 2 м від житлової забудови не відповідає встановленому нормативному рівню шуму згідно ДСП від 19.06.1996 р. № 173 для житлової забудови в денний час з 7:00 до 23:00.

На відстані 7,5 м від існуючої автомобільної дороги та на відстані 2 м до житлової забудови (паркану): вимірний еквівалентний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на 17,2 дБА, вимірний максимальний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на 20,1 дБА.

3.4. Аналіз характеристик шумозахисних екранів на автомобільних дорогах Київської, Житомирської, Волинської, Рівненської, Львівської та Луганської областей

Результати експериментальних вимірювань акустичної ефективності шумозахисних параметрів екранів, що розташовані на автомобільних дорогах Київської, Житомирської, Волинської, Рівненської, Львівської та Луганської областей наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних вимірювань характеристик шумозахисних екранів

№п/п	Назва служби автомобільних доріг	Ділянка автомобільної дороги з ШЗЕ, км	Протя-жність ШЗЕ, м	Екв. рівень шуму перед ШЗЕ, дБА	Екв. рівень шуму на відстані 2 м за ШЗЕ, дБА	Абсолют на ефективність, дБА
1	САД у Волинській області	М-07 а/д Київ-Ковель-Яготин 487+872 – 487+908 ліво				
		488+554 – 488+856 ліво	312	86	71	15

		490+226 – 490+260 ліво	34	86	74	12	
		усього	427			-	
2	САД Житомирській області (право)	у	237+920 – 238+685	765	87	71	16
			238+740 – 238+780	40	84	72	12
			238+830 – 238+880	50	86	74	12
			239+375 – 239+450	75	86	73	13
			239+520 – 239+580	60	85	72	13
			239+610 – 239+670	60	85	72	13
			239+680 – 239+740	60	86	73	13
			239+870 – 239+930	60	84	71	13
			246+920 – 247+020	100	85	70	15
			247+040 – 247+110	70	85	71	14
			247+190 – 247+150	60	86	72	13
			247+260 – 247+315	55	86	74	12
			247+780 – 247+840	60	86	74	12
			247+850 – 247+885	35	84	73	11
			248+210 – 248+325	115	84	70	14
			248+345 – 248+390	45	85	73	12
			248+470 – 248+520	50	86	74	12
			248+560 – 248+650	90	84	69	15
			248+665 – 248+715	50	84	72	12
			248+722 – 248+920	198	86	70	16
			248+990 – 249+090	100	86	71	15
			250+096 – 250+180	84	85	71	14
			250+220 – 250+500	280	86	70	16
			250+650 – 251+420	770	85	69	16
			251+530 – 251+590	60	84	72	12
	САД Житомирській області (ліво)	у	247+010 – 247+110	100	84	69	15
			247+130 – 247+230	100	85	70	15
			247+440 – 247+500	60	85	73	12
			247+977 – 248+010	33	85	74	11
			248+420 – 248+750	330	86	71	15
			усього	4015			
3	САД у Київській області		На балансі немає. Але встановлені на а/д Київ-Чоп 49+500 – 49+700 право	200	85	70	15
			усього	200			
4	САД у Луганській області		М-04, Знам'янка-Луганськ-Із варино (на шляхопроводі в селищі Розкішне): 599+ 767 право	70	85	71	14
			599+767 ліво	70	85	72	13
			усього	140			
5	САД у Львівській області		466-467	200	86	71	15

6	САД у Рівненській області (право)	261+527,1 – 261+598	70,9	85	71	14
		274+540 – 274+610	70	84	70	14
		285+215 – 285+275	60	86	73	13
		285+485 – 285+550	65	85	73	12
		288+320 – 288+400	80	86	73	13
		288+655 – 288+980	325	86	71	15
		289+110 – 289+210	100	86	70	15
		289+350 – 289+430	80	85	71	14
		289+110 – 289+210	100	84	69	15
		289+500 – 289+675	175	85	69	16
		296+950 – 297+130	180	86	71	15
		297+180 – 297+230	50	86	74	12
		297+320 – 297+695	375	86	71	15
		297+730 – 297+910	180	85	69	16
		297+995 – 298+460	465	86	70	16
		300+500 – 300+560	60	86	74	12
		301+738 – 301+815	77	84	71	13
		306+850 – 306+905	55	85	73	12
		306+925 – 306+960	35	85	74	11
		307+000 – 307+070	70	85	73	12
		315+200 – 315+260	60	86	74	12
		315+300 – 315+480	180	86	71	15
		315+580 – 315+840	260	86	70	16
		315+940 – 316+010	70	87	74	13
		316+760 – 316+860	100	85	70	15
		317+260 – 317+530	270	85	69	16
		318+700 – 318+820	120	86	71	15
		319+230 – 319+360	130	86	71	15
		320+100 – 320+195	95	86	72	14
		320+620 – 320+763	143	87	72	15
		322+500 (напрямок Рівне-Київ 0+154 – 0+224)	70	86	73	13
		322+500 (напрямок Рівне-Київ 1+050 – 1+136)	86	86	72	14
	398+248 – 398+286	48	86	74	12	
САД у Рівненській області (ліво)	261+750 – 261+830	80	85	72	13	
	296+780 – 296+980	200	86	71	15	
	297+595 – 297+790	195	85	69	16	
	297+850 – 297+910	60	86	75	11	
	298+030 – 298+090	60	86	75	11	
	314+700 – 314+930	230	86	71	15	
	315+600 – 316+155	555	86	70	16	
	315+240 – 315+470	230	87	72	15	
	315+470 – 315+530	60	85	74	11	
	320+290 – 320+460	170	85	70	15	
	363+440 – 363+473	35	85	74	11	

		363+488 – 363+542	54	86	75	11
		363+551 – 363+612	61	86	75	11
		363+620 – 363+659	39	86	75	11
		усього	6313,9			
7	САД у Харківській області	М-29, а/д Харків-Краснодар-Перещепине 50+6665 – 50+866 ліво (с. Венники)	201	86	71	15
		усього	201			

Аналіз результатів експериментальних досліджень характеристик шумозахисних екранів

Проведений аналіз характеристик ШЗЕ дав можливість встановити, що ШЗЕ є необхідним засобом боротьби з транспортним шумом, оскільки мають високу акустичну ефективність (на відстані 2 м): 11 – 16 дБА. Крім цього ШЗЕ мають естетичний вигляд, особливо ті, в яких вмонтовано прозору частину (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – ШЗЕ з прозорою частиною (157 км, с. Березівка, Київська обл.)

Також слід зазначити, що ШЗЕ мають і негативні сторони, а саме матеріал, з якого виготовлені ШЗЕ, пластик, є недовговічним. Через 5 років експлуатації ШЗЕ з

даного матеріалу отримують значні пошкодження внаслідок дії довкілля: ультрафіолетових променів; високої та низької температури; температурних перепадів та снігового покриву на вигнутих верхніх частинах ШЗЕ.

Дані пошкодження проявляються у вигляді вигинання (рис. 3.7), розривів (рис. 3.8) та проломів (рис. 3.9-3.10), що призводить до зменшення акустичної ефективності та втрати естетичного вигляду. Такі пошкодження мають масовий характер і говорять про недовговічність матеріалу.



Рисунок 3.7 – Вигинання ШЗЕ під дією негативних впливів довкілля (238 км, Житомирська обл.)



Рисунок 3.8 – Розриви ШЗЕ під дією негативних впливів довкілля
(238 км, Житомирська обл.)



Рисунок 3.9 – Проломи ШЗЕ під дією негативних впливів довкілля
(315 км, Рівненська обл.)



Рисунок 3.10 – Проломи ШЗЕ під дією негативних впливів довкілля
(315 км, Рівненська обл.)

Також додатковим недоліком пластика є його низькі антивандальні властивості.

У результаті обстежень встановлено, що ШЗЕ не були виконані по всій необхідній довжині. У деяких випадках це було неможливо за технічних причин (наявність доріг (рис. 3.11), у деяких випадках довести ШЗЕ до кінця було можливо, але за невідомих причин не було виконано (рис. 3.12–3.13).



Рисунок 3.11 – Немоżliвість повністю захистити об'єкти за допомогою ШЗЕ через наявність бокової дороги (157 км, с. Березівка, Київська обл.)



Рисунок 3.12 – Не повністю захищений об'єкт (житлова хата) шумозахисним екраном при реальній можливості здійснити цей захист (217 км, Київська обл.)



Рисунок 3.13 – Не повністю захищений об'єкт (житлова хата) шумозахисним екраном при реальній можливості здійснити цей захист (217 км, Київська обл.)

Дуже часто нижня частина ШЗЕ не мала щільного контакту з опорною поверхнею, утворюючи зазор висотою 15–25 см по всій довжині ШЗЕ (рис. 3.14-3.15). Цей зазор робиться з метою протоку дощових вод.



Рисунок 3.14 – Наявність зазору між ШЗЕ і опорною поверхнею, що призводить до зниження акустичної ефективності ШЗЕ (217 км, Київська обл.)



Рисунок 3.15 – Наявність зазору між ШЗЕ і опорною поверхнею, що призводить до зниження акустичної ефективності ШЗЕ (217 км, Київська обл.)

Встановлено, що наявність зазору приводить до помітного (1–6 дБА) зниження акустичної ефективності ШЗЕ.

Виконання стічного отвору «класичним» способом приводить до помітного (1–5 дБА) зменшення акустичної ефективності ШЗЕ в районі 3–6 м біля даного отвору (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Виконання стічного отвору у ШЗЕ

У місцях розвороту автомобілів на автомагістралях не передбачено збільшення відстані ШЗЕ від магістралі, у результаті чого довгомірні транспортні засоби під час розвороту руйнують ШЗЕ (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Зруйнований довгомірними автотранспортними засобами ШЗЕ в місці розвороту автомобілів

Різниця між теоретичними (за формулою) і практичними значеннями вимірювань складає в середньому

Наприклад, значення при натурному вимірюванні становлять:

Таблиця 3.3 – Порівняння теоретичних результатів з результатами експериментальних вимірювань характеристик шумозахисних екранів

№п/п	Назва служби автомобільних доріг	Ділянка автомобільної дороги з ШЗЕ, км	Екв. рівень шуму перед ШЗЕ, дБА	Розрахунковий рівень шуму на відстані 2м за ШЗЕ, дБа	Екв. рівень шуму на відстані 2 м за ШЗЕ, дБА	Різниця натурних та теоретичних результатів в %
1	САД Волинській області	488+554 – 488+856 ліво	86	71,9	71	1,27
		490+226 – 490+260 ліво	86	71,9	74	2,84
2	САД Житомирській області (право)	237+920 – 238+685	87	72,1	71	1,55
		238+740 – 238+780	84	70,8	72	1,67
		238+830 – 238+880	86	71,9	74	2,84
		239+375 – 239+450	86	71,9	73	1,51

		239+520 – 239+580	85	71,2	72	1,11
		239+610 – 239+670	85	71,2	72	1,11
		239+680 – 239+740	86	71,9	73	1,51
	САД у Житомирській області (ліво)	247+010 – 247+110	84	70,8	69	2,61
		247+130 – 247+230	85	71,2	70	1,71
		247+440 – 247+500	85	71,2	73	2,53
		247+977 – 248+010	85	71,2	74	3,93
		248+420 – 248+750	86	71,9	71	1,27
3	САД у Київській області	На балансі немає. Але встановлені на а/д Київ-Чоп 49+500 – 49+700 право	85	71,2	70	1,71
		Середня різниця , %	-	-	-	1,94

Щодо визначення акустичної ефективності ШЗЕ можна відмітити наступне: немає чіткої методики визначення даної ефективності шумозахисних екранів із пошкодженнями.

Експлуатаційні пошкодження шумозахисних екранів можуть виникати внаслідок різних факторів. Ось деякі з них:

Механічні ушкодження: Неправильне використання, удари, зіткнення транспортних засобів або об'єктів можуть призвести до фізичного пошкодження шумозахисних екранів. Наприклад, тріщини, лушення або обриви в матеріалі екрану.

Корозія: Шумозахисні екрани, викладені металевими матеріалами, можуть піддаватися корозії під впливом атмосферних умов, таких як вологість, дощ, сніг, сіль або хімічні речовини. Корозія може призвести до зниження міцності та інтегритету екрану.

Ураження природними факторами: Погодні умови, такі як сильний вітер, бурі, град або землетруси, можуть призвести до пошкоджень шумозахисних екранів. Наприклад, зламані панелі або пошкодження кріплення.

Вікове зношення: По ходу експлуатації шумозахисних екранів відбувається природне старіння матеріалів, що може призвести до зниження їх якості і міцності. Це може включати тріщини, розшарування, окислення або втрату еластичності.

Недбале обслуговування: Неправильне або недостатнє обслуговування шумозахисних екранів може сприяти їх пошкодженню. Наприклад, відсутність

регулярного очищення від бруду, пилу, листя або інших забруднень може призвести до затримки вологи та утворення корозії.

3.5. Рекомендації щодо підвищення ефективності шумових характеристик існуючих екранів на автомобільних дорогах

У результаті проведених експериментальних досліджень та обстежень шумозахисних екранів на автомобільних дорогах України, запропоновано ряд рекомендацій щодо усунення недоліків існуючих шумозахисних екранів, а саме:

1. Перевірка стану і якості існуючих екранів: Періодичне оцінювання стану і ефективності шумозахисних екранів. Впевніться, що вони не пошкоджені, не мають тріщин або прогалин, які можуть знизити їх звукоізоляційні властивості.

2. Необхідно застосовувати матеріал для ШЗЕ, який буде значно стійкішим до негативного впливу довкілля та мати значно вищі антивандальні властивості.

3. ШЗЕ мають виконуватися раціонально, тобто за можливістю повинні максимально геометрично відокремлювати захищений об'єкт від джерел шуму.

4. ШЗЕ по всій своїй довжині не повинні мати штучно створених щілин, отворів тощо, які є потужними джерелами вторинного шуму.

5. Стічний отвір повинен мати спеціальний клапан, який би не пропускав шум.

6. В місцях розвороту автомобілів на автомагістралях необхідно передбачити збільшення відстані ШЗЕ від магістралі, що не допустить руйнування ШЗЕ довгомірними транспортними засобами під час розвороту.

Аналіз вищевказаних недоліків ШЗЕ показав, що найбільшим з них є неякісний матеріал, з якого виготовляють ШЗЕ, оскільки він руйнується під впливом довкілля та має низький антивандальний рівень.

Для запобігання експлуатаційним пошкодженням шумозахисних екранів і збереження їх ефективності рекомендується вживати наступні заходи:

1. Регулярне обслуговування: Треба забезпечувати регулярне очищення шумозахисних екранів від бруду, пилу, листя та інших забруднень. Використовуйте відповідні засоби та методи чистки, які не пошкоджують матеріал екрану.

2. Перевірка механічного стану: Регулярно оглядайте шумозахисні екрани на наявність механічних пошкоджень, таких як тріщини, лушення або обриви. При виявленні пошкоджень, вчасно вживайте заходів для їх ремонту або заміни.

3. Захист від корозії: Якщо шумозахисні екрани викладені металевими матеріалами, застосовувати заходи для запобігання корозії. Це може включати застосування антикорозійних покриттів, регулярне обстеження на наявність корозії та своєчасний ремонт пошкоджень.

4. Перевірка кріплення: Регулярно перевіряти стан кріплення шумозахисних екранів. Впевніться, що всі кріпильні елементи надійно закріплені і не пошкоджені. При необхідності вживайте заходів для підсилення або заміни кріплення.

5. Виконання ремонтних робіт: У разі виявлення пошкоджень шумозахисних екранів, негайно вживати заходів для їх ремонту або заміни. Ремонт слід проводити кваліфікованими фахівцями з дотриманням відповідних норм і стандартів.

6. Моніторинг та оцінка ефективності: Регулярно проводить моніторинг та оцінку ефективності шумозахисних екранів. Виконуйте вимірювання рівнів шуму перед та після встановлення екранів, щоб оцінити їх вплив на зниження шуму. Якщо виявляється зниження ефективності екранів або поява нових пошкоджень, необхідно вжити відповідних заходів для відновлення їх функціональності.

7. Навчання та свідоме використання: Навчайте користувачів, як правильно використовувати і доглядати за шумозахисними екранами. Заохочуйте їх до дбайливого ставлення до екранів та повідомляйте про можливі наслідки неправильного використання або пошкоджень.

8. Реагування на виявлені проблеми: Якщо виявляються будь-які проблеми з експлуатаційними пошкодженнями шумозахисних екранів, необхідно вжити

негайних заходів для їх вирішення. Це може включати ремонт, заміну чи покращення системи шумозахисту.

Загальний підхід полягає в тому, щоб постійно відстежувати стан шумозахисних екранів, проводити регулярне обслуговування та при необхідності вживати вчасних заходів для запобігання та виправлення експлуатаційних пошкоджень.

9. Моніторинг шумового середовища: Важливо проводити постійний моніторинг шумового середовища навколо шумозахисних екранів. Це допоможе виявити будь-які зміни в рівнях шуму та вчасно реагувати на них. Використовуйте спеціалізовану апаратуру для вимірювання шуму і систему збору даних, щоб забезпечити точні і об'єктивні результати.

10. Взаємодія зі стейкхолдерами: Залучайте всіх зацікавлених сторін, таких як місцеві жителі, організації з охорони довкілля та транспортні компанії, до процесу моніторингу та оцінки ефективності шумозахисних екранів. Це дозволить виявити проблемні зони та спільно шукати рішення для зменшення шуму та поліпшення якості середовища.

11. Технічне вдосконалення: Слід постійно вдосконалювати технології та матеріали, використовувані для виготовлення шумозахисних екранів. Досліджуйте нові інноваційні рішення, щоб забезпечити їх більшу ефективність у зниженні шуму та довговічність.

12. Взаємодія з владою: Працюйте спільно з місцевими органами влади та іншими регуляторними органами для розробки та впровадження ефективних політик і стандартів з шумозахисту. Посильте свої знання та досвід, щоб сприяти прийняттю правильних рішень у сфері шумозахисту.

13. Регулярний технічний огляд: Проводіть регулярний технічний огляд шумозахисних екранів, щоб виявляти можливі пошкодження, знос і несправності. Заплануйте періодичні перевірки стану конструкції, стійкості, фіксації та інших елементів, щоб вчасно виявляти та усувати проблеми.

14. Ремонт та заміна: У разі виявлення пошкоджень або зносу, негайно проводьте ремонт або заміну пошкоджених елементів шумозахисних екранів. Дотримуйтеся встановлених процедур та вимог щодо якості матеріалів та виконання робіт, щоб забезпечити ефективну роботу екранів.

15. Запобіжні заходи: Приділяйте увагу запобіжним заходам для запобігання пошкодженням шумозахисних екранів. Наприклад, встановлюйте бар'єри для запобігання вандалізму, обмежуйте доступ до областей, де розташовані екрани, та забезпечувати належну охорону.

16. Контроль за довкіллям: Важливо здійснювати контроль за довкіллям, особливо в областях, де розташовані шумозахисні екрани. Слід виявляти потенційні джерела забруднення та шуму, які можуть впливати на ефективність екранів, і вживати заходів для їх зменшення або ліквідації.

17. Навчання та свідомість: Забезпечувати навчання персоналу та власників про правильне використання, обслуговування та моніторинг шумозахисних екранів. Підвищуйте свідомість про важливість шумозахисту та користі, які вони приносять, щоб залучити більше людей до активної участі у моніторингу шумової безпеки навколишнього середовища.

18. Дослідження та інновації: Долучайтеся до дослідницьких проєктів та інноваційних розробок у галузі шумозахисту. Співпрацювати з університетами, науковими установами та іншими організаціями для пошуку нових технологій та методів, які забезпечують ще кращий шумозахист.

19. Спільнота та комунікація: Забезпечувати відкриту комунікацію з місцевою спільнотою та зацікавленими сторонами щодо шумозахисних екранів. Проводьте громадські зустрічі, інформуйте про роботу та плани щодо шумозахисту, враховуйте думку та побажання громадськості.

20. Постійне вдосконалення: Не зупиняйтеся на досягнутому, а постійно працюйте над вдосконаленням шумозахисних екранів. Вивчати досвід інших проєктів, аналізувати результати та реагувати на виклики, що виникають у процесі експлуатації.

21. Взаємодія з виробниками: Підтримуйте активну взаємодію з виробниками шумозахисних екранів. Поділяйте свої враження та вимоги щодо якості, надійності та ефективності продукції, співпрацюйте у напрямку постійного вдосконалення матеріалів та конструкцій.

Ці кроки допоможуть забезпечити ефективне функціонування шумозахисних екранів та підвищити якість довкілля, зменшуючи шум та покращуючи життя мешканців.

3.6. Розробка шумопоглинаючої конструкції екрану із покращеними параметрами шумозахисту і міцності

Пропонується шумопоглинаючу конструкцію згідно вимог [112, 113] – це конструкція, що складається з металевого (сталевого) листа 1 та листового скла 2 (рис. 3.18). Також для надання естетичного вигляду використовується плівка з малюнком 3.

