

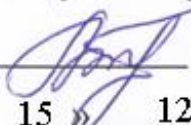
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Факультет економіки та екології моря

Кафедра екології та природоохоронних технологій

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 Трохименко Г.Г.
« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

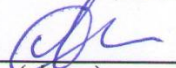
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему **«РОЗРОБКА БІОПОЗИТИВНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ
ЗНИЖЕННЯ ШУМОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ В МІСЬКОМУ
СЕРЕДОВИЩІ»**

Виконала: студентка 6271м групи

 Литвиненко Г.В.
(підпис)

Керівник: к.е.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

 Літвак О.А.
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Факультет економіки та екології моря

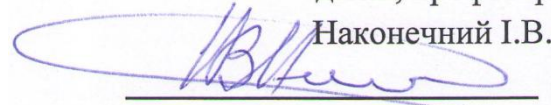
Кафедра _____ екології та природоохоронних технологій _____

Спеціальність 101 Екологія _____

Освітня програма «Екологія та охорона навколишнього середовища» _____

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Г: Гарант освітньої програми
д.б.н., професор
Наконечний І.В.



“ 15 ” 12 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студентці _____ Литвиненко Ганні Вікторівні _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: «Розробка біопозитивної конструкції для зниження шумового навантаження в міському середовищі»

Керівник роботи Літвак Ольга Анатоліївна, канд. екон. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № 1312-УЧ від «31» жовтня 2025 року

2. Термін подання роботи: 10.12.2025 р.

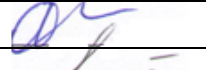
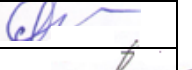
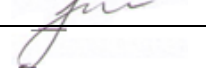
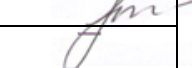
3. Вихідні дані по роботі: нормативно-законодавчі акти, методичні рекомендації, наукові публікації за темою дослідження.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Теоретичні основи шумозахисту в міських умовах. 2. Біопозитивні технології, як основа сталого розвитку міського середовища. 3. Розробка біопозитивної шумозахисної конструкції. 4. Економічні аспекти впровадження біопозитивних технологій шумозахисту в міському середовищі 5. Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів: Презентація – 21 слайд.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Літвак О.А., к.е.н., доцент		
5	Маринець О.М., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 03.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір теми кваліфікаційної роботи	03.09.2025	
2	Визначення мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження	10.09.2025	
3	Складання плану, підбір і опрацювання списку використаних джерел	17.09.2025	
4	Вивчення теоретичних основ шумозахисту в міських умовах	28.09.2025	
5	Аналіз існуючих біопозитивних технологій та матеріалів	14.10.2025	
6	Виконання дослідження щодо видів біопозитивних конструкцій для шумозахисту	20.10.2025	
7	Розробка проекту біопозитивного шумозахисного екрану та визначення його акустичної ефективності	26.10.2025	
8	Техніко-економічне обґрунтування розроблених рішень	15.11.2025	
9	Розробка заходів з охорони праці та техніки безпеки	25.11.2025	
10	Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	30.11.2025	
11	Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	10.12.2025	
12	Захист кваліфікаційної роботи	23.12.2025	

Студентка


(підпис)

Литвиненко Г.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Літвак О.А.
(прізвище та ініціали)

Анотація
до кваліфікаційної роботи «Розробка біопозитивної конструкції для
зниження шумового навантаження в міському середовищі»
студентки Литвиненко Ганни Вікторівни

Кваліфікаційна робота присвячена комплексному дослідженню проблем шумового забруднення в урбанізованому середовищі та розробленню біопозитивних шумозахисних рішень для підвищення екологічної стійкості міських територій. У першому розділі проаналізовано екологічні проблеми урбанізованих територій, охарактеризовано джерела та види шуму, наведено нормативні вимоги до його допустимих рівнів, а також розглянуто вплив шумового навантаження на здоров'я населення та сучасні підходи до шумозахисту у будівництві.

Другий розділ присвячено біопозитивним технологіям як інноваційній основі сталого розвитку міського середовища. Визначено принципи біопозитивного будівництва, проведено аналіз матеріалів і технологій, що застосовуються у біопозитивних конструкціях, досліджено світовий і український досвід використання природоорієнтованих рішень у шумозахисті та оцінено їх потенціал впровадження в Україні.

У третьому розділі розроблено конструкцію біопозитивного вертикального шумопоглинального екрана для урбанізованого середовища. Виконано акустичні розрахунки та моделювання його ефективності, наведено графічні та структурні характеристики конструкції, а також сформовано практичні рекомендації для впровадження таких рішень в українських містах.

Четвертий розділ містить економічний аналіз застосування біопозитивних шумозахисних технологій, включаючи техніко-економічну оцінку запропонованого екрану та визначення соціально-економічних переваг його використання в контексті сталого міського розвитку.

У п'ятому розділі виконано аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час монтажу та експлуатації шумозахисних конструкцій, розроблено заходи з охорони праці та техніки безпеки, а також проведено розрахунок штучного освітлення адміністративного приміщення підприємства.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку. Основний зміст викладено на 91 сторінці комп'ютерного тексту, у тому числі 22 рисунки, 16 таблиць. Список використаних джерел складається із 70 найменувань.

Ключові слова: біопозитивне будівництво, шумове забруднення, урбанізоване середовище, шумозахисний екран, природоорієнтовані рішення, акустична ефективність, сталий розвиток, техніко-економічна оцінка.

Summary
to the qualification work «Development of biopositive design to reduce noise
pollution in urban environments»
Lytvynenko Hanna

The qualification thesis is devoted to a comprehensive study of noise pollution in the urban environment and the development of biopositive noise protection solutions aimed at enhancing the ecological resilience of urban territories. The first chapter analyzes the ecological problems of urbanized areas, describes the sources and types of noise, outlines the regulatory requirements for permissible noise levels, and examines the impact of noise exposure on human health as well as modern approaches to noise protection in construction.

The second chapter focuses on biopositive technologies as an innovative foundation for sustainable urban development. It defines the principles of biopositive construction, analyzes the materials and technologies used in biopositive structures, explores global and Ukrainian experience in applying nature-based solutions for noise mitigation, and assesses their implementation potential in Ukraine.

The third chapter presents the development of a biopositive vertical noise-absorbing screen designed for urban environments. Acoustic calculations and efficiency modeling are performed, the structural and graphical characteristics of the construction are provided, and practical recommendations for implementing such solutions in Ukrainian cities are formulated.

The fourth chapter includes an economic analysis of the application of biopositive noise protection technologies, including a techno-economic assessment of the proposed screen and identification of its socio-economic benefits in the context of sustainable urban development.

The fifth chapter analyzes hazardous and harmful production factors arising during the installation and operation of noise protection structures, develops occupational safety measures, and includes the calculation of artificial lighting for an administrative room of a noise barrier installation enterprise.

The qualification work consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of references, and an appendix. The main content is presented on 91 pages of computer-typed text and includes 21 figures and 16 tables. The list of references comprises 70 sources.

Keywords: biopositive construction, noise pollution, urban environment, noise protection screen, nature-based solutions, acoustic efficiency, sustainable development, techno-economic assessment.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ШУМОЗАХИСТУ В МІСЬКИХ УМОВАХ	10
1.1 Екологічні проблеми урбанізованих територій	10
1.2 Джерела та види шумового забруднення в урбанізованому середовищі	11
1.3 Нормативні вимоги до рівнів шуму в житловій та громадській забудові.....	17
1.4 Вплив шуму на здоров'я людини та якість життя	20
1.5 Сучасні підходи до шумозахисту у будівництві.....	24
РОЗДІЛ 2 БІОПОЗИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА	29
2.1 Поняття та основні принципи біопозитивного будівництва.....	29
2.2 Типи та властивості біопозитивних технологій і матеріалів	32
2.3 Світовий та український досвід біопозитивного шумозахисту.....	37
2.4 Потенціал впровадження біопозитивних рішень у шумозахисті в Україні.....	41
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА БІОПОЗИТИВНОЇ ШУМОЗАХИСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ	44
3.1 Види біопозитивних шумозахисних конструкцій	44
3.2 Розробка біопозитивного вертикального шумопоглинального екрану для урбанізованого середовища.....	58
3.3 Розрахунок акустичної ефективності біопозитивного шумозахисного екрану	63
3.4 Практичні заходи щодо впровадження біопозитивного шумозахисту в українських містах	70

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОПОЗИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ШУМОЗАХИСТУ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ	72
4.1 Соціально-економічні переваги біопозитивних шумозахисних екранів в контексті сталого розвитку	72
4.2 Техніко-економічна оцінка проєктних рішень	76
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	79
5.1 Загальні положення охорони праці	79
5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час будівництва та експлуатації шумозахисних екранів	81
5.3 Розрахунок штучного освітлення адміністративного приміщення підприємства з монтажу шумозахисних екранів	83
5.4 Заходи техніки безпеки під час монтажу шумозахисних конструкцій	86
ВИСНОВКИ	90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТКИ	98

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна урбанізація супроводжується зростанням інфраструктурного навантаження, що призводить до інтенсивного шумового забруднення у міських середовищах. Шумовий тиск особливо загострюється в зонах житлової забудови, поблизу транспортних артерій, промислових об'єктів і соціально активних територій. Тривалий вплив надмірного шуму негативно впливає на фізичне та психоемоційне здоров'я людини, погіршує якість життя, знижує ефективність праці та навчання.

У цьому контексті особливої актуальності набувають біопозитивні підходи до проектування інженерних рішень для захисту від шуму. Біопозитивне будівництво ґрунтується на принципах екологічної інтеграції, використання природних матеріалів і зелених технологій, які не лише знижують акустичне навантаження, але й покращують естетичний вигляд міського середовища, підвищують біорізноманіття та сприяють кліматичній адаптації міст.

Наразі існує потреба у розробці ефективних конструкцій, що об'єднують функції шумозахисту та екологічної цінності. Такі конструкції мають відповідати вимогам сучасного містобудування, бути енергоефективними, довговічними, екологічно безпечними та адаптивними до локальних умов.

Головне завдання таких перетворень зробити міське життя більш здоровим та стійким. Біопозитивні об'єкти повинні органічно вписуватися в урбанізовані ландшафти і при цьому формувати безпечне та сприятливе середовище для життя людини, наближуючи її до природи і зберігаючи довкілля.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз впливу процесу впровадження біопозитивних технологій на екологічні характеристики урбанізованих територій і стан здоров'я населення, а також розробка біопозитивної шумопоглинальної конструкції для зниження рівнів звуку та створення комфортних міських просторів.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких **завдань**:

1. Охарактеризувати джерела, види та особливості поширення шуму в умовах міста, а також дослідити чинні нормативні вимоги щодо допустимих рівнів шуму.

2. Розкрити вплив шуму на здоров'я людини, якість життя та соціально-економічний стан міських громад.

3. Дослідити сучасні технології шумозахисту та узагальнити теоретичні підходи до створення ефективних шумопоглинальних конструкцій.

4. Розглянути сутність, принципи та види біопозитивних технологій, а також проаналізувати світовий та український досвід їх застосування у міських умовах.

5. Розробити конструкцію біопозитивного вертикального шумопоглинального екрана для умов міського середовища.

6. Виконати розрахунок акустичної ефективності біопозитивного вертикального шумопоглинального екрана.

7. Провести техніко-економічну оцінку запропонованого рішення та обґрунтувати соціально-екологічні переваги впровадження біопозитивних шумозахисних систем у містах України.

8. Розробити заходи охорони праці та техніки безпеки при монтажі та експлуатації біопозитивних шумозахисних екранів.

Об'єкт дослідження – процеси впровадження біопозитивних технологій та їх вплив екологічні характеристики урбанізованих територій і стан здоров'я населення.

Предмет дослідження – біопозитивні конструкції для шумозахисту, їхні конструктивні особливості, матеріали, функціональність та ефективність у зниженні шумового навантаження.

Матеріалами досліджень послужили наукові та технічні розробки, наукові праці та публікації у галузі біопозитивних технологій та будівельних матеріалів; проекти щодо створення «зелених» технологій майбутнього для систем міського планування та забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ШУМОЗАХИСТУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

1.1 Екологічні проблеми урбанізованих територій

Високі темпи урбанізації можна вважати глобальною проблемою нашого часу. Її початок відбувся кілька десятиліть років тому й донині розростання великих міст, їх перетворення на мегаполіси породжує дедалі більше джерел забруднення довкілля й у негативний бік змінює міський простір.

Синдром великих міст – так вчені називають нервовий та депресивний стан, від якого страждають мешканці міських джунглів. Однотипні похмурі будинки та споруди з безперервними рядами віконних отворів, суцільні бетонні огорожувальні конструкції вкрай несприятливо впливають на людську психіку. Надшвидкісне зростання мегаполісів відбувається в розладі з природними підвалинами, постійно забруднюючи навколишнє середовище та накладаючи негативний відтінок як на фізичний, так і на психічний стан мешканців міста.

Урбанізовані структури вкрай негативно впливають на екологічні характеристики міста, оскільки у великих обсягах спричиняють зменшення площ озеленення. Простір у містах обмежений, а міське розселення в принципі загрожує існуванню зелених насаджень. Зелені насадження, розташовані в безпосередній близькості від міст, також уразливі за рахунок розростання міст. Можна виділити такі основні види забруднень за умов урбанізованих територій.

Біологічне забруднення – забруднювачем є організми, привнесення і розмноження яких має небажаний характер, як для людини, так і для екосистем загалом.

Механічне забруднення – забруднення середовища хімічно і фізично інертними речовинами (відходами), які, зазвичай, призводять до погіршення якостей компонентів довкілля і впливають на живі організми.

Фізичне забруднення призводить до зміни фізичних параметрів середовища, серед яких температурно-енергетичне (теплове забруднення), хвильове (світлове, шумове, електромагнітне забруднення), радіаційне (радіоактивне забруднення) та деякі інші.

Хімічне забруднення призводить до зміни природних хімічних властивостей середовища, що виражається в підвищенні концентрації речовин, або проникнення речовин, які були відсутні в середовищі раніше. Прикладом хімічного забруднення є аерозольне. Пріоритетним фактором ризику продовжує залишатися забруднення повітря такими речовинами: оксиди азоту, бенз(а)пірен, зважені речовини, формальдегід, дигідросульфід, гідроксибензол та його похідні, хлор та його сполуки, фтор та його сполуки, аміак, оксид вуглецю, ксилол, оксид, з'єднання.

Забруднення води в результаті скидання стічних вод (навмисне або через аварійні розливи) в природні водойми; неочищені стічні води, а також хімічні забруднювачі, такі як хлор, з очищених стічних вод; надходження відходів та забруднюючих речовин з поверхневих стічних вод (у тому числі дощових стічних вод та поверхневого стоку з сільськогосподарських угідь, які можуть містити хімічні добрива та пестициди, а також людські фекалії від відкритої дефекації – все це, як і раніше, є серйозною проблемою у багатьох країнах, що розвиваються); забрудненням ґрунтових вод від відходів, а також вилуговування ґрунтів, у тому числі з вигрібних ям; евтрофікація водойм та їх засмічення.

Серед пріоритетних небезпечних факторів для питних вод залишається невідповідність води мікробіологічним та санітарно-хімічним вимогам (наявність у воді хлору та хлорорганічних сполук, заліза, марганцю, бору, бром, стронцію, родію, літію в концентраціях, що перевищують гігієнічні нормативи).

Електромагнітне забруднення – надлишок електромагнітних випромінювань в їх неіонізуючу форму, таких як радіохвилі тощо, яким люди постійно піддаються, особливо у великих містах. Однак досі невідомо, чи ці

види забруднення мають якийсь негативний вплив на здоров'я людини. Електромагнітне випромінювання можна розділити на два типи: іонізуюче випромінювання та неіонізуюче випромінювання, засноване на здатності одного фотона з енергією понад 10 еВ (електрон-Вольт) іонізувати атоми або розривати хімічні зв'язки.

Згідно зі стандартною класифікацією Міжнародного агентства з дослідження раку статичні та вкрай низькочастотні електромагнітні поля класифікуються як фактори, що мають можливу канцерогенну дію. При цьому виникають високі рівні ризиків розвитку злоякісних новоутворень головного мозку (гліоми, менінгіоми) та крові (лейкозу).

Накопичення відходів – кидання недоречних предметів (відходів) на громадську та приватну територію чи акваторію.

Шумове забруднення, яке включає шум проїжджої частини, авіаційний шум, промисловий шум, а також високоінтенсивний шум гідролокаторів. Високий рівень шуму у місті завдає відчутної шкоди здоров'ю людини. Це чинить пригнічуючу дію на нервову систему, знижує можливості імунної системи, знижуючи здатність організму протистояти різним захворюванням. У сучасних великих містах до 60% населення живе в умовах акустичного дискомфорту. Підвищений шум спричиняє погіршення слуху, розвиток специфічного захворювання слухового невриту, наслідком якого може бути глухота. Неспецифічні ефекти шуму виявляються у розладах нервової та серцево-судинної систем (підвищення артеріального тиску, збільшення частоти ішемічної хвороби серця, дратівливість, апатія тощо). У тварин шум може збільшити ризик смерті, змінюючи умови виявлення та уникнення хижака або жертви, втручатися у відтворення та навігацію та сприяти поступовій втраті слуху.

Забруднення пластиком включає накопичення пластмасових виробів і мікропластиків у навколишньому середовищі, що негативно впливає на дику природу, місце існування диких тварин і людини.

Забруднення ґрунту відбувається, коли хімічні речовини вивільняються в результаті розливу або підземного витоку. До найбільш значних забруднювачів ґрунту відносяться вуглеводні, важкі метали, гербіциди, пестициди та хлоровані вуглеводні.

Радіоактивне забруднення, що виникло внаслідок діяльності людини у ХХ ст. в галузі атомної фізики, такої як виробництво ядерної енергії та дослідження, виробництво та розгортання ядерної зброї. Радіоактивне забруднення, також зване радіологічним забрудненням, – це осадження або присутність радіоактивних речовин на поверхнях або всередині твердих тіл, рідин або газів (включаючи людське тіло), де їхня присутність є ненавмисною або небажаною.

Теплове забруднення – це зміна температури природних водних об'єктів, спричинена впливом людини, наприклад, використанням води як теплоносія на електростанції.

