УДК 504.064.3:711.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.5-68.1

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ АКУСТИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ШУМОЗАХИСНИХ ЗАХОДІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Ригас Т.Є.[1] (orcid.org/0000-0001-9297-2787),
Бондар О.І.[2] (orcid.org/0000-0002-4488-2282),
Поліщук Д.В.[3] (orcid.org/0000-0002-2426-6861),
Шмандій В.М.[1] (orcid.org/0000-0002-8811-4824)
[1]Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Університетська, 20, 39600, м. Кременчук
[2]Державна наукова установа «Інститут екологічного відновлення та розвитку України»
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
[3]Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук
вул. Миколи Залудяка, 3, 39600, м. Кременчук
tinarigs7@gmail.com, ecsafety.sh@gmail.com, dnu_iev@ukr.net, kpudmytro@gmail.com

Транспортний шум – один із чинників погіршення якості екологічного стану міського середовища. В умовах щільної міської забудови розроблення ефективних еколого-шумозахисних заходів потребує проведення екологічних досліджень з урахуванням результатів натурних вимірювань, математичного моделювання та особливостей довкілля міської забудови. Мета дослідження – екологічне оцінювання акустичного навантаження та обґрунтування шумозахисних заходів у міському середовищі на основі комплексного використання результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання й аналізу містобудівних умов.

Дослідження виконано на прикладі транспортно навантаженої території Кременчуцької територіальної громади. Використано результати натурних вимірювань рівнів транспортного шуму, аналітичне моделювання ефективності шумозахисних екранів за моделлю Маекави та аналіз просторової організації території з урахуванням містобудівних обмежень. Встановлено, що еквівалентний рівень транспортного шуму перевищує нормативне значення 55 дБА на 8–17 дБА. Порівняння результатів аналітичного моделювання з даними натурних вимірювань показало систематичне переоцінювання вставних втрат моделлю Маекави на 0,9–3,5 дБА в умовах щільної міської забудови. Зазначено, що реалізація розрахункових висот шумозахисних екранів обмежується вимогами щодо забезпечення нормативного природного освітлення прилеглої забудови, у зв'язку з чим обґрунтовано комплекс конструктивних і природо-орієнтованих шумозахисних заходів, адаптованих до реальних умов.

Удосконалено підхід до екологічного оцінювання акустичного навантаження міського середовища шляхом комплексного врахування результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та аналізу нормативних містобудівних обмежень під час прийняття відповідних еколого-захисних рішень. Практичне значення одержаних результатів – здатність їх використання під час планування, реконструкції та екологічного супроводу транспортної інфраструктури територіальних громад для обґрунтування шумозахисних заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки та якості міського середовища.
Ключові слова: екологічне оцінювання; акустичне навантаження; транспортний шум; шумозахисні заходи; міське середовище; містобудівні обмеження; шумозахисний екран; екологічна безпека.

Environmental assessment of acoustic load and justification of noise protection measures in the urban environment. Ryhas T., Bondar O., Polishchuk D., Shmandii V.

Traffic noise is one of the major factors deteriorating environmental safety and the quality of the urban environment. In densely built-up urban areas, the development of effective noise mitigation measures requires comprehensive environmental studies integrating field measurements, analytical modelling, and the assessment of urban planning conditions. The aim of this study is to perform an environmental assessment of urban acoustic load and to substantiate noise mitigation measures based on the integrated use of field measurements, analytical modelling, and urban planning analysis.

The study was conducted using a traffic-intensive area of the Kremenchuk Territorial Community as a case study. Field measurements of road traffic noise levels, analytical modelling of noise barrier performance using the Maekawa model, and an analysis of the spatial characteristics of the urban area considering urban planning constraints were applied. The results demonstrated that the equivalent traffic noise level exceeded the regulatory limit of 55 dBA by 8–17 dBA. A comparison of analytical calculations with field measurements revealed that the Maekawa model systematically overestimated the insertion loss of noise barriers by 0.9–3.5 dBA under conditions of dense urban development. It was also established that the implementation of the calculated barrier heights is constrained by the requirements for maintaining adequate natural daylighting of adjacent residential buildings. Therefore, a set of structural and nature-based noise mitigation measures adapted to real urban planning conditions was substantiated.

© Ригас Т.Є., Бондар О.І., Поліщук Д.В., Шмандій В.М., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

The study further develops an approach to the environmental assessment of urban acoustic load through the integrated consideration of field measurement data, analytical modelling results, and regulatory urban planning constraints in the selection of noise mitigation solutions. The practical significance of the obtained results lies in their applicability to the planning, reconstruction, and environmental management of transport infrastructure in territorial communities for substantiating noise mitigation measures aimed at improving environmental safety and the quality of the urban environment. *Key words:* environmental assessment; acoustic load; road traffic noise; noise mitigation measures; urban environment; urban planning constraints; noise barrier; environmental safety.

Постановка проблеми. Формування здоров'яорієнтованих територіальних громад є одним із пріоритетних напрямів сучасної екологічної політики та сталого розвитку урбанізованих територій. Реалізація цієї концепції передбачає комплексне оцінювання екологічної якості міського середовища, яка визначається станом його основних компонентів та їхнім впливом на здоров'я населення, безпеку проживання і якість життя [1, 2].

Екологічна якість міського середовища формується під впливом сукупності взаємопов'язаних компонентів, які визначають санітарно-гігієнічні, екологічні та комфортні умови проживання населення. До таких компонентів належать якість атмосферного повітря, акустичне середовище, стан зеленої інфраструктури, якість водних ресурсів та ефективність системи поводження з відходами. Комплексне оцінювання зазначених компонентів є необхідною передумовою розроблення науково обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку територіальних громад [1, 2].