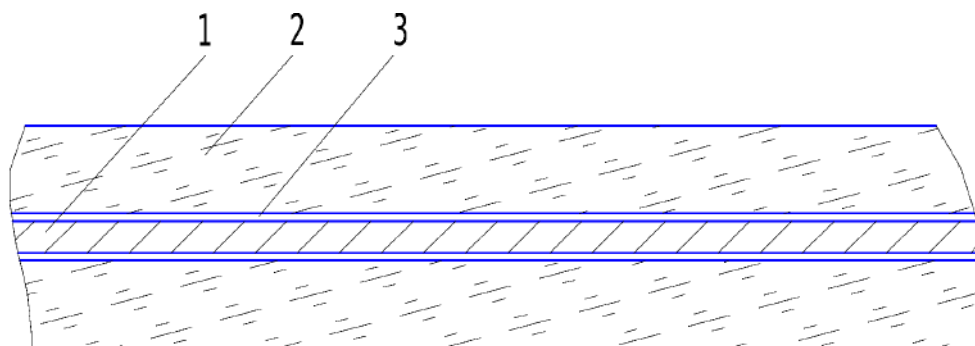


Рисунок 3.18 – Конструкція шумопоглинаючого сендвіч-екрану (поперечний переріз): 1 – сталевий лист; 2 – листове скло; 3 – плівка з малюнком

Скло в даній конструкції знаходиться зовні та захищає від негативних впливів довкілля: ультрафіолетового випромінювання, температурних перепадів, дощу, снігу тощо.

Високі акустичні властивості забезпечуються за рахунок унікальних акустичних властивостей скла. Скло поглинає звукову енергію у широкому діапазоні частот, і що особливо важливо – навіть в області низьких частот.

При цьому акустичні властивості не залежать від впливу довкілля: пилю, снігу, вологи. Вся конструкція екрану має високі звукоізоляційні властивості. Поєднання обох цих властивостей (звукопоглинаючі та звукоізоляційні) дає можливість цьому екрану ефективно захищати людей (перш за все мешканців житлових будинків) від транспортного шуму (перш за все автомобільного).

Згідно [114], скло має коефіцієнти звукопоглинання (КЗП) в залежності від частоти, Гц, що наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.4 – Коефіцієнт звукопоглинання (КЗП) поглиначів із різних конструкційних матеріалів

Поглинач	КЗП у залежності від частоти, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Скло ординарне	0,30	0,42	0,50	0,50	0,50	0,51	0,52
Бетонна поверхня	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,07

Більш того, для порівняння в табл. 3.3 представлені КЗП такого широко вживаного (при створенні шумозахисних споруд) матеріалу як бетон. Очевидно, що за КЗП бетон принципово уступає склу.

У табл. 3.4 надано звукоізоляційні характеристики одностінних конструкцій [109]. Для порівняння подано такі матеріали як сталь і залізобетон. Звукоізоляція матеріалу в 20 дБ є достатньою, а тому збільшувати товщину матеріалу надалі, лише для покращення його звукоізоляційних властивостей, є економічно і конструктивно недоцільно.

Стосовно недоліку, що пов'язаний з підняттям екранів над опорною поверхнею, то в даному випадку можна рекомендувати наступне. Стоки для дощових вод виконувати згідно шумозахисного екрану наведеного на рис. 3.16, з тією лише різницею, що отвір в екрані повинен мати спеціальний шумоізолюючий клапан.

Таблиця 3.5 – Звукоізоляція одностінних конструкцій, дБ

Матеріал	Товщина, мм	Маса 1 м ² полотнища, кг	Частоти октавних смуг, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Скло	3,0	7,5	14	18	22	26	30	34	29	38

	5,0	12,5	17	21	25	29	33	30	36	41
Залізобетон	20,0	52,0	27	31	36	40	35	41	45	49
Сталь	1,0	7,8	12	16	20	24	29	33	36	34
	2,0	15,6	16	20	24	29	33	36	34	34

Особливістю конструкції такого клапана є те, що він повинен мати сендвічну конструкцію, яка дозволить при невеликій щільності (щоб дощова вода вільно його відкривала) мати високі звукоізолюючі властивості. Це може бути досягнуто шляхом правильного підбору матеріалів.

Висновки до розділу 3

За результатами роботи, наведеними в даному розділі можна зробити наступні висновки:

1. Експериментально отримали параметри акустичної ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування із врахуванням технічного стану екранів.

2. У результаті експериментальних вимірювань шумового навантаження від транспортного потоку на 238 км автомобільної дороги Київ-Чоп встановлено, що еквівалентний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 88,6 дБА, а максимальний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 103,9 дБА. Також було встановлено, що еквівалентний рівень звуку на відстані 2,4 м за шумозахисним екраном становить 70,7 дБА, а максимальний рівень звуку на відстані 2,4 м за шумозахисним екраном становить 89,8 дБА.

3. Встановлено, що еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) становить 74,4 дБА, а максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) становить 78,0 дБА. Розбіжність результатів знаходиться в межах 12%, при рівні довірчої вірогідності 0,95.

4. Встановлено, що вимірний еквівалентний рівень шуму на відстані 2 м від житлової забудови не відповідає встановленому нормативному рівню шуму для житлової забудови в денний час доби з 7:00 до 23:00.

5. Доведено справедливість та точність математичної моделі затухання шумової хвилі від автомобільної дороги з урахуванням шумозахисного екрану та зовнішніх факторів. Доведено, що розбіжність з натурними вимірами становить в середньому 1,94 % за рахунок пошкодження екранів, некоректного монтажу, або проектування, а також мінливими погодними умовами під час вимірів тощо.

6. Доведено, що основними пошкодженнями шумозахисних екранів в умовах експлуатації є вигинання, розриви, втрата форми екранів, що призводить до втрати акустичних властивостей екрану. І так, встановлено, що наявність зазору між екранами призводить до зниження акустичної ефективності ШЗЕ на 1–6 дБА.

7. Експериментальні дослідження показали, що виконання стічного отвору у шумозахисному екрані призводить до зменшення акустичної ефективності шумозахисного екрану в районі 3–6 м біля даного отвору на 1–5 дБА.

Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [32, 33, 52, 54, 57, 86, 88].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ШУМОЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ УКРАЇНИ

4.1. Загальні положення проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах

При плануванні ШЗС на автомобільних дорогах необхідно враховувати можливе перевищення або потенційне перевищення еквівалентних і максимальних рівнів шуму над допустимими значеннями на територіях сільськогосподарського призначення, місцях масового відпочинку, санаторно-курортних та природоохоронних зонах. Критеріями для визначення шумового навантаження слід враховувати зростання інтенсивності руху транспорту та його склад.

Необхідно забезпечувати планування та будівництво селищних територій міст і інших населених пунктів, проєктування будівель і споруд різного призначення відповідно до вимог "Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів" [36, 55, 57, 115, 116] та інших нормативних документів та законодавчих актів України з урахуванням заходів щодо захисту людей від шкідливого впливу шуму. Аналіз та оцінка акустичного режиму, а також розробка заходів захисту від шуму повинна проводитись на всіх етапах проєктування, будівництва, реконструкції та експлуатації автомобільних доріг і мостів.

Кількісну оцінку акустичного режиму потрібно здійснювати на підставі даних інструментальних вимірювань для об'єктів, що експлуатуються, або за результатами акустичних розрахунків для об'єктів, що проєктуються.

Необхідно забезпечувати відповідний акустичний режим на території житлової забудови та в будівлях, де перебувають люди, відповідно до гігієнічних норм, за допомогою використання містобудівних, архітектурно-планувальних та конструктивних рішень, організаційно-технічних та адміністративно-організаційних

заходів, а також будівельно-акустичних засобів. Для цього необхідно розглядати об'єкти, які є джерелами шуму, та об'єкти захисту як єдину систему.

проектна документація з планування і будівництва автомагістралей, мостових споруд на автомобільних дорогах повинна містити розділ «Захист від шуму», в якому має бути:

а) При розробці генерального плану міст і сільських поселень необхідно створити карти шуму для прилеглих до вулично-дорожньої мережі автомобільних доріг територій, а також складати схеми функціонального і територіального зонування з урахуванням забезпечення оптимального акустичного режиму для територій, що прилягають до житлової забудови.

б) На етапі детального планування та будівництва автодоріг, мостів на автомобільних дорогах необхідно провести наступні заходи: складання карт шуму на відповідних територіях; розрахунок очікуваних рівнів шуму на фасадах та в приміщеннях житлових та громадських будівель з урахуванням нормованих рівнів шуму, на площадках відпочинку, ландшафтно-рекреаційних зонах та зонах відпочинку; вибір і обґрунтування застосування будівельно-акустичних засобів зниження шуму на території житлової забудови, таких як шумозахисні екрани на ділянках транспортних магістралей, шумозахисні будівлі на магістральних вулицях, зелені шумозахисні насадження, шумозахисні вікна на будівлях, спрямованих у бік магістральних вулиць або інших джерел шуму, розташування санітарно-захисних зон тощо.

При проєктуванні захисту від шуму, необхідно враховувати необхідне зниження рівнів шуму джерел до допустимих значень, що визначається на основі результатів акустичного розрахунку або інструментальних вимірювань. Для забезпечення максимально можливого зменшення зон акустичного дискомфорту, необхідно дотримуватися санітарно-захисних зон автомобільних доріг, застосовувати раціональні прийоми планування та організації вулично-дорожньої та транспортної мережі, а також використовувати штучні шумозахисні екрани, шумозахисні властивості елементів рельєфу місцевості та зелені насадження. Будівельні

матеріали та конструкції, що застосовуються в проєктах, повинні відповідати вимогам чинних санітарно-гігієнічних та протипожежних норм.

Шумові характеристики визначаються за допомогою різних параметрів, включаючи рівні звукового тиску L , дБ, в октавних смугах з середніми геометричними частотами 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Крім того, також використовують еквівалентний коригований рівень звуку L_A екв, дБА, і максимальний коригований рівень звуку $L_{A\text{макс}}$, дБА, як нормувальні параметри шуму.

4.2. Архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей

При плануванні автомобільних доріг з метою забезпечення акустичного комфорту на територіях з житловою забудовою пріоритетною задачею є розгляд можливості збільшення відстані до забудови. У випадку перевищення допустимих рівнів шуму і неможливості або неефективності збільшення відстані до сільськогосподарських територій з метою зменшення транспортного шуму, необхідно розглянути раціональне проєктування поперечного профілю земляного полотна та використання шумозахисних екранів.

Одним з найбільш ефективним способів захисту сельбищної території від транспортного шуму є будівництво будинків-екранів вздовж транспортних магістралей. На рис. 4.1 показано зниження рівня звуку за будинком-екраном (без врахування затухання звуку з відстанню). Цифри на кривих рівнів показують зниження рівня звуку (дБА) у порівнянні з рівнем на транспортній магістралі.

Якщо у якості екрану використовується житловий будинок, то необхідні спеціальні заходи по зменшенню шумового режиму у самому будинку (такі будинки іноді називають шумозахищеними). Будинки можуть мати таке планувальне рішення, при якому вікна всіх житлових приміщень квартири орієнтовані на дворовий фасад в сторону звукової тіні за будинком. Можливе і звичайне

планувальне рішення з монтажем шумозахисних вікон при умові забезпечення нормативного повітрообміну.

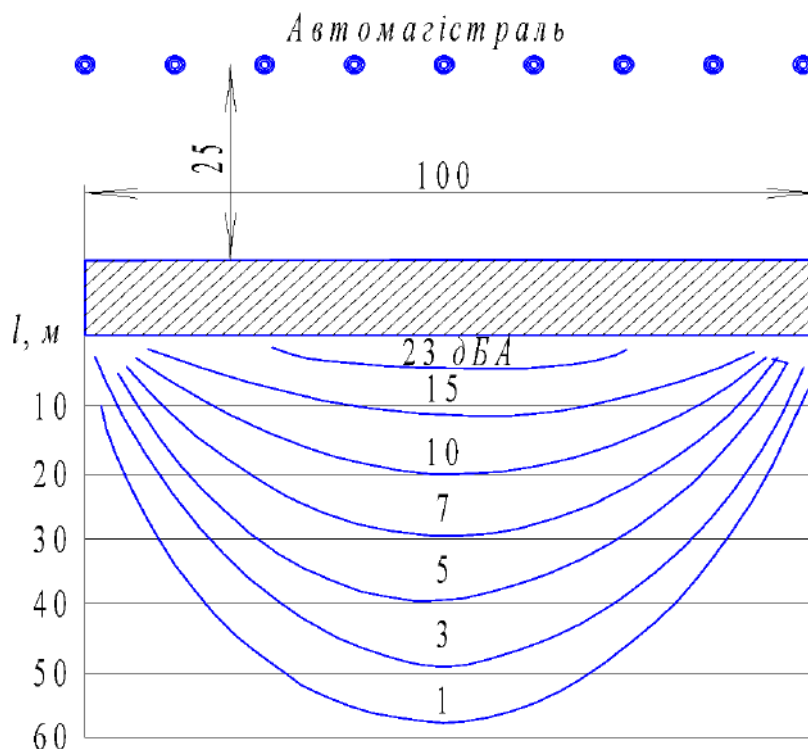


Рисунок 4.1 – Зниження рівня звуку за будинком-екраном без врахування звуку з відстанню (розміри наведені у метрах)

Нарешті, можливе розміщення частини житлових кімнат квартири (спалень) зі сторони дворового фасаду, а загальні та інші приміщення можуть бути орієнтовані на транспортну магістраль.

За умовами захисту від шуму внутрішньоквартальної території висота будинків-екранів не повинна бути нижче 9 поверхів. У таких будинках доцільне розміщення підприємств торговельного і побутового призначення шляхом добудови їх зі сторони галерей і нежитлових приміщень квартир.

Для деякого зниження шуму у міській забудові можуть використовуватись зелені насадження. Якщо посадки щільнолистові, з кронами, що змикаються, висотою не менше 5–8 м і шириною не менше 10 м, зниження звуку може становити від 4 до 12 дБА.

Для виявлення шумового режиму на території забудови в цілому і за окремими ділянками мікрорайонів часто використовують карти шуму, що являють собою криві рівних рівнів, нанесені на схему плану; вони характеризують зменшення рівня шуму при віддаленні від магістралі.

Такі карти отримані в результаті експериментальних досліджень в натурі та на моделях для більшості характерних планувальних схем. Як приклад на рис. 4.2–4.3 дані карти шуму для рядкової, периметральної та групової забудови з екранами.

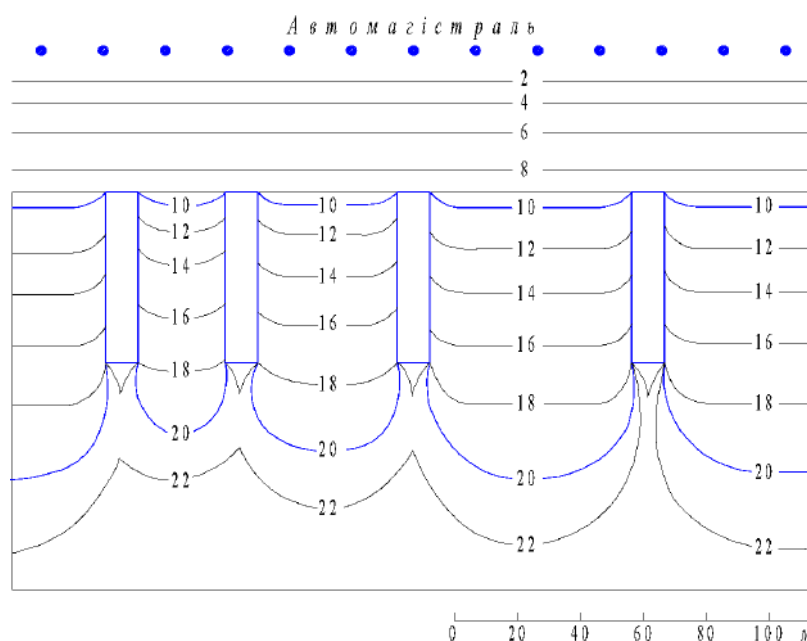


Рисунок 4.2 – Карти шуму при магістральній території для рядкової забудови

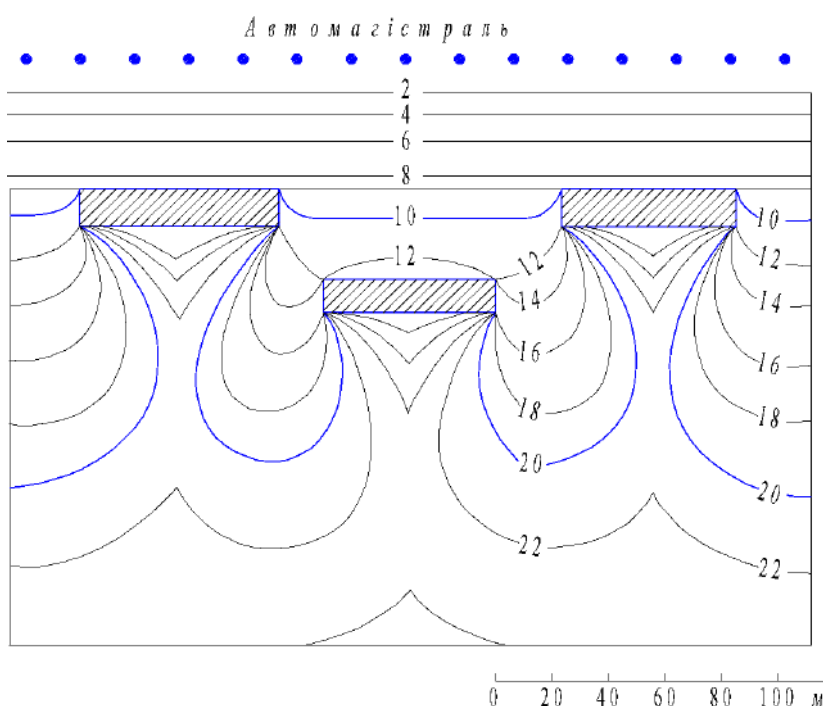


Рисунок 4.3 – Карта шуму приміагістральної території для периметральної забудови

Слід зазначити, що застосування архітектурно-планувальних методів із шумозахисту не є ефективним та практично неможливо, оскільки будівлі або вже збудовано або будуються, не враховуючи шумність. До того ж дуже велике значення має використання земельних ресурсів в умовах міст – площі їх використання дуже малі, що не дає змогу використовувати в повному обсязі архітектурно-ландшафтні рішення.

При проектуванні слід мати на увазі, що шумозахисні смуги (ШЗС) повинні бути помітними здалеку, включаючи місця з незначною видимістю, щоб допомогти водіям попередити зміни напрямку дороги та вибирати безпечний режим руху. Для досягнення оптимальних архітектурно-ландшафтних рішень, на ШЗС з довжиною більше 500 м потрібно уникати монотонності за допомогою зміни форм, кольору, фактури та використання ритмічної послідовності та чергування симетричних та асиметричних форм. Необхідно забезпечити гармонійне поєднання систем збереження здоров'я та безпеки з природним середовищем та архітектурними елементами наявних будівель, враховуючи географічні особливості місцевості, планування та профілювання дороги.

При проектуванні зелених шумозахисних смуг слід враховувати ефективність лісосмуг з листяних порід у різні сезони року, оскільки їх акустична ефективність може бути мінімальною без листяного покриву. Хвойні насадження є цілорічно ефективними, але вони можуть бути менш стійкими до несприятливих факторів, таких як забруднення атмосферного повітря або використання протижелезних матеріалів під час зимового утримання автомобільних доріг.

При проектуванні ШЗС слід враховувати технічні характеристики дороги, такі як тип дорожнього покриття та поздовжній похил, а східчаста зміна висоти споруди повинна відповідати поздовжньому похилу дороги. Для кращого зовнішнього вигляду шумозахисних смуг, рекомендується розташовувати поруч декоративні

рослини та зелені насадження. Це допоможе уникнути одноманітності у вигляді споруд у літній період, а також покращить їх шумозахисну ефективність.

При проєктуванні систем збереження здоров'я та безпеки (ШЗЕ), використання прозорих елементів повинно бути обґрунтоване з архітектурно-ландшафтних позицій. Це включає підтримку оптичної спрямованості, створення гармонійного взаємозв'язку з навколишнім ландшафтом та забезпечення видимості в населених пунктах. Прозорі шумозахисні екрани мають гарантувати безпеку під час їх експлуатації та в разі аварій або небезпеки непередбачуваних обставин. Важливо, щоб ці екрани не утворювали небезпечних уламків, що можуть травмувати людей. Необхідно виготовляти прозорі елементи екранів зі зміцненого прозорого матеріалу, бажано - армованого, та забезпечувати їх антивандальним покриттям.

На прямих ділянках автомобільних доріг, що мають довжину понад 500 метрів, для уникнення монотонності руху вздовж ШЗЕ, доцільно встановлювати споруди змінної висоти. При цьому верхні краї секцій можуть бути прямими або змодельованими у вигляді східчастої лінії.

Для ділянок доріг, що мають довжину понад 500 метрів та де горизонт сприймається як безперервна лінія, рекомендується встановлювати ШЗЕ постійної висоти або з плавною поступовою зміною висоти. У міських зонах, де є різниця у висоті ділянок ШЗЕ, вони повинні гармонічно вписуватись у характер прилеглої забудови.

Якщо ділянка дороги має значний поздовжній похил (понад 50 ‰), то верхні краї шумозахисних екранів повинні бути розташовані горизонтально відносно напрямку дороги і збільшувати свою висоту східчасто по секціях. У випадку з іншими шумозахисними спорудами доцільно робити верхній край паралельно поверхні дороги.

4.3. Планувальні та конструктивні рішення для захисту територій від шумового навантаження автомобільних доріг

Необхідно планувати та будувати сільські та міські території, враховуючи встановлені норми щодо рівнів шуму. Для визначення рівнів звуку в житлових зонах необхідно провести акустичний розрахунок або натурні вимірювання, використовуючи відповідні нормативні документи.