Візуальне забруднення, до якого може належати наявність повітряних ліній електропередач, автомобільних рекламних щитів, відкритих сховищ сміття, твердих побутових відходів або промислового сміття. Міським жителям досить часто доводиться зустрічатися з агресивним візуальним середовищем на вулиці. До «агресивних» факторів візуального середовища вчені відносять: колір, повторюваність і одноманітність елементів матеріального середовища. У містах часто стали зустрічатися цілі квартали типових багатоповерхових будівель з великою кількістю одноманітних елементів (панелі будинків, стіни, фанеровані однотипною плиткою, одноманітна цегляна кладка), всілякі огорожі, решітки та перегородки (гофрований алюміній, шифер тощо).

Світлове забруднення – це присутність штучного світла темних умовах. Цей термін найчастіше використовується по відношенню до зовнішнього середовища, але використовується для позначення штучного освітлення в приміщенні. Несприятливі наслідки численні; деякі з них, можливо, ще не відомі. Світлове забруднення конкурує із зоряним світлом у нічному небі для міських жителів, заважає роботі астрономічних обсерваторій і, як і будь-яка

інша форма забруднення, руйнує екосистеми та надає несприятливий вплив на здоров'я. Світлове забруднення – це побічний ефект індустріальної цивілізації. Його типові джерела такі: зовнішнє та внутрішнє освітлення будівель, реклама, зовнішнє освітлення територій (наприклад, автостоянки), вуличні ліхтарі та освітлені спортивні об'єкти. Воно найбільше розповсюджене у високоіндустріальних густонаселених районах Північної Америки, Європи та Японії, а також у великих містах Близького Сходу та Північної Африки, таких, як Тегеран та Каїр. Але навіть відносно невелика кількість світла може бути помічена людиною та створити проблеми, зокрема зі здоровим сном (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Види забруднень урбанізованих територій

Некомфортний мікроклімат у приміщеннях. Мікроклімат приміщення – стан внутрішнього середовища приміщення, що характеризується такими показниками: температурою повітря, радіаційною температурою, швидкістю руху та відносною вологістю повітря. Дуже часто при створенні житла та організації робочих місць забувається, що для комфортних умов роботи важливі значення складових мікроклімату приміщення. Людським організмом

мікроклімат сприймається як багатофакторная функція, всі його компоненти перебувають у взаємозв'язку друг з одним.

Мікрокліматичні зміни у великому місті впливають на загальний функціональний стан людей, підвищуючи втому, дратівливість, збільшуючи чутливість до застудних, інфекційних захворювань, ймовірність виникнення умов для перегріву організму.

Багато будівельних і оздоблювальних матеріалів, а також меблі та предмети інтер'єру виділяють токсичні речовини протягом багатьох місяців і навіть років. Відсутність вентиляції у приміщенні концентрує забруднення повітря там, де часто проводять більшу частину свого часу. Газ радон, канцероген, виділяється із землі деяких місцях і накопичується від підвалів рівня третього поверху всередині будинків. Будівельні матеріали, включаючи килимові покриття та фанеру, виділяють газоподібний формальдегід. Фарба та розчинники виділяють леткі органічні сполуки (ЛОС) при висиханні. Отруєння чадним газом і пов'язані з ним смертельні випадки часто трапляються через несправні вентиляційні отвори та димарі, а також через спалювання деревного вугілля в приміщенні або в обмеженому просторі.

Негативні чинники довкілля одна із основних бар'єрів стабільного соціально-економічного розвитку. У цьому найбільшого впливу зазнає здоров'я населення, що характеризує рівень життя та розвитку суспільства.

Соціально-економічні та екологічні наслідки забруднення навколишнього середовища проявляються у чотирьох основних формах:

- 1) погіршення якості життя, що полягає у занепаді здоров'я населення, порушенні умов праці та відпочинку у забруднених районах;
- 2) втрати робочого часу, пов'язані з підвищеною захворюваністю населення, – а в даному випадку забруднення навколишнього середовища постає як фактор, що знижує ефективність використання трудових ресурсів регіону;
- 3) зменшення народногосподарської цінності природних ресурсів як наслідок падіння продуктивності сільськогосподарських та лісових угідь у

зонах забруднення, підвищених витрат на водопідготовку промисловістю та комунально-побутовим господарством, зменшення рибопродуктивності водойм, їх рекреаційної цінності тощо;

4) інтенсифікація корозійних процесів у забрудненому середовищі, підвищене забруднення та засмічення технологічного обладнання, що веде до прискорення зносу основних фондів у зоні забруднення.

1.2 Джерела та види шумового забруднення в урбанізованому середовищі

Шумове забруднення є одним із найпоширеніших чинників погіршення якості навколишнього середовища у містах. Воно виникає внаслідок діяльності транспорту, промислових підприємств, будівельних робіт, об'єктів енергетики та інших джерел антропогенного походження. Основними джерелами міського шуму є:

- автомобільний транспорт, що формує безперервний фоновий шум;
- залізничний та повітряний транспорт, який створює імпульсні та високочастотні коливання;
- промислові об'єкти, включаючи системи вентиляції, генератори, компресори тощо;
- будівельні майданчики, які характеризуються періодичними, але інтенсивними шумовими імпульсами (табл. 1.1, рис. 1.2).

Таблиця 1.1. Основні джерела шуму в міському середовищі та характер акустичного впливу

Джерело шуму	Тип шуму	Частота (Гц)	Інтенсивність (дБА)	Коментар
Автомобільний транспорт	Постійний	100–5000	60–80	Основне джерело міського шуму
Залізничний транспорт	Імпульсний	30–2000	70–95	Високий рівень вібрацій

Повітряний транспорт	Переривчастий	100–8000	80–110	Особливо небезпечний у зонах аеропортів
Промисловість	Фоновий, імпульсний	50–3000	65–90	Шум систем вентиляції, компресорів
Будівництво	Імпульсний	60–6000	75–105	Сезонний і точковий характер

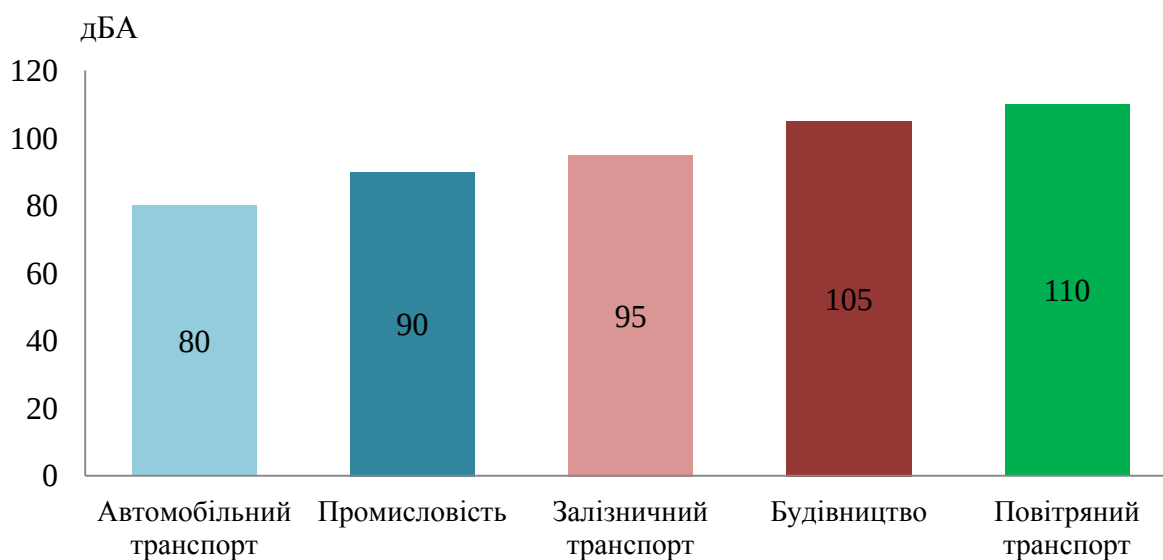


Рис. 1.2. Рівень шуму залежно від типу джерела (усереднені значення)

Урбанізоване середовище є акустично складним, оскільки будівлі, дорожні покриття, інженерні споруди та інші елементи інфраструктури відбивають, поглинають або підсилюють звукові хвилі. Як наслідок – утворюються *зони акустичного резонансу*, які можуть значно перевищувати допустимі рівні шуму.

1.3. Нормативні вимоги до рівнів шуму в житловій та громадській забудові

Шум як фізичне явище регламентується на державному та міжнародному рівнях, оскільки його вплив на здоров'я людини є доведено негативним. У

житловому середовищі питання нормування шуму регулюються нормативними актами, що встановлюють допустимі рівні звукового тиску у приміщеннях та на прилеглих територіях, а також вимоги до проектування будівель з урахуванням акустичного комфорту.

В Україні чинними документами у сфері захисту від шуму є:

- Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови, затверджені Міністерством охорони здоров'я України 22.02.2019 № 463;

- ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму, які є обов'язковими при проектуванні нових та реконструкції існуючих об'єктів;

- ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій

- ДСТУ ГОСТ 31296.1:2007 Шум. Опис, вимірювання і оцінка шуму на місцевості. Частина 1. Основні величини і процедура оцінювання.

Відповідно до чинних норм, допустимі рівні шуму в житлових приміщеннях становлять:

- у денний час (з 7:00 до 22:00) – не більше 55 дБА;
- у нічний час (з 22:00 до 7:00) – не більше 45 дБА.

У лікарнях та навчальних закладах ці рівні ще нижчі – від 35 до 50 дБА, залежно від функціонального призначення приміщення. Це пов'язано з підвищеними вимогами до акустичного комфорту в зонах відпочинку, навчання та лікування.

На міжнародному рівні Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) у документі *Environmental Noise Guidelines for the European Region* (2018) рекомендує знижувати рівень шуму від дорожнього транспорту до 53 дБА вдень і 45 дБА вночі, а від залізничного – до 54 дБА вдень і 44 дБА вночі. Ці значення спрямовані не лише на зменшення дискомфорту, а й на зниження ризику серцево-судинних та психосоматичних захворювань (табл. 1.2).

Таблиця 1.2. Допустимі рівні шуму згідно з нормативами України та ВООЗ

Зона впливу	Вдень (дБА)	Вночі (дБА)	Джерело регулювання
Житлові приміщення	≤55	≤45	ДСН від 22.02.2019 № 463
Навчальні заклади	≤50	–	ДБН В.1.1-31:2013
Лікарні, поліклініки	≤45	≤35	ДБН та нормативи МОЗ
Вулиці з інтенсивним рухом	≤70	≤60	ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013
Рекомендовані межі (ВООЗ)	≤53	≤45	WHO Environmental Noise Guidelines (2018)

Варто зазначити, що в умовах великих міст України фактичні рівні шуму на центральних вулицях та в районах з щільною транспортною інфраструктурою часто перевищують допустимі показники на 10–20 дБА, що створює загрозу хронічного шумового стресу у населення.

У зв'язку з цим надзвичайно важливо дотримуватись нормативних вимог на етапах:

- містобудівного планування – шляхом правильного розміщення житлових, громадських та виробничих зон;
- проєктування забудови – із врахуванням шумозахисних бар'єрів, відстаней, озеленення;
- будівництва – із застосуванням сучасних шумопоглинаючих та ізолюючих матеріалів;
- експлуатації об'єктів – через моніторинг рівнів шуму та модернізацію захисних систем.

Важливо також забезпечити відповідність проєктних рішень одночасно акустичним, екологічним і архітектурним вимогам, що є основою для інтеграції біопозитивних технологій шумозахисту в практику сучасного будівництва.

1.4 Вплив шуму на здоров'я людини та якість життя

Акустичне забруднення, або шум, є серйозною екологічною проблемою, що набуває особливого значення в умовах урбанізованих територій. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), понад 100 мільйонів жителів Європи зазнають впливу підвищеного рівня шуму, що перевищує допустимі норми. ВООЗ визнає шум другим за значущістю фактором екологічного ризику для здоров'я населення міст після забруднення повітря.

Фізіологічний вплив шуму. Шум є сильним біологічним подразником. Його дія не обмежується лише порушенням слуху – шум впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему, гормональний баланс, викликає вегетативні реакції та стрес. До найбільш поширених фізіологічних наслідків постійного шумового навантаження належать:

- порушення сну та фази глибокого відпочинку;
- підвищення артеріального тиску та частоти серцевих скорочень;
- порушення ритму серця, підвищення ризику інсульту;
- гіпертонічна хвороба, особливо при рівнях шуму понад 65 дБА;
- зниження імунітету та загострення хронічних захворювань.

Найбільш чутливими до дії шуму є діти, люди похилого віку, вагітні жінки та особи з хронічними захворюваннями (табл. 1.3).

Психоемоційний та когнітивний вплив. Окрім соматичних розладів, шум значно впливає на психоемоційний стан людини. Навіть короткочасне перебування у середовищі з рівнем шуму понад 60–70 дБА викликає:

- дратівливість, тривожність, агресивність;
- зниження концентрації уваги та швидкості реакції;
- підвищення рівня стресових гормонів (кортизолу, адреналіну);
- хронічну втомлюваність і відчуття виснаження;
- порушення когнітивних функцій у дітей (зниження здатності до навчання, пам'яті, логічного мислення).

На думку експертів Європейської агенції з охорони довкілля, навчальні досягнення дітей у шумному середовищі знижуються в середньому на 20–30%, особливо у випадку шуму від транспорту або будівельних майданчиків поблизу шкіл.

Таблиця 1.3. Вплив рівня шуму на організм людини за даними ВООЗ [45]

Рівень шуму, дБА	Джерело шуму	Вплив на організм людини
До 30	Тиша, природа	Сприятливий для відпочинку, сну, концентрації
30–40	Побутові звуки, розмова	Безпечний, але для чутливих людей — легке подразнення
40–50	Офіс, школа, слабкий трафік	Початок відволікання, зниження продуктивності
50–60	Рух транспорту, місто вдень	Підвищення тривожності, порушення уваги
60–70	Інтенсивний рух, техніка	Хронічний стрес, дратівливість, порушення сну
70–85	Міський шум, метро, будівництво	Підвищення артеріального тиску, ризик гіпертонії
85–100	Концерт, ж/д вокзал	Ризик втрати слуху при тривалому впливі
>100	Вибух, авіація	Миттєве пошкодження слуху, небезпека для життя

Згідно з опублікованою у червні 2025 року доповіддю Європейського агентства з навколишнього середовища (ЄАОС) про шумове забруднення [44], трохи більше 110 мільйонів осіб, або більше 20% європейців, зазнають впливу високого рівня транспортного шуму, що перевищує порогові значення, встановлені правилами ЄС, і завдає шкоди здоров'ю людей. Шумове забруднення не тільки дратує, а й може справляти серйозний негативний вплив на здоров'я.

Дорожній рух вважається основним джерелом шумового забруднення, особливо в густонаселених міських районах, де від нього страждає найбільша кількість людей. На основі порогових значень, встановлених Директивою ЄС щодо шуму в навколишньому середовищі, дорожній транспорт складає близько

92 мільйонів осіб, які зазнають впливу шкідливих рівнів шуму день-вечір-ніч. Порогові значення шуму ЄС відповідно до Директиви встановлені на рівні 55 децибел (дБ) для періоду день-вечір-ніч та 50 дБ для нічного періоду.

Для порівняння, залізничний шум зачіпає 18 мільйонів людей у період день-вечір-ніч, а авіаційний – близько 2,6 мільйонів осіб (день-вечір-ніч). Хоча загалом залізничний та авіаційний шум зачіпає меншу кількість людей, він залишається значним джерелом місцевого шумового забруднення, особливо поблизу великих залізничних транспортних коридорів та аеропортів.

Тривалий вплив транспортного шуму в Європі був пов'язаний з приблизно 66 000 передчасних смертей, 50 000 нових випадків серцево-судинних захворювань та 22 000 нових випадків діабету 2 типу. Крім того, згідно з новим дослідженням, шум також може потенційно сприяти тисячам випадків депресії та недоумства [46].

За останніми даними за 2021 рік, вплив шуму спричинив понад 560 000 випадків порушення розуміння прочитаного, 63 000 поведінкових проблем та 272 000 випадків надмірної ваги у дітей та підлітків [46].

Якщо порівнювати з іншими екологічними загрозами здоров'ю в Європі, транспортний шум входить до трійки лідерів – одразу після забруднення повітря та температурних (кліматичних) факторів. Більше того, він має більший вплив на здоров'я, ніж більш відомі ризики, такі як пасивне куріння чи свинцевий вплив.

Соціально-економічні наслідки шуму. Шум негативно впливає також на якість життя, викликаючи відчуття дискомфорту, відчуження, зниження задоволеності життям та безпекою. У довгостроковій перспективі це призводить до:

- зниження продуктивності праці;
- збільшення витрат на медичне обслуговування;
- зменшення вартості нерухомості у зонах із високим шумовим навантаженням;

- погіршення суспільної взаємодії та психосоціального клімату у громадах.

Згідно з оцінками Європейської комісії, економічні втрати від впливу шуму в ЄС складають від 0,4 до 0,6% ВВП на рік, що включає витрати на лікування, втрату працездатності, зниження ефективності праці. ВООЗ наголошує, що вплив шуму на здоров'я є недооціненою проблемою в політиках міст.

Європейський Союз поставив амбітну мету: до 2030 року скоротити кількість людей, хронічно порушених шумом, на 30 %. Але сьогодні прогрес – лише –3 %. Без нових рішень ціль досягти не вдасться.

Дані ВООЗ і національних джерел вказують на стійку тенденцію зростання шумового навантаження, особливо в зонах інтенсивного транспорту та хаотичної забудови. Також ситуація характерна і для урбанізованих територій України, де акустичне планування в містах застосовується недостатньо, в тому числі і використання зелених шумозахисних рішень. При цьому збільшується кількість автомобільного транспорту, і 30 % жителів проживають у зонах з перевищенням допустимих рівнів шуму (табл. 1.4).