Одним із ключових компонентів екологічної якості міського середовища є акустичне навантаження, оскільки транспортний шум належить до найбільш поширених екологічних чинників, що негативно впливають на здоров'я населення, психоемоційний стан, комфортність проживання та якість життя. В умовах щільної міської забудови акустичне навантаження визначається не лише інтенсивністю транспортних потоків, а й особливостями просторової організації території, які впливають на поширення, багаторазове відбиття звукової енергії [3–5].

Для більшості урбанізованих територій характерним є поєднання високої інтенсивності автомобільного руху зі щільною житловою забудовою, що призводить до формування зон підвищеного акустичного навантаження та ускладнює забезпечення нормативних рівнів шуму. За таких умов підвищення екологічної якості міського середовища потребує комплексного екологічного оцінювання акустичного навантаження, яке поєднує результати натурних вимірювань, аналітичного моделювання та аналізу містобудівних умов як основу для обґрунтування ефективних шумозахисних заходів [6].

Для Кременчуцької територіальної громади проблема транспортного шуму є особливо актуальною у зв'язку зі зростанням інтенсивності автомобільного руху, історично сформованою щільною забудовою центральної частини міста та необхідністю впровадження сучасних підходів до управління акустичним середовищем як складовою забезпечення екологічної якості міського середовища. Це обумовлює необхідність екологічного оцінювання акустичного навантаження та наукового обґрунтування комплексу шумозахисних заходів, ефективність яких підтверджена результатами натурних досліджень і враховує особливості міської забудови.

Актуальність дослідження. Незважаючи на впровадження в європейських країнах програм управління транспортним шумом, шумове забруднення залишається одним із провідних екологічних чинників, що негативно впливають на здоров'я населення та екологічну якість міського середовища. Відповідно до *WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region* [3], рекомендований рівень транспортного шуму не повинен перевищувати 53 дБ Lden, оскільки його перевищення пов'язане зі зростанням ризику серцево-судинних захворювань, порушень сну, погіршенням психоемоційного стану та зниженням якості життя населення.

За оцінками Європейського агентства з навколишнього середовища [5] понад 30 % населення Європи проживає в умовах транспортного шуму, що перевищує рекомендовані Всесвітньою організацією охорони здоров'я рівні, а автомобільний транспорт залишається основним джерелом акустичного навантаження в містах. Щорічні соціальні та медичні наслідки такого впливу підтверджують, що проблема транспортного шуму виходить за межі суто санітарно-гігієнічної та потребує розгляду як одного з пріоритетних напрямів забезпечення екологічної якості міського середовища.

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених транспортному шуму та шумозахисних екранів, питання комплексного екологічного оцінювання акустичного навантаження в умовах щільної міської забудови з урахуванням результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та містобудівних обмежень залишається недостатньо дослідженим [6].

Сучасний розвиток концепції здоров'яорієнтованих територіальних громад потребує розгляду акустичного навантаження не лише як санітарно-гігієнічного показника, а як одного з ключових компонентів екологічної якості міського середовища. За таких умов оцінювання ефективності шумозахисних заходів повинно ґрунтуватися на комплексному аналізі результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та особливостей міської забудови. Такий підхід дозволяє не лише оцінити ефективність окремих шумозахисних заходів, а й сформувати науково обґрунтовані рекомендації щодо управління

акустичним середовищем як складовою підвищення екологічної якості міського середовища [6].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження спрямоване на вирішення актуального науково-практичного завдання щодо підвищення екологічної безпеки та комфортності міського середовища шляхом зниження негативного впливу транспортного шуму на населення. Отримані результати сприяють удосконаленню підходів до екологічного оцінювання акустичного навантаження транспортно навантажених територій та обґрунтуванню ефективних шумозахисних заходів з урахуванням містобудівних обмежень. Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованих рекомендацій при плануванні, реконструкції та екологічного супроводу транспортної інфраструктури територіальних громад, що сприятиме зниженню акустичного навантаження, підвищенню екологічної безпеки, комфортності проживання та збереженню здоров'я населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Екологічні дослідження транспортного шуму протягом останніх десятиліть еволюціонували від оцінювання рівнів шуму як окремого фізичного чинника до комплексного аналізу акустичного середовища як складової екологічної якості міських територій. Сучасні дослідження підтверджують, що акустичне навантаження є одним із важливих екологічних факторів, який впливає на стан здоров'я населення, комфортність проживання та якість міського середовища. У зв'язку з цим поряд із традиційним контролем рівнів шуму дедалі більшого розвитку набувають підходи, орієнтовані на комплексне оцінювання акустичного середовища під час планування та управління розвитком урбанізованих територій [6].

Для оцінювання акустичного навантаження використовують аналітичні, емпіричні та чисельні методи прогнозування поширення звуку. Аналітичні моделі широко застосовуються на етапі попереднього інженерного оцінювання завдяки простоті використання, мінімальній кількості необхідних вихідних даних і можливості оперативного порівняння різних варіантів шумозахисних заходів. Чисельні методи, зокрема метод скінченних елементів (FEM), метод граничних елементів (BEM) та FDTD-моделювання, забезпечують вищу точність прогнозування, однак потребують детального опису геометрії території, значних обчислювальних ресурсів і спеціалізованого програмного забезпечення [7].

Серед аналітичних моделей найбільшого поширення набула модель Маекави, що ґрунтується на оцінюванні дифракції звукових хвиль за числом Френеля. Завдяки простоті реалізації, незначній кількості необхідних вихідних параметрів та достатній точності для відкритої місцевості вона залишається одним із базових методів попереднього прогнозування ефективності шумозахисних екранів і широко використовується під час проєктування транспортної інфраструктури [8].