При проектуванні ШЗС для автомобільних доріг необхідно враховувати декілька факторів, зокрема: зниження витрат на їх утримання; забезпечення доступності для експлуатаційного утримання ШЗС та дороги; відведення води з проїзної частини та земляного полотна; забезпечення безпеки руху транспортних засобів; створення підходів або проходів для пішоходів до зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів; збереження забудови, ландшафту та рельєфу місцевості з метою забезпечення їх стійкості та міцності. У випадку відсутності місцевих проїздів необхідно забезпечити нормативні проїзди для пожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки.

Щоб захистити сільські території від шуму, що створюють транспортні потоки та інші джерела шуму великої інтенсивності, проекти населених пунктів, житлових районів або мікрорайонів повинні передбачати будівельно-акустичні заходи зниження шуму або застосування спеціальних шумозахисних смуг зелених насаджень.

При розробленні техніко-економічного обґрунтування будівництва автомобільних доріг, з метою зменшення впливу шуму на селітебні території, необхідно застосовувати такі архітектурно-планувальні заходи, як прокладання магістральних доріг швидкісного та вантажного руху в обхід житлових районів і зон відпочинку, диференціація вулично-дорожньої мережі з виділенням основного об'єму вантажного руху на спеціалізовані магістралі та використання шумозахисних властивостей рельєфу місцевості.

Крім того, необхідно створити системи паркування автомобілів за межами житлових районів та груп житлових будинків, збільшити міжмагістральні території та створити загальноміську систему зелених насаджень.

При розташуванні поселення поблизу автомагістралей на відстані, що не забезпечує необхідне зниження шуму, треба застосовувати вздовж транспортних шляхів шумозахисні екрани.

Шумозахисні екрани є ефективним засобом зменшення шуму на сельбищних територіях міст та сільських поселень. Вони можуть бути використані разом з природними та штучними елементами рельєфу місцевості, будівлями, приміщеннями та спеціальними спорудами.

Встановлення спеціальних шумозахисних екранів вздовж міжнародних та національних автомобільних доріг державного значення є обов'язковим.

Ефективність екрана-стілки залежить від його висоти, довжини, звукоізоляційних та звукопоглинальних властивостей конструкції, відстані між джерелом шуму та екраном, відстані між екраном та об'єктом, що захищається від шуму, та висоти розрахункових точок за екраном.

Щоб знизити рівень шуму та зменшити висоту екрана-стілки, відстань між джерелом шуму та екраном потрібно зменшувати до мінімуму, з урахуванням безпечної експлуатації об'єкта-джерела шуму або безпеки руху та нормальної експлуатації дороги. Об'єкти, що захищаються від шуму, повинні знаходитися нижче від границі звукової тіні за екраном.

Для зниження висоти екрана-стілки можна використовувати земляні вали, насипи або виїмки зі стінкоюю.

При проєктуванні екранів для їх установки на мостах, шляхопроводах і віадуклах необхідно враховувати додаткове навантаження від вітру та землетрусів.

Конструкції окремих елементів шумозахисних екранів повинні забезпечувати щільне примикання одне до одного для створення акустичної непрозорості екрана.

В місцях, де розташовані зупинки автомобільного транспорту, для проходу до них людей, необхідно передбачати розриви екранів з улаштуванням контр – або дубль-екранів.

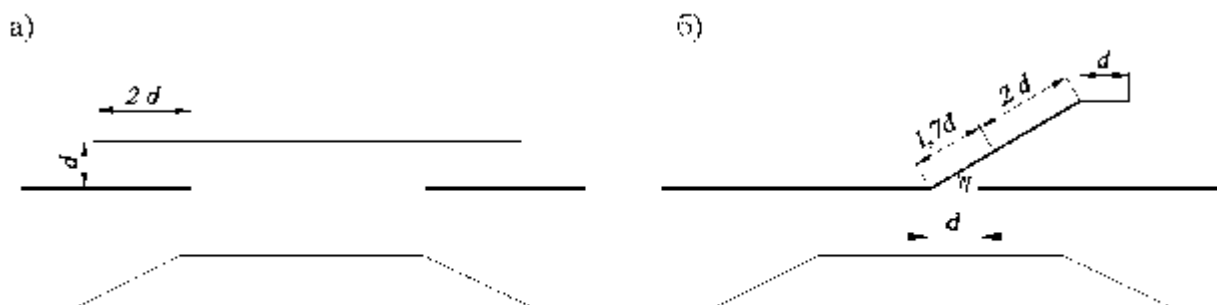


Рисунок 4.4 – Схеми розташування контр-споруди (а) і дубль-споруди (б) біля зупинок громадського транспорту. d - ширина проходу

Мінімальне взаємне перекриття екранів повинно бути не менше, ніж дві ширини проходу.

Екрани, розташовані в місцях розвороту попутного та зустрічного транспорту, мають знаходитись на значній відстані від місця розвороту, для забезпечення безпечного маневру як легкового автотранспорту, так і грузового, негабаритного транспорту.

Шумозахисні екрани по засобу шумозахисту бувають на звукопоглинальні, звуковідбивні та комбіновані. Рекомендації щодо їх застосування такі:

Шумозахисні звукопоглинальні ШЗС рекомендується використовувати в таких випадках:

- коли об'єкти, які потребують захисту від шуму, розташовані по обидва боки від проїзної частини автомобільної дороги;
- для зниження інтенсивності звуку, що відбивається від звукопоглинальних ШЗС, на території, розташованій з протилежного боку;
- для покращення ефективності звукозахисних споруд, зниження інтенсивності звуку при багаторазовому відбитті в зоні між ШЗС і транспортними засобами з високими кузовами, автобусами, автопоїздами, рефрижераторами і т.д.

Звуковідбивні ШЗС рекомендується використовувати в таких випадках:

- при односторонньому встановленні ШЗС і коли об'єкти, які потребують захисту від шуму, знаходяться на протилежному боці дороги, нижче рівня проїзної частини.

- У випадку одностороннього розташування шумозахисних споруд (ШЗС) та відсутності об'єктів, які потребують захисту від шуму з протилежного боку автомобільної дороги, рекомендується встановлювати звуковідбивні ШЗС.

Якщо об'єкти, що потребують захисту від шуму, розташовані з обох боків дороги, можна встановлювати звуковідбивні шумозахисні споруди (ШЗС). Однак, варто враховувати можливість зниження ефективності кожної ШЗС через повторні відбиття звукових хвиль

Для збереження ефективності ШЗС, які встановлені з обох боків автомобільної дороги, необхідно враховувати наступні умови:

- Відстань між ШЗС повинна бути не менше 10 разів середньої висоти ШЗС ($w \geq 10h_{сер}$).

- ШЗС з одного боку або з обох боків дороги можуть бути встановлені з нахилом від дороги (включаючи східчасті екрани). Кут нахилу ШЗС залежить від відстані між ними. При відстані не менше 45 м, кут нахилу може бути не більше 3° , а при відстані не менше 18 м - від 10° до 15° .

Комбіновані шумозахисні споруди (ШЗС) можуть використовуватись як звукопоглинальні або звуковідбивні, залежно від їх здатності поглинати звук. Комбіновані ШЗС з елементами, що поглинають звук, розташовані на їх верхній частині, в тому числі нахиленими, використовуються для підвищення їх акустичної ефективності або в разі потреби у помірному звукопоглинанні.

Якщо на автомобільній дорозі є розділювальна смуга, можна встановити додатковий шумозахисний екран згідно з техніко-економічним обґрунтуванням та погодженням з відповідним органом, відповідальним за безпеку дорожнього руху.

ШЗС повинні бути встановлені на мінімально допустимій відстані від проїзної частини автомобільної дороги з урахуванням вимог безпеки руху, водовідводу та

експлуатаційного утримання дороги. При цьому досягається необхідне зниження рівня звуку при мінімальній висоті ШЗС.

Ефективність ШЗС забезпечується конструкцією з параметрами, що визначаються на основі акустичного проектування. ШЗС повинні бути безперервними та простягатися по всій території, яка потребує захисту від шуму, без розривів, за винятком випадків, зазначених у відповідних розпорядженнях.

Мінімальна довжина ШЗС поза житловою забудовою визначається на основі акустичного розрахунку. При належному техніко-економічному обґрунтуванні довжина ШЗС може бути скорочена, якщо кінці її відігнуті від джерела шуму.

У зонах транспортних розв'язків з високою інтенсивністю руху, на їх з'їздах, рекомендується встановлювати ШЗС. Довжина ШЗС на з'їзді визначається на основі акустичного розрахунку або вимірювань рівнів шуму. При низькій інтенсивності руху ШЗС повинні забезпечувати мінімальне перекриття доріг, що складає не менше ніж чотири відстані між осями ШЗС на з'їзді.

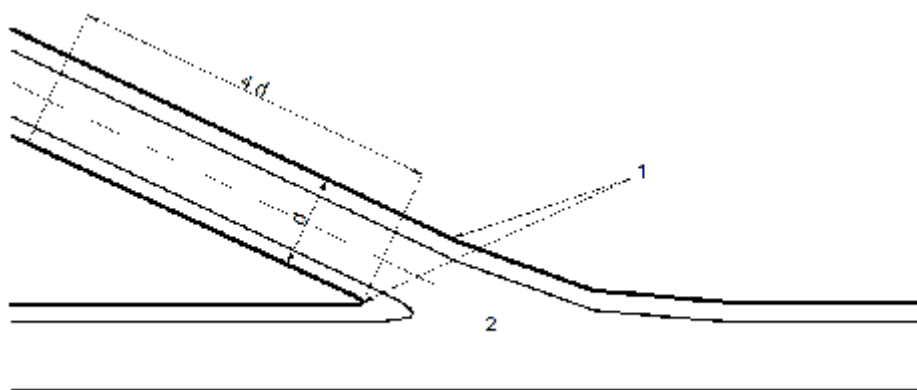


Рисунок 4.5 – Схема розташування ШЗС на з'їзді автомобільної дороги

1 – вісь екрана; 2 – проїзна частина.

У випадку, коли ШЗС мають значну протяжність і між ними та об'єктами, які потребують захисту від шуму, відсутні місцеві проїзди, рекомендується створювати розриви у ШЗС кожні 1000 м для проїзду спеціальних транспортних засобів, таких як пожежна чи аварійно-рятувальна техніка.

Для запобігання проникненню транспортного шуму за ШЗС через розриви рекомендується встановлювати контр-споруду з боку об'єктів, які потребують захисту від шуму.

Необхідно передбачати проходи в ШЗС з контр- або дубль-спорудами в місцях, де знаходяться зупинки громадського транспорту. Ці споруди повинні бути звукопоглинальними. Щоб забезпечити комфортний прохід пішоходів, мінімальне взаємне перекриття ШЗС повинно бути не менше, ніж подвійна ширина проходу. Мінімальна ширина проходу повинна відповідати інтенсивності руху пішоходів, але не менше 1 метра.

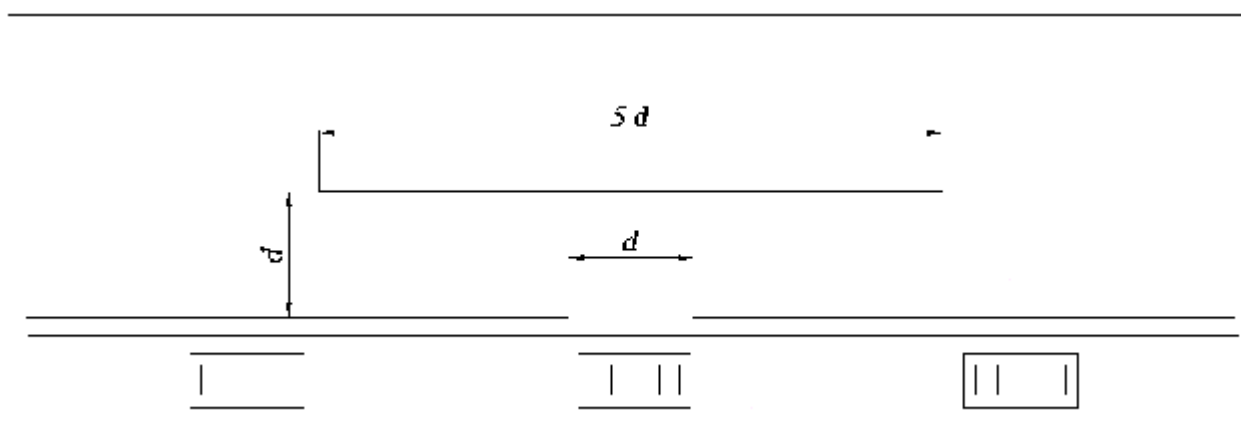


Рисунок 4.6 – Схема контр-споруди в місцях проїзду спеціального транспорту

d – ширина проїзду, що розраховується відповідно до технічних умов на спеціальний транспорт, який застосовується в місцях розміщення ШЗС;

$5d$ – довжина контр-споруди.

Рекомендується встановлювати технічні двері в ШЗС довжиною понад 500 м в місцях пішохідних переходів. У випадку відсутності пішохідних переходів на всій довжині ШЗС, рекомендується встановлювати двері через кожні 500 м для робітників з експлуатаційного утримання доріг. Двері мають відкриватися у напрямку від проїзної частини і зачинятися з боку забудови.

Для забезпечення доступу на укосах насипів, де це необхідно, можуть бути встановлені сходи. Крім того, слід встановлювати відповідні знаки щодо розташування цих виходів.

Висота ШЗС повинна бути визначена на основі акустичного розрахунку і максимально не перевищувати 5 м для забезпечення оптимального архітектурно-ландшафтного рішення. У випадку складного рельєфу, можуть бути встановлені ШЗЕ на верхній частині ШЗС, що нахилений у бік дороги або застосовуються Т-профіль або дифузори для зниження висоти ШЗС та збереження її акустичної ефективності.

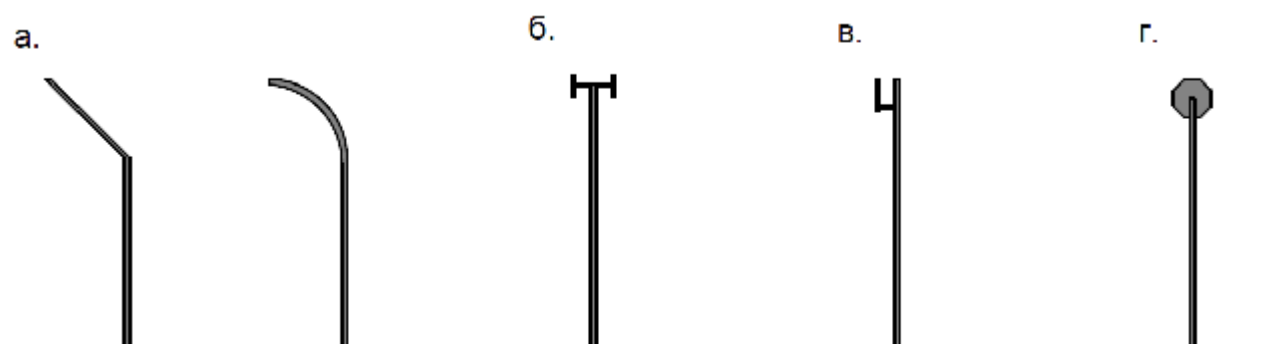


Рисунок 4.7 – Схеми верхніх частин шумозахисних екранів

а – консольний екран; б – Т-профіль; в – дифузор; г – восьмикутний дифузор

При проектуванні ШЗЕ необхідно враховувати особливості їх навантаження на ґрунт та здійснювати розрахунок конструкції екрана та його кріплення до основи.

Для стояків шумозахисних екранів потрібно виконувати розрахунки на вплив різних навантажень, зокрема вітрових та снігових, з урахуванням вітрових зон в Україні та геометричних параметрів шумозахисного екрана.

Щоб захистити стояки шумозахисних екранів від корозії та нерівномірного осідання фундаменту, доцільно влаштовувати монолітну основу з бетону в нижній частині фундаменту, яка повинна мати товщину не менше 0,4 м, і бути заглибленою в ґрунт з урахуванням водостічної системи.

Фундаменти, на яких встановлюють шумозахисні екрани, мають забезпечувати дренаж стічних і талих вод, для чого використовують водовідвідні трубки і колектори. Відведення води від ШЗС слід здійснювати з використанням поперечного або поздовжнього водовідводу. У водоохоронних зонах слід передбачати поздовжні схеми водовідводу.

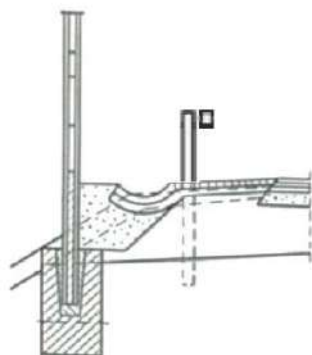


Рисунок 4.8 – Поздовжній водовідвідний лоток у межах узбіччя

Отвори для дренажу стічних вод не повинні негативно впливати на акустичні характеристики шумозахисних екранів. Розміри отворів можуть бути наступними: не більше 200 мм × 200 мм при відстані між центрами труб більше 3 м; не більше 200 мм × 400 мм при відстані між центрами труб більше 6 м.

На ділянках, де встановлюються шумозахисні екрани, слід посилити узбіччя автомобільної дороги, щоб зменшити вплив стічних і талих вод на ерозію ґрунту.

Отвори для водостоку слід з'єднувати з дренажною системою або системою поверхневого водовідведення за допомогою лотків. Вихідний отвір для стоку води в фундаменті шумозахисного екрана повинен бути зміщеним відносно виходу, причому вісь отвору має утворювати гострий кут (не більше 30°) відносно осі фундаменту, щоб уникнути значного погіршення параметрів шумозахисту.

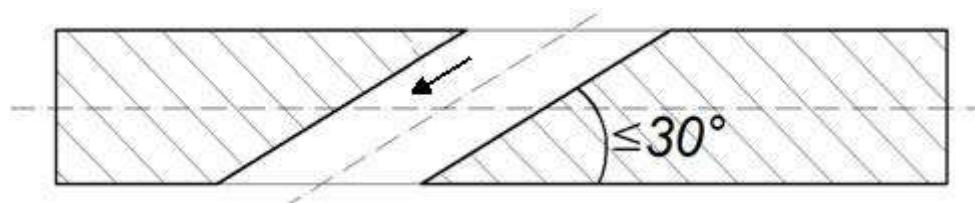


Рисунок 4.9 – Отвір для стоку води в горизонтальному перерізі

фундаменту

При проектуванні шумозахисних екранів на мостових спорудах необхідно враховувати наступне:

- Додатково провести розрахунки на статичні і динамічні навантаження, які будуть передаватись від шумозахисного екрана, такі як додаткова вага, вітрові та снігові навантаження. Результати розрахунків дозволять прийняти рішення щодо можливості встановлення шумозахисних екранів на мостовій споруді та необхідного посилення конструкції мостових споруд.
- Передбачити проєктні рішення для зниження ваги конструкцій екрана, наприклад, застосування матеріалів з аналогічною міцністю, але меншою щільністю, забезпечуючи при цьому необхідну звукоізоляцію.
- Розташовувати шумозахисні екрани за огороженням або перилами, щоб їх елементи могли захистити автомобіль від можливого падіння з мостової споруди у разі аварійної ситуації.
- Забезпечити щільне прилягання шумозахисного екрана до прогонової будови мосту.
- Матеріали прозорих елементів шумозахисних екранів на мостових спорудах повинні бути армовані.
- Всі конструкції шумозахисних екранів повинні відповідати вимогам конструкторської документації, що затверджена у встановленому порядку.

4.4. Вимоги до конструкцій та матеріалів шумозахисних екранів

Вимоги до матеріалів для виготовлення шумозахисних екранів повинні бути дотримані та відповідати вимогам [117].

Шумозахисні екрани можуть мати два типи конструктивного рішення: суцільні та секційні. Вони повинні відповідати вимогам міцності, стійкості до навантажень і впливів, які визначені в [118], а також вимогам щодо інженерних, екологічних та безпекових характеристик.

При монтажі шумозахисних екранів, окремі елементи повинні бути надійно закріплені на опорних колоннах, розміщених на відстані, рівній розміру секції. Для зручності заміни окремих секцій, вузли кріплення повинні бути легкими в монтажі та демонтажі, але водночас забезпечувати антивандальний захист. Щоб захистити опорні колони від корозії, необхідно омонолічити частину колон, яка занурена у ґрунт. Фундаментні елементи також повинні бути такими, щоб уникнути накопичення води навколо колон.

У випадку з секційними конструкціями шумозахисних екранів з набірними панелями, необхідно передбачити використання пружних звуковіброізоляційних прокладок у вузлах примикання панелей до несучих стояків та між окремими панелями в секції по горизонталі. Якщо не передбачені інші технічні рішення для забезпечення герметичного (щільного) прилягання однієї панелі до іншої, то необхідно застосувати прокладки. Вузли кріплення для секцій з ухилом повинні бути віброзахиснені, а для екранів з нахилом, слід передбачити додаткові опори у вигляді колон або ферм за відповідними розрахунками.

Для ефективного видалення пилу та бруду, конструкція екрана повинна мати систему відведення сконденсованої вологи у місцях її утворення. Матеріали й конструкції елементів повинні забезпечувати їх ефективні шумозахисні властивості, довговічність, стійкість до атмосферних впливів відпрацьованих газів автомобілів, паливно-мастильних і протиожеледних матеріалів тощо. Крім того, вони повинні бути захищені від вандалізму. Ущільнювальні елементи повинні бути виготовлені з сертифікованих матеріалів, щоб забезпечити належну якість і надійність.

