

УДК 504:656

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТРАНСПОРТНОГО ШУМУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

О.І. Лежнева, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Оцінено шумове забруднення як фактор антропогенного навантаження на навколишнє середовище, побудовано карту шуму мікрорайону та розроблено природоохоронний захід щодо покращення екологічних характеристик інфраструктури транспорту.

Ключові слова: автотранспорт, параметричне забруднення, карта шуму, транспортні потоки, інтенсивність руху, природоохоронні заходи.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

Е.И. Лежнева, доц., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Проведена оценка шумового загрязнения как фактора антропогенной нагрузки на окружающую среду, построена карта шума микрорайона и разработано природоохранное мероприятие по улучшению экологических характеристик инфраструктуры транспорта.

Ключевые слова: автотранспорт, параметрическое загрязнение, карта шума, транспортные потоки, интенсивность движения, природоохранные мероприятия.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF TRAFFIC NOISE ON THE URBAN ROAD NETWORK

O. Lezhneva, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Estimation of noise pollution as an anthropogenic load factor affecting the environment was carried out. A noise map of the microdistrict is constructed and an environmental measure to improve the environmental characteristics of the transport infrastructure is developed.

Key words: motor transport, parametric pollution, noise map, traffic flows, traffic density, nature protection measures.

Вступ

Постійно зростаюча інтенсивність транспортних потоків щорічно супроводжується посиленням техногенного навантаження на населення сучасних міст. Варто відмітити, що сьогодні проблема шумового забруднення транспортними магістралями навколишнього середовища є не менш актуальною, ніж хімічного, оскільки проведені дослідження вказують нові аспекти негативного акустич-

ного впливу на здоров'я мешканців великих міст. Із збільшенням кількості транспортних засобів та швидкості їх пересування вулицями промислових міст світова спільнота визначила шум як один з головних чинників, що погіршують рівень життя людей в містах.

Автомобільний транспорт належить до основних джерел забруднення навколишнього середовища. Поряд з основною часткою обсягу шкідливих викидів в атмосферу, розви-

ток дорожнього комплексу і, як наслідок, збільшення інтенсивності руху автотранспорту призвели до виникнення реальної небезпеки зміни якості навколишнього середовища внаслідок аномальної зміни звукових характеристик (періодичності, сили звуку) у населених пунктах та інших місцях. Фізично уникнути шумового забруднення неможливо, можна лише суб'єктивно його не помічати. Емоційне і фізичне напруження, пов'язане з постійним шумовим дискомфортом, призводить до шумового стресу. У зв'язку з цим надзвичайно важливими є аналіз і оцінка стану навколишнього середовища внаслідок впливу на нього техногенних факторів, що викликають шумове забруднення.

Аналіз публікацій

Шумом називають будь-які небажані для людини звуки, що заважають праці або відпочинку, створюють акустичний дискомфорт [1]. У реальній атмосфері незалежно від людини завжди присутні шуми природного походження з досить широким спектральним діапазоном від інфразвуку до ультразвуку та гіперзвуку. Прикладами шумів природного походження є шум морського прибою, гірського обвалу, грозового розряду, виверження вулкану, вітру в лісі, співу птахів, голосів тварин, шум водоспаду. Такі шуми практично не мають негативного впливу на самопочуття людини, у той час як техногенні шуми, навпаки, є джерелами постійного дискомфорту городян. Шуми природного походження настільки різноманітні, що повною мірою не піддаються детальному опису.

Техногенні шуми часто є сумішшю випадкових і періодичних коливань. До джерел шуму техногенного походження належать усі застосовувані в сучасній техніці механізми, обладнання та транспорт, які створюють значне шумове забруднення навколишнього середовища. Серед перерахованих джерел шуму найбільший вплив на створення шумового навантаження в місті має саме транспортний шум [1].