Подальший розвиток цього підходу спрямований на уточнення меж застосування аналітичних моделей. Автори роботи [9] встановили, що модель Маекави забезпечує достатню точність прогнозування для середньочастотного діапазону транспортного шуму в умовах відкритого простору. Papadakis та Stavroulakis [7] показали, що точність аналітичних моделей істотно залежить від взаємного розташування джерела шуму, шумозахисного екрана та приймача, а найбільші похибки виникають у випадках їх розміщення поблизу екрана. Практичне підтвердження цих висновків наведено у роботі Martinez-Orozco та Barba [10] які за результатами натурних вимірювань на автомобільних дорогах Іспанії встановили систематичне завищення розрахункової ефективності шумозахисних екранів порівняно з фактичними значеннями, що пояснюється впливом метеорологічних умов, характеристик дорожнього покриття та особливостей поширення звуку в реальному міському середовищі.

Поряд із розвитком методів прогнозування активно досліджуються конструктивні способи зниження акустичного навантаження. Ramadan та Ahmed [11] показали, що використання Т-подібного верхнього профілю та збільшення висоти шумозахисного екрана забезпечують додаткове зниження рівня транспортного шуму. Аналогічні висновки отримали Lam з колегами [12], які підтвердили визначальний вплив геометричних параметрів конструкції на її акустичну ефективність. Водночас автори [13] довели, що використання картографування шуму під час вибору місць встановлення шумозахисних споруд дозволяє суттєво скоротити площі територій із перевищенням нормативних рівнів шуму.

Особливу увагу сучасні дослідники приділяють оцінюванню акустичного навантаження в умовах щільної міської забудови. В роботі [4] встановили, що багаторазові відбиття звукових хвиль від фасадів будівель у вуличних каньйонах істотно знижують фактичну ефективність шумозахисних екранів порівняно з розрахунками, виконаними для умов відкритої місцевості. Водночас автори [14] показали перспективність використання активних систем шумоподавлення для зниження транспортного шуму в міських умовах, однак їх ефективне застосування потребує складного технічного забезпечення та значних економічних витрат. Це зумовлює збереження провідної ролі традиційних пасивних шумозахисних заходів під час забезпечення нормативних рівнів шуму на урбанізованих територіях.

Серед вітчизняних досліджень слід відзначити роботи Абракітова, Скрипника та Нестеренка [15], у яких систематизовано конструктивні типи шумозахисних екранів і наведено рекомендації щодо їх застосування в умовах міської забудови України. Методичні засади оцінювання транспортного шуму та проєктування шумозахисних споруд регламентовані ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 [16], однак зазначені документи орієнтовані переважно на інженерне

проєктування і недостатньо враховують вплив особливостей щільної міської забудови на формування акустичного навантаження.

Виділення невирішених аспектів проблеми. Незважаючи на значний обсяг досліджень, присвячених екологічному оцінюванню транспортного шуму, прогнозуванню ефективності шумозахисних екранів та вдосконаленню їх конструктивних рішень більшість науковців розглядає окремі аспекти проблеми. Існуючі дослідження переважно зосереджені на розвитку методів акустичного моделювання, удосконаленні розрахункових моделей або оцінюванні ефективності окремих шумозахисних конструкцій, тоді як питання комплексного екологічного оцінювання акустичного навантаження міського середовища висвітлено недостатньо.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах щільної міської забудови, де формування акустичного середовища визначається не лише інтенсивністю транспортних потоків, а й особливостями просторової організації території, багаторазовими відбиттями звукових хвиль від фасадів будівель, містобудівними обмеженнями та необхідністю забезпечення нормативних рівнів шуму на територіях житлової забудови. За таких умов застосування лише аналітичних моделей або лише результатів натурних вимірювань не забезпечує достатнього наукового обґрунтування вибору ефективних шумозахисних заходів, що зумовлює необхідність їх комплексного використання під час екологічного оцінювання акустичного навантаження [6].

Новизна. Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні підходу до екологічного оцінювання акустичного навантаження транспортно навантажених ділянок міської забудови на основі комплексного використання результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та аналізу містобудівних обмежень при обґрунтуванні шумозахисних заходів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічною основою дослідження є комплексний підхід до екологічного оцінювання акустичного навантаження міського середовища, який передбачає інтеграцію результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та аналізу містобудівних умов. На відміну від традиційних підходів, орієнтованих переважно на прогнозування ефективності окремих шумозахисних споруд або оцінювання рівнів транспортного шуму, запропонований підхід розглядає акустичне навантаження як один із компонентів екологічної якості міського середовища, що формується під впливом сукупності природних, технічних та просторових чинників.

Комплексне поєднання результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та аналізу особливостей міської забудови дозволяє оцінити не лише фактичний рівень акустичного навантаження, а й визначити чинники, що впливають на його формування, встановити обмеження застосування окремих шумозахисних заходів та обґрунтувати їх вибір з урахуванням реальних умов функціонування міського середовища. Методологія екологічного оцінювання акустичного навантаження наведена на рис. 1.