Шумозахисні екрани-стілки можуть мати різні конструктивні рішення, які включають звуковідбивні або звукопоглинальні, світлопрозорі та непрозорі матеріали, а також комбіновані з різних матеріалів, таких як бетон, сталь, алюміній та плексиглас. Для виготовлення всіх елементів конструкцій необхідно використовувати матеріали, які є довговічними, стійкими до атмосферних впливів та вихлопних газів автомобілів, моторних масел, протиожеледних солей та механічних засобів очищення.

При проектуванні шумозахисних екранів-стінок необхідно враховувати те, що установка екрана з акустично жорсткою поверхнею з одного боку джерела шуму може призвести до підвищення рівня звуку на протилежному боці, через вклад відбитої від екрана звукової енергії. Тому конструктивні рішення екранів-стінок, призначених для встановлення на вулицях і дорогах з двостороннім розташуванням об'єктів, що захищаються від шуму, повинні включати звукопоглинальні конструкції, встановлені з боку джерела шуму.

Для звукопоглинальних матеріалів, які використовуються для облицювання або внутрішнього заповнення екранів, необхідно мати стабільні фізико-механічні та акустичні показники на протязі терміну експлуатації. Вони також повинні бути біота вологостійкими та не виділяти в навколишнє середовище шкідливих речовин. Якщо як звукопоглинальний матеріал.

Металеві елементи конструкцій повинні бути захищені від корозії, враховуючи ступінь агресивності навколишнього середовища. Покриття зовнішніх поверхонь шумозахисних споруд повинне бути стійким до ультрафіолетового випромінювання та абразивного стирання.

Прозорі матеріали, крім естетичних цілей та шумозахисного захисту, також повинні враховувати можливість:

- огляду навколишнього ландшафту;
- орієнтування водія на місцевості, особливо при використанні довгих екранів, розташованих по обидва боки дороги;
- огляду дороги ззовні.

Для прозорих елементів, які мають забезпечувати видимість, світлопропускання повинно бути не менше 85%. Зменшення світлопропускання після десятирічної експлуатації екранів не повинно перевищувати 5%.

Необхідно вживати заходів для запобігання відблискам, особливо на криволінійних ділянках дороги, які можуть виникати від сонячних променів під кутом або від світла автомобільних фар вночі. Для протидії відблискам можуть застосовуватися такі проєктні рішення:

- встановлення нахилоного екрана, відхиленого від дороги;
- використання виступів на поверхні екрана;
- застосування антивідблискового покриття;
- використання матових поверхонь.

Залежно від обґрунтування, можуть бути застосовані інші заходи для запобігання відблискам.

Вибір конструкції та матеріалу для будівництва шумозахисного екрану необхідно розглядати в комплексі з вартістю споруди та витратами на ремонт та утримання, можливістю механізації даних робіт.

4.5. Експлуатаційні і технічні вимоги до шумозахисних екранів на автомобільних дорогах

При проєктуванні екранів-стінок, потрібно враховувати навантаження, що виникають від вітру, снігу та землетрусів.

При установці шумозахисних екранів рекомендується використовувати екрани, які відповідають вимогам щодо випробування на вітрові, снігові та сейсмічні навантаження, термостійкості, вібропоглинання, та мають інструкції з експлуатації та паспорт. Технічна документація на шумозахисний екран повинна містити інформацію про фактичну звукоізоляцію екрана або його панелей. Для звукопоглинальних і комбінованих екранів також повинна бути вказана характеристика коефіцієнта звукопоглинання, яка визначена експериментально в лабораторних умовах.

Конструкція шумозахисного екрану має знаходитись на такій відстані від дороги та мати таку конструкцію, щоб не перешкоджати прибиранню снігу під час зимового утримання дороги.

При проєктуванні екранів для їх установки на мостах, шляхопроводах і віадуктах необхідно враховувати страхувальні пристрої, які запобігають падінню елементів екрана при його руйнуванні або випадінні з вузлів кріплення. Крім того,

необхідно передбачати додаткове навантаження, яке буде передаватись на штучну споруду від шумозахисного екрану, таке як додаткова вага та вітрові та снігові навантаження.

Для створення ефективного шумозахисного екрана-стілки необхідно, щоб конструкції його окремих елементів забезпечували щільне прилягання один до одного і не містили будь-яких зазорів або нещільностей. Будь-які зазори або нещільності в конструкції екрана неприпустимі. Звукоізоляція конструкції повинна бути не менш як на 10 дБА вищою за найбільшу необхідну акустичну ефективність, але не менше 25 дБА за величиною показника звукоізоляції $R_{\text{Атран}}$.

Рівень зниження шуму можна визначити розрахунком або експериментальним шляхом відповідно до вимог нормативних документів. Очікувані рівні шуму на території примігстральної забудови та в житлових і громадських будинках визначаються акустичним розрахунком для кожної планувальної ситуації.

Зелені насадження можуть бути використані як додатковий засіб захисту від шуму, і зниження рівня звуку щільними смугами зелених насаджень повинно враховуватися при визначенні рівнів звуку на площадках відпочинку, у дитячих дошкільних установах та інших приміщеннях.

При цьому, необхідно забезпечити як найщільніше примикання крон дерев один до одного та заповнити простір між ними чагарником. Для посадки зелених насаджень потрібно використовувати районовані породи, які пристосовані до умов повітряного середовища в містах.

Після установки шумозахисних екранів (ШЗЕ) необхідно здійснити перевірку (випробування) їх акустичної ефективності та відповідність технічним характеристикам, зазначеним у паспортних даних. Результати випробувань потрібно оформити актом та занести до паспорта екрана. При експлуатаційному утриманні ШЗЕ необхідно вживати заходів та засобів, щоб під час зимового утримання дороги не призводило до їх руйнування. Зокрема, необхідно використовувати машини та механізми для прибирання снігу з проїзної частини та транспортування його. При очищенні панелей ШЗЕ від забруднень та пилу, необхідно запобігати пошкодженню

захисних покриттів, не застосовувати для чищення та миття поверхонь панелей пісок, їдкі луги і інші речовини, які можуть пошкодити захисні покриття.

Щоб запобігти птахам потрапляти в прозорі елементи шумозахисних екранів (ШЗЕ), рекомендується накладати зображення темного кольору силуетів хижих птахів на ці елементи. Це допоможе відлякувати птахів і захистити екрани від їх вторгнення. Гарантійний термін експлуатації шумозахисних екранів повинен бути не менше 10 років. Зовнішнє покриття шумозахисних екранів в придорожньому середовищі повинно забезпечувати гарантійний термін не менше ніж 10 років. Стінки, анкерні вузли та фундаменти повинні мати гарантований термін експлуатації не менше 20 років, а панелі екранів - не менше 10 років.

4.6. Ергономічні та екологічні вимоги до шумозахисних екранів

При проєктуванні ШЗС рекомендується:

Дотримуватись санітарних норм, що відповідають вимогам охорони здоров'я людей та навколишнього середовища [119, 120], з урахуванням майбутніх змін.

При проєктуванні шумозахисних екранів необхідно враховувати гідрологічні особливості місця їх розташування і передбачати встановлення дренажної системи з метою відведення води.

Враховувати напрямки вітрів в даній місцевості для зменшення накопичення дорожнього пилу в зоні розташування ШЗС.

Необхідно забезпечити достатній рівень зниження шуму за допомогою конструкції екрана.

Колір фарбування панелей ШЗЕ повинен бути теплим та гармонійно вписуватись у навколишній ландшафт, використовуючи кольори, які є домінуючими у природі, такі як зелений, жовтий та коричневий. Дизайн екранів також повинен відповідати навколишньому ландшафту.

Матеріали, які використовуються для побудови шумозахисних екранів, повинні мати стійкі характеристики протягом усього періоду експлуатації і не мають

виділяти в атмосферу, воду або ґрунт шкідливі речовини у концентраціях, що перевищують допустимі норми.

Якщо будівлі та споруди знаходяться в непрямому контакті з автомобільною дорогою (на відстані не більше 30 м), необхідно розглянути можливість зменшення вібраційного навантаження шляхом застосування відповідних заходів за техніко-економічним обґрунтуванням. Це захистить від шуму та запобіжить поширенню коливань, спричинених рухом транспортного потоку.

4.7. Вимоги безпеки до шумозахисних екранів

Споруди, що розташовані біля доріг, не повинні становити підвищеної небезпеки, тому вони мають бути захищені дорожнім огородженням першої групи, згідно з [121].

Мінімальна відстань між шумозахисною спорудою та краєм проїзної частини (укріпленою або зупинковою смугою) або поздовжньою осі дорожнього огородження повинна враховувати такі фактори:

- розташування стандартних дорожніх знаків;
- розташування водовідведення;
- механізоване косіння трави;
- зменшення затінення у випадках, коли використовуються непрозорі споруди, що може спричинити утворення льоду на проїзній частині та ожеледицю.

За відповідного техніко-економічного обґрунтування і з урахуванням стримувальної дії бар'єрного огородження, можна розглянути можливість поєднання шумозахисного екрана з дорожнім огородженням парапетного типу в обмежених умовах, згідно з [122] (рис. 4.7).

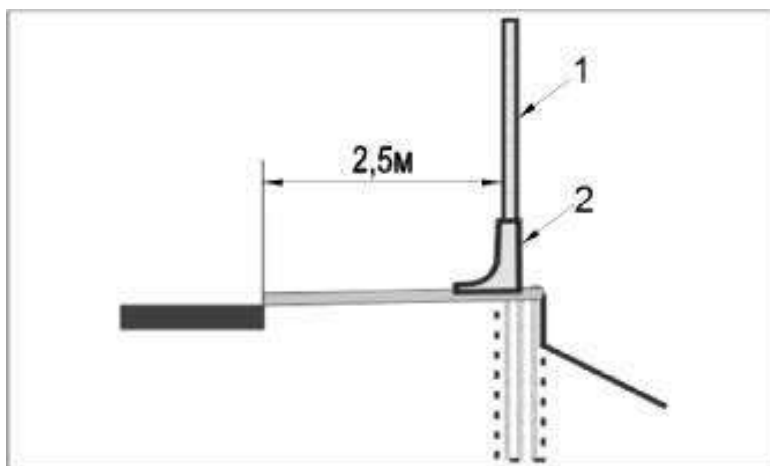


Рисунок 4.10 – З'єднання екрана з бетонним дорожнім огородженням

1 – екран; 2 – Дорожнє огороження парапетного типу

Якщо бар'єрне огороження відсутнє, необхідно врахувати заходи для його встановлення з метою зменшення можливих наслідків зіткнення автомобіля з конструкцією шумозахисного екрана.

Фасадна сторона шумозахисних екранів, спрямована в бік автомобільної дороги, повинна бути виготовлена з матеріалів, які мають світлоповертальні властивості.

При проектуванні екранів для їх встановлення на мостових спорудах необхідно передбачити пристрої для страхування, що унеможливають падіння елементів екрана вниз у разі їх руйнування або випадіння з кріплення. Водночас, слід розглянути рішення забезпечення безпеки щодо можливості випадання уламків у випадку аварій, стихійних лих та інших непередбачених ситуацій.

Підсумовуючі дослідницькі спостереження, можна виділити деякі загальні вимоги безпеки, які можуть бути застосовані до шумозахисних екранів:

- **Стійкість до механічних навантажень:** Шумозахисні екрани повинні бути виготовлені з матеріалів, що витримують механічне навантаження, таке як вітер, дощ, сніг та інші атмосферні умови. Вони повинні мати достатню міцність, щоб уникнути пошкоджень або випадкових аварій.

- **Пожежна безпека:** Матеріали, використовувані в шумозахисних екранах, повинні бути негорючими або мають високу стійкість до вогню. Це забезпечує безпеку користувачів та запобігає поширенню пожежі в разі виникнення інциденту.

- Електробезпека: У разі використання електричного обладнання, пов'язаного з шумозахисними екранами (наприклад, освітлення, камери безпеки), необхідно дотримуватись електробезпечних стандартів і правил. Це включає правильне розташування проводів, захист від короткого замикання та інші заходи безпеки.

- Захист від радіації: Якщо шумозахисні екрани містять радіоелектронні пристрої, такі як антени або радіочастотне обладнання, повинні бути виконані заходи для забезпечення безпеки щодо експозиції радіації. Екрани повинні відповідати вимогам відповідних стандартів і норм.

- Захист від ударів і впливу: Шумозахисні екрани повинні бути проєктовані та встановлені таким чином, щоб уникнути можливих ушкоджень або травм для користувачів. Наприклад, якщо екрани розташовані біля доріг або місць з великим рухом транспорту, вони повинні бути достатньо міцними, щоб витримати можливі удари.

- Уникнення акустичного стомлення: Шумозахисні екрани не повинні створювати акустичне навантаження, яке може призвести до акустичного втомлення або негативного впливу на здоров'я людей у навколишніх зонах. Дизайн екранів повинен забезпечувати належну акустичну ізоляцію, а також розглядати можливість впливу на звукове середовище.

- Безпека під час монтажу та обслуговування: При монтажі і обслуговуванні шумозахисних екранів необхідно дотримуватись вимог безпеки праці. Це включає використання захисного спорядження, дотримання правил безпеки під час роботи на висоті, використання безпечних методів кріплення та маркування небезпечних зон.

- Важливо зазначити, що конкретні вимоги безпеки до шумозахисних екранів можуть варіюватись залежно від місцевих законодавчих актів, регулюючих охорону праці, будівельні норми та стандарти безпеки. Перед встановленням шумозахисних екранів рекомендується консультиватись з фахівцями та враховувати місцеві вимоги та рекомендації.

4.8. Критерії вибору шумозахисних екранів

На етапі проектування автомобільної дороги, при порівнянні різних варіантів траси, необхідно скласти оперативну шумову карту для кожного варіанту. Це дозволить визначити, яка частина населення потрапляє в зони з різним рівнем шумового навантаження. Далі, необхідно встановити, на яких ділянках дороги очікувані рівні транспортного шуму перевищують санітарні норми. На основі цих даних повинні бути розроблені шумозахисні заходи.

При виборі оптимального варіанту шумозахисної споруди необхідно враховувати технічні і вартісні показники. Це включає конструкцію споруди, матеріал елементів, а також вартість будівництва, ремонту та експлуатації.

Крім технічних та вартісних показників, при виборі шумозахисних екранів можуть бути враховані інші критерії. Ось декілька з них:

1. Шумова ефективність: Це важливий критерій, який визначає, наскільки добре екрани зменшують рівень шуму. Вимірюється в децибелах (дБ), і вибір потрібної шумозахисної ефективності залежить від конкретних потреб і вимог проекту.

2. Естетичні вимоги: Врахування естетичного аспекту є важливим, особливо якщо шумозахисні екрани розташовані у місцях громадського сполучення або відкритих просторах. Екрани повинні гармонійно вписуватись у навколишній ландшафт і можуть мати різноманітний дизайн та кольори.

3. Матеріали: Вибір матеріалів впливає на тривалість експлуатації, стійкість до впливу погодних умов, вартість та інші фактори. Матеріали повинні бути довговічними, стійкими до корозії, легкими у підтримці та ефективними у зменшенні шуму.

4. Вимоги щодо пожежної безпеки: Шумозахисні екрани повинні відповідати пожежним нормам і стандартам безпеки. Матеріали повинні бути вогнестійкими та не сприяти поширенню вогню.

5. Передбачувана технічна складність: У разі, якщо проєкт включає специфічні вимоги щодо розташування, форми або конструкції шумозахисних екранів, необхідно враховувати технічну складність реалізації та можливість її виконання.

6. рахування впливу на навколишнє середовище: При виборі шумозахисних екранів слід враховувати їх вплив на природне середовище. Матеріали та конструкції екранів повинні бути екологічно безпечними та не сприяти забрудненню атмосфери, ґрунту або води.

7. Тривалість будівництва та вартість установки: Критерії виконання проєкту включають тривалість будівництва та вартість установки шумозахисних екранів. Важливо обрати такі екрани, які мають оптимальну вартість і можуть бути встановлені у мінімально можливі строки.

8. Технічна довговічність та обслуговування: Екрани повинні бути довговічними та мінімально вимагати обслуговування. Вибір матеріалів та конструкцій, які не вимагають постійного ремонту або заміни, допоможе зменшити витрати на підтримку та зберегти їх ефективність протягом тривалого періоду.

9. Вимоги щодо безпеки та захисту: Якщо шумозахисні екрани встановлюються у зоні, де можуть виникнути небезпеки (наприклад, вбудовані системи безпеки на дорозі), слід враховувати вимоги безпеки та захисту. Екрани повинні не перешкоджати дії систем безпеки і не створювати додаткових ризиків для користувачів дороги.

10. Відповідність нормам і стандартам: При виборі шумозахисних екранів необхідно переконатися, що вони відповідають всім відповідним нормам і стандартам, встановленим для шумозахисних споруд. Це включає вимоги щодо шумової ефективності, пожежної безпеки, механічної міцності, стійкості до погодних умов та інші.

11. Місцеві умови та обмеження: Місцеві умови можуть впливати на вибір шумозахисних екранів. Наприклад, рельєф місцевості, наявність будівель або інших перешкод можуть вимагати спеціального дизайну або конфігурації екранів. Також

слід враховувати будь-які обмеження, встановлені місцевими владами або органами регулювання.

12. **Урахування впливу на життя місцевого населення:** При виборі шумозахисних екранів важливо враховувати вплив на якість життя місцевого населення. Екрани повинні забезпечувати достатню шумоізоляцію для зменшення негативного впливу транспортного шуму на мешканців. Крім того, вони повинні бути розташовані таким чином, щоб не перешкоджати доступу до основних послуг і не обмежувати комфорт мешканців.

13. **Довгострокова ефективність:** При виборі шумозахисних екранів слід враховувати їх довгострокову ефективність. Це включає оцінку терміну служби матеріалів, стійкість до впливу погодних умов, здатність зберігати свої шумозахисні властивості протягом тривалого періоду часу.

14. **Географічні особливості:** Географічні особливості, такі як кліматичні умови, розташування (наприклад, близькість до водних джерел або гірських районів) та ґрунтові умови, можуть вплинути на вибір шумозахисних екранів. Екрани повинні відповідати вимогам, які випливають з цих особливостей.

15. **Стійкість до вітру:** У вітрових районах важливим критерієм є стійкість шумозахисних екранів до впливу вітру. Екрани повинні мати відповідну конструкцію та матеріали, що забезпечують їх стійкість та міцність під час сильних вітрів.

16. **Ефективність у зменшенні візуального забруднення:** Шумозахисні екрани можуть також виконувати функцію зменшення візуального забруднення, що виникає від автомобільних доріг або інфраструктури. Важливо враховувати, наскільки ефективно екрани виконують цю функцію та як вони впливають на навколишню обстановку.

17. **Дотримання архітектурного контексту:** У випадках, коли шумозахисні екрани розташовуються у місцях з архітектурними або історичними особливостями, важливо враховувати дотримання архітектурного контексту. Екрани повинні

гармонійно вписуватись у вигляд навколишнього середовища та враховувати візуальну цінність.

Ці критерії можуть допомогти при виборі шумозахисних екранів, забезпечуючи зниження рівня шуму, враховуючи потреби та обмеження проекту, екологічні аспекти, взаємодію з автомобільною інфраструктурою та візуальну гармонію. Кінцевий вибір залежатиме від конкретного проекту та його унікальних вимог.

4.9. Економічна та соціальна доцільність шумозахисних екранів на автомобільних дорогах

На основі результатів дисертаційної розділів роботи (2,3,4) встановлено економічну доцільність у впровадженні та застосуванні шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

Економічна доцільність встановлення шумозахисних екранів на автомобільних дорогах може мати кілька аспектів:

1. Зниження витрат на здоров'я: Шумозахисні екрани можуть допомогти знизити вплив шуму на здоров'я людей, зокрема зменшити ризик виникнення аудітивних проблем, стресу та сонних розладів. Це може призвести до зменшення витрат на медичне обслуговування та лікування, які пов'язані з шумовим забрудненням.

2. Підвищення якості життя: Шумозахисні екрани можуть покращити якість життя мешканців, особливо тих, хто проживає поблизу автомобільних доріг з великим транспортним рухом. Зменшення рівня шуму може створити сприятливішу та комфортнішу житлову та робочу атмосферу.

3. Заощадження на енергії: Шумозахисні екрани можуть мати додаткову користь у зменшенні споживання енергії, оскільки вони можуть функціонувати як бар'єр для вітру. Це може знизити витрати на опалення та кондиціонування пов'язані з проникненням холодного повітря в будинки або проникненням тепла влітку.

4. Зниження вартості житлової нерухомості: Мешкання, розташовані біля шумних автомобільних доріг, можуть мати меншу ринкову вартість через шумове забруднення. Встановлення шумозахисних екранів може позитивно вплинути на цю ситуацію, зробивши нерухомість більш привабливою для потенційних покупців та підвищивши її ринкову ціну.

5. Зменшення шкоди від шуму на прилеглу нерухомість: Шумозахисні екрани можуть зменшити шкоду, завдану шумом, на прилеглу нерухомість, таку як житлові будинки, офіси або комерційні приміщення. Це може запобігти знеціненню майна, зменшити ризик погіршення стану будівельних конструкцій через вплив шуму та подовжити їх термін служби.

6. Покращення робочого середовища: Шумозахисні екрани можуть позитивно вплинути на робоче середовище підприємств та промислових об'єктів, розташованих біля шумних автомобільних доріг. Зниження рівня шуму може покращити концентрацію працівників, знизити втому та стрес, покращити умови праці та загальний комфорт, що однозначно призведе до підвищення ефективності праці та, як результат - зростання економічних показників підприємств.