Таблиця 1.4. Дані щодо проблем акустичного забруднення в Україні [34; 35]

Показник	Дані
Кількість жителів України, що проживають у зонах з перевищенням допустимих рівнів шуму	понад 12 млн осіб ($\approx 30\%$ населення)
Найбільш шумонавантажені міста	Київ, Харків, Дніпро, Львів, Одеса
Рівень шуму у великих містах поблизу проспектів у години пік	70–82 дБА
Частка звернень до лікарів з симптомами шумової інтоксикації (без інших причин)	близько 7–10% у великих містах
Участь шуму у погіршенні психоемоційного стану студентів та школярів (за соціопитуваннями)	понад 60% респондентів

Під час воєнного стану в Україні питання медичної стійкості та екологічної безпеки набувають особливого значення. Шум не

зникає у тилкових містах, він супроводжує евакуйованих у нових громадах, загострює проблеми зі сном та адаптацією вразливих груп, зокрема дітей. Україна має можливість:

- гармонізувати своє законодавство з Директивою 2002/49/ЄС
- врахувати рекомендації ВООЗ при проектуванні житла, доріг, зелених зон
- ввести нові національні пороги оцінки шуму на основі європейських стандартів
- здійснити шумове картування в містах під час відновлення інфраструктури [18].

Акустичний комфорт як елемент здорового міського середовища. З огляду на вищезазначене, створення акустичного комфорту в середовищі проживання людини стає важливою складовою сталого розвитку міст. Це поняття включає не тільки обмеження інтенсивності небажаного шуму, але і формування сприятливого акустичного ландшафту – тиші, звуків природи, фільтрації шуму зеленими насадженнями.

Одним з ефективних підходів до підвищення акустичного благополуччя є біопозитивне будівництво, яке передбачає застосування зелених фасадів, шумопоглинаючих матеріалів природного походження, інтеграцію зелених зон у структуру міста. Такі рішення не лише зменшують шумове навантаження, а й покращують мікроклімат, естетику та психологічне сприйняття міського простору.

1.5 Сучасні підходи до шумозахисту у будівництві

Зростання щільності міської забудови, інтенсифікація транспортних потоків та постійне функціонування технічних систем створюють потребу в ефективних і багаторівневих рішеннях щодо зниження шумового навантаження на населення. Сучасні підходи до шумозахисту в будівництві базуються на системному поєднанні архітектурно-планувальних, конструктивно-

матеріальних і природоорієнтованих методів, спрямованих на підвищення акустичного комфорту в житлових і громадських просторах.

Архітектурно-планувальні рішення. На етапі планування території та забудови реалізуються такі заходи:

- акустичне зонування – раціональне розміщення житлових, громадських та промислових об'єктів з урахуванням джерел шуму;
- буферні зони – створення «захисних поясів» між джерелом шуму та чутливими об'єктами (наприклад, школи, лікарні);
- орієнтація фасадів – мінімізація вікон і балконів на стороні з високим рівнем шуму;
- використання дворів-колодязів, внутрішніх дворів – для формування тихих зон відпочинку;
- компактна забудова з шумозахисним контуром – коли зовнішні будинки захищають внутрішні простори.

Такі рішення дозволяють частково екранувати звукові хвилі ще до контакту з будівлями та мінімізувати вторинне акустичне випромінювання.

Конструктивно-матеріальні засоби шумозахисту. Сучасні будівельні технології активно застосовують шумопоглинаючі та звукоізолюючі матеріали у зовнішніх і внутрішніх огорожувальних конструкціях:

- багат шарові фасадні системи з повітряним прошарком і мінеральною ватою;
- акустичні вікна з потрійним склопакетом та шумоізолювальними рамами;
- вентилявані фасади з шумопоглинаючими плитами;
- плаваючі підлоги та акустичні підвісні стелі – у багатоквартирному житлі та громадських будівлях;
- протипожежні акустичні двері для приміщень зі спеціальними вимогами.

Вибір матеріалів та конструкцій залежить від характеру шуму (повітряного чи ударного), частотного спектру, розташування об'єкта та бюджетних можливостей.

Інженерні засоби: шумозахисні екрани та бар'єри. Одним з найрозповсюдженіших рішень у міському середовищі є шумозахисні екрани, які встановлюються вздовж автомагістралей, залізниць, біля транспортних розв'язок і промислових об'єктів. Вони можуть бути:

- відбивними (бетон, скло, метал);
- поглинаючими (мінераловатні панелі, деревоволокнисті матеріали);
- комбінованими (наприклад, поєднання металу і зеленого фасаду).

Ефективність таких екранів залежить від їхньої висоти, довжини, матеріалу, поверхневих властивостей і правильного розміщення відносно джерела шуму та об'єкта захисту.

Біопозитивні та природоорієнтовані рішення

З огляду на зростання уваги до сталого розвитку і кліматичних викликів, усе більше популярності набувають зелені шумозахисні рішення:

- живі стіни (living walls) – вертикальні зелені конструкції з трав'янистими або в'юнкими рослинами, що поєднують функції шумопоглинання та озеленення;
- зелені насипи – земляні вали з багаторічними рослинами, що знижують рівень шуму на 10–15 дБА;
- комбіновані конструкції з природних і вторинних матеріалів (солома, мох, деревина, очерет), які є екологічно безпечними й акустично ефективними;
- вертикальні парки на шумозахисних екранах, які виконують рекреаційну та екологічну функцію.

Такі рішення називають біопозитивними, оскільки вони не лише знижують шумове навантаження, а й сприяють покращенню якості повітря, мікроклімату, зниженню температури в місті (ефект «міського острова тепла»), підвищенню естетики і психологічного комфорту.

Комплексний підхід як основа сучасного шумозахисту. Найвищу ефективність забезпечує комплексне поєднання архітектурно-планувальних рішень, сучасних конструкцій і біопозитивних технологій. Такий підхід дозволяє досягти:

- зниження шуму на 20–30 дБА і більше;
- адаптації до різних джерел шуму та умов місцевості;
- відповідності принципам сталого будівництва та зеленого дизайну;
- створення гармонійного середовища, дружнього до людини і природи.

У цьому контексті біопозитивні шумозахисні конструкції виступають не як альтернатива, а як інноваційне доповнення до традиційних методів, здатне поєднати функціональність, естетику та екологічність (табл. 1.5).

Таблиця. 1.5. Порівняння ефективності сучасних шумозахисних підходів у будівництві

Підхід / Технологія	Зниження шуму (дБА)	Екологічність	Довго-вічність	Естетика	Додаткові переваги
Бетонний екран	10–18	Низька	Висока	Низька	Міцність, низька вартість
Металевий / скляний екран	12–20	Низька	Висока	Середня	Прозорість, варіативність дизайну
Мінераловатні панелі	20–25	Середня	Середня	Середня	Висока ефективність звукопоглинання
Зелені насипи (земляні вали)	10–15	Висока	Висока	Висока	Затримка пилу, покращення мікроклімату
Живі стіни (living walls)	8–15	Висока	Середня	Висока	Психологічний комфорт, озеленення
Біопозитивні комбіновані конструкції	15–20	Дуже висока	Висока	Висока	Екодизайн, зниження CO ₂ , охолодження

Примітки. Показник зниження шуму вказано для стандартної відстані 10-20 м за екраном.

З наведеної табл.1.5 видно, що сучасні шумозахисні рішення значно відрізняються за ефективністю, екологічними характеристиками та архітектурною виразністю. Традиційні підходи, такі як бетонні чи металеві екрани, забезпечують базовий рівень шумозахисту, але не відповідають

сучасним вимогам щодо сталого будівництва та естетики міського середовища. Натомість біопозитивні конструкції, поєднуючи технічну ефективність із природоорієнтованими властивостями, демонструють значний потенціал як для зниження шумового навантаження, так і для поліпшення екологічної ситуації в містах. Вони можуть стати ключовим елементом адаптивної інфраструктури, що формує здорове, комфортне та візуально привабливе середовище для мешканців.

РОЗДІЛ 2

БІОПОЗИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Поняття та основні принципи біопозитивного будівництва

У контексті сучасних глобальних викликів – змін клімату, урбанізації, деградації довкілля – традиційні підходи до містобудування та архітектури потребують переосмислення. Однією з актуальних інновацій у сфері сталого розвитку є концепція біопозитивного будівництва, яка пропонує гармонійне поєднання технічної функціональності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності. Дані питання, пов'язані з подальшим розвитком людства, вперше було поставлено на Конференції ООН у Ріо-де-Жанейро в 1992 року. За участю глав 178 країн світу, останні кілька десятиліть вони стали багато в чому визначальними при розробці стратегії розвитку цивілізованих держав.

Далеко не останню роль у вирішенні цих проблем відіграють інноваційні технології будівництва. Безперервний сталий розвиток людства передбачає як збереження і відновлення довкілля, зокрема зниження згубного впливу життєдіяльності людини у повітря, ґрунт, воду, флору і фауну, і максимальне збереження непоправних джерел природних ресурсів.

Оскільки сфера будівництва це індустрія, що переробляє і споживає величезну кількість природних ресурсів, його роль в обґрунтованому і доцільному природокористуванні неймовірно висока. Тому у березні 2006 року Всесвітня Рада зі сталого розвитку у будівництві WBCSD, яку очолює найбільший у світі виробник та постачальник будматеріалів United Technologies Corp. вийшов з пропозицією для найбільших розвинених країн (США, ЄС, Китаю, Індії та Бразилії) до 2050 року звести до мінімуму споживання енергії та позбутися викидів шкідливих речовин під час процесу будівництва, зберігши при цьому його економічну доцільність та конкурентоспроможність.

Наразі далі за всіх у цій справі просунулися США. Вже протягом кількох років у цій державі працює рада з «зеленого» або біопозитивного будівництва (USGBC), яка дає оцінку та сертифікує проектну документацію будівель та споруд, що зводяться саме з точки зору їх впливу як на навколишнє середовище, так і на людське життя.

Біопозитивне будівництво – це підхід до проектування, спорудження та експлуатації об’єктів, який не просто мінімізує негативний вплив на довкілля, а створює позитивний екологічний ефект. Таке будівництво сприяє відновленню природних екосистем, зниженню вуглецевого сліду, поліпшенню мікроклімату, багатофункціональності міського середовища та комфортному співіснуванню людини з природою.

На відміну від традиційних «зелених» підходів, які фокусуються переважно на енергоефективності та зменшенні шкідливих викидів, біопозитивна парадигма включає:

- інтеграцію живих систем у структуру будівель (зелені дахи, фасади, вертикальні сади);
- відновлення біорізноманіття у межах забудови;
- створення «екосистемної цінності» на місці забудови;
- формування середовища, що оздоровлює, знижує рівень шуму, пилу, теплового навантаження тощо.

Біопозитивна архітектура є синтезом екології, біоінженерії, урбаністики, психології та естетики. Її мета – не лише будувати з меншим негативним впливом, а створювати простори, що приносять користь природі та людині одночасно. Основні принципи біопозитивного будівництва наведено на рис.2.1.

У щільно забудованих містах із високим рівнем шуму, забруднення повітря, дефіцитом зелених зон біопозитивні рішення дають можливість:

- зменшити температуру в місті (ефект «острова прохолоди»);
- покращити акустичний комфорт;
- затримувати та фільтрувати дощові води;

- створювати естетично привабливі середовища навіть у техногенних локаціях.



Рис. 2.1 Основні принципи біопозитивного будівництва

Таким чином, біопозитивне будівництво – це не просто сучасна архітектурна мода, а системна відповідь на екологічні, соціальні й економічні виклики XXI століття. Воно формує нову якість міського життя, де гармонія з природою є не розкішшю, а нормою.

2.2 Типи та властивості біопозитивних технологій і матеріалів

Біопозитивні технології і матеріали – це ключові елементи сучасного екологічного будівництва, що забезпечують не лише фізичну та конструктивну функціональність, а й екологічну, енергетичну, естетичну та соціальну ефективність. Їхня унікальність полягає в здатності гармонізувати техногенне середовище з природним, знижуючи негативний вплив на довкілля і покращуючи якість життя.

Біопозитивні технології – це інноваційні рішення, що сприяють збереженню та покращенню екосистем в умовах урбанізації. Вони включають:

- вертикальне озеленення – встановлення зелених фасадів та дахів для очищення повітря та зниження міської спеки;
- фільтраційні системи на основі природних матеріалів – використання рослин та мікроорганізмів для очищення води та повітря;
- екологічні будівельні матеріали – застосування природних та безпечних для здоров'я матеріалів при будівництві та ремонті будівель;
- енергоефективні технології – впровадження систем сонячної та вітрової енергії для зниження викидів шкідливих речовин;
- біопозитивні споруди – берегоукріплювальні споруди, які сприяють розвитку прибережних екосистем, підводні конструкції та шумозахисні озеленені екрани вздовж автомагістралей та інші.

Біопозитивні будівлі та споруди – це об'єкти, які органічно вписуються в природне середовище, не руйнують і не забруднюють його, а, навпаки, відновлюють природу.

Біопозитивні технології сприяють формуванню комфортного та стійкого міського середовища. Впровадження зелених дахів та вертикального озеленення допомагає знизити ефект теплового острова, покращує мікроклімат та сприяє підвищенню рівня комфорту для городян. Водопроникні покриття знижують навантаження на зливову каналізацію, запобігаючи затопленням і

покращуючи водний баланс. Використання біопозитивних рішень позитивно позначається на фізичному та психічному здоров'ї населення (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Вплив біопозитивних технологій на стан здоров'я міських жителів

Наявність зелених насаджень сприяє зниженню рівня стресу, покращує якість повітря, зменшуючи концентрацію шкідливих речовин. Також збільшується кількість зон для активного відпочинку, що стимулює фізичну активність громадян та знижує ризик серцево-судинних захворювань. Біопозитивні технології підвищують екологічну стійкість міст. Створення біофільтрів для очищення стічних вод, системи збору дощової води та використання природоподібних ландшафтів допомагають знизити забруднення

навколишнього середовища. Крім того, використання відновлюваних джерел енергії та енергоефективних рішень скорочує вуглецевий слід міст.

Також можна виділити як частину біопозитивних технологій наступні напрямки: використання нешкідливих відходів для виготовлення окремих елементів будівель, будівництво на незручності (кар'єри, техногенні зони, колишні технологічні та військові споруди, незадіяні технологічні «порожнечі» (під мостами, підпірні стіни, міжфермовий простір) тощо.

Слід також активно застосовувати підземне будівництво для максимально можливого розміщення інженерного обладнання та допоміжних приміщень. Рекомендується використання незмінених людиною елементів ландшафту (печери, виїмки, схили, яри, западини, пагорби тощо). Можливе створення штучних елементів ландшафту: обвалування, лісопосадки, габіони тощо. Не слід забувати, що нерозумно використовувати біопозитивні технології лише заради факту їх використання. У всьому треба керуватися здоровим глуздом.

Біопозитивні технології впроваджуються, з одного боку, для мешканців (підвищення якості життя, наближення до природи, економія енергії, заохочення пересування на велосипеді або пішки та ін.) та з іншого боку, для підтримки природи. Можна виділити цілі та переваги для впровадження біопозитивних технологій (табл. 2.1).

Є також цікаві приклади втілення біопозитивних технологій. Білл Молісон (а ще раніше і німецький інженер і архітектор Отто Фрай) запропонував використовувати дерева і чагарники як несучі та огорожувальні частини будівлі, це так звана *пермакультура*. Група норвезьких архітекторів займається розробкою житлового біопозитивного будинку як частини екосистеми. Проект отримав назву «Метаболічний будинок», і за задумом розробників, повинен функціонувати як живий організм (автоматично регулювати вологість, температуру, тепловий баланс, знижувати забруднення всередині приміщення, стежити за самопочуттям людей, що живуть у ньому та ін.). Після закінчення терміну експлуатації його конструкції включаються до природного процесу розкладання.

Таблиця 2.1. Цілі та переваги впровадження біопозитивних технологій

Для мешканців	Для природи
1. Підвищення якості життя (чистіше повітря, зелень, мала поверховість, чиста вода, екологічні матеріали та ін.).	1. Відновлення, лікування біосфери (повітря, води, ґрунту, біорізноманіття, екосвязей), поповнення енергії, біомаси, їжі.
2. Постійне екологічне виховання мешканців та дітей, наближення до природи.	2. Озеленення, створення зелених коридорів для вільної міграції тварин.
3. Спілкування мешканців міста в умовах природних ландшафтів	3. Скорочення чи виключення забруднень природи від міста.
4. Забезпечення здоров'я та безпеки мешканців.	4. Використання відновлюваної енергії та скорочення споживання невідновної енергії, невідновних матеріалів.
5. Забезпечення суспільної справедливості (немає різкої відмінності у розмірах та якості житла).	5. Скорочення площі міста, недопущення "розповзання" міст, збереження природних ландшафтів від забудови.
6. Заохочення дрібних товаровиробників та торговців (1 поверх будинку – майстерні або магазин, кафе, 2 поверх – квартира).	6. Скорочення забруднень та руйнування природи від транспорту.
7. Досягнення економії енергії, взагалі економічності житла. Заохочення природних технологій.	7. Поступова зміна у позитивному напрямі ставлення людей до природи.
8. Повага до історичної спадщини.	8. Збереження природи. Підтримка ділянок «дикої» природи.
9. Підвищення естетичних якостей міста. Сприйняття міста як природного компонента природного довкілля, включення їх у екосистему.	9. Як наслідок – підтримання екологічної рівноваги між освоєними та природними територіями.
Створення стійкого екологічного міста	

Особливо перспективним є застосування біопозитивних технологій у шумозахисних системах – наприклад, живих стін уздовж автомагістралей або біоекранів, інтегрованих у фасади житлових будинків.

Біопозитивні матеріали поділяються на кілька типів за походженням, властивостями та функціональним призначенням.

1. Природні (біогенні) матеріали. Це матеріали, отримані з природної сировини з мінімальним технологічним втручанням. Головні їх властивості: біорозкладність, відновлюваність, низький вуглецевий слід, безпечність для здоров'я. До них належать:

- деревина – один з найбільш універсальних екологічних матеріалів. Має добрі тепло- і звукопоглинаючі властивості, здатність до регулювання вологості повітря, створення сприятливого мікроклімату;

- глина – використовується для виготовлення стінових матеріалів, штукатурок, ізоляційних сумішей. Має добру теплоємність, вологостійкість і біорозкладність;

- солома, очерет, льон, коноплі – легкі та відновлювані матеріали, що використовуються як утеплювачі або у каркасному будівництві. Вони є нетоксичними, дихаючими, доступними;

- камінь, пісок, вапно – традиційні мінеральні матеріали, які при правильному використанні не шкодять довкіллю.