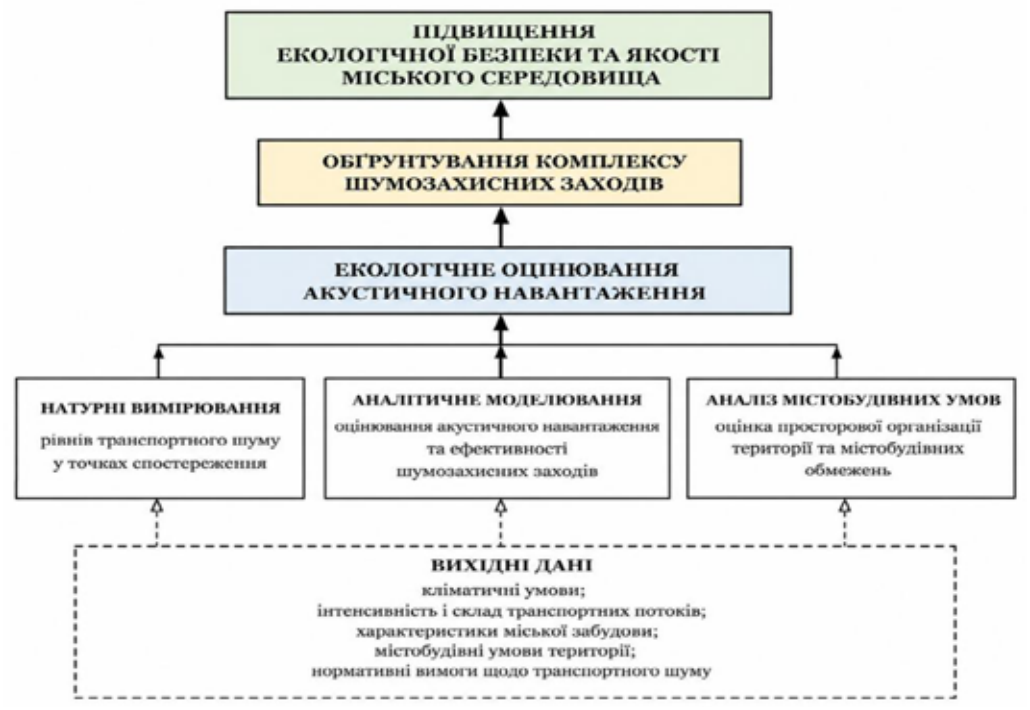


Рис. 1. Структурно-логічна схема екологічного оцінювання акустичного навантаження та обґрунтування комплексу шумозахисних заходів у міському середовищі

 ISSN: 2306-9716 (Print), ISSN: 2664-6110 (Online)

Запропонований підхід може бути використаний як методологічна основа для екологічного оцінювання акустичного навантаження урбанізованих територій, а також адаптований до дослідження інших компонентів екологічної якості міського середовища під час розроблення заходів, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки, та сталого розвитку територіальних громад.

Виклад основного матеріалу. Для апробації запропонованого підходу до екологічного оцінювання акустичного навантаження було обрано ділянку перехрестя вулиць Кагала та Покровської, розташовану в центральній частині Кременчуцької територіальної громади. Досліджувана територія характеризується інтенсивним автомобільним рухом, щільною багатоповерховою забудовою та незначною відстанню між проїзною частиною і житловими будинками, що створює умови для формування підвищеного акустичного навантаження внаслідок поєднання прямого та відбитого звукового поля.

Вибір цієї ділянки обумовлений її репрезентативністю для центральної частини міста, де поєднуються висока транспортна інтенсивність, сформований вуличний каньйон та містобудівні обмеження щодо застосування традиційних шумозахисних споруд. Просторове розташування джерел шуму, контрольних точок та запропонованих місць встановлення шумозахисних екранів наведено на рис. 2.

Оцінювання акустичного навантаження виконували шляхом проведення натурних вимірювань еквівалентного рівня транспортного шуму в чотирьох контрольних точках, розташованих на різній відстані від проїзної частини та в умовах різного ступеня екранування забудовою. Такий вибір точок забезпечив можливість оцінити особливості формування акустичного середовища як безпосередньо біля транспортного потоку, так і у внутрішньодворових просторах житлової забудови.

Натурні вимірювання еквівалентного рівня транспортного шуму проводили в години максимального транспортного навантаження (07:00–09:00 та 17:00–19:00), а також у міжпіковий період (12:00–14:00). У кожній точці спостереження вимірювання виконували протягом 20 хв із фіксацією показників через двохвилинні інтервали. За результатами десяти послідовних вимірювань визначали середнє значення еквівалентного рівня шуму LAeq, яке використовували для подальшого аналізу. Результати натурних вимірювань наведено в табл. 1.

Аналіз результатів натурних вимірювань показав, що в усіх точках спостереження еквівалентний рівень транспортного шуму перевищує гранично допустимий рівень шуму для територій житлової забудови, установлений ДСН 3.3.6.037-99 [17]. Найбільші перевищення зафіксовано біля фасадів житлових будівель, безпосередньо прилеглих до проїзної частини, де рівень шуму досягає 70–72 дБА, що на 15–17 дБА перевищує нормативне значення. У внутрішньодворових просторах рівень шуму знижується до 63–66 дБА, однак також залишається вищим за допустимий на 8–11 дБА.

Отримані результати свідчать, що навіть зі збільшенням відстані від транспортного потоку нормативний акустичний режим не забезпечується, а просторові особливості забудови істотно впливають на формування акустичного навантаження. Це обумов-

