

Ласлов С. В. (Національний транспортний університет, м. Київ)

АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ШУМОВОЇ БЕЗПЕКИ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ СВІТУ

У роботі проведено аналіз існуючих проєктних заходів щодо захисту навколишнього середовища від шумового навантаження на автомобільних дорогах країн світу. Наведено основні класифікатори шумового захисту природного середовища. Розглянуто особливості деяких рішень з проєктування міст і доріг у розрізі шумового захисту.

Наведено варіанти зниження шумового забруднення методами будівництва тунелів і зелених насаджень. Виявлено і досліджено позитивні і негативні фактори при використанні зазначених методів в умовах міської забудови та поза містом.

Встановлено, що найбільш ефективними заходами зі зменшення впливу шумового навантаження на навколишнє середовище є встановлення шумозахисних екранів уздовж автомобільних доріг. Докладно проаналізовано їх використання як метод захисту навколишнього середовища.

Наведено основні типи шумозахисних екранів, їх особливості та якісні характеристики.

Ключові слова: шумове забруднення; шумове навантаження; тунелі; зелені насадження; шумозахисний екран; дифракція; типи шумозахисних екранів; зниження шуму; панелі шумозахисних екранів.

Вступ. Проблема шумового забруднення на автомобільних дорогах світу стає дедалі актуальною в останні роки.

Згідно із працею [1] методи зменшення впливу шуму від транспорту, на відміну від методів зниження шуму біля джерела за рахунок покращення конструкції транспортного засобу, бувають трьох типів:

1. Зменшення шуму за рахунок містобудування та проєктування доріг (включаючи використання звукових екранів або бар'єрів).

2. Зниження шуму за допомогою архітектурних засобів, таких як звукоізоляція та облаштування кімнат.

3. Зниження шуму за допомогою заходів контролю дорожнього руху та поліції.

Слід зазначити, що істотного зниження рівня шуму можна досягти шляхом зміни дизайну доріг та їх оточення, тобто шляхом відповідного містобудування.

Аналіз методів шумозахисту. З точки зору зниження шуму, що поширюється на житло, тунелі (рис. 1) є найбільш радикальним рішенням, яке створює, проте, багато труднощів. У традиційних містах і селищах можуть виникнути значні топографічні та технічні проблеми через стан надр, простору, зайнятого каналізацією, підземними інфраструктурними об'єктами тощо – це фактори, які ускладнюють, а іноді навіть унеможливають підземні роботи.

Крім того, коли підземну дорогу можна побудувати, вона, як правило, є абсолютно новою, а не заміною існуючої наземної, яку закривають, щойно підземну дорогу буде відкрито. Крім того, будівництво підземної дороги є безумовно найдорожчим рішенням.



Рис. 1. Тунель в межах міської забудови

За оцінками британських вчених, будівництво дороги в тунелі, що побудований закритим способом, коштує в 13 разів дорожче ніж будівництво на рівні землі [1]. Шум і забруднення від вентиляційних систем також є серед різноманітних проблем, які виникають із тунелями (як і з підземними паркінгами). Виходи цих систем повинні бути забезпечені відповідними дефлекторами і якимось чином видаляти (фільтрувати) вихлопні гази, шкідливі випари та забруднювачі.

Тунелі також повинні бути акустично оброблені, щоб рівень звуку всередині не перевищував рівнів, які можуть переносити автомобілісти. Крім того, значним може бути вплив на поверхню будівель вібрації від руху транспорту. Вирішення цієї проблеми не повинно створювати нових та викликати невдоволення.

Щодо зелених насаджень (рис. 2), то дослідження [2] показали, що листяні породи дерев можуть поглинати до 25% звукової енергії, а 75% – віддзеркалювати та розсіювати. Найкращими з цієї точки зору є: ялина, ялиця, туя (з хвойних порід); липа, граб (з листяних).



Рис. 2. Зелені насадження вздовж доріг

Шумозахисна функція, певним чином, залежить від прийомів озеленення. Однорядна посадка дерев з живою огорожею з чагарника шириною 10 метрів знижує рівень шуму на 3–4 дБ; дворядна посадка шириною 20–30 метрів – на 6–8 дБ; 3–4-рядна посадка шириною 30–50 метрів – на 8–10 дБ; бульвар шириною 70 метрів з рядовою та груповою посадкою дерев та чагарників – на 10–14 дБ; багаторядна посадка або зелений масив шириною 100 метрів – на 12–15 дБ.

Теоретично зменшення швидкості руху автомобільного транспорту є ще одним способом зменшення рівня шуму. На високошвидкісних дорогах скорочення середньої швидкості автомобіля в 2 рази може призвести до зниження еквівалентного рівня шуму на 5–6 дБ, але на практиці цього важко домогтися [3].