Фактори, що впливають на рівень транспортного шуму:

- інтенсивність транспортного потоку (найбільші рівні шуму реєструються на магістральних вулицях великих міст за інтенсивності руху 2000–3000 авт./год);

- швидкість транспортного потоку (за умови збільшення швидкості транспортних засобів відбувається зростання шуму двигунів, шуму від качіння коліс по дорозі і подолання опору повітря);

- склад транспортного потоку (вантажний транспорт створює більший шумовий вплив порівняно з пасажирським. Тому зростання частки вантажних автомобілів у транспортному потоці призводить до загального зростання шуму);

- тип двигуна (порівняння двигунів за потужністю дозволяє провести їх ранжування за зростанням рівня шуму – електродвигун, карбюраторний двигун, дизель, паровий, газотурбінний двигун);

- тип і якість дорожнього покриття (найменший шум створює асфальтобетонне покриття, потім за зростанням – бруківка, кам'яне і гравійне. Несправне дорожнє покриття будь-якого типу, що має вибоїни, розкриті шви і нестикування поверхонь, а також ями і просідання, створює підвищений шум);

- планувальні рішення територій (поздовжній профіль і звивистість вулиць, наявність різнорівневих транспортних розв'язок і світлофорів впливають на характер роботи двигунів, а отже, і на створюваний шум. Висота і щільність забудови визначають дальність поширення шуму від магістралей. Так, ширина зон акустичного дискомфорту уздовж магістралей у денні години може досягати 700–1000 м залежно від типу приляглої забудови);

- наявність зелених насаджень (уздовж магістралей з обох боків передбачають санітарно-захисні зони, в яких висаджують дерева. Лісопосадки перешкоджають поширенню шуму на прилеглі території).

Необхідність боротьби з шумом в Україні закріплена законодавчо відповідно до закону загальної дії «Про охорону навколишнього середовища». Проникаючий в приміщення або на територію шум не повинен перевищувати нормативних величин, що встановлені будівельними нормами та правилами, стандартами і санітарними нормами.

Для оцінки шуму в різних країнах здебільшого використовується рівень звуку в дБА – загальний рівень звукового тиску, вимірюваний шумоміром на кривій частотної корекції А, що характеризує наближено частотну характеристику сприйняття шуму людським вухом.

Розроблені санітарні норми допустимого шуму для житлових і громадських споруд та для території житлової забудови, а також державні стандарти на засоби пересування, інженерне устаткування, побутові прилади, в основу яких покладені гігієнічні вимоги щодо забезпечення акустичного комфорту.

Санітарні норми допустимого шуму обумовлюють необхідність розроблення технічних, архітектурно-планувальних та адміністративних заходів, спрямованих на створення відповідного гігієнічним вимогам шумового режиму як в міській забудові, так і в будівлях різного призначення, що дозволить зберегти здоров'я та працездатність населення. Основними критеріями забезпечення акустичного комфорту на території житлової забудови є нормативні еквівалентні рівні шуму сельбищної території – 55 дБА в денний і 45 дБА в нічний час доби [2].

Порівнюючи українські та європейські норми шуму, необхідно відмітити, що західні норми для денного і нічного часу не завжди збігаються з українськими. Наприклад, у скандинавських країнах рівень шуму в приміщенні не залежить від призначення приміщення (спальні або громадські) та встановлений на рівні 45 дБА вдень і 35 дБА вночі. Нічний час тут відраховується з 22.00 до 7.00 години, в той час як в Україні з 23.00 до 7.00. У Німеччині нічним часом вважається період доби з 22.00 до 6.00 години. Спостерігається різниця у величині нормативного рівня звуку – в Німеччині шум не повинен перевищувати 59 дБА вдень і 49 дБА вночі, що на 4 дБА більше, ніж в Україні. Боротьба з шумом, одним з основних несприятливих чинників навколишнього середовища, стала пріоритетним напрямом поліпшення екологічної обстановки в Європейському Союзі.

Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є дослідження шумового забруднення від роботи автомобільного транспорту на дорогах міста Харкова та розроблення рекомендацій щодо покращення екологічної ситуації.

Для досягнення вказаної мети визначено такі завдання:

- 1) оцінка шумового забруднення як фактора антропогенного навантаження на навколишнє середовище;
- 2) побудова карти шуму мікрорайону;
- 3) розробка природоохоронного заходу щодо покращення екологічних характеристик інфраструктури транспорту.