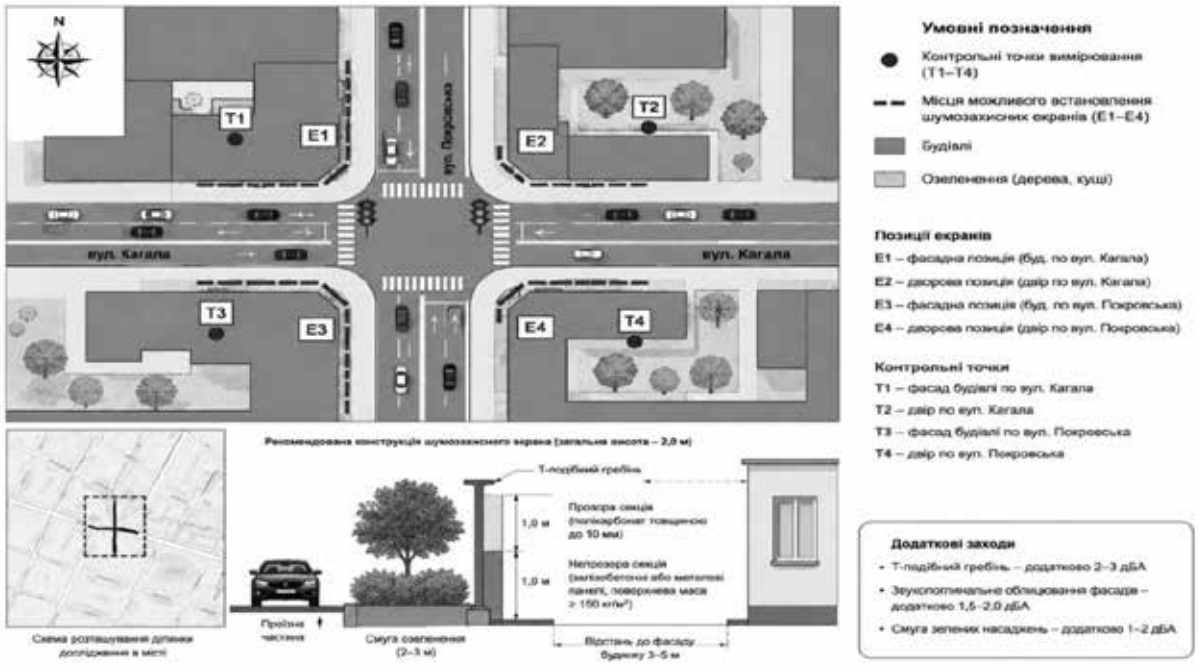


Рис. 2. Схема розташування ділянки дослідження, контрольних точок вимірювання та місць можливого встановлення шумозахисних екранів

Таблиця 1

Результати натурних вимірювань еквівалентного рівня звуку

Точка	Відстань від осі, м	LAeq пік, дБА	LAeq позапік, дБА	Перевищення (пік), дБА
Т1 – фасад вул. Кагала	3	72	65	17
Т2 – двір вул. Кагала	12	66	59	11
Т3 – фасад вул. Покровської	4	70	63	15
Т4 – двір вул. Покровської	11	63	57	8

Таблиця 2

Розрахункові параметри шумозахисних екранів

Поз.	Захищена точка	d_s, м	d_j, м	Необх. IL, дБА	N	h розр., м	h прийн., м	Дефіцит IL, дБА
Е1	Т1 (фасад Кагала)	3,0	3,0	17	3,06	4,1	2,0	8,3
Е2	Т2 (двір Кагала)	7,0	12,0	11	1,34	3,2	2,0	4,5
Е3	Т3 (фасад Покровської)	4,0	4,0	15	2,51	3,7	2,0	6,8
Е4	Т4 (двір Покровської)	5,5	11,0	8	0,71	2,3	2,0	0,7

лює необхідність подальшого аналітичного оцінювання ефективності шумозахисних заходів з урахуванням містобудівних умов досліджуваної території.

Для подальшого оцінювання можливостей зниження акустичного навантаження було виконано аналітичне моделювання ефективності шумозахисного екрана. Як базову модель використано аналітичну залежність Маекави, яка широко застосовується для попереднього оцінювання вставних втрат шумозахисних екранів на основі дифракції звукових хвиль. Використання цієї моделі дозволяє визначити необхідні параметри шумозахисного екрана залежно від взаємного розташування джерела шуму, екрана та точки спостереження.

$$IL = 10\log(3 + 20N),\ N = \frac{A + B - d}{\lambda},$$

де: IL – вставні втрати шумозахисного екрана (Insertion Loss), дБА; N – число Френеля; A – відстань від джерела шуму до верхньої кромки екрана, м; B – відстань від верхньої кромки екрана до точки приймання, м; d – пряма відстань між джерелом шуму та точкою приймання без екрана, м; λ – довжина звукової хвилі, м.

У розрахунках прийнято довжину звукової хвилі λ = 0,68 м, що відповідає частоті 500 Гц за швидкості поширення звуку 340 м/с. Висоту джерела шуму прийнято h_s=0,5h м, а висоту точки спостереження – h_r=1,5 м. Необхідну висоту шумозахисного екрана визначали методом послідовного підбору до досягнення розрахункового значення вставних втрат, достатнього для забезпечення нормативного рівня шуму в точках спостереження. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Результати аналітичного моделювання показали, що для забезпечення нормативного рівня транспортного шуму необхідна висота шумозахисних екранів становить від 2,3 до 4,1 м залежно від просторового розташування точки спостереження (табл. 2). Найбільші значення отримано для позицій, розташованих безпосередньо біля фасадів житлових будівель, тоді як для внутрішньодворових територій розрахункова висота екранів є меншою, що відповідає зниженню акустичного навантаження зі збільшенням відстані від транспортного потоку.

Одержані результати характеризують потенційну ефективність шумозахисних екранів, визначену за аналітичною моделлю. Для оцінювання відповідності результатів аналітичного моделювання фактичним умовам поширення транспортного шуму проведено їх порівняння з результатами натурних вимірювань, виконаних після встановлення експериментального шумозахисного екрана. Результати порівняння аналітичних розрахунків і натурних вимірювань наведено в табл. 3 та на рис. 3.