Завдяки проведеним дослідженням у роботах [3; 4] встановлено, що деяких успіхів у зниженні шуму можна досягти за допомогою відповідної конфігурації малюнка протектора і конструкції шини. Проте конструювання шин з істотно зниженим

рівнем шуму вступає в суперечність із гострою необхідністю забезпечення безпеки руху, попередження нагріву протектора і забезпечення економічності автомобіля.

Отже, великі можливості зі зниження шуму відкриває створення перспективних альтернативних конструкцій дорожнього покриття.

Важливим, з погляду обмеження шуму, є будова самого дорожнього покриття: чи утворено воно бітумінізованим матеріалом з випадковим малюнком будови, або покриття бетонне, з домінуючою поперечною структурою. У Великобританії були проведені вимірювання [2], які дозволили встановити елементарне співвідношення між опором автомобіля занесенню, що реалізується на дорожньому покритті, і сумарним рівнем шуму, який генерується автомобілями, що йдуть на великих швидкостях по даному дорожньому покриттю. Було встановлено, що це співвідношення статистично не залежить від будови матеріалу дорожнього покриття. На жаль, хоч цей результат і корисний при встановленні норм для розробки дорожнього покриття, в яких враховуються міркування безпеки і охорони навколишнього середовища, він оголює протиріччя, існуюче між визначенням дорожніх покриттів, що володіють низьким рівнем шуму і задовільними нормами безпеки при високих швидкостях руху.

Аналіз шумозахисних екранів. Шумозахисні екрани знижують транспортний шум за рахунок поглинання, зміни довжини хвилі, віддзеркалення, або дифракції.

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) менше дифрагують, 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 в порівнянні з хвилями звуку із більш низькими частотами.

Деякі системи екранів розроблені з отворами для скидання води [6]. При цьому слід враховувати, що маленький (до 20 см в поперечнику) отвір в шумозахисному екрані дає приріст шуму в межах 1 дБ(А); отвори повинні мати належний захист у вигляді ґрат або стрижнів, щоб обмежити вхід дрібних тварин.

Згідно з [6] до основних типів шумозахисних екранів можна віднести: екрани на природній основі та екрани на штучних спорудах.

Встановлені на ґрунті екрани представляють собою конструкції, які змонтовані на ґрунтовій основі. Нижче розглянуто три типи таких конструкцій: шумозахисні насипи; шумозахисні стіни; комбіновані конструкції (рис. 3), що складаються з насипів і стін.



Рис. 3. Комбінована конструкція – по центру – стіна, з боків – насипи

Шумозахисні екрани, виготовлені з природних ґрунтів, каміння, скельних матеріалів, в натуральному вигляді називаються шумозахисними насипами. 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 ухил укосів приймають 2:1 [6], в деяких випадках використовують ухил 1,5:1. 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 як межі смуги відведення.

Інші фактори, що враховуються при виборі насипу як шумозахисної конструкції [6]:

- вимоги до площі смуги відведення: чи вміщається 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 облаштовуватися 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?

Більшість конструкцій шумозахисних стін є привезеними [6], тобто всі конструкції виготовляються на заводі, потім доставляються на місце монтажу і збираються (за винятком монолітних конструкцій). Нижче розглянуто наступні типи шумозахисних стін: панелі, розміщені між стійками; стіни з каменю і блоків (рис. 4); самонесучі шумозахисні стіни (із заздалегідь напруженого залізобетону, габіонів); панелі, вкопані в ґрунт; монолітні бетонні стіни.

Панелі розміщені між стійками: основними елементами таких конструкцій є опори, фундаменти, панелі і зв'язки панелей з опорами.

Конструкція стін із блоків (рис. 4) цікава тим, що блоки є шумопоглинаючими завдяки своїм отворах, а панелі з плексигласу відбивають шумові хвилі високих частот.