Результати експериментальних досліджень

Для оцінки шумового забруднення автотранспортом примігистральної території була обрана типова ділянка міської території в сельбищній зоні м. Харкова. У межах локальної ділянки проведено аналіз інтенсивності й складу транспортних потоків у зимовий і літній періоди 2016 р., оцінена екологічна ситуація у дворах житлового мікрорайону. Дослідження проводилися у мікрорайоні, який знаходиться у Слобідському р-ні м. Харкова і оточений вул. Кірова, вул. Державінською, вул. Плеханівською та пр. Гагаріна.

Для кожної вулиці визначена ширина дорожнього полотна й тротуарів, відзначені наявність або відсутність газонів і дерев, характер забудови (мало- або багатоповерхова). Вивчено основну територію всередині мікрорайону (табл. 1).

Таблиця 1 Характеристика об'єкта дослідження

Ділянка	Показник	Характеристика
Вул. Плеханівська	Подовжній ухил на перегоні, ‰	0
	Покриття	асфальтобетон
	Кількість смуг	2
	Відстань до забудови, м	30–150
	Довжина перегону, м	650
Вул. Державінська	Подовжній ухил на перегоні, ‰	0
	Покриття	асфальтобетон
	Кількість смуг	2
	Відстань до забудови, м	20–100
	Довжина перегону, м	900

Закінчення табл. 1

Ділянка	Показник	Характеристика
Вул. Кірова	Подовжній ухил на перегоні, ‰	0
	Покриття	асфальтобетон
	Кількість смуг	2
	Відстань до забудови, м	50–100
	Довжина перегону, м	540
Пр-т Гагаріна	Подовжній ухил на перегоні, ‰	0
	Покриття	асфальтобетон
	Кількість смуг	8
	Відстань до забудови, м	10–50
	Довжина перегону, м	960

Спостереження за інтенсивністю руху автотранспорту проводилися в різний час доби: в ранкові, денні й вечірні години 20 хв кожного тимчасового інтервалу протягом 3 днів у будні, після чого розраховувалося середнє арифметичне число проїжджаючих автомобілів за годину через кожен пункт спостере-

ження [3]. Такі ж розрахунки зроблені й для вихідного дня. Окремо вівся підрахунок легкових, легких вантажних, середніх вантажних, важких вантажних автомобілів і автобусів. В узагальненому вигляді результати досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2 Результати спостережень за інтенсивністю й складом транспортного потоку

Назва вулиць		Середня інтенсивність руху, авт./год					
		легкові	легкі вантажні	середні вантажні	важкі вантажні	автобуси, тролейбуси	усього
Вул. Плеханівська	%	81,4	8,6	2,2	4,4	3,6	100
	середнє значення	1536	169	43	80	60	1888
Пр-т Гагаріна	%	81,5	4,7	3,5	4,8	5,5	100
	середнє значення	2546	146	109	154	176	3124
Вул. Кірова	%	78,4	7,7	6,2	5,4	2,3	100
	середнє значення	997	97	78	68	30	1272
Вул. Державінська	%	83,9	3,6	2,7	5,6	4,2	100
	середнє значення	1562	67	50	104	78	1862

З аналізу результатів спостережень можна зробити низку висновків:

- основний внесок у транспортні потоки робить легковий транспорт, від 81 %. Кількість автобусів у відсотковому відношенні становить не більше ніж 4 % від загальної кількості транспорту;
- інтенсивність руху автомобілів на ділянках, що досліджуються, приблизно однакова в зимовий і літній періоди року;
- у вихідні дні спостерігається зниження інтенсивності руху автотранспорту. У літній період кількість автомобілів за тиждень становить 51–74 % від їх загальної кількості в будні, у зимовий період – 45–64 %.

Як показує аналіз розрахункових методик, найбільш об'єктивно шумова характеристика потоку може бути визначена за методикою, наведеною в «Рекомендаціях з обліку вимог щодо охорони навколишнього середовища при проектуванні автомобільних доріг і мостових переходів» [4].