Аналіз результатів, наведених у табл. 3 та на рис. 3, показав, що модель Маекави достатньо точно відображає загальні закономірності зміни ефективності шумозахисних екранів. Водночас у реальних умовах щільної міської забудови розрахункові значення вставних втрат систематично перевищують результати натурних вимірювань на 0,9–3,5 дБА. Найбільші розбіжності встановлено для позицій Е1 та Е3, розташованих поблизу фасадів житлових будівель. Це свідчить про суттєвий вплив багаторазових відбиттів і дифракції звукових хвиль між фасадами будівель, що не враховується аналітичною моделлю [4]. Отримані результати підтверджують необхідність урахування містобудівних особливостей під час екологічного оцінювання акустичного навантаження в умовах щільної міської забудови.

Таблиця 3

Порівняння аналітичних розрахунків та натурних вимірювань ефективності шумозахисного екрана

Позиція	IL розрах., дБА	IL натур., дБА	ΔIL, дБА	k	IL при h=2,0 м, дБА	Дефіцит IL, дБА
Е1 – фасад вул. Кагала	17,0	13,8	3,2	0,81	8,7	8,3
Е2 – двір вул. Кагала	11,0	9,2	1,8	0,84	6,5	4,5
Е3 – фасад вул. Покровської	15,0	11,5	3,5	0,77	8,2	6,8
Е4 – двір вул. Покровської	8,0	7,1	0,9	0,89	7,3	0,7

Примітка. k – коефіцієнт відповідності (відношення натурно виміряних вставних втрат до розрахункових).

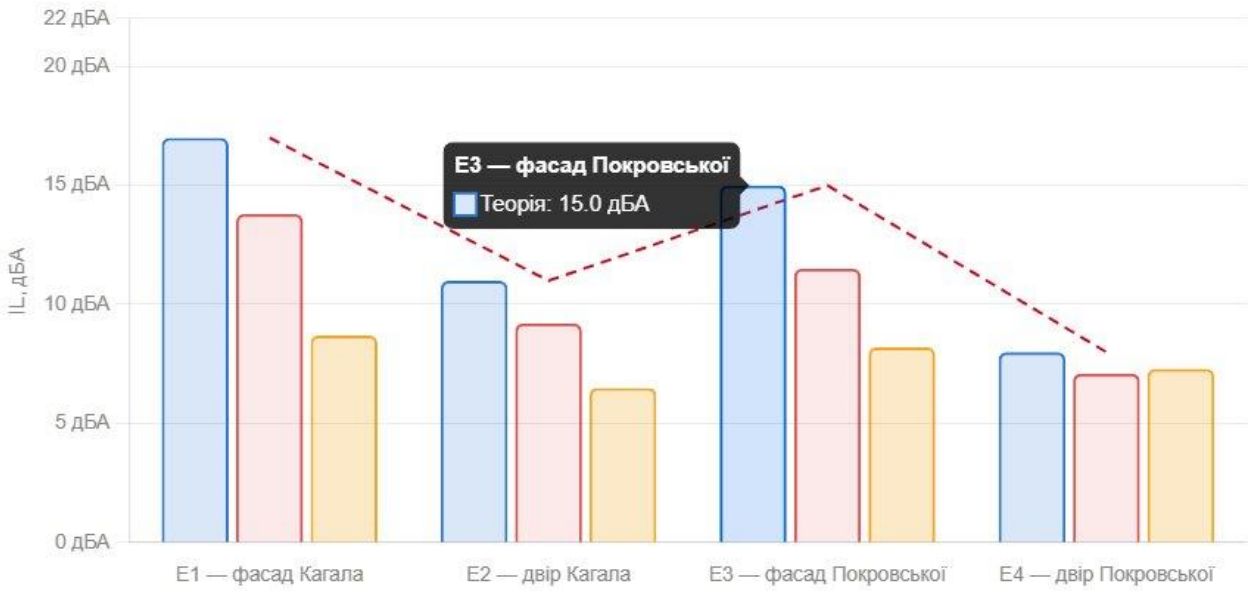


Рис. 3. Порівняння теоретичних, натурних і фактично досяжних (h = 2,0 м) вставних втрат для чотирьох позицій шумозахисного екрана. Пунктирна лінія – мінімально необхідне значення вставних втрат для досягнення нормативного рівня шуму 55 дБА

Подальший аналіз містобудівних умов досліджуваної території показав, що реалізація шумозахисних екранів розрахунковою висотою 2,3–4,1 м призведе до погіршення умов природного освітлення приміщень перших поверхів прилеглих житлових будинків. Максимально допустиму висоту екрана визначали шляхом геометричного аналізу з урахуванням вимог чинних будівельних норм [18–21]. За результатами розрахунків прийнято граничну висоту 2,0 м. За такого обмеження фактично досяжні вставні втрати становлять 8,2–8,7 дБА, що є недостатнім для позицій Е1–Е3, де дефіцит акустичного захисту досягає 4,5–8,3 дБА.

З огляду на містобудівні обмеження для підвищення ефективності шумозахисного екрана без збільшення його висоти запропоновано комплекс конструктивних і природоорієнтованих заходів. Використання Т-подібного гребеня верхньої кромки забезпечує додаткове зниження рівня шуму на 2–3 дБА [10]. Застосування звукопоглинального облицювання непрозорої секції екрана з коефіцієнтом звукопоглинання $\alpha \geq 0{,}8$ на частоті 500 Гц сприяє зменшенню впливу відбитого звукового поля ще на 1,5–2,0 дБА [9]. Деревно-чагарникова смуга озеленення між транспортним потоком і шумозахисним екраном забезпечує додаткове зниження акустичного навантаження на 1–2 дБА [22]. Комплексне застосування запропонованих заходів дозволяє компенсувати дефіцит акустичного захисту в межах 4,5–7,0 дБА та забезпечити нормативний рівень шуму для позицій Е2–Е4. Для позиції Е1, де дефіцит становить 8,3 дБА, доцільно додатково передбачити зміну функціонального призначення приміщень першого поверху або встановлення шумозахисних вікон класу не нижче 3 [23].