Рис. 4. Стіна з блоків та панелей армованого плексигласу зверху



Рис. 5. Шумозахисний екран з пластику з комбінованими панелями – непрозорими і прозорими

Тип закріплення стійок як правило визначається проєктною організацією з урахуванням несучих конструкцій. 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 виконання робіт. Розмір і конфігурацію панелей визначають проєктом. 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 панелей необхідно враховувати наступні фактори [6]:

- *відстань між опорами*: більша відстань між опорами економічно вигідніше, але при цьому може виникнути необхідність установки збірних панелей. Довгі вузькі панелі як правило менше піддаються деформаціям. Такі деформації значущі для міжпанельних швів і стиків, зв'язків між панелями і візуального сприйняття;

- *вимоги до перевезення*: у зв'язку з обмеженнями вантажів по висоті, що перевозяться автомобільними дорогами, великорозмірні панелі, які монтуються вертикально, слід транспортувати в горизонтальному положенні, а на місці – піднімати їх, що призводить до виникнення значних бокових навантажень;

- *обмеження по вазі і розмірах*: деякі збірні конструкції можуть мати обмеження по вазі і розмірах;

- *акустичні особливості*: при облаштуванні шумозахисних екранів із застосуванням збірних панелей особливу увагу слід приділити ізоляції горизонтальних швів між панелями;

- *естетичні міркування*: збірні панелі за своєю конструкцією утворюють горизонтальні шви, при замазуванні яких необхідно враховувати не тільки технічні аспекти, але й естетику. Горизонтальні шви панелей можуть покращувати естетичне сприйняття шумозахисного екрану;

- *особливості монтажу*: для монтажу бетонних панелей необхідне вантажопідйомне устаткування, особливо для панелей з важкого бетону. В деяких випадках (наприклад, якщо в екран повинен бути «врізаний» пішохідний перехід або міст) виникають складнощі при монтажі конструкцій. З іншого боку, використання великорозмірних панелей вимагає меншого числа підйомів і монтажних операцій і знижує кількість швів і стиків;

- *зручність в експлуатації*: необхідно враховувати можливість заміни елемента екрану у разі його пошкодження. Навіть при незначному пошкодженні великорозмірної панелі потрібна її заміна, тоді як для більш вузьких панелей витрати на заміну будуть значно меншими. Знову вмонтовуваний елемент по матеріалу, кольору, текстурі для великорозмірних панелей повинен бути аналогічний замінюваному, тоді як для вузьких панелей припустима деяка

різноманітність. Слід враховувати, що при операціях демонтажу-монтажу можливе додаткове пошкодження елементів;

- *зв'язок панелі і опори*: для зв'язку панелі з опорою існує декілька різних способів. При виборі методу зв'язку найбільш вагомі конструктивні і акустичні міркування, особливо при використанні різномірних матеріалів, таких як сталь, алюміній, пластмаса, скло та ін. Стик панелі з опорою не повинен погіршувати акустичні характеристики екрану, тому панелі повинні щільно прилягати до опори по всій площинній поверхні.

Будь-який ізоляційний матеріал повинен забезпечити щільний стик на розрахунковий термін служби конструкції. Стик повинен забезпечувати мінімізацію пошкоджень, що 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 приварювані, навішувані на вільні петлі або фіксовані болтами панелі різна.

Вітрове навантаження, навіть якщо розташування панелі відносно пануючих вітрів, сприяє рівномірному розподілу навантаження на обидві опори, розрахунок повинен проводитися до повного навантаження на одну опору.

Похилі опори і панелі (рис. 6) застосовуються у випадках, коли вертикальні стіни не можуть забезпечити необхідний шумозахист. Цей тип екранів як правило виготовляється із заздалегідь напружених залізобетонних елементів або пластику. Проте відомі і похилі екрани з дерева.



Рис. 6. Похилі шумозахисні екрани

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 естетичне враження.

Стіни з каменю і блоків облаштовуються на стрічковому фундаменті. В 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: з готових бетонних елементів; з елементів ґратчастого типу з посадкою рослин; кладки з габіонів.

Екрани з готових бетонних блоків зазвичай збираються у вигляді ламаної зигзагоподібної стіни або у вигляді трапецій.

Екрани з елементів ґратчастого типу з посадкою рослин (рис. 7) виготовляють із матеріалів зі стабільною структурою типу бетону або пластику, з лунками, які заповнюють ґрунтом з рослинами. Для таких екранів найчастіше використовуються стрічкові бетонні фундаменти.

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



Рис. 7. Шумозахисний екран поглинаючого типу «зелена стіна»

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

Габіонні екрани звичайно облаштовуються на добре дренованих ущільнених ґрунтах [6]. 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 (рис. 8), вкопуються в ґрунт без облаштування фундаменту. В таких системах наземна частина панелей відповідає розрахунковій висоті екрану, стиківка панелей – «паз у виступ». Це дозволяє одержувати різний в 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.

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. У цьому випадку проводиться монтаж панелей екрану на звичайний фундамент зі 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 ґрунту.



Рис. 8. Шумозахисні екрани з деревини на монолітному фундаменті

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 вищевказаних факторів.

Комбінація підпірних стін і шумозахисних екранів, як правило, вимагає більшої глибини зворотної засипки. Це питання виділено в окремий різновид і розглянуто нижче.