7. Залучення інвестицій: Встановлення шумозахисних екранів може створити більш привабливу і сприятливу інвестиційну обстановку для розташування нових підприємств та бізнесів в районах, що межують з автомобільними дорогами. Зменшення шуму може збільшити привабливість таких місць для підприємств, що шукають сприятливі умови для роботи та розвитку.

8. Підвищення туристичної привабливості: Шумозахисні екрани можуть покращити туристичну привабливість районів, що межують з автомобільними дорогами. Зменшення шуму може сприяти спокійнішій та комфортній атмосфері для відпочинку туристів, підвищити привабливість природних і культурних місць і сприяти розвитку туризму.

Економічна ефективність результатів наукових досліджень за рахунок використання зазначених факторів, встановлення шумозахисних екранів може мати значний економічний ефект. Вартість встановлення шумозахисних екранів може

бути виправдана через зниження витрат на охорону здоров'я, енергоспоживання та ремонт будівельних конструкцій, а також через підвищення вартості нерухомості та привабливості району для бізнесу та туристів.

Крім того, економічна доцільність встановлення шумозахисних екранів може бути оцінена через вплив на загальний соціально-економічний розвиток району. Зменшення шуму може сприяти покращенню якості життя мешканців, залученню нових інвестицій, розвитку туризму та створенню нових робочих місць.

Важливо провести комплексний аналіз витрат і користі від встановлення шумозахисних екранів, враховуючи конкретні умови і потреби місцевості. Крім вартості самого обладнання і встановлення, слід враховувати й інші фактори, такі як ремонт та обслуговування, вплив на довкілля та ландшафт, а також додаткові вигоди, які можуть виникнути внаслідок зменшення шумового забруднення.

Враховуючи всі ці аспекти, встановлення шумозахисних екранів може бути економічно доцільним рішенням, яке сприятиме покращенню якості життя, захисту здоров'я та розвитку інфраструктури в районах, що межують з автомобільними дорогами.

Крім економічної доцільності, встановлення шумозахисних екранів може мати і інші переваги. Деякі з них включають:

1. Соціальні переваги: Зменшення шумового забруднення сприяє покращенню якості життя мешканців, забезпечує комфортні умови проживання та сприяє збереженню здоров'я. Це може позитивно вплинути на загальну задоволеність та добробут населення.

2. Екологічні переваги: Шумозахисні екрани можуть вплинути на зменшення шумового впливу на природні середовища, зокрема на водні та земельні екосистеми. Це може сприяти збереженню біологічного різноманіття та екологічної рівноваги.

3. Покращення безпеки: Шумозахисні екрани можуть вплинути на зниження візуального розсіяння світла від автомобілів на дорозі, що дозволяє краще

розпізнавати дорожні знаки та сигнали. Це може сприяти покращенню безпеки дорожнього руху.

4. Поліпшення звукоізоляції: Шумозахисні екрани можуть також слугувати як звукоізоляційні бар'єри, що дозволяють зменшити проникнення звуку від дороги до прилеглих територій та споруд. Це може бути особливо корисним у житлових районах або біля спеціальних об'єктів, які вимагають низького рівня шуму.

5. Підвищення естетичного вигляду: Шумозахисні екрани можуть слугувати не лише функціональним, але й декоративним елементом. Вони можуть бути виконані у різних дизайнах, кольорах та матеріалах, що дозволяє вписати їх у зовнішній вигляд навколишнього ландшафту та створити приємний зовнішній вигляд.

6. Зменшення витрат на утримання дороги: Шумозахисні екрани можуть вплинути на зниження витрат на утримання дороги. Вони можуть захищати дорожнє покриття від впливу погодних умов, зменшувати необхідність у ремонті та підтримці дорожнього покриття.

7. Покращення іміджу та привабливості міста: Встановлення шумозахисних екранів може позитивно вплинути на імідж та привабливість міста. Це може створити враження доглянутості та забезпечити комфортне оточення для мешканців та відвідувачів.

8. Зниження витрат на охорону здоров'я: Зменшення шумового забруднення може призвести до зниження витрат на охорону здоров'я, пов'язаних зі шумовими захворюваннями та стресом. Це може включати зменшення ризику серцево-судинних захворювань, порушень сну та психічних проблем.

Узагальнюючи, встановлення шумозахисних екранів має не лише економічну доцільність, але і ряд інших переваг, таких як соціальні, екологічні, безпекові, естетичні та здоров'язберігаючі. Ці переваги роблять встановлення шумозахисних екранів важливим і обґрунтованим рішенням.

Важливо зазначити, що при встановленні шумозахисних екранів також можуть існувати деякі виклики та обмеження. Деякі з них включають:

1. Вартість: Встановлення шумозахисних екранів може бути витратним завданням, особливо для великих масштабів або в труднодоступних місцях. Включаючи матеріали, конструкцію, монтаж та підтримку, вартість може бути значною.

2. Планування та дозвільні процедури: Встановлення шумозахисних екранів може потребувати планування та отримання дозволів від відповідних органів. Це може вимагати часу та зусиль для вирішення різних аспектів, таких як вплив на навколишнє середовище та землекористування.

3. Підтримка та обслуговування: Шумозахисні екрани потребують регулярного обслуговування та підтримки, включаючи періодичну інспекцію, ремонт та очищення. Витрати на підтримку можуть бути додатковим фактором, який слід враховувати.

4. Вплив на навколишнє середовище: При встановленні шумозахисних екранів слід враховувати можливий вплив на навколишнє середовище, включаючи зміни в екосистемі, водостоках, рослинності та тваринному світі. Необхідно виконати адекватну оцінку впливу на довкілля та прийняти відповідні заходи для зменшення негативного впливу.

5. Вибір оптимальної конструкції: Важливо враховувати різні фактори при виборі оптимальної конструкції шумозахисних екранів, таких як тип матеріалу, розміри, висота, орієнтація, конфігурація та розташування шумозахисних екранів. Кожен місцевий контекст може мати власні особливості, які слід враховувати при виборі оптимального рішення.

6. Соціальне сприйняття: Шумозахисні екрани можуть мати різний вплив на життя місцевих мешканців. Деякі люди можуть сприймати їх як негативний елемент ландшафту або візуальну бар'єру. Потрібно забезпечити взаємодію зі спільнотою та враховувати їхні думки і побажання щодо вигляду та розміщення шумозахисних екранів.

7. Можливість акумулювання забруднень: Шумозахисні екрани, залежно від матеріалу, можуть бути схильними до акумулювання пилу, бруду, забруднень або графіті. Це може потребувати регулярного очищення та обслуговування, щоб забезпечити ефективну функціональність та збереження естетичного вигляду.

Враховуючи ці фактори та обмеження, встановлення шумозахисних екранів може бути доцільним з економічної, соціальної та екологічної точок зору. Однак, перед впровадженням таких заходів, необхідно провести детальну оцінку впливу та консультації з відповідними експертами, забезпечити належну планування та дотримуватись вимог законодавства та стандартів.

Висновки до розділу 4

На основі проведених досліджень розроблені практичні рекомендації для ефективного проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах.

1. Розроблено та обґрунтовано конструктивні параметри та вимоги до проєктування шумозахисних екранів для захисту сельбищних територій від дії шумового навантаження від рухомого складу на автомобільних дорогах, та запропоновано їх класифікацію. Зокрема, запропоновано архітектурно-ландшафтні, планувальні та конструктивні рішення щодо захисту територій від шумового навантаження від автомобільних доріг; розроблені експлуатаційні, технічні, ергономічні, безпекові та екологічні вимоги до конструкцій та матеріалів шумозахисних екранів, а також критерії вибору шумозахисних екранів та порядок визначення їх економічної і соціальної доцільності на автомобільних дорогах.

2. Розроблено практичні рекомендації із проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах та транспортних спорудах, які рекомендується використовувати інженерним працівникам Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України і організаціям, які займаються проєктуванням, будівництвом та утриманням шумозахисних екранів на автомобільних дорогах;

3. Під час проведення досліджень було встановлено, що шумові

характеристики транспортних потоків та місцевих джерел шуму, пов'язаних з автомобільними потоками, описуються еквівалентним та максимальним рівнями звуку на відстані 7,5 м від осі найближчої смуги руху транспорту (від розрахункової точки).

4. Встановлено, що нормативні параметри постійного шуму є рівні звукового тиску, в октавних смугах з середньо геометричними частотами 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, а нормованими параметрами непостійного шуму є еквівалентний коригований рівень звуку, і максимальний коригований рівень звуку, а також еквівалентні рівні звукового тиску в октавних смугах із середньо геометричними частотами 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

5. При проектуванні шумозахисних екранів саме на мостах, шляхопроводах і віадукх встановлено необхідність враховувати додаткове навантаження, яке буде передаватись на штучну споруду від шумозахисного екрану (додаткова вага, додаткові вітрові та снігові навантаження).

Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [32, 52, 57, 87].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі, яка полягає в удосконаленні методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах з урахуванням набору факторів, а саме: а геометричних параметрів екрану; матеріалу екранів, впливу зовнішніх факторів (наприклад погоди) та характеристик автомобільної дороги.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз наукових досліджень, розробок та методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах, також моделей оцінки затухання шумової хвилі у природному середовищі у залежності від конструктивних параметрів автомобільних доріг дозволив зробити висновок, що наявні наукові праці з цього напрямку носять розрізнений характер та не враховують комплекс параметрів. Зокрема, існуючі методи та моделі оцінювання параметрів шумозахисних екранів не враховують: рівень віддзеркалення шумового променя від характеру текстури поверхні покриття; вплив різної швидкості транспортного потоку; конструктивні, геометричні параметри екрану; вплив зовнішніх факторів, характеристики автомобільної дороги.

2. Розроблено математичну модель з оцінки впливу на оточуюче середовище шумового навантаження від рухомого транспортного потоку на автомобільних дорогах, в основу якої покладено отримані аналітичні залежності. Розроблена модель дозволила отримати метод оцінювання параметрів шумозахисних екранів, який враховує комплекс факторів, зокрема, геометричні параметри екрану, вплив зовнішніх факторів, матеріал екрану та характеристики автомобільної дороги.

Удосконалено метод прогнозування шумового забруднення навколишнього середовища автомобільними дорогами шляхом врахування розрахункового еквівалентного рівня звуку, що являється функцією шуму від інтенсивності

транспортного потоку, який рухається з відповідною швидкістю автомобільній дорозі.

3. Виконано експериментальні дослідження параметрів акустичної ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування із врахуванням технічного стану екранів. На основі проведених експериментальних досліджень отримано, що еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови до 2 м становить 74,4 дБА, а максимальний рівень звуку – 78,0 дБА. Отримані результати експериментальним шляхом були перевірені на достовірність шляхом порівняння з розрахунковими значеннями. Розбіжність результатів порівняння знаходиться в межах 12%, при рівні довірчої вірогідності 0,95, що засвідчує високий рівень адекватності запропонованого методу прогнозування шумового забруднення навколишнього середовища.

Додатково встановлено, що наявність зазору між екранами призводить до зниження акустичної ефективності шумозахисних екранів, а наявність стічного отвору у шумозахисному екрані призводить до зменшення акустичної ефективності окремих ділянок шумозахисного екрану на 1–3 дБА. Доведено, що основними пошкодженнями шумозахисних екранів в умовах експлуатації є вигинання, розриви, втрата форми екранів, що призводить до втрати акустичних властивостей екрану.

Запропоновано шумопоглинальну конструкцію екрану із покращеними характеристиками шумозахисту та міцності за рахунок підбору матеріалів з підвищеними акустичними властивостями.

4. Розроблено практичні рекомендації для ефективного проєктування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах із врахуванням забезпечення вимог щодо безпеки руху транспорту, охорони навколишнього природного середовища, визначення оптимальних витрат, економічного та соціального ефекту від влаштування шумозахисних екранів на автомобільних дорогах. Визначено економічний ефект від встановлення шумозахисних екранів, який складає 15-20% залежно від інтенсивності руху транспорту автомобільною дорогою.

За результатами дисертаційного дослідження отримано науково-прикладні результати, які слугуватимуть основою для більш точного проектування шумозахисних споруд на автомобільних дорогах та дозволятимуть отримувати ефективні економічно-обґрунтовані рішення щодо проектування, улаштування та експлуатації шумозахисних споруд на автомобільних дорогах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шейкіна Ю.О. Акустичне забруднення селітебного середовища міста від транспортних потоків. Ю.О. Шейкіна, О.О. Мислюк. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського* : зб. наук. пр.. Кременчуцький держ. політехн. ун-т ім. М. Остроградського. 2007. – Вип. 5/2007 (46). Частина 1. – С. 144–147.
2. Екологічні вимоги до автомобільних доріг. проектування : ГБН В.2.3-218- 007:2012 [Чинний від 2012–10–01]. – К.: Укравтодор, 2012. – 45 с
3. Rhiannon Thompson, Rachel B. Smith, Yasmin Bou Karim, Chen Shen, Kayleigh Drummond, Chloe Teng, Mireille B. Toledano. Noise pollution and human cognition: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence. *Environment International*. Volume 158, January 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106905>
4. Abdel-Mohsen O. Mohamed , Evan K. Paleologos , Fares M. Howari. Chapter 19 - Noise pollution and its impact on human health and the environmen. *Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering*. 2021, Pages 975-1026. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809582-9.00019-0>
5. Jones Keith. Traffic Noise Analysis Protocol. Jones Keith, Rudolf Hendriks. For New Highway Construction and Reconstruction Projects. Sacramento. – CA: *California Department of Transportation*, 1998. – October.
6. Herman Lloyd A., and Matt J. Ambroziak Effects of Pavement Type on Traffic Noise Levels. *Ohio DOT*, Columbus, OH 2000.
7. Hendriks Rudolf. Technical Noise Supplement – A Technical Supplement to the Traffic Noise Analysis Protocol. Sacramento, CA: California Department of Transportation, 1998. – October.
8. Elise van Kempen, Maribel Casas, Göran Pershagen, Maria Foraster. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region. *A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects*. Int J Environ Res Public

Health. 2018 Feb; 15(2): 379p. doi: 10.3390/ijerph15020379 .

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5858448/>

9. Javier Dopico, Beat Schäffer, Mark Brink, Martin Rösli and others . How Do Road Traffic Noise and Residential Greenness Correlate with Noise Annoyance and Long-Term Stress? *Protocol and Pilot Study for a Large Field Survey with a Cross-Sectional Design.. Int. J. Environ. Res. Public Health* 2023, 20(4), p. 3203; <https://doi.org/10.3390/ijerph20043203>. <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/4/3203>

10. C. G. Gordon, W. J. Galloway B. A. Kugler, D. L. Nelson. NCHRP Report 117: Highway Noise: A Design Guide for Highway Engineers. *HRB, National Research Council*, Washington, D.C., 1971.

11. Засоби транспортні дорожні. Типи. Терміни та визначення : *ДСТУ 2984–95* [Чинний від 1996–01–01]. – К., 1995. – 5 с.

12. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів категорій L2, L4 та L5 стосовно створюваними ними шуму (UN/ECE R 9–06:1997, IDT) : *ДСТУ UN/ECE R9–06:2004* [Чинний від 2005–10–01]. – К., 2005. – 28 с.

13. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження мотоциклів, стосовно створюваного ними шуму (UN/ECE R 41–03:2000, IDT) : *ДСТУ UN/ECE R 41–03:2005* [Чинний від 2007–07–01]. – К., 2007. – 55 с.

14. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автотранспортних засобів, що мають не менше ніж чотири колеса, стосовно створюваними ними шуму (UN/ECE R 51–02:1996, IDT) : *ДСТУ UN/ECE R 51–02:2004* [Чинний від 2006–01–01]. – К., 2004. – 36 с.

15. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження двоколісних мопедів стосовно створюваними ними шуму (UN/ECE R 63–01:1985, IDT) : *ДСТУ UN/ECE R 63–01:2004* [Чинний від 2006–01–01]. – К., 2004. – 27 с.

16. Hanson C. E. Transit Noise and Vibration Impact Assessment. FTA Report DOT-T-95-16. *Federal Transit Administration*, April 1995.

17. Daniel R. Raichel, *The Science and Applications of Acoustics* (2010), Springer New York, ISBN, 1441920803, 9781441920805 . 660 pp.
18. Trochymenko M.P., Osipchuk L. N., Zaets V. P., Kotenko S. G. Метод розрахунку акустичної ефективності шумозахисних екранів на мостових спорудах (Англ.). *Наука та будівництво* 2019. № 4. С. 45-51. Doi:10.33644/01006, https://dorndi.org.ua/files/upload/Наука%20та%20будівництво_2019.%20№%204.%20С.%2045-51.pdf
19. Грінченко В.Т. Теоретичні основи акустики : навч. посібник. *Національний технічний ун-т України "КПІ"*. - К. : [б.в.], 1998. - 374 с. - ISBN 966-597-013-5
20. К.В. Данова, В.В. Данова. Вплив транспортного шуму на людину та шляхи його зниження.. *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 55. – С. 270–273.
21. Piercy J. E. Sound propagation in the open air. Edited by Cyril M. Harris. *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*. New York: McGraw-Hill, 1024 pp, hardcover 1998 (original published 1991).
22. Howell, C.L. Morfeу. J Speed of sound in air as a function of frequency an humidity. *G.P.. Acoust. Soc. Am.* 1980. – V.65. – №5. – pp.1525–1527.
23. Howell, C.L. Morfeу. Frequency dependence of the speed of sound in air. *Acoust. Soc. Am.* 1987. – V. 82. - №1. – pp. 375–376.
24. *ISO 9613-1:1993. Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors – Part 1: Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere.*” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 1993.
25. Методика досліджень та оцінки шумового навантаження : М 218-03449261-258- 2004 [Чинний від 2004–04-23]. – К., 2004. – 18 с.
26. *ISO/DIS 9613-2:1996. Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors – Part 2.*” *International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 1996.

27. Evans E. J., Bazley E.N. The absorption of sound in air at audio frequencies. *Acustica*. 1956. – V.6. – pp. 238–244.
28. Attenuation of Sound during Propagation Outdoors, Part 1, Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere. *International Organization for Standardization. 1990. Acoustics. ISO/DIS 9613-1, CH-1211*. Geneva, 20, Switzerland.
29. Шум. Затухання звуку під час розповсюдження на місцевості. Розрахунок поглинання звуку атмосферою . *ДСТУ ГОСТ 31295.1:2007* – К., 2008. – 23 с.
30. Sutherland L. C. Daigle. Atmospheric Sound Propagation. *In Encyclopedia of Acoustics*. 1997. – pp. 341–365
31. Harris C.M. Effects of humidity on the velocity of sound in air. *J. Acoust. Soc. Am.* 1971. – V. 49. - №3. – pp. 890–893.
32. S.Laslov, O.Tokin, A.Onyshchenko. Determining regularities in the distribution of noise load from motorways and road bridges depending on the distance to a residential area. *Eastern-European Journal of EnterpriseTechnologies*, 1(10(115)),55–64(2022).doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253389> 10 Pages Posted: 4 May 2022)
33. Ласлов С. В. Аналіз заходів шумової безпеки на автомобільних дорогах світу. С. В. Ласлов. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2022. - Вип. 1(97). - С. 51-64.
34. Kugler B. A. Piersol A. G. NCHRP Report 144: Highway Noise: A Field Evaluation of Traffic Noise Reduction Measures. *HRB, National Research Council*. Washington, D.C., 1973.
35. McNerney M. T. Landsberger B. J. Noise Control Activity. U. S. On-going. Presented at Summer Meeting of the Transportation Research Board, St. Petersburg, Fla., July 1998.
36. Настанова з розрахунку та проєктування захисту від шуму сельбищних територій : *ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013* [Чинний від 2014–01–01]. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 46 с.

37. Данова В.В. Данова К.В. Акустичні та архітектурно-планувальні засоби зниження транспортного шуму. *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2009. – № 53. – С. 253–257
38. Ласлов С. В. Архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей. *Науковий журнал “Автомобільні дороги і дорожнє будівництво”* - Київ: НТУ, 2023. - Випуск 113. Частина 1. С. 54 - 60., DOI: 10.33744/0365-8171-2023-113.1-054-060
39. Hamet J. F., Bérengier M. Acoustical characteristics of porous pavements: a new phenomenological model. *Proc. Internoise 93*. Leuven, Belgium, 1993. – pp. 641–646.
40. Polcak K. D. Field Testing of the Effectiveness of Open-Graded Asphalt Pavement in Reducing Tire Noise from Highway Vehicles. *In Transportation Research Record 1255, TRB, National Research Council*. Washington, D.C., 1990. – pp. 94–101.
41. Delany M. E., Bazley E. N. Acoustical properties of fibrous absorbant materials. *Applied Acoustics*. 1970. – 3. – pp. 105–116.
42. Anderson G. A., Lee C. S. Y., Fleming G. G., Menge C. W. FHWA Traffic Noise Model (FHWA TNM). Version 1.0: User’s Guide. Report FHWA-PD-96-009. *Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility*. Cambridge, Mass., Jan. 1998.
43. Fleming G., Rapoza A., Gregg G., Lee C. Development of National Reference Energy Mean Emission Levels for the FHWA Traffic Noise Model. Report No. FHWA-PD-96-008 and DOT-VNTSC-96-2. *Cambridge MA: Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility*. November 1995.
44. Lee Cynthia S. Y., Fleming G., Measurement of Highway-Related Noise. Report No. FHWA-PD-96-046 and DOT-VNTSC-FHWA-96-5. Cambridge, MA: U.S. Department of Transportation, John A. *Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility*. May 1996
45. Colwill D. M., Bowskill G. J., Nicholls J. C., Daines M. E. Porous Asphalt Trials in the United Kingdom. *Transportation Research Board*. 2003, p. 75-87.