На основі результатів натурних вимірювань, аналітичного моделювання та аналізу містобудівних обмежень запропоновано комплекс шумозахисних заходів для транспортно навантажених ділянок щільної міської забудови (рис. 4). Він передбачає застосування шумозахисного екрана загальною висотою 2,0 м, що складається з непрозорої нижньої звукопоглинальної секції висотою 1,0 м із

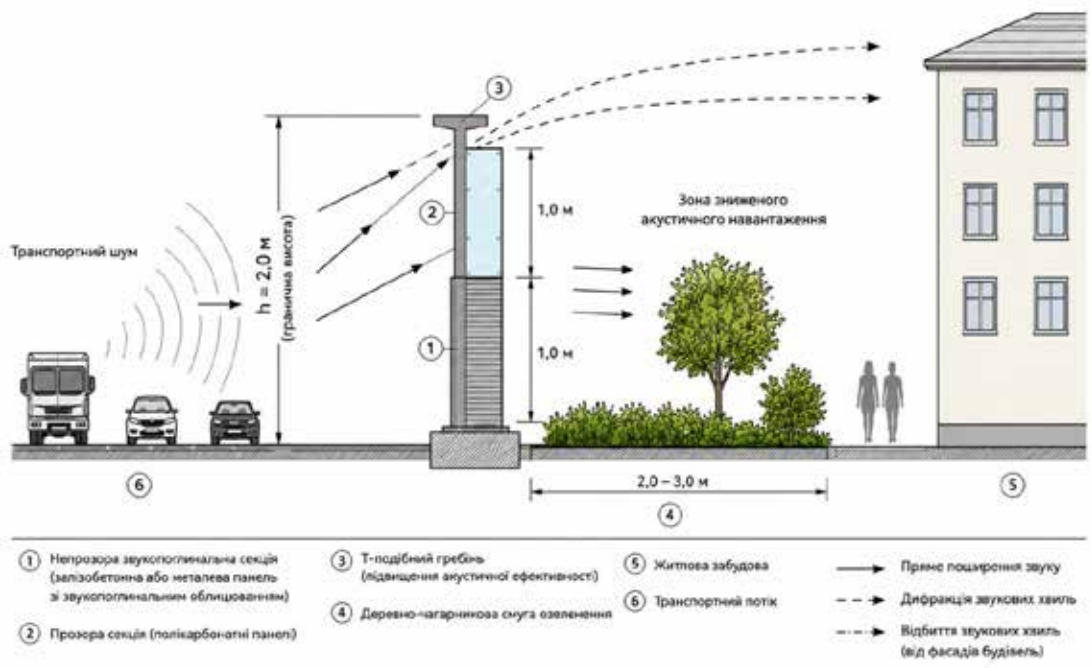


Рис. 4. Рекомендований комплекс шумозахисних заходів для транспортно навантажених ділянок щільної міської забудови

залізобетонних або металевих панелей (поверхнева маса не менше 150 кг/м²) та прозорої верхньої секції висотою 1,0 м із полікарбонатних панелей, обладнаної Т-подібним гребенем. Додатковим елементом комплексу є деревно-чагарникова смуга озеленення. Запропоноване рішення дозволяє підвищити акустичну ефективність шумозахисту, зберігаючи нормативні умови природного освітлення та оглядовість для учасників дорожнього руху.

Запропонований комплекс шумозахисних заходів дозволяє забезпечити екологічно обґрунтоване зниження акустичного навантаження на прилеглу житлову забудову. На відміну від традиційного підходу, орієнтованого виключно на збільшення висоти шумозахисного екрана, запропоноване рішення базується на комплексному використанні конструктивних і природоорієнтованих заходів, адаптованих до реальних умов функціонування міського середовища.

Висновки. Виконано екологічне оцінювання акустичного навантаження транспортно навантаженої ділянки Кременчуцької територіальної громади на основі натурних вимірювань. Встановлено, що еквівалентний рівень транспортного шуму в усіх точках спостереження перевищує нормативне значення 55 дБА на 8–17 дБА, причому найбільші перевищення зафіксовано поблизу фасадів житлової забудови, що свідчить про необхідність впровадження шумозахисних заходів.

Аналітичне моделювання ефективності шумозахисних екранів із використанням моделі Маекави засвідчило, що для забезпечення нормативного акустичного режиму необхідна висота екранів становить 2,3–4,1 м. Порівняння результатів моделювання з даними натурних вимірювань підтвердило придатність моделі для попереднього оцінювання ефективності шумозахисних заходів, водночас виявлено систематичне переоцінювання вставних втрат на 0,9–3,5 дБА в умовах щільної міської забудови.

Зазначено, що реалізація розрахункових висот екранів обмежується необхідністю забезпечення нормативного природного освітлення прилеглої житлової забудови. З огляду на це, максимально допустиму висоту шумозахисного екрана прийнято 2,0 м.

Обґрунтовано комплекс конструктивних і природо-орієнтованих шумозахисних заходів**,** який передбачає використання шумозахисного екрана зі звукопоглинальною нижньою секцією, Т-подібним гребенем і деревно-чагарниковою смугою озеленення. Комплексне застосування запропонованих заходів дозволяє компенсувати дефіцит акустичного захисту без збільшення висоти шумозахисного екрана та забезпечити нормативний рівень шуму для більшості досліджених позицій**.**

Запропонований підхід до екологічного оцінювання акустичного навантаження**,** який поєднує натурні вимірювання, аналітичне моделювання та аналіз містобудівних обмежень, може бути використаний під час планування, реконструкції та екологічного супроводу транспортно навантажених ділянок міської забудови для обґрунтування ефективних шумозахисних заходів і підвищення якості міського середовища.