2. Перероблені (ресайклінгові) матеріали. Цей тип матеріалів виробляється з використанням вторинної сировини, що дає змогу використовувати локальні відходи (здатні для повторного використання), зменшує потребу у видобутку первинних ресурсів і знижує кількість відходів:

- перероблений пластик – використовується у шумоізоляційних панелях, фасадних модулях, дорожньому будівництві;

- макулатура та целюлоза – основа для ековати – легкого, дихаючого, ефективного утеплювача;

- перероблене скло і бетон – застосовується у виробництві тротуарної плитки, заповнювачів, декоративних панелей;

- композити з агровідходів – наприклад, з лушпиння соняшника, кукурудзи, шкаралупи горіхів – використовуються як плити, акустичні панелі.

3. Біоактивні матеріали. Це інноваційні матеріали, які не просто не шкодять, а взаємодіють з довкіллям позитивно – поглинають CO₂, очищують повітря, покращують мікроклімат, стимулюють ріст рослин.

- фотокаталітичний бетон – з додаванням діоксиду титану, який під дією ультрафіолету розкладає шкідливі речовини у повітрі;
- мохові та водоростеві фасади – здатні абсорбувати шум, очищати повітря, регулювати температуру;
- біоактивна цегла (наприклад, BioMASON) – виробляється без випалу шляхом біохімічної кристалізації, що значно знижує викиди CO₂;
- зелені модульні системи – інтегрують рослини в конструкції дахів, фасадів, екранів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2. Приклади та переваги біопозитивних матеріалів

Категорія	Приклад	Переваги
Природні	Солома, очерет, льон, коноплі деревина, очерет, глина, камінь, пісок	Низька токсичність, дихаючі властивості, локальна доступність
Перероблені	Ековата, екопластик, макулатура та целюлоза, перероблене скло і бетон, композити з агровідходів (лушпиння соняшника, шкаралупа горіхів тощо)	Зменшення відходів, енергозбереження
Біоактивні	Мох, фотокаталітичний бетон, біоактивна цегла, зелені модульні системи	Поглинання CO ₂ , фільтрація повітря, створення мікроклімату

Таким чином, вибір біопозитивних матеріалів і технологій дозволяє не лише знижувати енергоспоживання, шкідливі викиди та шумове навантаження, а й створювати нові екосистеми в межах урбанізованого середовища. Це відкриває перспективу для будівництва нового типу – такого, що не лише не шкодить природі, а й працює в її інтересах.

2.3 Світовий та український досвід біопозитивного шумозахисту

У світовій практиці біопозитивний шумозахист стає дедалі популярнішим як екологічно відповідь на зростання шумового забруднення в міських агломераціях. Це пояснюється прагненням міст до досягнення кліматичної нейтральності, підвищення якості життя населення та трансформації урбанізованого простору в екосистемно збалансоване середовище. Сутність біопозитивного шумозахисту полягає не лише у зменшенні рівнів шуму, а й у формуванні додаткових природних, соціальних та естетичних цінностей.

У провідних країнах ЄС, Великій Британії, Японії, Канаді, США та скандинавських державах реалізовано численні приклади інноваційних шумозахисних рішень, що поєднують природні або живі матеріали з інженерною точністю (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Приклади біопозитивних шумозахисних стін

У Німеччині активно використовуються земляні вали з зеленими насадженнями вздовж автострад та залізниць. Наприклад, у місті Гамбург

побудовано шумозахисний зелений тунель А7, який не лише знижує шумове навантаження на житлові райони, а й виконує функції міського парку.

Нідерланди є одним із лідерів у використанні біопозитивних шумозахисних екранів, що поєднують дерев'яні та рослинні елементи. Наприклад, у Роттердамі реалізовано серію «живих стін» вздовж трамвайних ліній, що знижують шум на 10–15 дБА та водночас слугують елементами міського дизайну.

В Японії біопозитивний шумозахист активно впроваджується на рівні проєктування залізничної інфраструктури. Зелені бар'єри з бамбука, моху та спеціальних в'юнких рослин встановлюються у Токіо, Кіото, Йокогамі, формуючи тихі коридори у надщільній забудові.

Є приклади і в Великій Британії. У Лондоні та Манчестері реалізовано проєкти зелених фасадів житлових будинків та шкіл, які інтегрують акустичну ізоляцію з живими рослинами. Вони знижують рівень шуму всередині приміщень на 5–8 дБА та покращують мікроклімат.

У Швеції та Норвегії проєкти шумозахисту активно поєднуються з екологічним благоустроєм: зелені тунелі, акустичні галереї, живі скульптури, що екранують транспортні артерії в межах міст.

В Україні біопозитивний шумозахист перебуває переважно на етапі становлення. Хоча нормативно-правова база містить вимоги щодо шумозахисту (ДБН В.1.1-31:2013), практичне впровадження природоорієнтованих рішень ще обмежене. Однак є позитивні приклади.

У Києві вздовж проспекту Перемоги частково реалізовано проєкти зелених насипів та насаджень для захисту від шуму транспорту. У новітніх житлових комплексах, таких як «Комфорт Таун» та «UNIT.City», використовуються шумопоглинаючі фасади з елементами озеленення, хоча повноцінної біопозитивної інтеграції ще немає.

В окремих районах Львова, наприклад на Сихові, при реконструкції трамвайних ліній застосовано зелені зони уздовж колій як акустичні буфери. У

парках створюються ландшафтні вали для шумозахисту житлових кварталів, зокрема у Стрийському парку.

У Харкові на околицях будуються земляні насипи з озелененням при нових житлових масивах.

В Одесі в прибережній зоні реалізовано проекти зелених бар'єрів у рекреаційних зонах, які частково виконують функцію шумозахисту.

Деякі українські архітектурні бюро (наприклад, Archimatika, Drozdov&Partners) включають біопозитивні рішення в концепти громадських просторів і забудови. Проте проекти, які інтегрують акустичний, екологічний та архітектурний ефект, наразі залишаються поодинокими.

Україна має значний потенціал для розвитку біопозитивного шумозахисту з урахуванням доступу до природних матеріалів, фахової архітектурної школи та потреб у модернізації інфраструктури. Впровадження таких рішень може стати інструментом не лише зниження шумового навантаження, а й створення нової якості міського простору, що відповідає європейським стандартам сталого розвитку (табл.2.3).

Таблиця 2.3. Порівняльний аналіз міжнародного та українського досвіду впровадження біопозитивних рішень щодо шумозахисту

Критерій	Світовий досвід	Український досвід
Рівень впровадження	Масовий, національні програми	Пілотні ініціативи, фрагментарний підхід
Нормативна підтримка	Системна інтеграція в містобудівні стратегії	Переважно формальна
Технологічна база	Високотехнологічні модулі, інтеграція цифрового моделювання	Залежність від традиційних підходів
Акцент	Екосистемна цінність + дизайн + ефективність	Переважно шумозниження

Дуже важливим моментом в сучасних умовах цифровізації є інтеграція BIM-технологій в будівництво – це перехід від традиційних методів проектування та будівництва до цифрового моделювання будівель. BIM

(Building Information Modeling) дозволяє створювати детальну 3D модель об'єкта, що містить всю інформацію про його компоненти та системи. Це покращує комунікацію між учасниками проекту, дозволяє виявляти конфлікти на ранніх стадіях, оптимізувати витрати та підвищити якість будівництва.

2.4 Потенціал впровадження біопозитивних рішень у шумозахисті в Україні

Зростання рівня шумового забруднення в містах України вимагає нових, системних підходів до захисту населення від його негативного впливу. Традиційні методи шумозахисту (бетонні або металеві екрани, зашклення, додаткові ізоляційні шари) є ефективними, проте не враховують екологічні, естетичні та соціальні аспекти якості міського середовища. У цьому контексті біопозитивні рішення мають значний потенціал як мультифункціональний інструмент акустичного, екологічного та архітектурного поліпшення простору.

Висока ефективність зниження шуму. Біопозитивні конструкції (зелені насипи, живі стіни, вертикальні сади з багатошаровими субстратами) демонструють високий рівень шумопоглинання – до 10–25 дБА залежно від типу конструкції, щільності зелених насаджень, вологості повітря та архітектурної форми. Завдяки пористій структурі, природному матеріалу та поглинанню звукових хвиль у товщі рослинності, ці рішення працюють не тільки як бар'єр, але і як активний фільтр, що змінює характер звуку.

Екологічна доцільність і синергія з природою. Біопозитивні шумозахисні елементи сприяють:

- покращенню якості повітря (фільтрація пилу, абсорбція CO₂);
- зниженню ефекту міського теплового острова;
- збереженню або відновленню біорізноманіття (притулок для птахів, комах, зелених мікросистем);
- затриманню зливових вод – зменшенню навантаження на дренажну систему міста.

Таким чином, біопозитивний шумозахист – це частина зеленої інфраструктури, яка виконує не одну, а декілька функцій одночасно.

Архітектурна гнучкість і естетична привабливість. На відміну від масивних техногенних бар'єрів, біопозитивні рішення:

- легко інтегруються у житлові, комерційні, транспортні зони;
- дозволяють створювати фасадні та ландшафтні композиції з різноманітних рослин;
- покращують візуальне сприйняття простору, підвищують емоційний комфорт мешканців;
- можуть бути адаптовані до історичного середовища чи нової забудови.

Це дозволяє не просто «екранувати шум», а перетворити проблему на архітектурну перевагу.

Соціальний ефект та підтримка громад. Біопозитивні рішення позитивно впливають на:

- здоров'я мешканців (менше стресу, вищий рівень відпочинку, краща концентрація);
- екологічну свідомість населення (через участь у догляді за зеленими зонами);
- формування простору співжиття – шумозахисні елементи стають частиною дворових просторів, рекреації, шкільних територій, хоспісів.

Це сприяє формуванню інклюзивного, дружнього до людини міського середовища.

Техніко-економічний потенціал в українських реаліях. Україна має значний внутрішній потенціал для впровадження біопозитивних технологій у шумозахисті:

- наявність великої кількості природних, недорогих матеріалів (глина, солома, деревина, камінь, агровідходи);
- фахова архітектурно-будівельна школа з досвідом у пасивному та екологічному проектуванні;

- доступ до досвіду ЄС у рамках програм транскордонного співробітництва, зеленого відновлення, програм UN-Habitat, GIZ, USAID;
- високий запит населення на комфортне і здорове житлове середовище;
- невикористаний потенціал переробки ТПВ і біомаси для виробництва екопанелей, ековати, акустичних рішень.

За орієнтовними оцінками, вартість локального біопозитивного шумозахисту може бути на 15–30% нижчою за імпорتنі техногенні аналоги – при вищій довгостроковій екологічній і соціальній віддачі.

Перспективи інтеграції в міську політику. У межах процесів декарбонізації, адаптації до змін клімату та розвитку сталої інфраструктури, біопозитивний шумозахист може стати частиною:

- міських стратегій зеленого переходу;
- комплексного благоустрою міського простору;
- модернізації транспортної інфраструктури;
- житлових програм реконструкції мікрорайонів 1960–80-х років.

Таким чином біопозитивні рішення у сфері шумозахисту мають значний потенціал для системного впровадження в українських містах. Їхнє використання дозволяє не лише ефективно боротися з акустичним забрудненням, а й трансформувати міський простір у стійку, здорову, екологічно дружню систему. Завдяки синергії технічної ефективності, соціальної орієнтованості та природоорієнтованої архітектури, ці рішення відповідають ключовим принципам сучасного урбанізму і можуть стати основою «міст майбутнього».

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА БІОПОЗИТИВНОЇ ШУМОЗАХИСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

3.1 Види біопозитивних шумозахисних конструкцій

Біопозитивні шумозахисні конструкції – це сучасний тип конструкцій, що поєднують функцію зниження шуму з екологічною, естетичною та соціальною цінністю. Основною особливістю таких екранів є використання природних або зелених компонентів, які дозволяють не лише блокувати чи поглинати звукові хвилі, а й покращувати мікроклімат, очищувати повітря, затримувати пил і створювати біорізноманіття в міському середовищі. Залежно від конструктивних, функціональних та матеріальних характеристик, біопозитивні конструкції поділяються на кілька основних типів:

- вертикальні озеленені екрани (бар'єри);
- габійні екрани з рослинним заповненням;
- земляні насипи з озелененням (ландшафтні вали);
- екрани з мохів та лишайників.

Вертикальні озеленені екрани (жива стіна + інертне ядро). Це найбільш поширений тип біопозитивних бар'єрів. Ці конструкції поєднують акустично ефективне ядро (бетон, дерев'яна панель, метал) з зовнішнім озелененим покриттям або системою вертикального озеленення. При цьому забезпечується надійна звукоізоляція та додаткове поглинання рослинним шаром. Можливе двостороннє озеленення. Це дозволяє поєднати ефективне блокування шуму та акустичне поглинання, водночас формуючи зелену обгортку для естетики й природи:

- інертне ядро (бетон, металевий каркас із заповненням) забезпечує базову звукоізоляцію до 37 дБ або більше;
- рослинний шар підвищує коефіцієнт звукопоглинання до $\alpha \approx 0,4-0,6$, додатково знижує шум ще на 2–5 дБ та покращує мікроклімат.

Система може бути обладнана автоматичним поливом, підсвіткою, фільтраційними мінеральними шарами. Такі екрани ефективно знижують шум – та одночасно очищують повітря, утримують пил, охолоджують простір і створюють житлове середовище для флори і фауни (рис. 3.1, табл. 3.1).

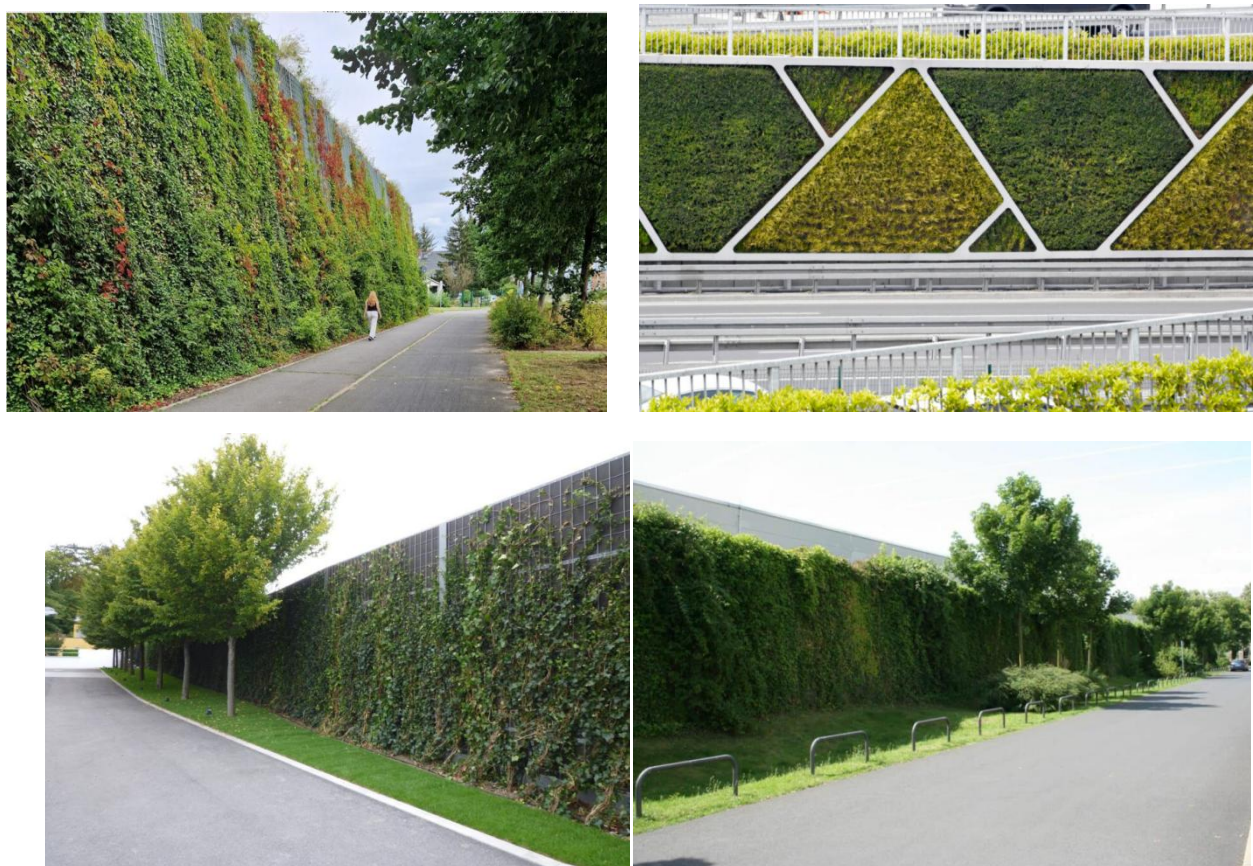


Рис. 3.1. Вертикальні озеленені шумозахисні екрани

Таблиця 3.1. Технічні характеристики вертикальних озелених шумозахисних екранів

Параметр	Значення
Зниження шуму (ΔL)	12–20 дБ
Базова звукоізоляція (бетонне або сипуче ядро з поглинанням)	до 37 дБ
α (звукопоглинання)	0,4–0,6 (рослинний фасад)
Термін служби	25–60 років (залежить від матеріалу ядра та умов догляду)
Догляд	Полив, обрізка, техогляд 1-2 рази на рік
Висота	5-12 м (залежить від типу ядра). Сталеві стійкі – до 6 м висоти.

Переваги таких шумозахисних екранів наступні

- висока звукоізоляція – ядро блокує, а рослини поглинають і розсіюють звук.
 - екологічний ефект – швидкий ефекти озеленення, фільтрація повітря, охолодження, місце існування біоти ;
 - природна естетика – озеленена стіна перетворює промисловий бар'єр у садову інсталяцію;
 - мінімальні фундаменти – багато систем монтуються без глибоких опор;
 - гнучкість монтажу, можливість адаптації під різні ландшафти. Можна встановлювати на парковках, узбіччях, комбінувати з тротуарною інфраструктурою;
 - великий термін експлуатації – від 20 до 60 років при належному догляді.
- Треба зазначити певні складності які виникають в процесі облаштування вертикальних озелених шумозахисних екранів:
- висока вартість через каркас, субстрат, поливну систему, монтаж;
 - потреба у періодичному догляді – зрошення, підтримка зеленого шару, періодична заміна рослин;
 - конструктивна складність – необхідне кріплення, дренаж, врахування вітрового та снігового навантаження.