Ця методика дозволяє визначити рівень звуку на відстані 7,5 м від транспортного потоку з найменшою похибкою (середньоквадратичне відхилення 1–2 дБА). У розрахунках середня швидкість потоку бралася 50 км/год, поправка на дорожнє покриття – 1,5 дБА. Результати розрахунку подано в табл. 3.

Таблиця 3 Шумові характеристики транспортного потоку на різних ділянках

Ділянка	Інтенсивність, авт./год		Відсоток вантажних, %	Еквівалентний рівень звуку, дБА	
	удень	уночі		удень	уночі
Вул. Плеханівська	1888	362	18,8	77	71,5
Пр-т Гагаріна	3124	657	18,5	78,5	74,5
Вул. Кірова	1272	195	21,6	74,5	66,5
Вул. Державінська	1862	344	16,1	76	72

Як показують дані, що наведені в табл. 3, шумова характеристика транспортного потоку за основним ходом становить 75–79 дБА вдень і 67–75 дБА вночі. Найбільш акустично навантаженою ділянкою є просп. Гагаріна.

Це дуже важлива транспортна артерія завдовжки близько 10 км, що зв'язує центр міста з аеропортом. Проспектом курсують тролейбуси й безліч маршрутних автобусів (рис. 1).



Рис. 1. Наочне представлення ділянки, що досліджується (просп. Гагаріна)

Архітектурний вигляд проспекту формують не тільки житлові багатоповерхові будинки і новобудови, а й громадські будівлі, корпуси промислових підприємств, науково-дослідних інститутів [5]. У ході дослідження також експериментальним методом визначили рівень звукового тиску від автомобільної дороги на просп. Гагаріна. Вимірювання проводили відповідно до розробленої методики проведення вимірювань рівня звуку в зоні житлової забудови. Методика призначена для оцінки фактичного шумового режиму сільбищної зони.

Для оцінювання рівнів шуму використовували шумомір SL-401. Принцип дії шумоміра полягає в перетворенні звукового тиску в електричний сигнал мікрофоном (рис. 2).



Рис. 2. Електронний шумомір SL-401

Вимірювання проводилися в суху погоду за умови швидкості вітру не більше ніж 5 м/с. Якщо швидкість вітру була понад 5 м/с, застосовувалися спеціальні засоби захисту вимірювального мікрофона від вітру. Загальна тривалість вимірювань не менше ніж 30 хв, що складається з трьох циклів кожен по 10 хв 3–4 рази за добу [6].

За результатами експериментальних досліджень установлено, що $L_{\text{Аекв}}$ дорівнює 78 дБА, а $L_{\text{Аmax}}$ 87 дБА. Результати, отримані теоретичним та експериментальним методом, збігаються. Практичним результатом цієї роботи є карта шуму території, прилеглої до автомобільної дороги. Карта шуму – план обмеженої території з нанесеними на неї даними про шумову ситуацію, що дозволяє оцінити комплексний вплив шуму від усіх джерел, вплив шуму від окремих джерел, а так само прогнозувати сумарні впливи шуму на даній території (рис. 3).

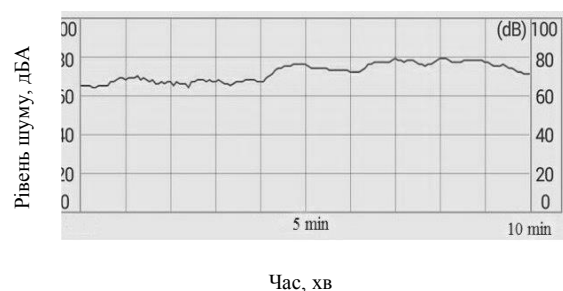


Рис. 3. Результати вимірювань рівня звукового тиску

На відміну від способу дискретних розрахунків для кожної виділеної контрольної/розрахункової точки, карта шуму дозволяє моментально дізнатися точні рівні шуму абсолютно в будь-якій точці на всій досліджуваній території.