Перспективи використання результатів полягають у застосуванні запропонованого підходу для екологічного оцінювання акустичного навантаження на ділянках міської забудови з урахуванням місце-

вих містобудівних та природно-кліматичних умов. Результати досліджень можуть використовуватися під час розроблення заходів із підвищення акустичного комфорту, підготовки містобудівної документації, планування реконструкції вулично-дорожньої мережі та обґрунтування природо-орієнтованих рішень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення методів комплексного екологічного оцінювання акустичного навантаження шляхом інтегрування акустичних характеристик із показниками якості атмосферного повітря, озеленення, мікроклімату та комфортності міського середовища, а також на розроблення інтегральних критеріїв оцінювання екологічної безпеки транспортно навантажених територій.

Конфлікт інтересів: один з авторів є головним редактором журналу. Для забезпечення незалежності редакційного процесу рукопис розглядався уповноваженим редактором, який не перебував у підпорядкуванні автора та не мав конфлікту інтересів. Автор не брав участі у відборі рецензентів, процесі рецензування та прийнятті рішення щодо публікації статті. Рукопис пройшов стандартну процедуру подвійного сліпого рецензування.

Література

1. Ryhas T. Ye. Integrated model of ecological safety and sustainable development of a health-oriented urban territorial community. Visnyk of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2026. Vol. 1, № 2. P. 63–70. DOI: https://doi.org/10.32782/1995-0519.2026.1.2.7.
2. Ryhas T., Shmandii V. Ambient air quality assessment in the Kremenchuk Territorial Community based on the environmental risk concept. Ecological Safety and Balanced Use of Resources. 2026. Vol. 17, № 1. P. 101–114. DOI: https://doi.org/10.63341/esbur/1.2026.101.
3. World Health Organization Regional Office for Europe. *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2018. 160 p.
4. Wu S., Huang Y., Chen Q., Yang G. Noise Propagation and Mitigation in High-Rise Buildings Under Urban Traffic Impact. Buildings. 2026. Vol. 16, № 4. Art. 883. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings16040883.
5. European Environment Agency. *Environmental Noise in Europe 2023*. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2023.
6. Kang J. Soundscape in City and Built Environment: Current Developments and Design Potentials. City and Built Environment. 2023. Vol. 1. Article 1. DOI: https://doi.org/10.1007/s44213-022-00005-6.
7. Papadakis N. M., Stavroulakis G. E. Finite element method for the estimation of insertion loss of noise barriers: Comparison with various formulae (2D). Urban Science. 2020. Vol. 4, № 4. Art. 77. DOI: https://doi.org/10.3390/urbansci4040077.
8. Maekawa Z. Noise reduction by screens. Applied Acoustics. 1968. Vol. 1, № 3. P. 157–173. DOI: https://doi.org/10.1016/0003-682X(68)90020-0.
9. Liu M., Chen S., Wu C. Calculation of noise barrier insertion loss based on varied vehicle frequencies. Applied Sciences. 2018. Vol. 8, № 1. Art. 100. DOI: https://doi.org/10.3390/app8010100.
10. Martinez-Orozco J. M., Barba A. Determination of insertion loss of noise barriers in Spanish roads. Applied Acoustics. 2022. Vol. 185. Art. 108409. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108409.
11. Ramadan H. I., Ahmed A. Studying the Effect of Noise Barrier Characteristics on Traffic Noise in Urban Areas. Civil and Environmental Engineering. 2024. Vol. 20, № 2. P. 824–836. DOI: https://doi.org/10.2478/cee-2024-0061.
12. Lam G. C. K., Leung D. Y. C., Demael G. Noise Barriers as a Mitigation Measure for Highway Traffic Noise: Empirical Evidence from Three Study Cases. Journal of Environmental Management. 2024. Vol. 370. Art. 122890. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122890.
13. He J., Qiu H., Li Z. Traffic Noise Reduction Strategy in a Large City and an Analysis of Its Effect. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 12. Art. 6027. DOI: https://doi.org/10.3390/app12126027.
14. Xu J., Li C., Wang H. Development and Testing of an Active Noise Control System for Urban Road Traffic Noise. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, № 1. Art. 175. DOI: https://doi.org/10.3390/app14010175.
15. Абракітов В. Є., Скрипник О. С., Нестеренко С. В. Шумозахисні екрани як засіб оптимізації шумового режиму. Комунальне господарство міст. 2021. Т. 1, вип. 161. С. 296–300.
16. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. Київ : Мінрегіон України, 2014. 42 с.
17. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : МОЗ України, 1999. 34 с.
18. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. Київ : Мінрегіон України, 2019.
19. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. Київ : Мінрегіон України, 2019.
20. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018.
21. ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010. Настанова з розрахунку природного освітлення будинків і споруд. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
22. Meng Q., Evgrafova O., Li M. A Predictive Model for Traffic Noise Reduction Effects of Street Green Spaces with Variable Widths of Coniferous Vegetation. Forests. 2025. Vol. 16, № 2. Art. 238. DOI: https://doi.org/10.3390/f16020238.
23. ДСТУ Б В.2.6-23:2009. Конструкції будинків і споруд. Вікна та двері. Методи визначення звукоізоляції та класифікація за звукоізоляційними властивостями.

Дата першого надходження статті до видання: 24.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026