При цьому треба враховувати певні експлуатаційні особливості зазначених шумозахисних біопозитивних екранів:

- планування модульної конструкції щоб забезпечити доступ до системи поливу й техобслуговування;
- монтаж – переважно залізобетонна або плитна основа – не вимагає значного заглиблення;
- каркас із захистом від корозії . Краще використовувати оцинковану або сталеву конструкцію;

- підбір рослин – в'юнкі, низькі декоративні рослини, адаптовані до клімату та здатні витримувати умови міста – це плющ, клематиси, мохи. Обирають види, що не потребують інтенсивного догляду;

- полив та обслуговування – автоматична система поливу, контроль 2 рази на рік, регулювання добрив.

Можна навести приклади реалізації проектів озеленених шумозахисних екранів. Німецька компанія Rau Geosystem Süd GmbH пропонує зелені екрани для автомагістралей, які поєднують екологічність конструкції, технічний досвід і привабливий дизайн. Всі шумозахисні системи RAU на 100% екологічні і мають пиловловлюючий і високоефективний шумопоглинаючий ефект завдяки рослинному покриву з обох боків (рис. 3.2). Використовується сталевий каркас і рослинні модулі з автоматичним поливом. Висота таких екранів може сягати 12 м, зниження шуму $\Delta L \approx 15\text{--}20$ дБ [50].



Рис. 3.2. Зелені шумозахисні бар'єри фірми Rau Geosystem Süd GmbH, Німеччина

Ще один приклад, теж реалізований в Німеччині. Звукоізоляційна стіна вздовж логістичної зони пивоварні Krombacher втілює новий підхід до захисту від шуму. Звукоізоляційна стіна була зведена щоб захистити мешканців поблизу від звуків жвавої логістики: з неділі по п'ятницю часто відбуваються постійні поставки та завантаження. Але замість того, щоб змусити мешканців дивитися на сірий звуковий бар'єр, розробили ідею хвилеподібної стіни з

текстурою поверхні та додатковою зеленню. Вона отримала назву «Зелена хвиля». Завдяки зелені, конструкція також є екологічно корисною: мох був нанесений на килимки у вигляді суміші целюлози, натурального клею, землі та дрібних шматочків рослин. Мох функціонує як тонкий фільтр для неминучих вихлопних газів, що утворюються на складі порожніх пляшок. Один квадратний метр моху фільтрує стільки ж, скільки 17 дорослих дерев. Таким чином, 270 квадратних метрів моху на стіні можуть фільтрувати так само ефективно, як понад 4000 дерев (рис. 3.3). Завдяки цій додатковій екологічній цінності стіна повністю відповідає відданості пивоварні принципам сталого розвитку та екологічності [55].



Рис. 3.3. Шумозахисна стіна «Зелена хвиля», Німеччина [55]

Отже, веретикальні озеленені шумозахисні екрани об'єднують найкращі характеристики інертної звукоізоляції та біопозитивного озеленення. Вони ефективно знижують шум, очищують повітря, охолоджують простір і забезпечують екологічну привабливість. Цей тип конструкцій є одним із найсильніших кандидатів на застосування в міському середовищі, де потреба в екологічному шумозахисті зростає з кожним роком.

Габіонні екрани з рослинним заповненням. Цей тип екрану складається з металевих сітчастих контейнерів (габіонів), заповнених природним матеріалом – каменем, корою, переробленою деревиною, у поєднанні з озелененням. Заповнення природними матеріалами створює пористу структуру, що розсіює та поглинає звукові хвилі, особливо низькочастотні (наприклад, автомобільний

шум). Це міцна та довговічна конструкція. Можливе використання локальних матеріалів (галька, базальт, цегляний щебінь). Системи доповнюються рослинністю – плющем, мохом, чагарниками, що зростають на поверхні габіону або між камінням. Такі рішення формують природний акустичний екран, що утворює тишу і краєвиди з зеленою текстурою. Рослини висаджуються в міжконтейнерних зазорах або у вертикальних швах (рис. 3.4).



Рис. 3.4 Габіонні екрани з озелененням

Основні переваги габіонних екранів:

- ефективне шумопоглинання завдяки мікропористій структурі;
- природне озеленення – сприяє охолодженню, фільтрації повітря, підтримці біорізноманіття;
- використовуються місцеві матеріали, що знижує вуглецевий слід;
- стійкість до атмосферних впливів;
- проста експлуатація.

Існують певні обмеження при облаштуванні габійонних зелених екранів:

- висока вага (особливо при великих висотах кухті): необхідність міцної конструкції та стійкого підґрунтя;
- потрібен час на озеленення – рослинність може формуватися протягом кількох сезонів;
- висота і безперервність – важливо забезпечити висоту мінімум 2–3 м для ефективного акустичного захисту.

Основні рекомендації при облаштуванні габійонних екранів наступні:

- необхідно дотримуватись щільного заповнення, щоб уникати акустичних «рельєфів» і щілин;
- бажано комбінувати каміння різних фракцій для кращого зменшення низьких частот звуку.
- підібрати рослини витривалі до засухи і часткового затінення, щоб швидко створити зелене покриття;
- можливо використовувати додаткове звукопоглинаюче ядро (мох, панелі), що забезпечує покращену ефективність.

Габійонні екрани з рослинною оболонкою – це міцні, екологічні та мультифункціональні акустичні бар’єри, що успішно поєднують інженерну надійність, озеленення й акустичний комфорт. Вони демонструють баланс між технічністю, естетикою та біопозитивністю, що робить їх перспективним доповненням до міських та заміських шумозахисних систем.

Земляні насипи з озелененням (ландшафтні вали). Це природно-ландшафтна форма шумозахисту, яка створюється шляхом формування земляного насипу висотою 2–6 м з подальшим озелененням травами, чагарниками або деревами. Плавна форма насипу створює акустичну тінь і мінімізує відбиття звуку. Такі ландшафтні вали використовуються на великих площах уздовж автомагістралей, залізниць, промислових об’єктів (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Озеленені земляні шумозахисні насипи

Ефективність та технічні характеристики наступні:

- зниження шуму – до 15 дБА при валі висотою близько 3–5 м;
- перевага над стінами – природне відбиття звуку вгору, не створює реверберацію у зворотний бік;
- необхідно мінімум 3:1 співвідношення ширини до висоти для стійкості та запобігання ерозії;
- часто використовуються у комбінації зі стінами або живими насадженнями для посилення ефективності.

Основою зеленого шумозахисного насипу є ущільнений ґрунт або ґрунтоподібний матеріал з дренажними системами. Повинен бути кут нахилу, рекомендована похила форма 3:1–4:1 для практичності та підтримки росту рослин. Для таких конструкцій придатні багаторічні трави, чагарники, дерева, які забезпечують затримку вологи й захист ґрунту. Більшість ефекту досягається на висоті 1 м і вище, але добре діє багаторівневий підхід (табл. 3.2).

Озеленені земляні шумозахисні насипи мають певні обмеження при облаштуванні:

- потреба у великій площі, тому такі земляні насипи важко реалізувати в щільній міській забудові .
- досить висока початкова вартість, так як потрібні значні земляні маси і проведення земляних робіт;

- для формування акустичного ефекту потрібно 1–3 роки після посадки.

Таблиця 3.2. Переваги шумозахисних земляних насипів з озелененням

Ефект	Опис
Висока акустична ефективність	$\Delta L \approx 10\text{--}15$ дБА – особливо на низьких частотах
Екологічна користь	Охолодження, фільтрація повітря, підтримка біорізноманіття, затримання дощової води
Естетика	Ланшафтне рішення, привабливе для рекреації. Візуально інтегрується у природне середовище
Простота обслуговування	Потребує лише базового догляду за рослинністю та дренажем
Довговічність	Термін експлуатації – 30-50 років.

\

Отже можна визначити певні рекомендації при облаштуванні земляних шумозахисних насипів з озелененням:

- розміщення насипу повинно бути максимально наближено до дороги чи трас;
- мінімальна висота – 3 м, зі зміщеним профілем та мінімальною шириною 9–12 м;
- комбіноване озеленення – використання дерев, чагарників, трав для максимального акустичної користі;
- потрібна дренажна система, щоб уникнути ерозії та забезпечити сприятливі умови для росту та існування рослин;
- поєднання з іншими шумозахисними бар'єрами для покращення ефективності при обмеженому просторі (наприклад, стіну на верху насипу).

Можна навести деякі приклади облаштування шумозахисних земляних насипів з озелененням. В Нідерландах, поблизу міжнародного аеропорту Амстердаму (Schiphol Airport), що розташований всього за 9 км на південний захід від міста, було сформовано комплексний ландшафтний дизайн із системою дренажних каналів і валів. Ландшафтна робота навколо Амстердамського аеропорту стала парком під назвою Buitenschot площею 36

гектарів. Було викопано серію земляних бар'єрів та ровів на південний захід від аеропорту, прямо біля краю злітно-посадкової смуги. Відстань між гребенями ораної землі майже еквівалентна довжині хвилі шуму, що виробляється аеропортом, що становить близько 36 футів (10,97 м). Всього викопано 150 ідеально прямих і симетричних борозен з розташованими між ними гребенями висотою 6 футів (1,83 м). І ці прості гребені знизили рівень шуму більш ніж наполовину [37]. По всьому парку ведуть різноманітні доріжки. У його центральній частині є велосипедна доріжка, а перетинає парк брукована пішохідна стежка (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Шумозахисні земляні канали і вали біля Амстердамського аеропорту

Також у Нью-Йорку, в районі парку «Бруклінський міст» (Brooklyn Bridge Park) було створено 9 м земляний вал. Що дало зниження шуму на 12 дБ у поєднанні з деревами та газонним озелененням. Цей рельєфний шар діє як бар'єр, значно зменшуючи вплив шуму від сусідньої швидкісної автомагістралі Бруклін-Квінз. Насип, також відомий як звуковий берм або пагорб для ослаблення звуку, є ключовим елементом дизайну парку, сприяючи створенню тихішого середовища для відвідувачів [59]. Рослинність насипу ще більше посилює його шумопоглинальні властивості, поглинаючи та перенаправляючи звукові хвилі (рис. 3.7).

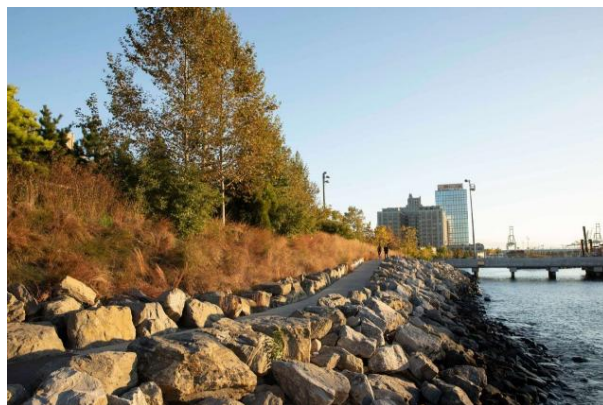


Рис. 3.7. Шумозахисний бар'єр в парку «Бруклінський міст»

Зокрема, зниження шуму досягається завдяки поєднанню наступних факторів. Земляний насип фізично блокує та перенаправляє звукові хвилі, зменшуючи пряму передачу шуму. М'які, пористі поверхні ґрунту, трави та дерев поглинають звукову енергію, перетворюючи її на тепло, а не відбиваючи. Насип та рослинність відхиляють звукові хвилі від доріжок та зон відпочинку парку. Звуки вітру, птахів, листя, що шелестить та інших природних елементів можуть маскувати або приховувати менш бажані звуки від швидкісної автомагістралі. Таке поєднання особливостей створює «звукову тінь» у парку, де відвідувачі відчувають помітне зниження рівня шуму, що робить парк більш приємним і спокійним місцем.

Зелені земляні насипи – це ефективне рішення для зниження шуму й створення комфортного екологічного простору. Вони підходять для проєктів із достатньою площею розташування, допускають мультифункціональність і довготривалий екологічний ефект. У поєднанні з живими бар'єрами вони формують потужну інфраструктурну складову для біопозитивного шумозахисту.

Екрани з мохів та лишайників (експериментальні технології). Новітні підходи передбачають використання спеціальних матів з мохів або лишайників, які мають високу здатність до поглинання звуку, затримки пилу та фільтрації повітря. Такі екрани застосовуються в умовах високої вологості або затінених

територій. Вони не потребують ґрунту, можуть утримуватись на вертикальних або похилих площинах.

Мохові звукопоглинальні екрани – це системи або панелі, покриті натуральними або стабілізованими мохами та лишайниками, встановлені на звукоізоляційному сердечнику або каркасі. Використовуються в інтер'єрах і екстер'єрах для зменшення рівня шуму та формування «живих» поверхонь (рис. 3.8). Такі екрани мають наступні звукопоглинальні властивості:

- коефіцієнт звукопоглинання $\alpha \approx 0,7-0,96$ в діапазоні середніх частот (100–3000 Гц);
- до 100% звуку поглинається, а не відбивається;
- зниження шуму у реальних умовах – 8–12 дБ у закритих приміщеннях (офіси, ресторани) [61].

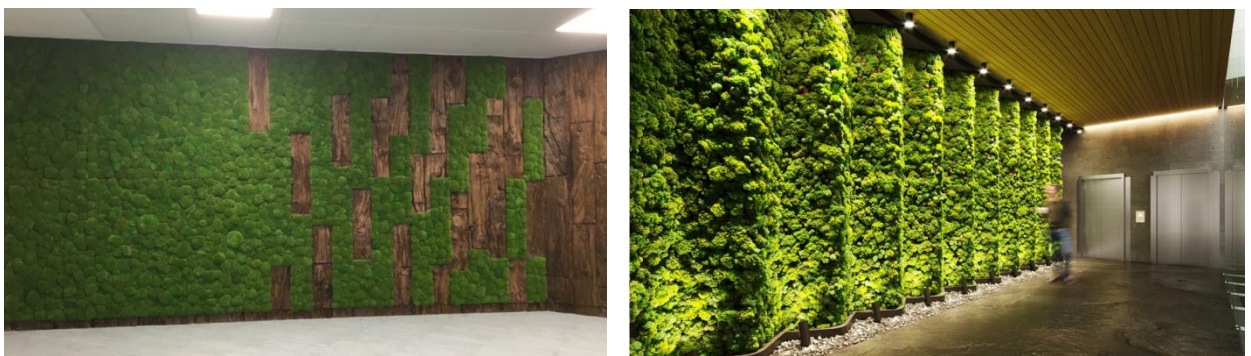


Рис. 3.8. Інтер'єри з моховими звукопоглинальними екранами

При обладнанні таких екранів необхідні такі матеріали та монтажні компоненти:

- сердечник – каркас або акустична плита із PET чи деревини з шумоізоляцією;
- мохові панелі (мати) – кульки, листовий мох, лишайники, інколи змішані варіанти;
- укріплення – монтаж на стені, в багетній або магнітній системі;
- додатки – можлива вбудована підсвітка, логотипи, 3D-дизайн.

Мохові звукопоглинальні екрани (панелі) використовуються для інтер'єрів офісів, конференц-залів, холів, навчальних закладів, медичних установ. Відкриті секції з моховими панелями можуть бути розташовані в торгово-офісних зонах, коворкінгах, кафе, ресторанах. Іноді використовуються в екстер'єрах: фасади будівель, зовнішні перегородки – залежно від типу моху (для вологих кліматів).

Переваги екранів з мохів та лишайників наступні:

- висока ефективність шумопоглинання (в залежності від площі);
- привабливий вигляд і біофільний дизайн – зелень в інтер'єрах сприяє зниженню стресу, покращенню концентрації та температурного балансу;
- низькі вимоги до обслуговування – стабілізований мох не потребує поливу, освітлення або обрізки;
- відсутність пилу та алергенів – безпечно для загального користування, адже оброблений мох гіпоалергенний та антистатичний.

Існують певні обмеження при використанні екранів з мохів та лишайників:

- вони дуже чутливі до середовища – у зовнішніх умовах потребують захисту від прямих опадів і сонця, то частіше використовуються для внутрішніх просторів;
- повинні бути обмеження по вологості – стабілізований мох уникає надмірної сухості або вологості;
- модулі з реальним мохом можуть коштувати більше, ніж традиційні акустичні панелі.

Мохові шумозахисні панелі – це інноваційне рішення в акустичному і біопозитивному дизайні, яке одночасно виконує функцію поглинання шуму, покращує візуальне сприйняття простору й створює сприятливий мікроклімат. Завдяки високим звукопоглинальним властивостям, вони є перспективним елементом як внутрішніх, так і захисних зовнішніх систем.

Таким чином, кожен із видів біопозитивних шумозахисних екранів має свої переваги та обмеження, і вибір конкретного рішення залежить від умов

ділянки, бюджету, функціональних вимог та бажаного візуального ефекту. Біопозитивний підхід дозволяє не лише захищати від шуму, а й створювати цінні простори, які сприяють покращенню якості життя мешканців, формуванню екосвідомості та сталому розвитку міського середовища.

Порівняльна таблиця типів біопозитивних шумозахисних екранів, у якій узагальнено їх ключові характеристики наведена нижче (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. Таблиця порівняння різних видів біопозитивних шумозахисних екранів

Тип екрана	Акустична ефективність (ΔL , дБА)	Екологічний ефект	Вартість (орієнтовно)	Термін служби	Потреба в догляді	Переваги	Обмеження
Вертикальні озеленені екрани (твердий екран + зелень)	15–20	Високий	Середня – висока	20–60 років	Висока	Поєднання високого шумозахисту, естетичних та екологічних переваг.	Складність монтажу, потреба в автоматичному поливі
Габіонні з озелененням	10–13	Середній – високий	Середня	20–30 років	Середня	Стійкість, можливість використання локальних матеріалів, простота у виготовленні	Велика вага, потреба у фундаменті
Земляні насипи з озелененням	10–20	Високий	Висока (залежно від обсягів)	30–50 років	Низька	Природність, багатофункціональність, ландшафтне рішення	Потреба в просторі, не підходить для щільної забудови
Мохові/біоматові екрани	8–12	Високий	Середня	8–10 років	Низька – середня	Легкі, не потребують ґрунт. Очищують повітря	Новизна технології, чутливість до умов (вологість, світло)

Пояснення умовних показників до табл.3.3:

- акустична ефективність – орієнтовне зниження шуму в дБА за стандартних умов (для відстані до 10 м);
- екологічний ефект – здатність поглинати CO₂, пил, забезпечувати охолодження та підтримку біорізноманіття;

- вартість – оцінюється з урахуванням матеріалів, монтажу та обслуговування (відносно інших типів);
- термін служби – за умови належного догляду й експлуатації;
- потреба в догляді – обслуговування рослин, очищення, технічний нагляд.