46. Berengier M., Hamet J. F., Bar P. Acoustical Properties of Porous Asphalts: Theoretical and Environmental Aspects. *Transportation Research Board*. 2011, p. 9-24.
47. Chien C. F., Soroka W. W. A note on the calculation of sound propagation along an impedance boundary. *J. Sound and Vibration*. – 69, 1980. – pp. 340–343.
48. Ingard K.U., Dunn, I.P. Notes on sound absorption technology, Version 94-02, Noise Control Fundation, USA.18. W.A. 1986, “*Calculation of acoustic impedance of multi-layer absorbers*”, *Applied Acoustics*, 19, pp. 321–334.
49. Hibbs B. O., Larson R. M. Tire Pavement Noise and Safety Performance. *FHWA, Final Report, FHWA-SA-96-068, 1996*, p. 22-34
50. Standard for Noise Barriers on Roadways. CAN/CSA Standard Z107.9-00. – Ontario, Canada: *CSA International*, 2000.
51. Sandberg U. Correction in the Nordic Traffic Noise Model for Influence of Road Surface. *Swedish Road and Traffic Research Institute, Linkoping*. Sweden, 1993
52. А. М. Онищенко, О. П. Токін, С. В. Ласлов. Теоретичні та практичні дослідження параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах при дії транспортних потоків. Монографія. *Національний транспортний університет*. - Київ, 2022. - 139 с. - Бібліогр.: с. 132-139 - укр.
53. J.M. Cavallari. Development and application of a noise hazard scheme for road maintainers. *Am J Ind Med*. 2020 May; 63(5): 429–434. Published online 2020 Jan 18. doi: 10.1002/ajim.23091
54. Ласлов С. В. Методика експериментальних досліджень шумового забруднення від автомобільного транспорту та акустичних параметрів шумозахисних екранів (in English). pp.63-69 *Збірник наукових праць “Сучасне будівництво та архітектура”*.
55. Настанова з розрахунку та проєктування захисту від шуму сельбищних територій : *ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013* [Чинний від 2014-01-01]. – Київ : Мінрегіонбуд України. – 36 с.
56. Захист територій, будинків і споруд від шуму : *ДБН В.1.1-31:2013* [Чинний від 2014–06–01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 54 с.

57. ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування. - К.: *Міністерство інфраструктури України*, 2015р. - 112 с.

58. Хворост М.В. Захист сельбищної зони від шуму транспортної магістралі акустичними методами. М.В. Хворост, С.А. Грязнова, В.В. Малишева. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2014. – № 4 (41). – С. 79–81.

59. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. *ДБН В.2.1-10:2018* – Київ : Мінрегіонбуд України, 2018 р. 42 с.

60. Butler G. F. A note on improving the attenuation given by a noise barrier. *Journal of Sound and Vibration*, 1974. – 32(3). – pp. 367–369.

61. Kinga Szopińska, Monika Balawejder, Artur Warchoł. National legal regulations and location of noise barriers along the Polish highway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Volume 109, August 2022, 103359. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103359>

62. Dr M. Bite: Effective noise reduction by a new shaped barrier. *Inter Noise 2000*, 27-30. August 2000, Nice.

63. Dr. P. Scarano. Sperimentazione fonometrica su barriere basse ravvicinate. *Istituto Sperimentale Laboratorio di Acustica Ferrovie dello Stato*. Roma, 1996.

64. Білятинський О. А. [та ін]. Проектування автомобільних доріг: підручник у 2 ч. - К. : *Вища школа*, 1998. - 320 с.

65. Мозговий В.В., Дорошенко Ю.М., Онищенко А.М., Кузьминець М.П., Смолянець В.В., Заїченко В.В.. Будівельне матеріалознавство в дорожньому будівництві: навч. посіб - К.: *НТУ*, 2014. - 416 с. ISBN 978-966-8126-92-5.

66. Скальський В.Р., Коваль П.М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. - Львів: *СПЛОМ*, 2005. - 396 с.

67. Страхова Н.Є., Голубєв В.О., Ковальов П.М., Тодірика В.В.. Під ред. А.І. Лантуха-Лященко. Експлуатація і реконструкція мостів. 2-е видання. - К., ТАУ; НТУ, 2002. - 408 с.
68. Осетрін М.М., Солуха Б.В., Шилова Т.О. та ін. Екологічна оцінка перетинів міських магістралей у різних рівнях: навчальний посібник. - К.: КНУБА, 2010. - 108 с.
69. Kugler B. A., Commins D. E., Galloway W. J.. NCHRP Report 174: Highway Noise: A Design Guide for Prediction and Control. – *TRB, National Research Council*, Washington, D.C., 1976.
70. Satish K. Lokhande. A Short Review of Road Noise Barriers Focusing on Ecological Approaches. *IJETS*, Vol. 2021, Article ID: IJETS-2106092112346,p.17 https://www.researchgate.net/publication/352478775_A_Short_Review_of_Road_Noise_Barriers_Focusing_on_Ecological_Approaches
71. Fleming G. G., Rapoza A., Lee C.. Development of National Reference Energy Mean Emission Levels for the FHWA Traffic Noise Model. Report FHWA-PD-96-008 and DOT-VNTSC-96-2. *Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility*, Cambridge, Mass., Nov. 1995.
72. Zarghampour M., Fard H.K., Gharavi N. Experimental investigation of the acoustic performance of noise barriers. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2017. vol. 14, no. 2, p. 283-294. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1021-3>
73. Gao Y., Wang Z., Jia S., et al. . Analysis of traffic noise reduction effect of different types of noise barriers. *Applied Sciences*, 2019 vol. 9, no. 8, p. 1649. <https://doi.org/10.3390/app9081649>
74. Menge C. W. FHWA Traffic Noise Model (FHWA TNM), Version 1.0: Technical Manual. C. W. Menge, C. F. Rossano, G. A. Anderson, C. J. Bajdek. Report FHWA-PD-96-010. *Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility*, Cambridge, Mass., Feb. 1998.

75. Hayek S. I. Mathematical modeling of absorbent highway noise barriers. *Applied Acoustics*, 1990. – 31(1). – pp. 77–100.
76. Угненко, Є. Б. Основні питання акустичного моделювання [Ugненко, E.B. The main questions of acoustic modeling], *Автомобильный транспорт* 2001 р. 7-8: 109-111с.
77. Угненко Є. Б., В. С. Гавриш. Визначення акустичного забруднення придорожного простору та основних шумових характеристик транспортного потоку. - 2015. - № 6. - С. 39-41
78. Угненко Є. Б. Удосконалення методів оцінки екологічної безпеки навколишнього природного середовища під час будівництва та реконструкції автомобільних доріг. ; *Харьк. нац. автомоб.-дорож. ун-т.* – Х. : ХНАДУ, 2005. – 136 с. – ISBN 966-303-069-0. ББК 39.3 + 39.311.
79. Skudrzyk E. The foundations of acoustics: basic mathematics and basic acoustics. *Springer-Verlag*, New York, 1971.
80. Maekawa Z. Noise reduction by screens. *Applied Acoustics*. – 1968 – 1. – pp. – 157-173.
81. Olmstead J. R., et al. Integrated Noise Model (INM) Version 5.1 User's Guide. Report FAA-AEE-96-02. *Federal Aviation Administration*, Dec. 1996.
82. Шевченко В.С. Математичні моделі шуму транспортних потоків. В.С. Шевченко. *Східноєвропейський журнал передових технологій.* – 2014. – Вип. 4/4 (70). – С. 47-51.
83. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110316 від 14 грудня 2021 р. Науковий твір “Розробка базових принципів захисту навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах”.
84. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В., Чиженко Н.П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110161 від 8 грудня 2021 р. Науковий твір “Моделі оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище”.

85. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111281 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Оцінювання впливу транспортного шуму автомобільних доріг на навколишнє середовище”.
86. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111282 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Дослідження ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування”.
87. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 116476 від 21 лютого 2023 р. Науковий твір “Розробка рекомендацій для просування захисних екранів на автомобільних шляхах України”.
88. С.В. Ласлов. Методологія оцінювання шуму від транспортних засобів на автомобільних дорогах та мостах. А.М. Онищенко, С.В. Ласлов. *Промислове будівництво та інженерні споруди*, 2023 р, №1 - С. 28 - 35.
89. Vinogradov E. A., Shipilov K. F. Evaluation of the thermal nonlinear self-action of the intensive acoustic beam in air. Thermal self-action. *Physics of vibrations*. – 2002. – V.10. – №2. – P. 72–77.
90. Рибіцький І.В. Математична модель узгоджуючого шару пезоперетворювача та розрахунок втрат енергії акустичних коливань при безконтактному способі вимірювання товщини. *Методи та прилади контролю якості*, № 18, 2007. 6 с.
91. Fleming G. Gregg E. Rickley.. Parallel Barrier Effectiveness Under Free-flowing Traffic Conditions. Report No. FHWA-RD-92-068 and DOT-VNTSC-FHWA-92-1. *Mclean VA: Federal Highway Administration, Office of Engineering and Highway Operations Research and Development*, April 1992.
92. Fleming G., Gregg E. Rickley. Parallel Barrier Effectiveness: Dulles Noise Barrier Project. Report No. FHWA-RD-90-105and DOT-TSC-FHWA-90-1. Cambridge MA: U.S. *Department of Transportation, Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility*, May 1990.

93. Fleming G., Gregg E. Rickley. Performance Evaluation of Experimental Highway Noise Barriers. Report No. DOT-VNTSC-FHWA-94-16 and FHWA-RD-94-093. *Cambridge MA: John A. Volpe National Transportation Systems Center*, 1994.
94. Dunn I. P., Davern W. A. Calculation of acoustic impedance of multi-layer absorbers. *Applied Acoustics*, 1986. – 19. – pp. 321–334.
95. Fiedler C. Abschirmwände mit absorbierender Verkleidung -Modellmessungen zur Verbesserung der Abschirmwirkung von Schallschirmen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 1983. – 30.k. 6.sz. – pp. 177–181.
96. Hendriks, Rudolf W.. Field Evaluation of Acoustical Performance of Parallel Highway Noise Barriers Along Route 99 in Sacramento, California.. Report No. FHWA/CA/TL-91/01. *Sacramento CA: California Department of Transportation*. January 1991.
97. Herman L.A., Clum C. M., Preliminary assessment of traffic noise barrier effectiveness for Project HAM-71-11.44 *Ohio Department of Transportation. Finney*, 1997.
98. Матеріали та вироби будівельні звукопоглинальні і звукоізоляційні. Класифікація й загальні технічні вимоги : ДСТУ Б В.2.7–183:2009 [Чинний від 2010–08–01]. – К.: *Мінрегіонбуд України*, 2010. – 38 с.
99. May D. N., Osman M. M. The performance of sound absorptive, reflective, and T-profile noise barriers in Toronto-*Journal of Sound and Vibration*. – 71.k. 1.sz.
100. Chi-Chwen Lin, Yen-Ping Peng . Impact and Control of Reflected Noise from an Overpass Bottom. *Applied Sciences* 2018, 8(10), 16 p.; <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/10/1908>, <https://doi.org/10.3390/app8101908>
101. Loh K.O., Hussin K., Karim M.R. . A review of noise barriers for mitigating traffic noise in urban areas. *Applied Acoustics*, 2020 vol. 163, p. 107208. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107208>
102. Kurze U.J., Anderson G. S. Sound attenuation by barriers. . *Applied Acoustics*. – 4, 1971. – pp. 35–53.

103. Lam Y.W. Using Maekawa's chart to calculate finite length barrier insertion loss. *Applied Acoustics*, 1994. – 42. – pp. 29–44.
104. Moreland J. B. The performance of acoustic barrier. J. B. Moreland, R. S. Musa. *Proceedings of Inter-noise 72*. – Washington D.C., USA, 1972. – pp. 95–104.
105. Muradali A., Fyfe K. R. A study of 2D and 3D barrier insertion loss using improved diffraction-based method. *Applied Acoustics*, 1998. – 53. – pp. 49–75.
106. Pierce A. D. Diffraction of sound around corners and over wide barriers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1974. – 55(5). – pp. 941–955.
107. Seznec R. Diffraction of sound around barriers: Use of the boundary elements technique. *Journal of Sound and Vibration*, 1980. – 73(2). – pp. 195–209.
108. Tatge R. B. Barrier-wall attenuation with a finite-sized source. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1973. – 53. – pp. 1317–1319.
109. Bowlby W., Cohn L.F., Harris R. A. A review of studies of insertion loss degradation for parallel highway noise barriers. *Noise Control Eng. J.*, 1987. – 28 (2). – pp. 40–53.
110. Lijun Sun . Research and Application of Noise Barriers in Highway Construction. *E3S Web of Conferences* 233, 010 (2021) IAECST 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123301087>
111. Заєць В.П., Дідковський В.С., Контар М.В.. Методи визначення шуму транспортних потоків. *Акустичний вісник*. 2009. Том 12, N 2. С. 25 – 30
112. Федоров В. В. Звукопоглинаюча плита. Патент України № 89255, бюлетень «Промислова власність» № 1. – 11.01.2010 р.
113. Федоров В. В. Звукопоглинаюча плита. Патент України № 102013, бюлетень «Промислова власність». – № 10. – 27.05.2013 р.
114. US 7913812 B2 Composite sound barrier panel. Eduard Schenk (USA). – № US 11/842,718.
115. ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування і забудови населених пунктів.
116. ДБН Б.2.4-1-94 Планування і забудова сільських поселень.

117. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму.
118. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.
119. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ.
120. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-ХІІ.
121. ДСТУ 2735-94 Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила застосування. Вимоги безпеки дорожнього руху.
122. ДСТУ Б В.2.3-10-2003 Споруди транспорту. Огородження дорожнє парапетного типу. Загальні технічні умови.

ДОДАТКИ

Розрахунок еквівалентного рівня звуку транспортного потоку, до складу якого можуть входити автомобілі, тролейбуси, мотоцикли, а також трамваї

Розрахунок еквівалентного рівня звуку здійснюють в наступному порядку.

1. Діапазон рівнів звуку, які необхідно виміряти, розбивають на наступні інтервали: від 18 до 22, від 23 до 27, від 28 до 32, від 33 до 37, від 38 до 42, від 43 до 47, від 48 до 52, від 53 до 57, від 58 до 62, від 63 до 67, від 68 до 72, від 73 до 77, від 78 до 82, від 83 до 87, від 88 до 92, від 93 до 97, від 98 до 102 дБ А.

2. Виміряні рівні звуку (форма 1 додатку 1) розподіляють по інтервалах згідно з графою 1 форми 2 додатку 1. Підраховують число відліків рівнів звуку у кожному інтервалі та сумарне число відліків.

Результати вказаних операцій записують (відмітками і цифрами) в протокол.

Таблиця А 1

Сумарний індекс	ΔL_A , дБ А	Сумарний індекс	ΔL_A , дБ А	Сумарний індекс	ΔL_A , дБ А	Сумарний індекс	ΔL_A , дБ А
		1585	32	398100	56	100000000	80
		1995	33	501200	57	125900000	81
10	10	2512	34	631000	58	158500000	82
13	11	3162	35	794300	59	199500000	83
16	12	3981	36	1000000	60	251200000	84
20	13	5012	37	1259000	61	316200000	85
25	14	6310	38	1585000	62	398100000	86
32	15	7943	39	1995000	63	501200000	87
40	16	10000	40	2512000	64	631000000	88
50	17	12590	41	3162000	65	794300000	89
63	18	15850	42	3981000	66	1000000000	90
79	19	19950	43	5012000	67		
100	20	25120	44	6310000	68		
126	21	31620	45	7943000	69		
159	22	39810	46	10000000	70		
200	23	50120	47	12590000	71		
251	24	63100	48	15850000	72		
316	25	79430	49	19950000	73		
398	26	100000	50	25120000	74		
501	27	125900	51	31620000	75		
631	28	158500	52	39810000	76		
794	29	199500	53	50120000	77		
1000	30	251200	54	63100000	78		

1259	31	316200	55	79430000	79		
------	----	--------	----	----------	----	--	--

3. Вираховують частки числа відліків у кожному інтервалі рівнів звуку в сумарному числі відліків та значення їх заносять в графу 4 форми 2 додатку 1.

4. Визначають частинні індекси по табл. 1 в залежності від інтервалу і частки числа відліків у даному інтервалі рівнів звуку в сумарному числі відліків та значення їх заносять в протокол.

5. Вираховують сумарний індекс, складаючи одержані часткові індекси.

6. Визначають величину ΔL_A , дБ А, за табл. 1 в залежності від одержаного значення сумарного індексу.

7. Еквівалентний рівень звуку $L_{A\hat{E}\hat{A}}$, дБ А, визначають за формулою:

$$L_{A\hat{E}\hat{A}} = \Delta L_A + 10 \quad (A.1)$$

Терміни та визначення

1. Постійний шум - шум, рівень звуку якого змінюється з часом не більше ніж на 5 дБ А при вимірюваннях на часовій характеристиці “повільно” шумоміру.

2. Непостійний шум - шум, рівень звуку якого змінюється з часом більше ніж на 5 дБ А при вимірюваннях на часовій характеристиці “повільно” шумоміру.

3. Шум, що коливається - непостійний шум, рівень звуку якого безперервно коливається з часом.

4. Переривчастий шум - непостійний шум, рівень звуку якого періодично різко падає до рівня фонового шуму, причому тривалість інтервалів, на протязі яких рівень звуку залишається постійним та перевищує рівень фонового шуму, становить 1 с і більше.

5. Імпульсний шум - непостійний шум, що складається з одного або кількох звукових імпульсів, кожний тривалістю менше 1 с, при цьому рівні звуку, дБ А, виміряні при включених часових характеристиках “повільно” і “імпульс” шумоміру, відрізняються не менше ніж на 7 дБ А.

6. Еквівалентний (по енергії) рівень звуку $L_{A\hat{\hat{A}}}$, дБ А — величина, що визначається за формулами (Б 1 – Б 3)

$$L_{A\hat{\hat{A}}} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (\text{Б 1})$$

де $p_A(t)$ - звуковий тиск, який змінюється в часі, виміряний при відкритій частотній характеристиці «А» шумоміру, Па; p_0 - порогове значення тиску, рівне $2 \cdot 10^{-5}$ Па; T_m - тривалість вимірювання шуму, хв.

$$L_{A\hat{\hat{\hat{a}}}} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{Ai}} \right), \quad (\text{Б } 2)$$

де L_{Ai} - виміряні рівні звуку, дБ А; N - загальне число відліків рівнів звуку.

$$L_{A\hat{\hat{\hat{a}}}} = 10 \lg \left[\frac{1}{100} \sum_{i=1}^n f_i 10^{0.1 L_i} \right], \quad (\text{Б } 3)$$

де L_i - середній рівень звуку в i -ому інтервалі рівнів звуку, дБ А; f_i - частка числа відліків в i -ому інтервалі рівнів звуку в загальному числі відліків, %; n - число інтервалів рівнів звуку.

Ширина інтервалу рівнів звуку повинна бути менше або рівна 5 дБА. Середній рівень звуку L_i в i -ому інтервалі рівнів звуку визначається по формулі

$$L_i = \frac{L_i + L_{\hat{a}}}{2} \quad (\text{Б } 4)$$

де L_i - нижня межа інтервалу рівнів звуку, дБА; $L_{\hat{a}}$ - верхня межа інтервалу рівнів звуку, дБА.

7. Еквівалентний (за енергією) рівень звуку $L_{A\hat{\hat{\hat{a}}T}}$ за час оцінки шуму T - величина, яка визначається за формулою

$$L_{A\hat{\hat{\hat{a}}T}} = 10 \lg \left[\frac{1}{\sum_{j=1}^k T_{mj}} \sum_{i=1}^K T_{mj} 10^{0.1 L_{A\hat{\hat{\hat{a}}Tmj}} \right] \quad (\text{Б } 5)$$

де $L_{A\hat{e}T_{mj}}$ - еквівалентний (по енергії) рівень звуку кожного вимірювання шуму за час оцінки шуму T , дБ А; T_{mj} - тривалість кожного вимірювання шуму, хв; k - число вимірів шуму за час оцінки шуму T .

**Визначення середнього значення октавних рівнів звукового тиску,
рівнів звуку і еквівалентних рівнів звуку**

Середнє значення октавних рівнів звукового тиску, рівнів звуку, а також еквівалентні рівні звуку L_m вирахувати по формулі:

$$L_m = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} - 10 \lg n \quad , \quad (B.1)$$

де L_i - i -й із усереднених октавних рівнів звукового тиску, дБ, рівнів звуку або

еквівалентних рівнів звуку, дБ А; $i = 1, 2 \dots n$; $10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i}$ - сумарний октавний рівень звукового тиску, дБ, рівень звуку або еквівалентний рівень звуку, дБ А, який визначається за допомогою табл. В 1.

Складання октавних рівнів звукового тиску, рівнів звуку або еквівалентних рівнів звуку за допомогою табл. В 1 робиться послідовно, починаючи з максимального в наступному порядку:

1. Вирахувати різницю між двома рівнями, що складають.
2. Визначити добавку до більш високого з двох рівнів, які складають по табл. 1 в залежності від одержаної різниці цих рівнів.

Таблиця В 1

Різниця між двома рівнями, які додаються	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка до більш високого рівня	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

3. Скласти одержану добавку з більш високим з двох рівнів, що складають.