Оцінювання рівня акустичного навантаження здійснювалося за допомогою програми «Акустика 3D». У програму була завантажена карта цієї ділянки дороги, на яку надалі були нанесені всі об'єкти за допомогою функцій «Полігон», «Лінійне ДШ», «Розрахункові точки». У процесі нанесення автомобільної дороги була створена таблиця «ДШ-1». Далі було нанесено розрахункові значення та побудовано схему акустичного навантаження (рис. 4).

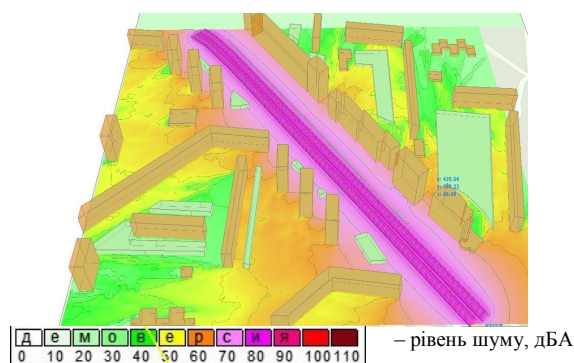


Рис. 4. Схема акустичного навантаження ділянки, що досліджується (просп. Гагаріна)

З карти видно, що рівень шумового навантаження є достатньо високим L_A 70–80 дБА та перевищує допустимий рівень шуму $L_{\text{Аекв}}$ 55–70 дБА і не потрапляє в діапазон еквівалентного для даної території. Високий рівень шуму спостерігається в зовнішніх дворах будівель та на примігистральній території, у внутрішніх дворах цей показник різко падає. Карта шуму дозволила оцінити межі територій, на яких досягається нормативне значення рівня звуку 55 дБА вдень і 45 дБА вночі. Ці дані подані у вигляді ізодецибел різного кольору. Під час економічного оцінювання впливу транспортного шуму збиток від його дії визначався як втрата частини національного доходу внаслідок постійного впливу шуму на людину [7].

Розрахунок погодинного збитку з використанням коефіцієнта зниження національного доходу від впливу шуму виконували за формулою

$$Z_{\text{год}} = C_{\text{год}} \sum_{i=1}^n N_{\text{ж}L_i} K_n(L_i), \quad (1)$$

де $Z_{\text{год}}$ – погодинний збиток від високих рівнів транспортного шуму, грн/год; $C_{\text{год}}$ – вартість роботи однієї людини за годину, грн/год; $N_{\text{ж}L_i}$ – кількість людей, на яких діє рівень шуму L_i , чел.; $K_n(L_i)$ – коефіцієнт зменшення національного доходу.

$$K_n(L_i) = 18 \cdot 10^{-8} L_i^{3,39679} - 0,03123. \quad (2)$$

Розрахуємо, якого збитку завдає шумовий вплив з рівнем звуку $L_i = 75$ дБА за умови, що його дія поширюється на 100 осіб при мінімальній вартості роботи за годину в Україні 19,34 грн/год

$$K_n(L_i) = 18 \cdot 10^{-8} 75^{3,39679} - 0,03123 = 0,39$$

$$Z_{\text{год}} = 19,34 \cdot 100 \cdot 0,39 = 754,26 \text{ грн/год.}$$

Отже, збиток від шумового забруднення навколишнього середовища становить 754,26 грн/год на кожні 100 чоловік. Збиток від шумового забруднення навколишнього середовища перебуває у прямій залежності від рівня шуму в квартирах і кількості мешканців на яких він діє.

Проблема боротьби з міськими шумами тісно пов'язана з раціональним перетворенням міського середовища, яке повинно йти шляхом ліквідації або скорочення кількості джерел шуму, локалізації зони емісії шуму, зниження рівня звуку джерел і захисту від шуму місць перебування людини.