Озеленені біопозитивні екрани – це сучасне та екологічно сталий підхід до шумозахисту. Їх використовують у Європі, США та інших країнах. Такі конструкції ефективно знижують шум, сприяють затримці пилу, очищенню повітря, покращенню естетики й комфорту. Вони не лише технічне рішення, а й екологічний інструмент формування здорового міського середовища.

3.2 Розробка біопозитивного вертикального шумопоглинального екрану для урбанізованого середовища

В кваліфікаційній роботі розроблено проєкт біопозитивного вертикального шумопоглинального екрану, що передбачено встановити вздовж автомагістралі, яка проходить через населений пункт і розташована поблизу житлових будинків і адміністративних будівель. Прототипом даного проєкту послужив зелений шумозахисний бар'єр німецької компанії RAU Lärmschutzwände Geosystem GBK GmbH, це так звана кліматична стіна RAU [39].

Кліматична стіна RAU (Climatewall RAU (R3)) – це шумозахисна стіна, спроектована, виготовлена і встановлена в суворій відповідності з правилами стійкого розвитку і з метою абсолютного скорочення викидів CO₂. Вона забезпечує оптимальне співвідношення ціни та якості.

Кліматична стіна RAU (R3) може досягати висоти дванадцяти метрів і легко та швидко зводиться. Цей шумозахист використовується для доріг, автомагістралей та залізничних колій і має високу поглинаючу здатність, завдяки чому житлові райони та зелені зони за нею залишаються в приємній тиші. Окрім озеленення та мінімізації використання ресурсів, компанія намагається максимально зменшити втручання в природу. Крім того,

кліматично нейтральні системи шумоізоляційних стін можна легко демонтувати [37].

Конструктивні особливості біопозитивної вертикальної шумопоглинальної стіни.

Шумозахисний екран зводиться модульно прямо на місці та має трапецієподібну форму у поперечному перерізі. З одного боку, така форма дозволяє досягати висоти до 12 метрів навіть за мінімальної ширини конструкції. З іншого боку, не потрібен глибокий фундамент, що означає, що екран можна використовувати в різних місцях.

Основа складається із простого шару гравію. Конструкція екрану має міцний сталевий каркас, що складається з опорного профілю, вертикальних стрижнів та зовнішніх матів. Завдяки модульній конструкції сталевий каркас легко збирається. Зовнішні сторони зеленого шумозахисного екрану оснащені сіткою, на якій можуть рости рослини, які в'ються. Екран можна заповнювати будь-якими матеріалами, які можна насипати та утрамбовувати, наприклад, піском, гравієм чи залізобетонним будівельним матеріалом. Будівництво не є важким навіть на звивистих дорогах, на нерівному ґрунті або при перепадах висот. Залежно від доступного простору ширина верхньої частини може становити від 60 до 80 см.

Шумозахисний екран на 60-90% складається з ґрунту, витягнутого з котловану. Крім того, додаються деякі статичні матеріали, які використовуються при будівництві елементи (пісок, гравій, залізобетонна крихта, як вторинний матеріал) та служать від 60 до 80 років, а в деяких випадках і довше. За час експлуатації такий озеленений шумозахисний екран поглинає 100% викидів CO₂. Отже він не тільки є відмінним рішенням для захисту від шуму, але і робить значний внесок у стійку взаємодію з природою (рис. 3.9, табл. 3.4, рис. 3.10). Зовнішній вигляд конструкції в процесі монтажу та її експлуатації наведено у додатку А.

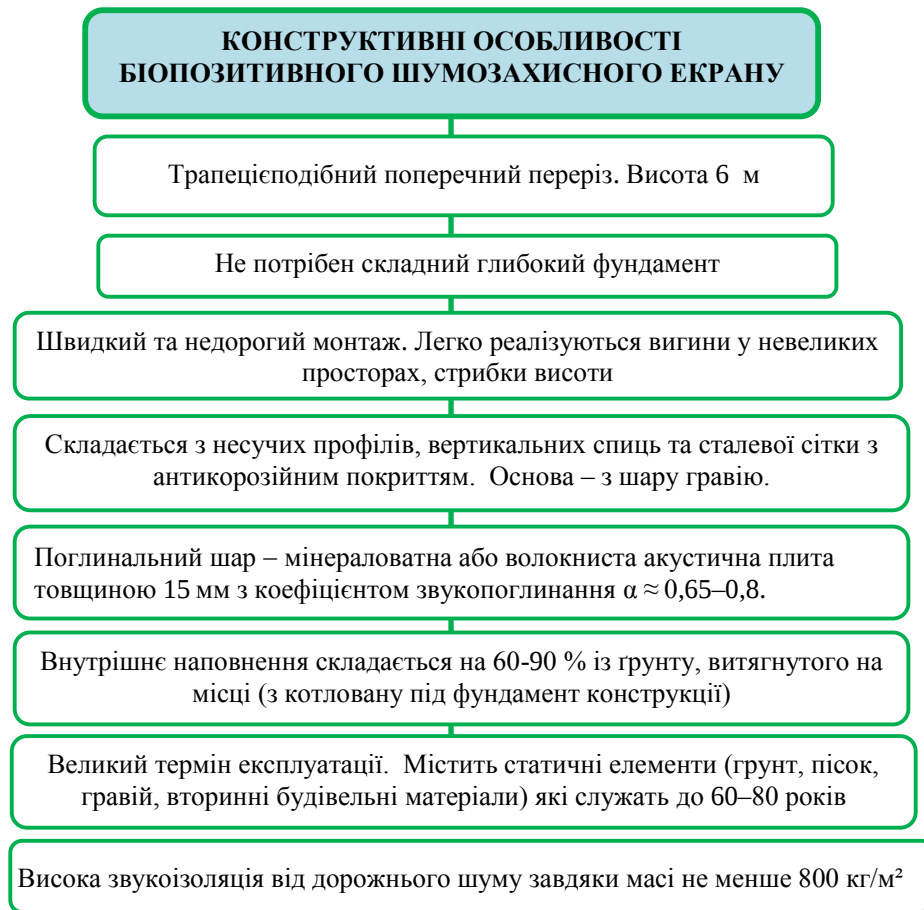


Рис. 3.9. Основні конструктивні особливості біопозитивного шумозахисного екрану

Таблиця 3.4. Переваги біопозитивного шумозахисного екрану

Перевага	Опис і значення
Акустика	Забезпечує високий рівень звукоізоляції – 68 дБ
	Звукопоглинання 15-20 дБ, залежно від щільності зелені
Очищення повітря	Зв'язує 100% власних виробничих викидів CO ₂ . 1 м² зеленої стіни поглинає близько 2,3 кг CO ₂ на рік і виділяє 1,7 кг O ₂
Мікроклімат	Сприяє зменшенню «острова тепла», знижує температуру довкілля на 30 % поблизу екрану
Біорізноманіття	Створення середовища для птахів і комах – зелений екран служить міською екосистемою
Естетика та психоемоційний ефект	Значне покращення візуального сприйняття, зменшення стресу, зростання продуктивності на 15 %

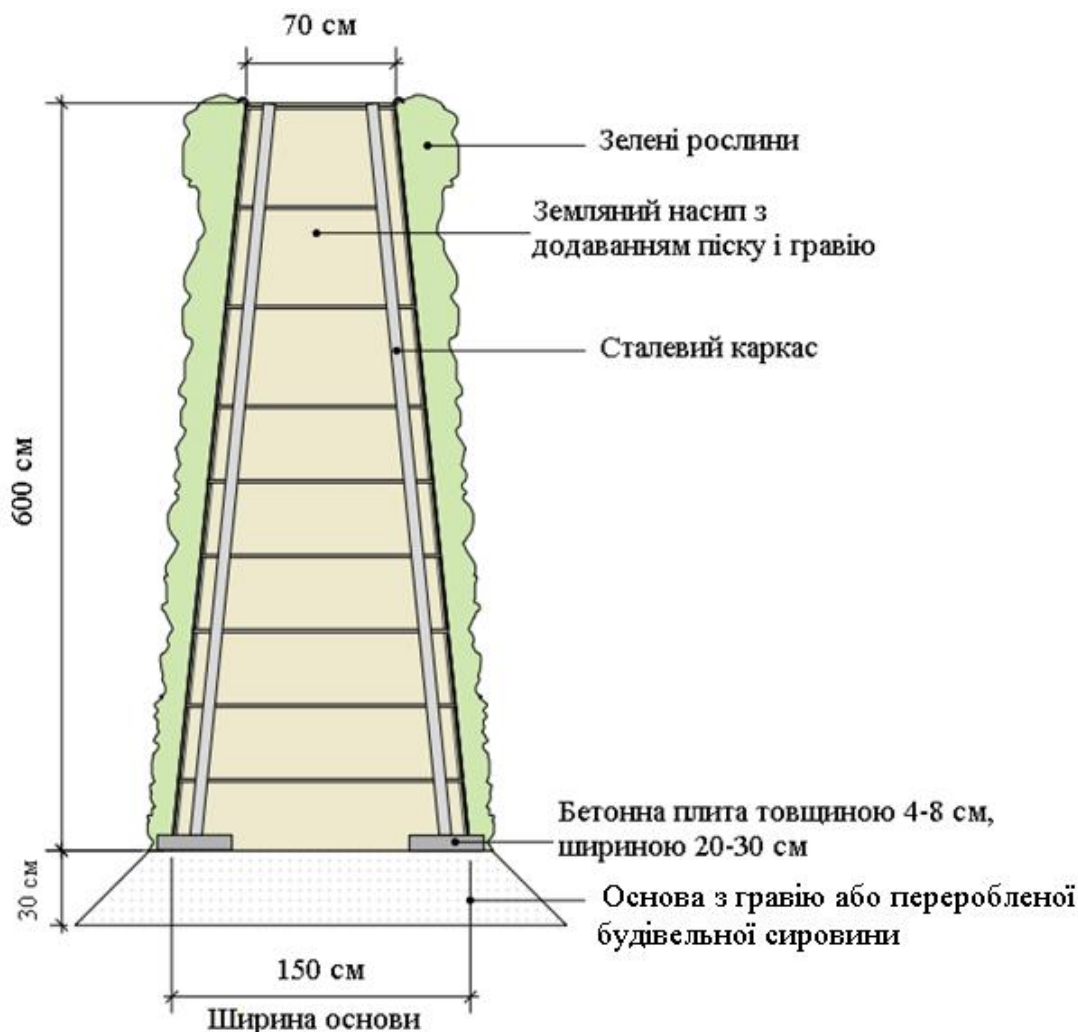


Рис. 3.10. Конструкція біопозитивного шумозахисного екрану [39]

Листя та ґрунт утворюють багат шарову структуру, що поглинає звукові хвилі. Нерівна поверхня викликає дифузне розсіювання звуку в різні напрямки, знижуючи відлуння. Перебиваючи прямий шлях звуку, створюється акустична тінь позаду екрану, таким чином формується простір з низьким рівнем звуку. Така структура поєднує звуконепроникність з ефектом поглинання звуку, що дозволяє досягти високої ефективності захисту при збереженні екологічної та естетичної цінності конструкції.

Завдяки рівню звукоізоляції 68 децибел (дБ) та звукопоглинанню 20 дБ, біопозитивний екран відповідає високим вимогам до звукоізоляції, наприклад, на автомагістралях та залізницях. Отже даний шумовий бар'єр є стійким, екологічним та ресурсозберігаючим. Проте, крім високого захисту від шуму він

також сприяє захисту видів . Завдяки модульній конструкції шумозахисного екрану, в структуру можна інтегрувати пристосування для гніздування (рис. 3.11). Це забезпечує місце існування для різних видів птахів, кажанів і комах, які в іншому випадку могли б бути втрачені через урбанізаційні процеси.



Рис. 3.11. Переваги біопозитивного шумозахисного екрану [39]

Не всі види рослин підходять для вертикальної посадки шумозахисних екранів. Переваги потрібно віддавати місцевим ліанам і кучерявим рослинам. Вони характеризуються річним темпом зростання від 40 см до 200 см, і всього за 4 сезони зростання вони забезпечать повне покриття шумопоглинаючою зеленню. Деякі приклади рослин представлені на рис. 3.12.

Бажано забезпечити автоматичне зрошення та регулярне технічне обслуговування (1–2 рази на місяць). Субстрат – осередок для росту коренів, забезпечується вологою та поживними речовинами.



Рис. 3.12. Рослини, рекомендовані для висаджування в біопозитивних шумопоглинальних екранах

Вертикальні біопозитивні шумопоглинальні екрани – ефективне рішення в урбаністичних умовах. Вони забезпечують зниження шуму, очищення повітря, покращення візуального комфорту та стійку екологічну функціональність. Запропонована конструкція – саме те поєднання архітектури, біотехнології та акустики, яке може стати важливим елементом біопозитивного шумозахисту, зокрема для українських міст.

3.3 Розрахунок акустичної ефективності біопозитивного шумозахисного екрану

Захист житлових та громадських будівель від транспортного шуму здійснюється за допомогою містобудівних (раціональне проектування вулично-

дорожньої мережі, зонування міських територій), архітектурно-планувальних (спеціальні шумозахисні будівлі з орієнтацією житлових кімнат переважно у бік внутрішньоквартальної території), організаційних (обмеження транспортних засобів; транзитного транспорту) та конструктивних заходів.

Джерела шуму в автомобілі умовно можна поділити на дві групи:

- первинні: двигун, трансмісія, система випуску відпрацьованих газів, шини, потоки повітря, що обтікають автомобіль при русі (аеродинамічний шум);

- вторинні: металеві панелі кузова (підлога, дах, крила, двері, арки колісних ніш тощо), великогабаритні пластмасові деталі інтер'єру автомобіля (панель приладів, формовані накладки дверей, декоративний кожух передньої підлоги під рукоятку КПП, накладки стійок) дрібні металеві конструкції (тяги приводу замків, склопідйомників тощо).

В умовах стисненої міської забудови, високої щільності вулично-дорожньої мережі, дефіциту вільних територій найбільш доцільно застосування придорожніх шумозахисних екранів у вигляді вертикальних стінок із збірного та монолітного залізобетону, цегли, металу, композиту, дерева з біостійким просоченням, акрилу, полікарбонату та інших матеріалів, що встановлюються впритул до поверхні території між транспортною магістраллю та об'єктами, що захищаються від її шуму.

В контексті біопозитивних технологій запропоновано встановлення біопозитивного (озеленого) шумозахисного екрану – це інноваційне поєднання традиційних шумозахисних екранів та вертикального озеленення. Вони не тільки ефективно знижують рівень шуму на автомобільних дорогах, залізницях та промислових об'єктах, а й покращують екологічну обстановку, підвищують якість повітря та створюють сприятливі умови для міських флори та фауни.

Об'єктом для розрахунку будівельно-акустичних заходів є адміністративна 6-ти поверхова будівля, розташована в межах міста на проспекті, з інтенсивним двостороннім рухом автомобілів. Інтенсивність руху

автотранспортних потоків проспектом у годину пік (о 17.00) представлена в табл. 3.5 і рис. 3.13.

Таблиця 3.5. Інтенсивність руху автомобілей (одиниць в годину)

Легкові автомобілі	Громадський транспорт		Вантажний транспорт	
	Автобуси	Маршрутні таксі	Маса більш ніж 3,5 - 8т	Маса більш ніж 8 т
1960	42	93	98	92

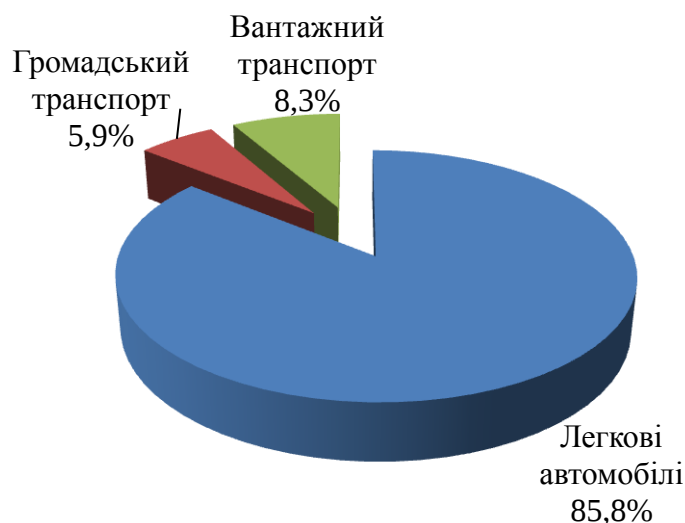


Рис. 3.13. Структура транспортного потоку

Частка вантажного та громадського транспорту у потоці 14%. Вихідним параметром для розрахунку еквівалентного рівня звуку, що створюється біля фасаду будівлі потоком автомобільного транспорту, є шумова характеристика потоку $L_{Aекв}$ в дБА, що визначається за ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 «Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій» на відстані 7,5 м від осі ближньої смуги руху транспорту.

$$L_{Aекв} = 10 \lg Q + 13,3 \lg V + 4 \lg(1 + Q) + \Delta L_{A1} + \Delta L_{A2} + 15$$

$Q = 2285$ – інтенсивність руху, од/год;

$V = 50$ – середня швидкість потоку, км/год;

$\Delta L_{A1} = 0$ – виправлення, що враховує вид покриття проїжджої частини вулиці чи дороги, дБА;

$\Delta L_{A2} = 1$ – виправлення, що враховує поздовжній нахил вулиці чи

дороги, дБА. $L_{\text{Аекв}} = 80$ дБА

Розрахунок рівня шуму біля адміністративної будівлі: Очікуваний еквівалентний рівень звуку $L_{\text{Аекв}2}$, створюваний потоком засобів автомобільного транспорту в розрахунковій точці зовнішнього огороження будівлі визначається за формулою: $L_{\text{Аекв}2} = L_{\text{Аекв}} - \Delta L_{\text{А3}} + \Delta L_{\text{А4}}$, дБА

$\Delta L_{\text{А3}} = 9$ – зниження рівня шуму залежно від відстані від осі найближчої лінії руху транспорту до розрахункової точки, дБА;

$\Delta L_{\text{А4}} = 1,6$ – виправлення, що враховує вплив відбитого звуку, дБА.