4. Зробити аналогічні дії з одержаною сумою двох рівнів та третім рівнем і т.д.

Якщо різниця між найбільшим і найменшим рівнями не перевищує 7 дБ (дБ А), то середнє значення рівнів L_m визначають як середнє арифметичне значення всіх рівнів, що визначається за формулою:

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad . \quad (B.2)$$

**Розрахунок еквівалентного рівня звуку переривчастого шуму,
рівні звуку якого залишаються постійними в інтервалах
тривалістю менше 0,5 хв, а також шуму, що коливається в часі,
та імпульсного шуму**

Розрахунок еквівалентного рівня звуку робити наступним чином.

1. Виміряні рівні звуку (форма 3 додаток) розподіляють по інтервалах згідно з графою 1 форми 4 додатку 5. Підрахувати число відліків рівнів звуку в кожному інтервалі.

Результати вказаних операцій занести (відмітками і цифрами) в графи 2 і 3 форми 4 додатку 5.

2. Визначити частинні індекси по табл. 2 в залежності від інтервалу і числа відліків в цьому інтервалі рівнів звуку і значення їх занести в графу 4 форми 4 додатку 5.

3. Вирахувати сумарний індекс, додаючи одержані частинні індекси.

4. Визначити величину ΔL_A , дБ А, по табл. 3 в залежності від значення одержаного сумарного індексу.

5. Еквівалентний рівень звуку $L_A^{\text{âââ}}$, дБ А, вирахувати за формулою:

$$L_A^{\text{âââ}} = \Delta L_A + 10 \quad (\Gamma.1)$$

**Розрахунок еквівалентного рівня звуку переривчастого шуму,
рівні звуку якого залишаються постійними в інтервалах
тривалістю 0,5 хв і більше**

Розрахунок еквівалентного рівня звуку робити наступним чином.

1. Визначити поправки ΔL_{Ai} , дБ А, до значень вимірних рівнів звуку L_{Ai} , дБ А, графа 2 форми 2 додатку 5) по табл. 4 для переривчастого шуму, рівні якого залишаються постійними в інтервалах, що дорівнюють від 0,5 до 29,5 хв, і за формулою (Д 1) для переривчастого шуму, рівні звуку якого залишаються постійними в інтервалах, що дорівнюють 30 хв і більше, в залежності від тривалості цих інтервалів і пауз між ними t_i , хв.

$$\Delta L_{Ai} = 10 \lg \frac{t_i}{T} \quad (\text{Д } 1)$$

де T - тривалість повного циклу характерної дії переривчастого шуму, хв.

Одержані поправки занести в графу 4 форми 2 додатку 5.

2. Вирахувати зкоректовані рівні звуку ($L_{Ai} + \Delta L_{Ai}$), дБ А, додаючи вимірні рівні звуку з одержаними поправками, і занести їх графу 5 форми 2 додатку 5.

$$10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1(L_{Ai} + \Delta L_{Ai})}$$

3. Визначити сумарний рівень звуку _____, дБ А, додаючи за допомогою табл. 1 додатку 3 одержані зкоректовані рівні звуку.

4. Одержаний сумарний рівень звуку буде еквівалентним рівнем звуку $L_{\text{екв}}$, дБ А.

Протокол вимірів шумових характеристик транспортних потоків

1. Місце проведення вимірювань Автомобільна дорога Київ-Чоп, км 238+740
2. Дата і час проведення вимірювань 04.07.2013 р., 13:15-14:30
3. Тривалість проведення вимірювань 45 хв
4. Засоби вимірювальної техніки шумомір Октава 110А № А060114 з МК-202 № 6033, свідоцтво про перевірку № 22-10/1273578 дійсне до 12.09.2013 р., ІС-2, св. про перевірку № 22-00/10874 від 30.05.2005 року, МЭС-200, св. № 36-2/504 від 05.08.2005 року
5. Умови проведення виміру: температура повітря – $32 \pm 0,5$ °С; відносна вологість – 75 ± 1 %; швидкість вітру – від 1,5 м/с до 2,5 м/с
6. Вимірювання проводились згідно: ГОСТ 20444-85 Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики; Керівництва з експлуатації шумоміра Октава 110А
7. Виміряні рівні звуку:

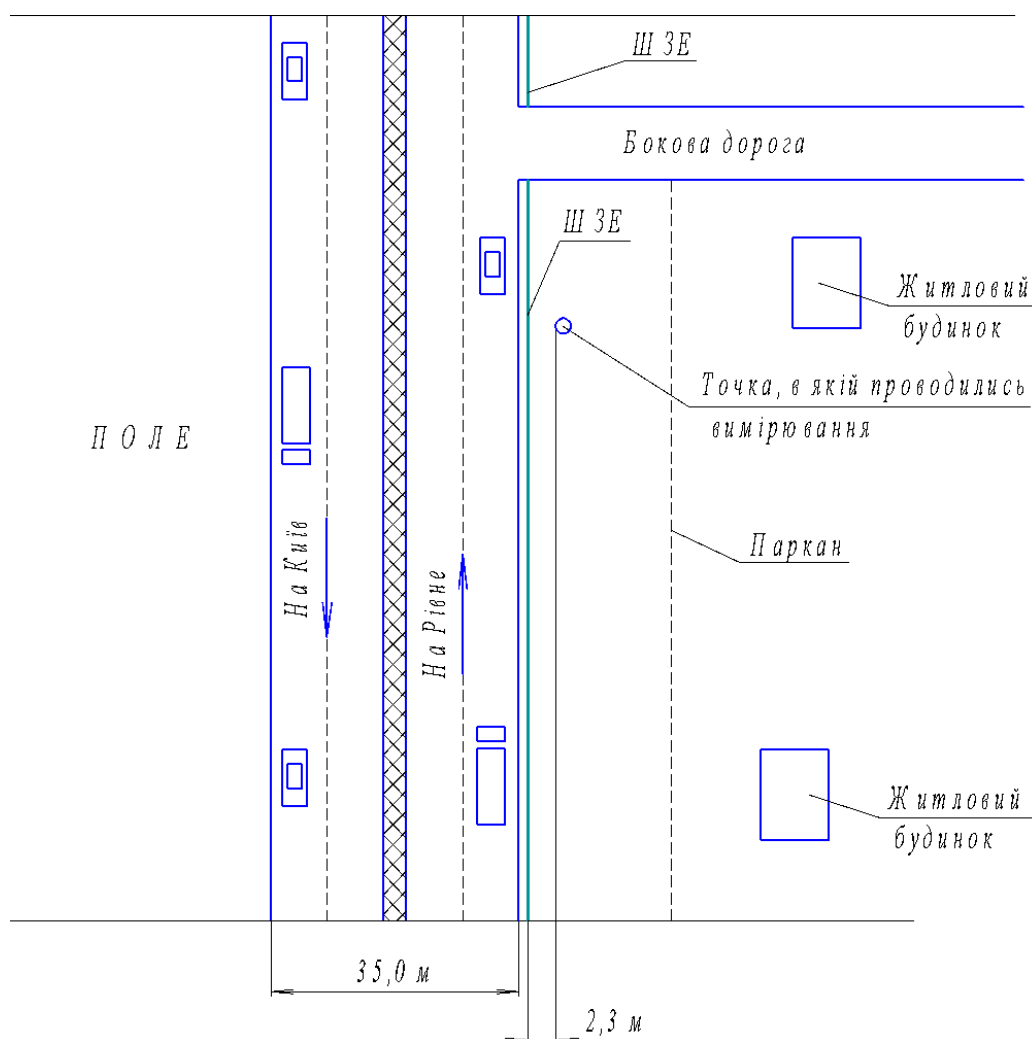
Інтервали рівнів звуку, дБА	Відмітки відліків звуку в інтервалі	Число відліків рівнів звуку в інтервалі	Доля числа відліків в данному інтервалі рівнів звуку в сумарному числі відліків	Часні індекси
18-22	<i>Вимірювання рівня звуку проведено за допомогою приладу вимірювання еквівалентного рівня звуку ОКТАВА 110 А</i>			
23-27				
28-32				
33-37				
38-42				
43-47				
48-52				
53-57				
58-62				
63-67				
68-72				
73-77				
78-82				
83-87				
88-92				
93-97				
98-102				
<i>Еквівалентний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 88,6 дБА</i>				
<i>Максимальний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 103,9 дБА</i>				
<i>Еквівалентний рівень звуку на відстані 2,4 м за шумозахисним екраном становить 70,7 дБА</i>				
<i>Максимальний рівень звуку на відстані 2,4 м за шумозахисним екраном становить 89,8 дБА</i>				

8. Нормативне значення _____ згідно з _____
9. Визначення інтенсивності руху і складу транспортного потоку

Напрямок руху	Легкові автомобілі		Вантажівки		Автобуси		Тролейбуси		Мотоцикли		Сумарне число транспортних засобів	Інтенсивність руху, од./год.
	число	доля, %	число	доля, %	число	доля, %	число	доля, %	число	доля, %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
А-Б (К – Р)	63	67	28	30	3	3	-	-	-	-	94	376
Б-А (Р – К)	82	76	24	22	2	2	-	-	-	-	108	432
В обох напрямках	145	72	52	26	5	2	-	-	-	-	202	808

10. Повздовжній ухил проїзної частини дороги відсутній

11. Схематичний ситуаційний план ділянки



12. Тип і стан покриття проїзної частини дороги асфальтобетонне покриття в хорошому стані, без тріщин, вибоїн, перепадів та відриву щебеню; поверхня дорожнього покриття – суха

13. Назва організації, що проводила вимірювання Національний транспортний університет

14. Посада, прізвище, ім'я, по батькові осіб, що проводять дослідження:

Доцент кафедри «Автомобілі» НТУ

В.В. Федоров

Науковий співробітник кафедри «Мости і тунелі»

С.В. Ласлов

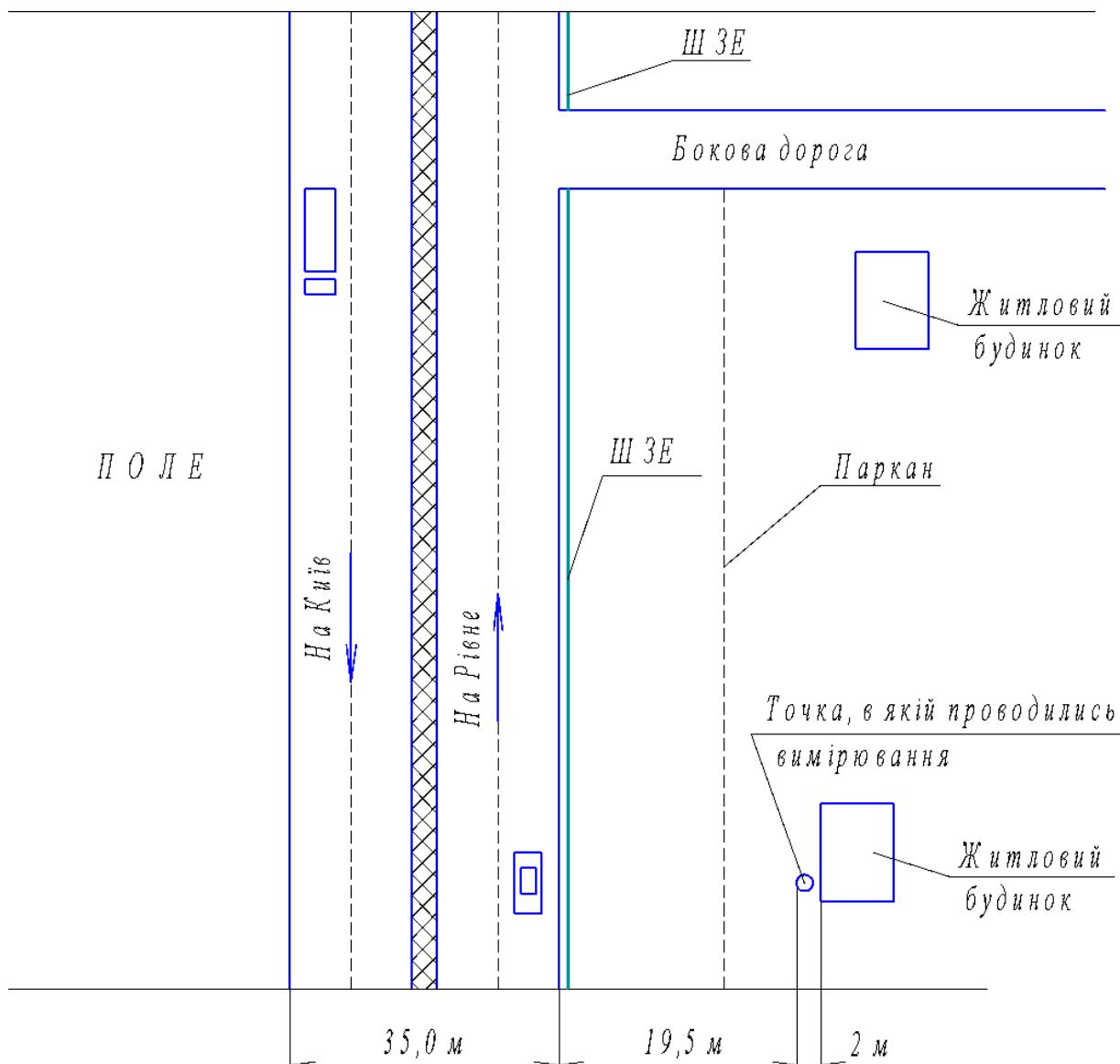
Протокол вимірів шуму на сельбищній території

1. Місце проведення вимірювань на ділянках біля житлової забудови вздовж автомобільної дороги М 06, Київ-Чоп, 238 км (напряма на Рівне), 19,5 м від автомобільної дороги
2. Дата та час проведення вимірювань: денний час – 04.07.2013 р. з 14⁴⁵ до 16²⁵;
нічний час.....–
3. Тривалість проведення вимірювань: 1 год.40 хв.
4. Еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) та на відстані 19,5 м від автомобільної дороги (існуючої) до житлової забудови (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰): **74,4 дБА.**
5. Максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) та на відстані 19,5 м від автомобільної дороги (існуючої) до житлової забудови: (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰): **78,0 дБА.**
6. Засоби вимірювальної техніки Октава 110А - свід. № 22-10/1273578 дійсне до 12.09.2013 р., ІС-2, св. про повірку № 22-00/10874 від 30.09.2012 року, МЭС-200, св. № 36-2/504 від 05.02.2013 року
7. Нормативна документація, у відповідності до якої:
 - а) ГОСТ 23337-79 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий; ГОСТ 20444-85 Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики;
(проводяться вимірювання)
 - б) Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я від 19.06.1996 р. № 173(ДСП від 19.06.1996 р. № 173); СНиП II-12-77 Нормы проектирования. Защита от шума; СН № 3077 Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки
(оцінюються результати)
8. Допустимий рівень звуку згідно ДСП від 19.06.1996 р. № 173:
 - а) еквівалентний рівень звуку 55 дБА (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰);
 - б) максимальний рівень звуку 70 дБ (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰)
9. Тип та стан дорожнього покриття асфальтобетонне покриття з вибоїнами;
поверхня дорожнього покриття – суха
10. Параметри навколишнього середовища:
 - температура повітря – від 30,2 °С до 31,1 °С;
 - вологість повітря – 70±5 %;
 - атмосферний тиск – 745 мм рт.ст.;
 - швидкість вітру – від 1,2 м/с до 1,5 м/с

11. Інтенсивність руху та складу транспортного потоку:

Напрямок руху	Легкові автомобілі		Вантажівки		Автобуси		Тролейбуси		Мотоцикли		Сумарне число транспортних засобів	Інтенсивність руху, од./год.
	число	доля, %	число	доля, %	число	доля, %	число	доля, %	число	доля, %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
А-Б (К – Ч)	35	75	11	23	1	2	-	-	-	-	47	117
Б-А (Ч – К)	33	77	8	18	2	5	-	-	-	-	43	107
В обох напрямках	68	75	19	21	3	4	-	-	-	-	90	223

12. Схема розміщення джерел шуму і точок вимірів



13. Результати досліджень та розрахунків еквівалентного рівня звуку:

Інтервал	Відлік рівнів в інтервалі	Кількість досліджень в інтервалі	Частка відліків в даному інтервалі рівнів звуку в сумарній кількості відліків, %	Часткові індекси
18-22	<i>Вимірювання рівня звуку проведено за допомогою приладу вимірювання еквівалентного рівня шуму ОКТАВА 110 А</i>			
23-27				
28-32				
33-37				
38-42				
43-47				
48-52				
53-57				
58-62				
63-67				
68-72				
73-77				
78-82				
83-87				
88-92				
93-97				
98-102				
Сумарний індекс				
Поправка				
Еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) 74,4 дБА				
Максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) 78,0 дБА				

14. Висновок: Виміряний еквівалентний рівень шуму на відстані 2 м від житлової забудови не відповідає встановленому нормативному рівню шуму згідно ДСП від 19.06.1996 р. № 173 для житлової забудови в денний час з 7⁰⁰ до 23⁰⁰. На відстані 19,5 м від існуючої автомобільної дороги та на відстані 2 м до житлової забудови: виміряний еквівалентний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на **19,4 дБА**; виміряний максимальний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на **8,0 дБА**.

15. Назва організації, що проводила вимірювання Національний транспортний університет

16. Посада, прізвище, ім'я, по батькові осіб, що проводять дослідження:

Доцент кафедри «Автомобілі» НТУ

В.В. Федоров

Науковий співробітник кафедри «Мости і тунелі»

С.В. Ласлов

Протокол вимірів шумових характеристик транспортних потоків

1. Місце проведення вимірювань автомобільна дорога М 06, Київ-Чоп, 157 км + 100 м (напрямо на Рівне, с. Березівка)
2. Дата і час проведення вимірювань 04.07.2013 р., 11:45-12:30
3. Тривалість проведення вимірювань 45 хв
4. Засоби вимірювальної техніки шумомір Октава 110А № АО60114 з МК-202 № 6033, свідоцтво про повірку № 22-10/1273578 дійсне до 12.09.2013 р. ІС-2, св. про повірку № 22-00/10874 від 30.05.2005 року, МЭС-200, св. № 36-2/504 від 05.08.2005 року
5. Умови проведення виміру: температура повітря – $29 \pm 0,5$ °С; відносна вологість – 74 ± 1 %; швидкість вітру – від 1,8 м/с до 2,5 м/с
6. Вимірювання проводились згідно: ГОСТ 20444-85 Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики; Керівництва з експлуатації шумоміра Октава 110А
7. Виміряні рівні звуку:

Інтервали рівнів звуку, дБА	Відмітки відліків звуку в інтервалі	Число відліків рівнів звуку в інтервалі	Доля числа відліків в данному інтервалі рівнів звуку в сумарному числі відліків	Часні індекси
18-22	Вимірювання рівня звуку проведено за допомогою приладу вимірювання еквівалентного рівня звуку ОКТАВА 110 А			
23-27				
28-32				
33-37				
38-42				
43-47				
48-52				
53-57				
58-62				
63-67				
68-72				
73-77				
78-82				
83-87				
88-92				
93-97				
98-102				
Еквівалентний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 86,7 дБА Максимальний рівень звуку на відстані 1 м перед шумозахисним екраном становить 99,8 дБА				
Еквівалентний рівень звуку на відстані 2,0 м за шумозахисним екраном становить 72,8 дБА Максимальний рівень звуку на відстані 2,0 м за шумозахисним екраном становить 90,8 дБА				

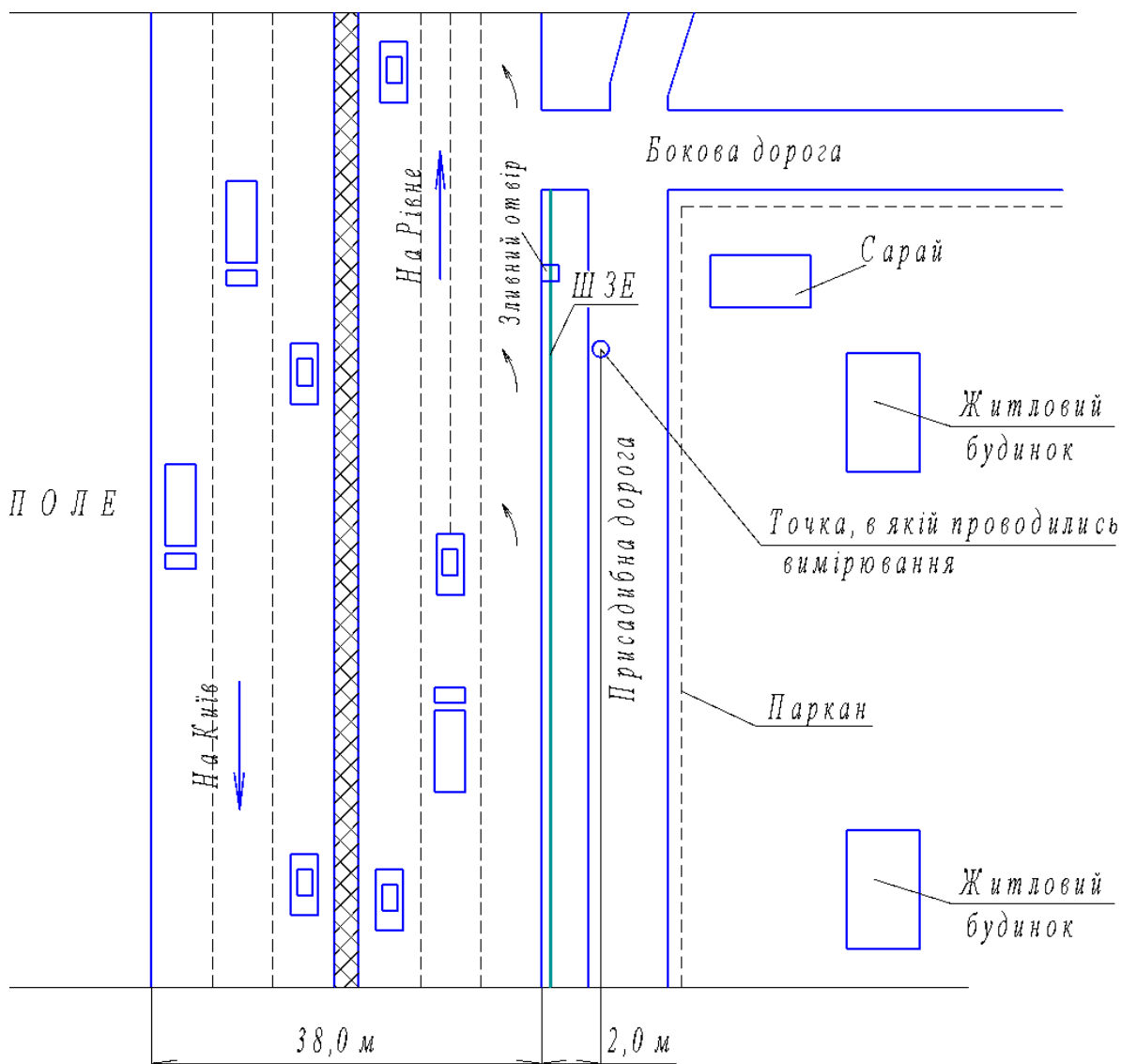
8. Нормативне значення _____ згідно з _____