Монолітні залізобетонні шумозахисні конструкції облаштовуються безпосередньо на місці. Їх будівництво включає виїмку ґрунту для фундаменту, монтаж опалубки, установку арматури, укладку бетону, ущільнення і обробку. За винятком деяких елементів фундаменту такі системи значно відрізняються від шумозахисних збірних конструкцій стінного типу з погляду будівництва, архітектури, естетики і методів контролю якості.

Більшість ефективних шумозахисних екранів отримують шляхом застосування у нижній частині насипу із ґрунту з розміщенням на її верху додаткової стінки. Для таких комбінованих шумозахисних екранів необхідно враховувати наступні фактори:

- навантаження на насип і реакція ґрунту насипу залежать від прольоту стіни. Ґрунт насипу відрізняється від звичайних ґрунтів. Такі фактори, як внутрішнє тертя і навантаження на ґрунт насипу, повинні розглядатися особливо ретельно, наприклад, повинна враховуватися площа між фундаментом стіни і укосами насипу, щоб уникнути виникнення зрізаючих навантажень;

- 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.

Висновки. Беручи до уваги зменшення шуму за рахунок містобудування та проектування доріг, можемо виділити найбільш дієвий спосіб – це застосування шумозахисних екранів, які різняться своїм типом, формою та засобом використання. Отже, залежно від задачі, що стоїть перед проєктантами доріг, міст, можна використовувати різні типи екранів. Також можливо ці типи комбінувати для вирішення тих, чи інших завдань дорожньої інфраструктури та інфраструктури міст.

1. Vibha D. How to Reduce Traffic Noise? | Noise Pollution URL: <https://www.environmentalpollution.in/noise-pollution/reduce/how-to-reduce-traffic-noise-noise-pollution/5996> (дата звернення: 15.02.2022).

2. Fleming, Gregg G., A. Rapoza, C. Lee. 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 : John A. Volpe

National Transportation Systems Center, Acoustics Facility, November 1995. **3.** Fleming, Gregg G., 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. **4.** Gordon C. G., Galloway W. J., Kugler B. A. and Nelson D. L. NCHRP Report 117: Highway Noise: A Design Guide for Highway Engineers. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1971. **5.** ГБН В.2.3-37641918-556:2015. Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування.

REFERENCES:

1. Vibha D. How to Reduce Traffic Noise? | Noise Pollution URL: <https://www.environmentalpollution.in/noise-pollution/reduce/how-to-reduce-traffic-noise-noise-pollution/5996> (data zvernennia: 15.02.2022).
2. Fleming, Gregg G., A. Rapoza, C. Lee. 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 : John A. Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility, November 1995.
3. Fleming, Gregg G., 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. **4.** Gordon C. G., Galloway W. J., Kugler B. A. and Nelson D. L. NCHRP Report 117: Highway Noise: A Design Guide for Highway Engineers. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1971. **6.** HBN V.2.3-37641918-556:2015. Avtomobilni dorohy. Sporudy shumozakhysni. Vymohy do proektuvannia.

Laslov S. V. (National Transport University, Kyiv)

ANALYSIS OF NOISE SAFETY MEASURES ON THE WORLD ROADS

The work carried out an analysis of existing project measures to protect the environment from noise load on roads of the countries of the world. The main classifiers of noise protection of the natural environment are given. Features of some solutions for designing cities and roads in the context of noise protection are considered.

Options for reducing noise pollution by methods of construction of tunnels and green spaces are given. Various factors were identified when applying the methods considered – both positive and negative.

Positive and negative factors are considered when using these methods in urban and non-urban conditions.

The environmental protection method such as the use of noise shields is discussed in more detail.

It was found that the most effective measures of the impact of noise load on the environment is the installation of noise protection screens along roads.

The main types of noise shields used in the world, their peculiarities and qualitative characteristics are given.

It is established that reducing the speed of road transport is a measure of reducing the noise level of road transport. On high-speed roads, reducing the average speed of the car by 2 times can reduce the equivalent noise level by 5–6 dB.

It has been found that some success in noise reduction can be achieved with the appropriate tread pattern configuration and tire design. However, the design of tires with significantly reduced noise level contradicts the urgent need to ensure traffic safety, prevent heating of the tread and ensure the economy of the car.

Most effective noise shields are made by applying soil at the bottom of the embankment with an additional wall on top. For such combined noise protection screens, the following factors must be taken into account: the load on the embankment and the reaction of the embankment soil depend on the span of the wall.

***Keywords:* noise pollution; noise load; tunnels; greenery; noise protection screen; diffraction; types of noise protection screens; noise reduction; panels of noise protection screens.**