Відповідно до норм допустимих рівнів проникаючого шуму, для адміністративних будівель рівень звуку повинен бути не більше 60 дБА.

Необхідне зниження шуму: $L_{\text{Атр}} = 20$ дБА.

Необхідна звукоізоляція вікна, з урахуванням площі звукопоглинання ($i < 25$): $R_{\text{Атр}} = L_{\text{Атр}} - 5 = 15$ дБА.

Цим вимогам задовольняє конструкція шумозахисних вікон із склопакетом. Для забезпечення захисту від шуму прилеглої території будівлі проводилися розрахунки ефективності шумозахисного екрану.

Розрахунок акустичної ефективності шумозахисного екрану.
Основним оцінним параметром екрану є його акустична ефективність, яку впливають багато чинників, що характеризують як сам екран, і джерело шуму, і параметри довкілля.

При проектуванні екранів слід враховувати, що шум від транспортної магістралі може надходити в будь-яку точку простору за екраном (розрахункову точку) двома основними шляхами: у вигляді звуку, що передається безпосередньо через тіло екрана (прямий звук), і у вигляді звуку, що огинає верхній край і бічні кромки екрана (дифрагований звук).

Акустична ефективність екрана визначається лише його геометричними розмірами та місцезнаходженням. Тому вона залежить від висоти та довжини екрану, від відстані між ним та магістраллю, між ним та розрахунковою точкою, а також від висоти розрахункової точки над поверхнею території, але не залежить від шумової характеристики транспортного потоку. У той же час

рівень шуму в розрахунковій точці за екраном залежить як від акустичної ефективності екрану, так і від шумової характеристики транспортного потоку на магістралі.

Необхідна мінімальна поверхнева щільність конструкції екрану в залежності від необхідного зниження рівня звуку:

- потрібне зниження рівня звуку 20 дБА;
- мінімальна поверхнева щільність конструкції екрану – 39 кг/м².

Метричні параметри для проектування шумозахисного екрану наведено у додатку Б. Відстані А, В та С визначаються наступним чином:

$$A = \sqrt{R_1^2 + (H_e - H_{д.ш.})^2}$$
$$B = \sqrt{R_2^2 + (H_e - H_{р.т.})^2}$$
$$C = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (H_{ер.т.} - H_{д.ш.})^2}$$

де R_1 – відстань по горизонталі від акустичного центру транспортного потоку (по осі дальньої смуги руху транспорту та на висоті 1 м над рівнем проїжджої частини) до екрану, $R_1 = 20$ м;

R_2 – відстань по горизонталі від екрана до розрахункової точки, $R_2 = 20$ м;

H_e – висота екрана, м;

$H_{т.п.}$ – висота акустичного центра транспортного потоку, м;

$H_{р.т.}$ – висота розрахункової точки, м.

Далі визначається різниця довжин шляхів звукових променів.

$$\delta = A + B - C, \text{ м,}$$

При розрахунках висота екрану (H_e) задавалася не більше від 3 до 6 м.

При висоті екрану $H_e = 3$ м:

$$A = \sqrt{20^2 + (3 - 1)^2} = 20,11 \text{ м}$$

$$B = \sqrt{20^2 + (3 - 2)^2} = 20,0 \text{ м}$$

$$C = \sqrt{40^2 + (2 - 1)^2} = 40,0 \text{ м}$$

Різниця довжин шляхів звукових променів:

$$\delta = 20,11 + 20 - 40 = 0,11 \text{ м.}$$

Згідно [12] $\delta = 0,1$ відповідає зниженню шуму екраном $\Delta L_{\text{Аэкв}} = 8 \text{ дБА}$.

При висоті екрану $H_e = 6 \text{ м}$:

$$A = \sqrt{20^2 + (6 - 1)^2} = 20,62 \text{ м}$$

$$B = \sqrt{20^2 + (6 - 2)^2} = 20,14 \text{ м}$$

$$C = \sqrt{40^2 + (2 - 1)^2} = 40,0 \text{ м}$$

Різниця довжин шляхів звукових променів:

$$\delta = 20,62 + 20,14 - 40 = 0,76 \text{ м.}$$

Згідно [12] $\delta = 0,76$ відповідає зниженню шуму екраном $\Delta L_{\text{Аэкв}} = 18 \text{ дБА}$.

Додатково зниження шуму на 3-5 дБА відбуватиметься за рахунок озеленення шумопоглинаючого екрану. Таким чином, при висоті екрана 6 м можна досягти зниження рівня шуму на 20-23 дБА (табл. 3.6, рис. 3.15).

Таблиця 3.6. Основні характеристики розрахованого біопозитивного шумозахисного екрану

№	Характеристика	Значення
1	Джерело шуму	Автомобільний потік, 65–80 дБ(А), середньочастотний спектр
2	Кількість смуг проїзної частини в обох напрямках	4
3	Довжина екрану, L	70 м
4	Висота екрану, H_e	6 м
5	Відстань від адміністративної будівлі до екрану	20 м
6	Розташування	Паралельно дорозі
7	Зниження рівня шуму, $\Delta L_{\text{Аэкв}}$	20-23 дБА

На графіку (рис. 3.15) показано, як змінюється рівень звукового тиску на різних відстанях від джерела шуму у присутності біопозитивного

шумозахисного екрана. Видно, що вже за кілька метрів за екраном шум знижується майже на 20 дБ, після чого стабілізується на прийнятному рівні для житлових зон (≈ 57 дБ).

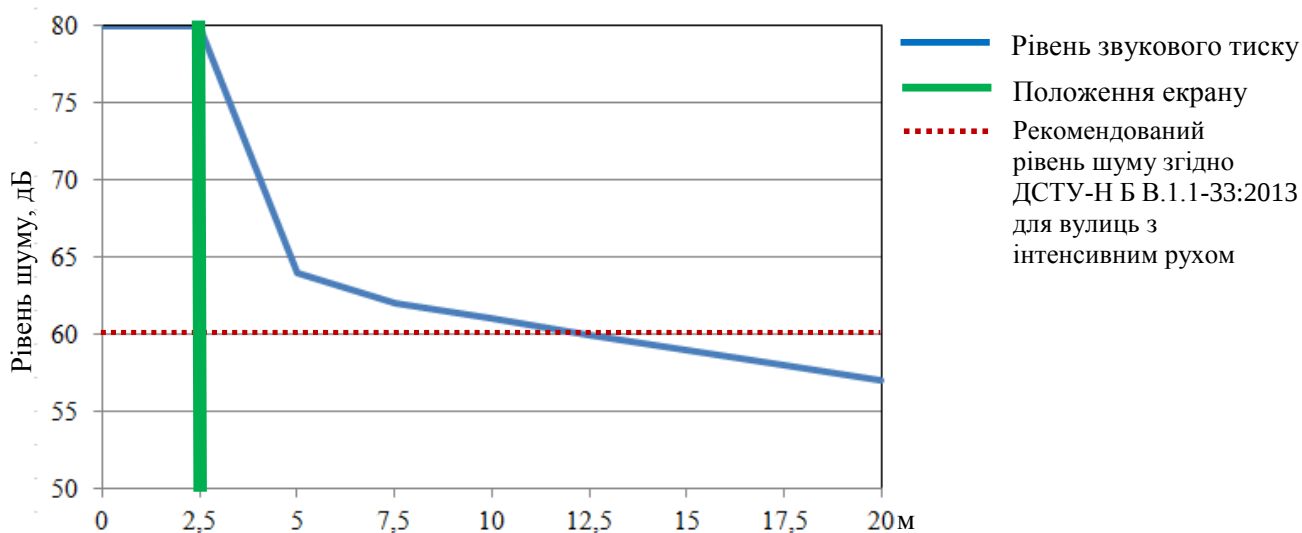


Рис. 3.15. Зміна рівнім звукового тиску при використанні біопозитивного шумозахисного екрану

3.4 Практичні заходи щодо впровадження біопозитивного шумозахисту в українських містах

Враховуючи актуальність проблеми шумового забруднення в урбанізованих середовищах та необхідність переходу до екологічно орієнтованого будівництва, доцільно реалізувати такі заходи:

1. Розробка нормативної та стратегічної бази:

- оновлення державних будівельних норм (ДБН) з урахуванням біопозитивних технологій шумозахисту (зелені бар'єри, мохові фасади тощо);
- інтеграція вимог щодо шумозахисту в містобудівну документацію (генеральні плани, детальні плани територій, концепції розвитку громадських просторів);

- розробка національної стратегії боротьби з шумом у містах, подібно до європейських практик (наприклад, Environmental Noise Directive у ЄС).

2. Впровадження пілотних проєктів у найбільш навантажених районах:

- реалізація демонстраційних біопозитивних шумозахисних об'єктів біля автомагістралей, залізничних станцій, аеропортів;
- створення зелених акустичних екранів вздовж транспортних артерій та в зонах з великою щільністю населення;
- використання зелених дахів і фасадів у школах, садках, лікарнях як комбінованих рішень для захисту від шуму та озеленення.

3. Стимулювання забудовників до застосування екотехнологій:

- надання фінансових або податкових пільг для забудовників, які впроваджують біопозитивні рішення;
- запровадження сертифікації екологічно безпечного житла (на кшталт BREEAM, LEED або національної системи);
- обов'язкова наявність екологічної складової у конкурсах на забудову та реконструкцію громадських просторів.

4. Розвиток вітчизняного виробництва біопозитивних матеріалів:

- підтримка місцевих виробників природних утеплювачів (солома, льон, коноплі, деревина) і модульних зелених систем;
- розробка конструктивних типових рішень шумозахисту з екологічно чистих або перероблених матеріалів;
- стимулювання наукових досліджень і проєктних розробок у сфері біопозитивної акустики та архітектури.

5. Інформування, навчання та залучення громад:

- проведення інформаційних кампаній для жителів міст щодо шкідливого впливу шуму та переваг біопозитивних рішень;
- інтеграція теми екологічного будівництва та шумозахисту в освітні програми університетів, шкіл, курсів підвищення кваліфікації.

- залучення громадських організацій до ініціації зелених проектів, особливо у дворових просторах і районах соціального житла.

6. Інтеграція біопозитивного шумозахисту у концепцію сталого міста

- включення біопозитивних елементів у «зелені інфраструктури міст» – наприклад, приєднання екранів до екопарків, веломаршрутів;
- поєднання функцій: шумозахист + затримка зливових вод + очищення повітря + озеленення;
- розгляд таких об'єктів як частини кліматоадаптаційної інфраструктури в межах місцевих планів кліматичної дії.

Реалізація біопозитивного шумозахисту в українських містах має не лише акустичне, а й стратегічне значення. Це інструмент підвищення якості життя, збереження довкілля, оздоровлення урбанізованих територій. Його впровадження потребує міждисциплінарної взаємодії: архітекторів, урбаністів, екологів, інженерів, органів влади та самих мешканців. Системна підтримка з боку держави, місцевого самоврядування та освітньої сфери стане ключем до формування сталого, комфортного та екологічного середовища українських міст.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ БІОПОЗИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ШУМОЗАХИСТУ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

4.1 Соціально-економічні переваги біопозитивних шумозахисних екранів в контексті сталого розвитку

У сучасних умовах інтенсивної урбанізації, зростання транспортного трафіку та ущільнення міської забудови, проблема шумового забруднення стала одним із ключових викликів для сталого розвитку міст. Традиційні техногенні засоби шумозахисту (бетонні та металеві екрани) хоч і частково вирішують цю проблему, але не відповідають сучасним екологічним і соціальним викликам. Біопозитивні шумозахисні екрани – це новітній підхід, що поєднує високі акустичні характеристики з позитивним впливом на міське середовище, здоров'я населення та економіку територій.

Однією з найвагоміших переваг біопозитивних екранів є зниження рівня шуму у місцях проживання та відпочинку, що безпосередньо впливає на зменшення: кількості серцево-судинних захворювань; випадків хронічного стресу, тривожності, безсоння; когнітивних порушень у дітей; втоми та зниження працездатності у дорослого населення.

Крім того, зелені бар'єри сприяють очищенню повітря від пилу, токсичних речовин, мікрочастинок пилу, що особливо важливо в умовах загазованих вулиць та транспортних вузлів.

На відміну від суто інженерних рішень, біопозитивні екрани також впливають на естетичне та психологічне оздоровлення міського простору:

- створюють візуально привабливе середовище;
- підвищують рівень емоційного комфорту та відчуття "природи в місті";
- знижують градус соціальної напруги в щільно заселених районах;
- формують нову екологічну ідентичність міста.

У багатьох європейських містах озеленені шумозахисні екрани стають елементом ландшафтного дизайну та візуального бренду міського середовища.

Дослідження вказують на те, що території, де встановлено біопозитивні конструкції, мають вищу привабливість для покупців та інвесторів. Це сприяє зростанню ринкової вартості житлової нерухомості на 5–10% та стимулює розвиток малого бізнесу (кафе, освітні простори, урбан-фермерство).

Хоча первинні витрати на будівництво біопозитивних екранів вищі, у довгостроковій перспективі міста отримують економічний ефект за рахунок:

- зниження витрат на лікування хронічних хвороб, пов'язаних із шумом;
- зменшення необхідності компенсацій чи переселення мешканців із зоною підвищеного шуму;
- оптимізації витрат на міське озеленення (екрани виконують подвійну функцію).

Біопозитивні шумозахисні екрани підтримують реалізацію одразу кількох цілей сталого розвитку:

- ЦСР 3 – Забезпечення здорового способу життя і благополуччя;
- ЦСР 11 – Створення сталих і безпечних міст;
- ЦСР 13 – Боротьба зі зміною клімату через зелену інфраструктуру;
- ЦСР 15 – Збереження екосистем та біорізноманіття в урбанізованих районах.

Таким чином біопозитивні будівельні проєкти створюють умови для рівноважного і сталого зв'язку між екосистемою та економікою будівництва в умовах змінного середовища, а саме «зелене» будівництво пов'язане з проявом синергетичного ефекту, коли екологічні, економічні, технологічні, соціальні та інші наслідки доповнюють і посилюють один одного, створюючи загальний ефект, багаторазово перевищуючи фактори.

Біопозитивні шумозахисні екрани – це не просто інженерні споруди, а мультифункціональні елементи сталого міського розвитку, які поєднують захист, екологію, естетику та соціальний ефект. Їх впровадження є стратегічно доцільним як з точки зору захисту здоров'я мешканців, так і в межах

формування інноваційної, екологічно дружньої інфраструктури майбутнього міста.

Вартість біопозитивних конструкцій є вищою за традиційні, але це компенсується їх багатофункціональністю та зменшенням витрат у довгостроковій перспективі.

Витрати на обслуговування. Звичайні бетонні або металеві екрани практично не потребують догляду, але мають слабкий естетичний ефект і можуть потребувати ремонту чи заміни через корозію.

Комбіновані екрани з озелененням вимагають регулярного догляду за рослинами (полив, обрізка, перевірка системи автополиву), однак такі витрати є помірними при автоматизації процесів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Порівняльна характеристика бетонного та біопозитивного шумозахисного екранів

Критерій	Бетонний екран	Біопозитивні екрани
ΔL (зниження шуму), дБ	12–14	18–20
Покращення якості повітря	Немає	Так
Теплорегуляція	Немає	До -4°C локально
Підтримка біорізноманіття	Немає	Так (мохи, комахи, птахи)
Початкові витрати	Низькі	Високі
Обслуговування	Мінімальне	Регулярне (але автоматизоване)
Естетична привабливість	Низька	Висока
Соціальний ефект	Обмежений	Значний

На рис. 4.1 представлено порівняння початкових витрат та сумарної вартості за 20 років експлуатації різних типів шумозахисних конструкцій (у євро/м²). Біопозитивний вертикальний озеленений екран має найвищу стартову ціну (200 євро/м²), проте завдяки високій ефективності та екологічній цінності він є виправданим у довгостроковій перспективі. Його сумарні витрати становлять близько 320 євро/м², що майже вдвічі вище, ніж у традиційних екранів, але забезпечує багатоцільовий ефект: шумозахист, озеленення, комфорт, біорізноманіття.

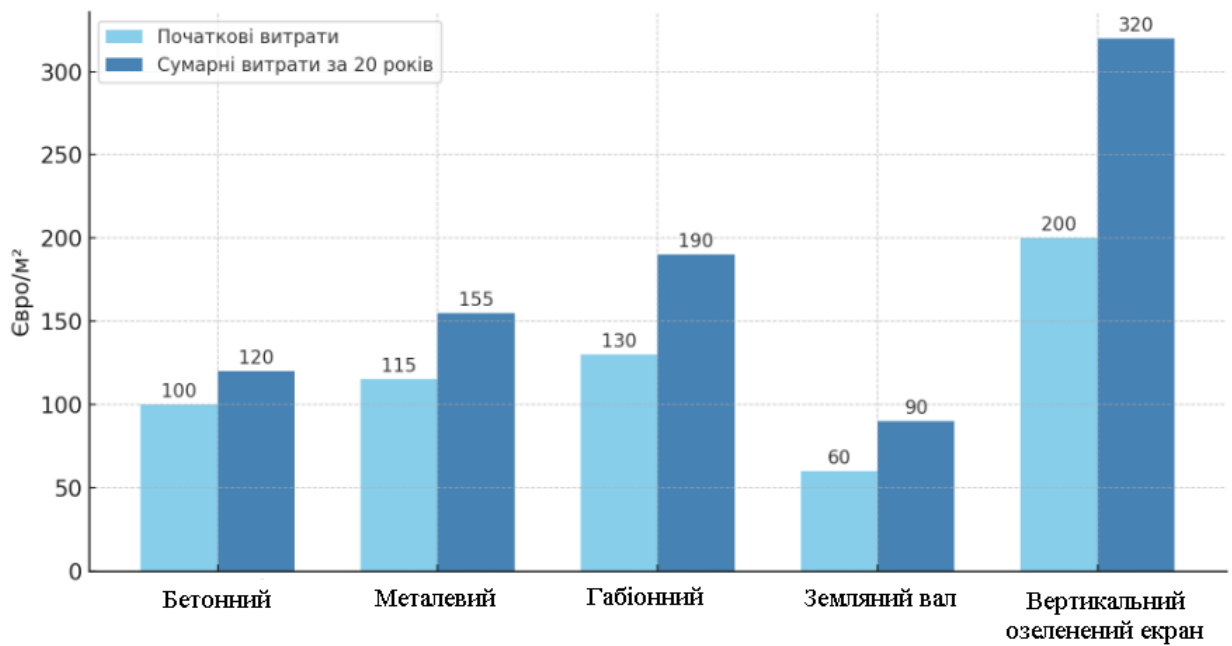


Рис. 4.1. Порівняльна оцінка фінансових витрат при облаштуванні та експлуатації різних видів шумозахисних конструкцій

Економічні переваги у довгостроковому періоді. Попри високі початкові витрати, біопозитивні екрани здатні забезпечити суттєвий економічний ефект у довгостроковій перспективі завдяки:

- зниженню витрат на охорону здоров'я населення через покращення акустичного та екологічного комфорту (менше звернень із серцево-судинними захворюваннями, стресом тощо);
- підвищенню вартості нерухомості на прилеглих територіях – на 5–10% у порівнянні з районами біля «глухих» бетонних екранів;
- зростанню туристичної та інвестиційної привабливості міста через сучасний вигляд інфраструктури та покращення міського ландшафту;
- можливості залучення зовнішнього фінансування – біопозитивні рішення підтримуються багатьма європейськими та національними програмами сталого розвитку, такими як: Green City Action Plan (ЄБРР); Horizon Europe (програми щодо сталого будівництва); фінансові інструменти Європейського зеленого курсу.