9. Визначення інтенсивності руху і складу транспортного потоку

Напрямок руху	Легкові автомобілі		Вантажівки		Автобуси		Тролейбуси		Мотоцикли		Сумарне число транспортних засобів	Інтенсивність руху, од./год.
	чи сл о о	д о л я , %	ч и с л я , %	д о л я , %	ч и с л я , %	д о л я , %	ч и с л я , %	д о л я , %	ч и с л я , %	д о л я , %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
А-Б (К – Р)	67	69	29	30	1	1	-	-	-	-	97	388
Б-А (Р – К)	84	74	26	23	3	3	-	-	-	-	113	452
В обох напрямках	151	72	52	25	4	3	-	-	-	-	210	840

10. Повздовжній ухил проїзної частини дороги відсутній

11. Схематичний ситуаційний план ділянки



12. Тип і стан покриття проїзної частини дороги асфальтобетонне покриття в хорошому стані, без тріщин, вибоїн, перепадів та відриву щебеню; поверхня дорожнього покриття – суха

13. Назва організації, що проводила вимірювання Національний транспортний університет

14. Посада, прізвище, ім'я, по батькові осіб, що проводять дослідження:

Доцент кафедри «Автомобілі» НТУ

В.В. Федоров

Науковий співробітник кафедри «Мости і тунелі»

С.В. Ласлов

Протокол вимірів шуму на сельбищній території

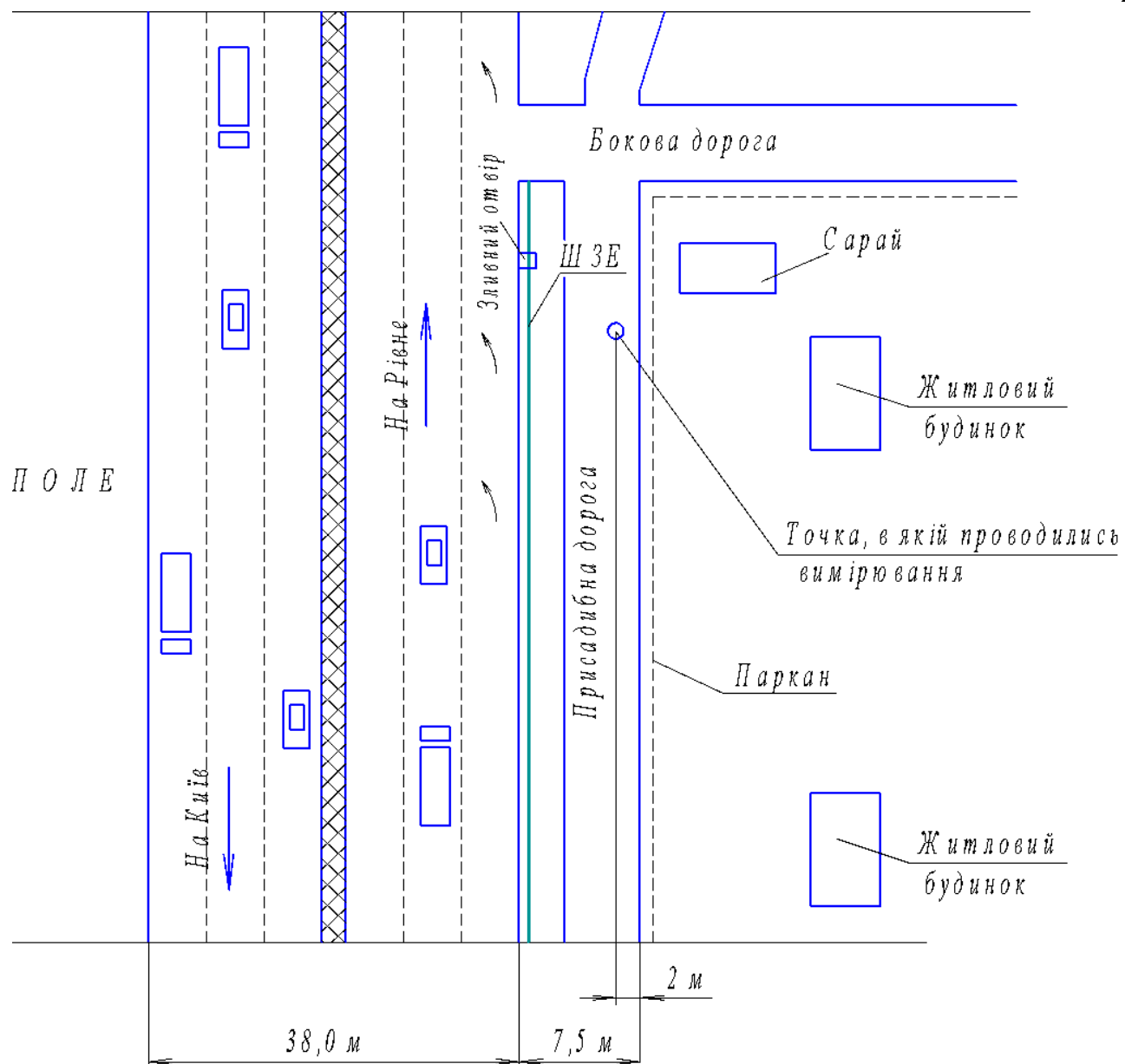
1. Місце проведення вимірювань на ділянках біля житлової забудови вздовж автомобільної дороги М 06, Київ-Чоп, 157 км + 100 м (напрямо на Рівне, с. Березівка), 7,8 м від автомобільної дороги
2. Дата та час проведення вимірювань: денний час – 04.07.2013 р. 12⁵⁰ до 13⁵⁰;
нічний час.....–
3. Тривалість проведення вимірювань: 1 год.00 хв.
4. Еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) та на відстані 7,8 м від автомобільної дороги (існуючої) до житлової забудови (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰): **72,2 дБА.**
5. Максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) та на відстані 7,8 м від автомобільної дороги (існуючої) до житлової забудови: (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰): **90,1 дБА.**
6. Засоби вимірювальної техніки Октава 110А - свід. № 22-10/1273578 дійсне до 12.09.2013 р., ІС-2, св. про повірку № 22-00/10874 від 30.09.2012 року, МЭС-200, св. № 36-2/504 від 05.02.2013 року
7. Нормативна документація, у відповідності до якої:
 - а) ГОСТ 23337-79 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий; ГОСТ 20444-85 Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики;
(проводяться вимірювання)
 - б) Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я від 19.06.1996 р. № 173(ДСП від 19.06.1996 р. № 173); СНиП II-12-77 Нормы проектирования. Защита от шума; СН № 3077 Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки
(оцінюються результати)
8. Допустимий рівень звуку згідно ДСП від 19.06.1996 р. № 173:
 - а) еквівалентний рівень звуку 55 дБА (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰);
 - б) максимальний рівень звуку 70 дБ (з 7⁰⁰ до 23⁰⁰)
9. Тип та стан дорожнього покриття асфальтобетонне покриття з вибоїнами;
поверхня дорожнього покриття – суха
10. Параметри навколишнього середовища:

температура повітря – від 32,4 °С до 33,1 °С;
вологість повітря – 72±5 %;
атмосферний тиск – 745 мм рт.ст.;
швидкість вітру – від 1,1 м/с до 1,4 м/с

11. Інтенсивність руху та складу транспортного потоку:

Напрямок руху	Легкові автомобілі		Вантажівки		Автобуси		Тролейбуси		Мотоцикли		Сумарне число транспортних засобів	Інтенсивність руху, од./год.
	чи слого	доя, %	числ	доля, %	числ	доля, %	числ	доля, %	числ	доля, %		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
А-Б (К – Ч)	39	75	10	19	3	6	-	-	-	-	52	156
Б-А (Ч – К)	33	73	9	20	3	7	-	-	-	-	45	135
В обох напрямках	72	74	19	20	6	6	-	-	-	-	97	291

12.Схема розміщення джерел шуму і точок вимірів



13. Результати досліджень та розрахунків еквівалентного рівня звуку:

Інтервал	Відлік рівнів в інтервалі	Кількість досліджень в інтервалі	Частка відліків в даному інтервалі рівнів звуку в сумарній кількості відліків, %	Часткові індекси
18-22	<i>Вимірювання рівня звуку проведено за допомогою приладу вимірювання еквівалентного рівня шуму ОКТАВА 110 А</i>			
23-27				
28-32				
33-37				
38-42				
43-47				
48-52				
53-57				
58-62				
63-67				
68-72				
73-77				
78-82				
83-87				
88-92				
93-97				
98-102				
Сумарний індекс				
Поправка				
Еквівалентний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) 72,2 дБА				
Максимальний рівень звуку на території безпосередньо прилеглої до житлової забудови (2 м) 90,1 дБА				

14. Висновок: Виміряний еквівалентний рівень шуму на відстані 2 м від житлової забудови не відповідає встановленому нормативному рівню шуму згідно ДСП від 19.06.1996 р. № 173 для житлової забудови в денний час з 7⁰⁰ до 23⁰⁰. На відстані 7,5 м від існуючої автомобільної дороги та на відстані 2 м до житлової забудови: виміряний еквівалентний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на **17,2 дБА**; виміряний максимальний рівень шуму перевищував встановлене нормативне значення на **20,1 дБА**.

15. Назва організації, що проводила вимірювання Національний транспортний університет

16. Посада, прізвище, ім'я, по батькові осіб, що проводять дослідження:

Доцент кафедри «Автомобілі» НТУ

В.В. Федоров

Науковий співробітник кафедри «Мости і тунелі»

С.В. Ласлов

ДОДАТОК К
ПАТЕНТИ НА ВІНАХОДИ ТА КОРИСНІ МОДЕЛІ

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 110161

Літературний письмовий твір наукового характеру «Моделі оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище»

(вкл. назва твору)

Автор(и) **Онищенко Артур Миколайович, Токин Олександр Павлович, Ласлов Сергій Володимирович, Чиженко Наталія Петрівна**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 8 грудня 2021 р.

Генеральний директор
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»

Андрій КУДІН



УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 110316

Науковий твір «Розробка базових принципів ліквідування навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах»

(назва твору)

Автор(и): Овищенко Артур Миколайович, Токін Олександр Павлович, Лислов Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові)

Дата реєстрації 14 грудня 2021 р.

Генеральний директор
Державного підприємства
«Український інститут
інтелектуальної власності»

Анарієв КУДІН

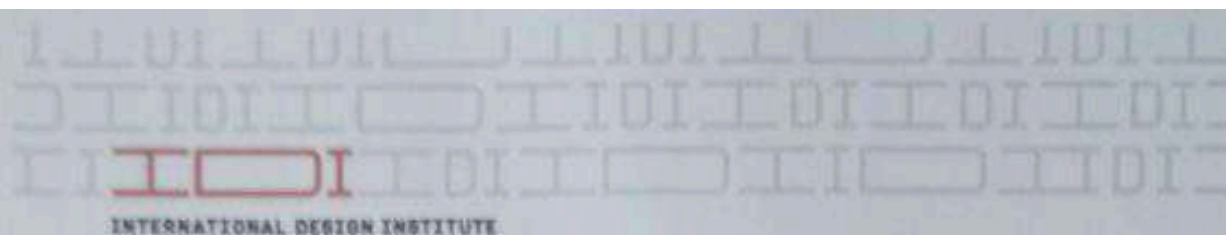








ДОДАТОК Л
АКТИ ІЗ ПРАКТИЧНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



ДОВІДКА

Про впровадження наукових розробок
аспіранта Національного транспортного університету
Ласлова Сергія Володимировича

Наукові розробки та практичні рекомендації Ласлова С.В. знайшли відображення в рекомендаціях для проектування захисних екранів на автомобільних шляхах України, що включають в себе:

- Класифікація шумозахисних екранів;
- Архітектурно-ландшафтні рішення;
- Планувальні та конструктивні рішення;
- Вимоги до конструкцій та матеріалів;
- Експлуатаційні і технічні вимоги;
- Технологічні вимоги;
- Ергономічні і екологічні вимоги;
- Вимоги безпеки.

Дані рекомендації знайшли практичне відображення в проектній документації на етапі проектування автомобільних доріг та мостів України.

Головний інженер



Андрій ФАЛЬ

ТОВ «МІП»
ЄДРНОУ 42703169
03038, м. Київ, вул. Казиміра Малевича, 8

tel.: +380443840417
office@idi.com.ua
http://idi.com.ua



019253

УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. М.Омельниченка-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010, т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

15.03 2023 № 607/13

на № _____

ДОВІДКА

Про впровадження результатів науково-дослідної роботи
аспіранта Національного транспортного університету
Ласлова Сергія Володимировича

Результати дисертаційної роботи Ласлова С.В. «Удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах» впроваджено в навчальний процес за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (освітні програми: «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів», «Автомобільні дороги і аеродроми», «Мости і транспортні тунелі»), крім того, за спеціальністю 101 «Екологія» (освітня програма «Екологія та охорона навколишнього середовища») та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (освітня програма «Екологічна інженерія автотранспортної діяльності»).

Перший проректор, професор НТУ



Олександр ГРИЦУК



Товариство з обмеженою відповідальністю
«Діагностика та інжиніринг мостів»

03164 м. Київ вул. Олевська, буд.3А, кв.35

ЄДРПОУ 43422564

ДОВІДКА

**Про впровадження наукових розробок
аспіранта Національного транспортного університету**

Ласлова Сергія Володимировича

Наукові розробки та практичні рекомендації Ласлова С.В. щодо впровадження моделей з оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище, що включає в себе:

- Фундаментальні принципи оцінки транспортного шуму від автодорожніх мостів;
- Критерії оцінки транспортного шуму;
- Модель розповсюдження шуму від транспорту на автодорожніх мостах;
- Розробка базових принципів захисту навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах.

Дані розробки знайшли практичне відображення в проектній документації і впроваджені на автомобільних дорогах та мостах України.

Директор ТОВ «Діагностика
та інжиніринг мостів»
кандидат технічних наук



Сташук П.М.



ТОВ «Юкрейніан Брідж Компані»
 м. Київ, вул. Мартиросяна, 16/14, 03186
 Тел. +38(050)471-33-99
 Email: general@ukrbridge.com Web: www.ukrbridge.com
 ЄДРПОУ 43554273
 Р/р UA49305299000026009045004106

«15» березня 2023 року № 01-15/03/2023

ДОВІДКА

Про впровадження наукових розробок аспіранта Національного транспортного університету Ласлова Сергія Володимировича

Наукові розробки Сергія Ласлова знайшли практичне відображення в проєктній документації при проєктуванні автомобільних доріг та мостів України а саме: розробка базових принципів захисту навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах а також, моделі оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище.

Дані розробки дозволяють досягти економічного ефекту при проєктуванні шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг та мостів загального користування де влаштовані шумозахисні екрани, а також покращити екологічну ситуацію на автомобільних дорогах та у цілому підвищити комфорт населення, що проживає у безпосередній близькості до автомобільної дороги.

Загалом наукова робота Сергія Ласлова на тему «Удосконалення методів оцінювання параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах» має велике значення для розвитку інфраструктури України. При впровадженні роботи очікується суттєве зменшення негативного впливу від шуму транспорту на здоров'я людей та довкілля.

Директор

  *Александр ДАВИДЕНКО*



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

«МТЗК»

вул. Січових Стрільців, 77, м. Київ 04050, офіс 708, тел. +38 (044) 229 61 36

e-mail: office@mtzk.ua, www.mtzk.ua

МТЗК

код ЄДРПОУ 42803820, в/р UA983218420000026006053040136 у банку АТ КБ "ПРИВАТБАНК" МФО 321842

Від 17.03.2023 №03-01/01-23

ДОВІДКА

**Про впровадження наукових розробок
аспіранта Національного транспортного університету
Ласлова Сергія Володимировича**

Наукові розробки Ласлова С.В. при встановленні параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах при дії транспортних потоків на ділянках а/д : с. Березівка, Київська обл., км.157, км. 217; Житомирська обл., км.238; Рівненська обл., км. 315.

Дані дослідження отриманих параметрів дозволили розробити адекватну математичну модель з оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище та запропонувати практичні заходи для проектування захисних екранів на автодорожніх шляхах України.

Заступник директора ТОВ «МТЗК»



Гаркуша М.В.

ДОДАТОК М
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ
ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. *Теоретичні та практичні дослідження параметрів шумозахисних екранів на автомобільних дорогах при дії транспортних потоків : монографія*. Київ : Національний транспортний університет, 2022. 139 с. ISBN:978-617-555-005-2.

URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000799506>

Статті у наукових фахових виданнях України:

2. Ласлов С.В. Методика експериментальних досліджень шумового забруднення від автомобільного транспорту та акустичних параметрів шумозахисних екранів (in English). Збірник наукових праць “Сучасне будівництво та архітектура”, Вип. 1, 2022. С.63-69.

<https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-1-63-69>

3. Ласлов С.В. Аналіз заходів шумової безпеки на автомобільних дорогах світу. *Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць*. Вип. 1(97), 2022. С. 51-64.

<https://doi.org/10.31713/vt120226>

4. Ласлов С.В. Архітектурно-ландшафтні рішення захисту території від транспортного шуму вздовж транспортних магістралей. *Науковий журнал Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Випуск 113. Частина 1, 2023. С. 54 – 60.

<https://10.33744/0365-8171-2023-113.1-054-060>

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

5. Laslov S., Tokin O., Onyshchenko A. Determining regularities in the distribution of noise load from motorways and road bridges depending on the distance to a residential area. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10(115)), 2022. P. 55–64.

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253389> (SCOPUS)

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Токін О.П., Ласлов С.В. Експериментально-теоретичні дослідження параметрів захисних екранів при шумових навантаженнях від автомобільних доріг. *Міжнародна конференція «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»»*. <https://doi.org/10.33744/978-966-632-317-3-2022-2>.

7. Ласлов С.В. Встановлення параметрів захисних екранів при шумових навантаженнях на транспортних спорудах. *78-ма наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету*. 2022. <https://doi.org/10.33744/2786-6459-2022-78>.

8. Онищенко А.М., Ласлов С.В. Методологія оцінювання шуму від транспортних засобів на автомобільних дорогах та мостах. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. №1, 2023. С. 28 – 35.

9. Ласлов С.В. Експериментально-теоретичні дослідження шумозахисних екранів на автомобільних дорогах. *III Міжнародна науково-технічна конференція “Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації”*. Харків: ХНАДУ, 2023. ISBN 978-617-8130-37-4.

URL: <https://rcf.khadi.kharkov.ua/kafedri/proektuvannja-dorig-geodeziji-i-zemleustroju/seminari-ta-konferenciji/iii-mizhnarodna-naukovo-tehnicna-konferencija-dorozhno-budivelnii-kompleks-problemi-perspektivi-innovaciji/>

Свідоцтва та патенти:

10. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110316 від 14 грудня 2021 р. Науковий твір “Розробка базових принципів захисту навколишнього середовища від шуму транспорту на автодорожніх мостах”.

11. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В., Чиженко Н.П. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 110161 від 8 грудня 2021 р. Науковий твір

“Моделі оцінки впливу транспортного шуму автодорожніх мостів на навколишнє середовище”.

12. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111281 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Оцінювання впливу транспортного шуму автомобільних доріг на навколишнє середовище”.

13. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111282 від 24 січня 2022 р. Науковий твір “Дослідження ефективності шумозахисних екранів на ділянках автомобільних доріг загального користування”.

14. Онищенко А.М., Токін О.П., Ласлов С.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 116476 від 21 лютого 2023 р. Науковий твір “Розробка рекомендацій для просування захисних екранів на автомобільних шляхах України”.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

15. ГБН В.2.3-37641918-556:2015 Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування.

URL: <https://drive.google.com/file/d/1ULEIkFIFKneKnggA3bd68zH1F19xugyP/view>