Наразі накопичений величезний практичний досвід застосування різноманітних шумозахисних заходів для зниження автотранспортного шуму. В Японії, США, Німеччині, Італії, Канаді, в Австралії, Швеції та інших країнах установлені десятки тисяч кілометрів акустичних екранів. Японія, Франція і Німеччина використовують шумопоглинальне дорожнє покриття для зниження шуму шин автомобілів. Для зниження рівня звуку на шляху його поширення успішно використовуються насипи і зелені насадження. Розроблення комплексу шумозахисту здійснюється відповідно до необхідного зниження рівня звуку, а вибір екранних споруд продиктований, насамперед міркуваннями ефективності

шумозахисних заходів і їх вартістю, а також вимогами безпеки, особливостями експлуатації та естетичним сприйняттям.

Одним з найбільш перспективних напрямів захисту сельбищної зони та робочих місць, що знаходяться у приміщеннях будівель, які розташовані поблизу транспортних магістралей, є застосування акустичних екранів. До переваг їх використання порівняно, наприклад, із зеленими насадженнями, варто відзначити сталу ефективність, незалежно від періоду року, щільності листя. Крім того, ефективність дії акустичних екранів настає з моменту їх встановлення, у той час як для досягання певної шумозахисної ефективності зеленими насадженнями потрібний тривалий час, доки дерева та кущі здобудуть певну висоту та інші характеристики.

Шумозахисні екрани – конструкція, що зводиться вздовж великих проспектів, автомагістралей, залізничних шляхів, які захищають від шуму прилеглі будинки, а також місця скупчення людей (зупинки громадського транспорту, парки). Конструкція шумозахисних екранів дуже проста (рис. 5).

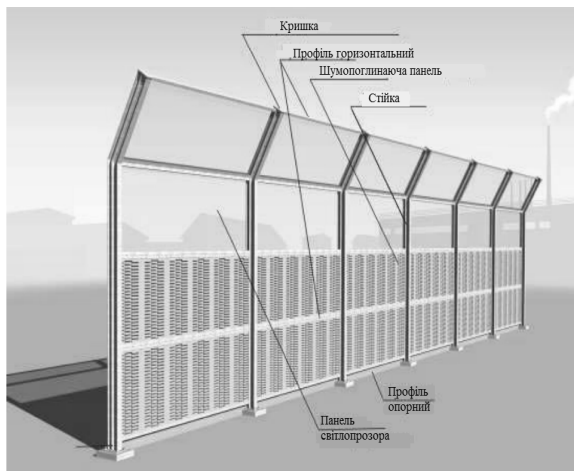


Рис. 5. Конструкція шумозахисного екрану

Установка таких конструкцій економічно обґрунтована в густонаселених районах, де трасування дороги на відстані від житлових і офісних будівель неможливо. Шумозахисні екрани знижують транспортний шум за рахунок поглинання, зміни довжини хвилі, відображення, або дифракції, як правило, на 8–20 дБА. Крім цієї функції, екрани в різному ступені захищають перехожих від дорожнього пилу і бруду в осінньо-весняний період і від засліплення фарами (у випадку з непро-

зорими екранами). У разі виникнення дорожньо-транспортних пригод захищає перехожих від уламків. Таким чином, навіть за умови безпосередньої близькості від траси з високою інтенсивністю – є можливість створити тихий житловий район, що дозволяє більш ефективно витратити міську землю.

У ході дослідження встановлено рівень акустичного навантаження, що перевищує допустимий рівень шуму. Пропонується влаштування комбінованого екрана на ділянках узбіччя лівого та правого проїздів, загальною довжиною 550 м (рис. 6).

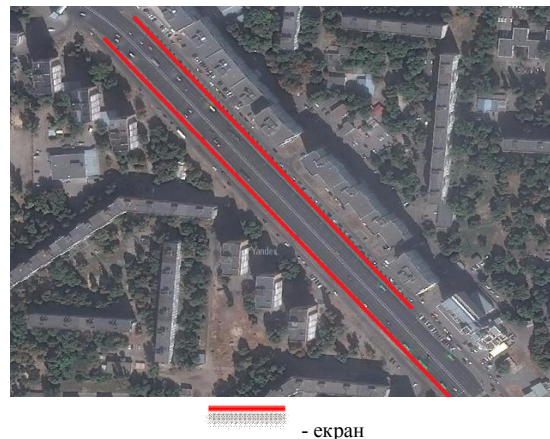


Рис. 6. Розміщення комбінованого шумозахисного екрана

Відмітною особливістю комбінованих шумозахисних екранів від шумопоглинального і шумовідбивного є наявність в ньому двох або більше видів панелей. За допомогою програми «Акустика 3D» у роботі був прогнозований сумарний вплив шуму для даної території (рис. 7).

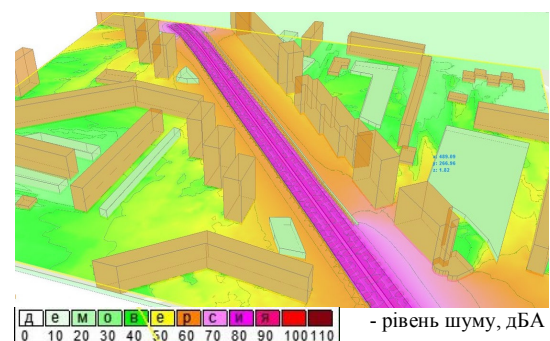


Рис. 7. Прогнозована схема акустичного навантаження із застосуванням комбінованого екрана

З шумової карти видно, що ефективність зниження шумового навантаження з застосу-

ванням комбінованого екрана досягає 8–15 дБА і $L_A = 55–65$ дБА, що не перевищує допустимий рівень шуму $L_{\text{Аекв}} = 55–70$ дБА. Це означає, що використання екрана на ділянці просп. Гагаріна – доцільний метод зниження шуму.

Висновки

Проведено аналіз параметричного забруднення примігистральної території як фактора антропогенного навантаження на сельбищну територію міста. Установлено, що у значних містах шум збільшився на 12–15 дБА, а суб'єктивна гучність зросла в 3–4 рази.

Установлено, що просп. Гагаріна знаходиться в зоні акустичного дискомфорту (рівень шуму 70–80 дБА), що перевищує допустимий рівень шуму у 55 дБА на 15–25 дБА. Побудовано карту шумового навантаження примігистральної території. Виявлено житлові масиви, які схильні до підвищених рівнів звуку та оцінено масштаби ураження території.

Як шумозахисний захід у роботі запропоновано розміщення комбінованого шумозахисного екрана, що дозволить знизити рівень шумового навантаження приблизно на 8–15 дБА.

Література

1. Кривошеїн Д.А. Екологія і безпека життєдіяльності: навч. посібник для вузів / Д.А. Кривошеїн, Л.А. Муравей, М.М. Роева. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 448 с.
2. Захист територій, будинків і споруд від шуму: ДБН В.1.1– 31:2013. – [На заміну СНіП II-12-77]. – К.: Мінрегіон України. 2014. – 47 с.
3. Бочаров А.А. Влияние интенсивности транспортного потока на общий уровень акустического загрязнения / А.А. Бочаров, А.В. Соловьев // Известия вузов. Физика. – 2010. – Т. 53, № 9/3. – С. 225–226.
4. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов: Министерство транспорта Российской Федерации. – Москва, 1995.
5. Дьяченко Н.Т. Улицы и площади Харькова / Н.Т. Дьяченко. – Х.: Прапор, 2004.
6. Абракитов В.Э. Методологическая основа составления карты шума г. Харькова / В.Э. Абракитов // Науковий вісник будівництва. – 2009. – Вип. 55. – С. 279–284.
7. Микитин Д.Р. Окружающая среда и человек / Д.П. Микитин, Ю.В. Новиков. – М.: Высшая школа, 1980. – 422 с.
8. Волошина І.А. Шумозахист на автомобільних дорогах. Проблеми та напрямки їх вирішення / І.В. Волошина // Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг, 2013. – С. 76–82.
9. Погорелая Е.А. Применение шумозащитных экранов в городской среде / Е.А. Погорелая // Наука – Будущее Литвы. Инженерия транспорта и организация перевозок, 2013. – С. 30–34.

Рецензент: Н.В. Внукова, професор, д.т.н., ХНАДУ.