Отже біопозитивні шумозахисні екрани з зеленими фасадами демонструють високі екологічні та соціальні переваги, що виправдовують їх вищу початкову вартість. У довгостроковому періоді вони сприяють формуванню здорового, комфортного та естетичного міського простору, зменшенню екологічного навантаження, а також можуть бути інтегровані в стратегії сталого розвитку міста. Їх впровадження варто розглядати як інвестицію у якість життя та міське середовище.

4.2 Техніко-економічна оцінка проєктних рішень

Техніко-економічна оцінка проєктних рішень у сфері шумозахисту є важливою складовою обґрунтування доцільності впровадження конкретного типу конструкцій. У контексті біопозитивного будівництва, де пріоритетами є не лише технічна ефективність, а й збереження довкілля та формування сприятливого міського середовища, така оцінка набуває особливого значення.

При техніко-економічній оцінці важливо розглядати не лише первинні витрати на будівництво, але й довгострокові економічні ефекти, що виникають у результаті інтеграції біопозитивних елементів у міське середовище.

Капітальні витрати. Біопозитивні шумозахисні екрани, особливо комбіновані конструкції з озелененням, вимагають вищих стартових інвестицій, ніж традиційні бетонні або металеві бар'єри. Основні витрати пов'язані з:

- закупівлею екологічних матеріалів (субстрати, інертні поглиначі, зелені насадження);
- монтажем модульної системи;
- встановленням інфраструктури для поливу та утримання зелених насаджень;
- потребою в спеціалізованих фахівцях для проєктування.

В середньому вартість таких конструкцій становить 150–200 євро/м², що приблизно на 30–60% вище, ніж у стандартних рішень.

Операційні витрати та обслуговування. На відміну від інертних шумозахисних екранів, біопозитивні конструкції потребують регулярного догляду за рослинністю, зокрема:

- догляду за станом мохів або живих рослин (обрізка, оновлення, підживлення);
- очищення від пилу, сміття, вандалізму;
- обслуговування систем поливу, дренажу;
- сезонного оновлення покриттів.

Орієнтовні щорічні витрати становлять 5–8 євро/м², але за умов застосування автоматизованих систем та стабілізованих рослин їх можна знизити до 2–4 євро/м². Варто відзначити, що ці витрати є прогнозованими і керованими, особливо при інтеграції таких конструкцій у муніципальні програми озеленення.

Усереднені дані за капітальними інвестиціями та поточними витратами при обслуговуванні біопозитивного шумозахисного екрану наведено в табл. 4.2 і табл. 4.3.

Таблиця 4.2. Капітальні витрати

№	Вид витрат	Вартість, євро/м ²
1	Матеріали	90
2	Монтажні роботи	55
3	Додаткові системи (полив, каркас, основа)	55
Загальна вартість		200

Таблиця 4.3. Операційні витрати та обслуговування

№	Вид витрат	Вартість, євро/м ²
1	Придбання витратних матеріалів, рослин	1,5
2	Догляд за зеленими рослинами	3
3	Системи поливу та технічна підтримка	1,5
Загальна вартість		6

Також треба зазначити важливість інтеграції з іншими міськими функціями. Біопозитивні екрани можуть виконувати не лише захисну, а й соціальну та екологічну функцію, що дає змогу поєднувати кілька джерел фінансування:

- використання конструкцій як зелених зон (наприклад, вертикальні сади);
- інтеграція з системами фітоочищення дощових вод;
- розміщення міських арт-об'єктів, інсталяцій;
- можливість розміщення сонячних панелей, що додатково знижує витрати на електроенергію.

Окупність та ефективність. При середньому терміні експлуатації біопозитивного екрану 25–30 років, загальні витрати на проєкт можуть повністю окупитися протягом 10–15 років за рахунок:

- зменшення витрат на обслуговування навколишньої інфраструктури (менше забруднення, менше ремонту);
- зростання доходів муніципалітету від оренди прилеглих площ;
- підвищення індексу якості життя, що опосередковано впливає на економіку міста (більше резидентів, платників податків тощо).

Таким чином, економічна ефективність впровадження біопозитивних технологій шумозахисту полягає не лише у прямому зменшенні шумового навантаження, а й у формуванні комплексного сталого міського середовища. Високі первинні інвестиції компенсуються низкою довготривалих переваг — від покращення здоров'я населення до зміцнення інвестиційного потенціалу території. У цьому сенсі біопозитивні рішення слід розглядати не як витрати, а як стратегічну інвестицію в майбутнє міста та його мешканців.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальні положення охорони праці

Загальні положення з охорони праці — це сукупність правил, які встановлюють обов'язки суб'єктів господарювання та права і обов'язки працівників щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Це включає створення та функціонування системи управління охороною праці, розробку внутрішніх нормативних документів, а також забезпечення працівників необхідною інформацією та засобами захисту.

Поняття охорони праці визначається ст.1 Закону України «Про охорону праці». «Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці» [15].

Законодавство України про охорону праці складається із: Закону «Про охорону праці», «Кодексу законів про працю України», Закону «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», Закону України «Про пожежну безпеку», «Норм радіаційної безпеки України» та інших нормативно-правових актів, які регулюють взаємовідносини між різними суб'єктами права у сфері охорони праці

Закон України «Про охорону праці» визначає положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їхнього життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи й організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників, повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм з цього питання та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;
- адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;
- використання економічних методів управління охороною праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, отримання яких не суперечить законодавству;
- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;
- використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці на основі міжнародного співробітництва.

5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час будівництва та експлуатації шумозахисних екранів

Будівництво та експлуатація біопозитивних шумозахисних екранів із зеленими фасадами передбачає проведення комплексу робіт, пов'язаних із використанням будівельного обладнання, механізмів, електроустановок, а також доглядом за рослинністю. У процесі виконання таких робіт працівники можуть піддаватися впливу низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які необхідно враховувати для запобігання травмам та професійним захворюванням. Аналіз цих факторів є основою для розроблення заходів охорони праці.

1. Фізичні фактори

Підвищений рівень шуму. Під час монтажу металевих елементів, свердління, різання конструкцій, роботи підйомного обладнання рівень шуму може сягати 85–95 дБ, що перевищує нормативно допустимі значення та може призвести до розвитку туговухості та зниження працездатності.

Вібрація. Використання перфораторів, віброплит, електроінструментів створює локальні та загальні вібрації, що впливають на органи кровообігу, нервову систему та опорно-руховий апарат.

Погодні умови. Під час робіт на відкритому повітрі працівники можуть зазнавати впливу холоду, спеки, опадів, сильного вітру, що підвищує ризик

переохолодження, теплових ударів або падіння з висоти при намоканні поверхні.

Імовірність падіння з висоти. Монтаж шумозахисних екранів висотою 3–6 м передбачає роботу на платформах, риштуваннях або підйомниках, що створює ризик падіння через недостатню фіксацію, втрату рівноваги, порушення стійкості конструкцій.

Рухомі частини машин та механізмів. Підйомні крани, електричні лебідки, тягові механізми становлять небезпеку затискання, ударів, травм через неналежне використання або відсутність огороження.

Порізи, забиття та травми при роботі з ручним інструментом. Під час роботи з ножівками, секаторами, гострими елементами металевих модулів зелених фасадів можуть виникати травми рук.

Падіння предметів згори. Інструменти, монтажні елементи та частини конструкції можуть падати з висоти, що створює загрозу травмування працівників, які працюють унизу.

Ураження електричним струмом. Монтаж систем автоматичного поливу, насосів, електроклапанів та підсвічування зелених фасадів пов'язаний із роботою в електроустановках напругою до 220 В.

Пошкодження ізоляції кабелів. Під час монтажних робіт можливе випадкове пошкодження електропроводки, що формує ризик короткого замикання або контакту працівника зі струмопровідними частинами.

Пил та мікрочастинки. Під час підготовки середовища, різання матеріалів, заповнення ґрунтових модулів утворюється пил, що може викликати подразнення слизових оболонок.

Надмірна вологість. При тривалій роботі в умовах поливу або контакту з мокрими субстратами можливий розвиток простудних та шкірних захворювань.

2. Хімічні та біологічні фактори

Добрива, субстрати та засоби захисту рослин. Деякі компоненти можуть спричиняти алергічні реакції, подразнення шкіри, сльозотечу та інші прояви.

Мікроорганізми, цвіль і грибки. Вологі субстрати зелених фасадів та мохові панелі можуть містити мікрофлору, що здатна викликати дерматити, алергії або респіраторні порушення.

Укус комах. Робота поруч із насадженнями підвищує ризик укусів бджіл, ос або мух, що особливо небезпечно при алергічних реакціях.

3. Пожежонебезпечні фактори

Горючість рослинності. У посушливий сезон зелений фасад без належного поливу може збільшити пожежне навантаження.

Електропроводка систем поливу та підсвічування. Невірний монтаж або коротке замикання здатні стати причиною займання.

Проведений аналіз засвідчує, що роботи з монтажу та обслуговування біопозитивних шумозахисних екранів пов'язані з дією широкого спектра небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Їх ідентифікація є критично важливою для подальшого розроблення системи техніки безпеки, вибору засобів індивідуального захисту, планування технологічних процесів та впровадження попереджувальних заходів, що забезпечують безпечні умови праці на всіх етапах реалізації проєкту.

5.3 Розрахунок штучного освітлення адміністративного приміщення підприємства з монтажу шумозахисних екранів

Розрахунок штучного освітлення приміщення виконано методом коефіцієнта використання. Цей метод застосовують для розрахунків освітленості при загальному освітленні закритих приміщень [30].

Хід розрахунків наступний:

Визначають індекс приміщення, що залежить від його геометричних розмірів:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{AB}{h(A+B)},$$

де i – індекс приміщення; S – його площа, м^2 ; h – висота підвісу світлового центру світильника над розрахунковою поверхнею, м; A , B – довжина й ширина приміщення, м.

Залежно від коефіцієнтів відбиття стелі $\rho_{\text{п}}$, стін $\rho_{\text{с}}$ і розрахункової поверхні $\rho_{\text{р}}$ по спеціальних таблицях для прийнятого типу світильника ухвалюють коефіцієнт використання світлового потоку n .

Визначають необхідний світловий потік залежно від значення найменшої освітленості по нормах:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{\eta},$$

де $E_{\text{н}}$ – найменша освітленість по нормах, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, що враховує поступове запилення поверхні ламп і світильників і старіння ламп (для нормальних приміщень ухвалюється 1,3 для світильників з лампами розжарювання й 1,5 для світильників з люмінесцентними лампами);

Z – коефіцієнт нерівномірності, дорівнює відношенню середньої освітленості до мінімальної, приблизно може бути прийнято 1,15-1,2;

η – коефіцієнт використання в частках одиниці.

Для прийнятого кількості світильників і ламп визначають необхідний потік однієї лампи $\Phi_{\text{л}}$ (лм):

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{\Phi}{n},$$

де n – число ламп.

Ухвалюють за державним стандартом лампу з найближчим до розрахункового світловим потоком

За наведеною методикою розрахуємо устаткування штучного освітлення приміщення інформаційного екотуристичного центру.

Приймаємо приміщення розмірами: $A = 6$ м, $B = 5,5$ м, $H = 3,5$ м, $h_{\text{п}} = 1,1$ м; коефіцієнти відбиття: $\rho_{\text{п}} = 50\%$, $\rho_{\text{с}} = 30\%$, $\rho_{\text{р}} = 10\%$. Необхідно освітити це приміщення світильниками «ЛДОР» з люмінесцентними лампами типа ЛБ, нормоване освітлення $E_{\text{н}} = 300$ лк.

Світильник з люмінесцентними лампами ЛДОР-2Х40 (ЛДОР-2Х80) – підвісний світильник з екрануючими решітками і зйомними панелями переважно прямого світла з 2 лампами по 40 (80) Вт.

Прийнявши відстань від стелі до джерела світла $h_c = 0,4$ м, отримаємо

$$h_p = H - h_n - h_c = 3,5 - 1,1 - 0,4 = 2,0 \text{ м.}$$

Світильник ЛДОР має криву світлорозподілу типу Д, для якого,

$$\lambda = \frac{L}{h} = 1,4 ,$$

отже відстань між світильниками (рядами) $L = \lambda h_p = 1,4 * 2 = 2,8$ м,

розташовуємо світильники у $\frac{B}{L} = \frac{5,5}{2,8} \approx 2$ ряди.

Визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h_p(A+B)} = \frac{AB}{h_p(A+B)} = \frac{6*5,5}{2(6+5,5)} = 1,47.$$

Залежно від коефіцієнтів відбиття стелі ρ_n , стін ρ_c і розрахункової поверхні ρ_p для прийнятого типу світильника ухвалюємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,53$.

Враховуючи те, що коефіцієнт запасу, що враховує поступове запилення поверхні ламп і світильників і старіння ламп, для нормальних приміщень ухвалюється для світильників з люмінесцентними лампами 1,5, приймаємо $K_3 = 1,5$; коефіцієнт нерівномірності приймаємо $Z = 1,15$.

Визначаємо необхідний світловий потік залежно від значення заданої освітленості:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{\eta} = \frac{300 * 6 * 5,5 * 1,5 * 1,15}{0,53} = 21481 \text{ лм.}$$

Світловий потік люмінесцентної лампи ЛБ-40 потужністю 40 Вт складає 2500 лм, світильника – 5000 лм.

Знаходимо кількість світильників:

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_c} = \frac{21481}{5000} = 4,3$$

Приймаємо 5 світильників, по одному світильнику у ряду. Споживана електрична потужність освітлювального устаткування буде складати:

$$5 \cdot 2 \cdot 40 = 400 \text{ Вт.}$$

В результаті проведеного розрахунку штучного освітлення адміністративного приміщення методом коефіцієнта використання було визначено оптимальні параметри освітлювальної системи, що забезпечують відповідність нормативним вимогам до рівня освітленості робочих зон. Враховуючи світлотехнічні характеристики вибраних світильників ЛДОР-2×40 із загальним світловим потоком 5000 лм на один світильник, визначено кількість обладнання – 5 світильників, рівномірно розташованих в один ряд. Така конфігурація дозволяє досягти рівномірного розподілу світлового потоку та мінімізувати тіні й затемнені зони в межах приміщення.

Загальна встановлена потужність освітлювальної системи становить 400 Вт, що є енергоефективним показником для приміщення зазначених розмірів. Отримані результати підтверджують, що розрахована система освітлення повністю відповідає вимогам нормативних документів щодо комфортних умов зорової роботи персоналу, який здійснює управління процесами монтажу шумозахисних екранів. Це сприятиме підвищенню продуктивності праці, зменшенню зорової втоми та забезпеченню безпечного середовища під час виконання службових обов'язків.

5.4 Заходи техніки безпеки під час монтажу шумозахисних конструкцій

Монтаж шумозахисних конструкцій, зокрема біопозитивних екранів із зеленими фасадами, передбачає виконання робіт підвищеної небезпеки: роботи на висоті, використання підйомної техніки, застосування електроінструментів, монтаж важких металевих та бетонних елементів. Тому необхідно дотримуватися комплексу організаційних і технічних заходів, спрямованих на попередження травм, аварій та небезпечних ситуацій під час виконання робіт.

1. Організаційні заходи безпеки

Проведення інструктажів та навчання персоналу. Проводяться: первинний інструктаж з охорони праці; повторний та позаплановий інструктаж при зміні технології; навчання методам безпечного використання обладнання, інструментів, підйомників, страхувальних систем.

До монтажу шумозахисних конструкцій допускаються лише кваліфікованих працівників: монтажники висотних конструкцій; електрики з групою допуску не нижче II для роботи із системами поливу; машиністи кранів і підіймачів.

Для безпечної організації робочої зони обов'язковим є: огороження небезпечних зон монтажу; встановлення попереджувальних знаків; розміщення тимчасових проходів поза зоною можливого падіння предметів.

2. Вимоги безпеки під час робіт на висоті

Використання страхувальних систем: страхувальні пояси, канати, карабіни; закріплення на анкерних точках, розрахованих на навантаження не менше 1,5 т.

Безпечна організація риштувань та підйомників: перевірка технічного стану; встановлення на вирівняну основу; застосування бортових огорож висотою не менше 1,1 м.

Забороняються роботи на висоті при несприятливих погодних умовах: швидкість вітру понад 10–12 м/с; дощ, ожеледиця, сильний туман.

Попередження падіння інструментів та матеріалів:

- фіксація інструментів на поясах монтажників: використання тросів-страховок для ручних інструментів; зберігання матеріалів лише у спеціальних контейнерах;

- огороження зони можливого падіння предметів: заборона перебування сторонніх осіб; встановлення захисних навісів у місцях інтенсивного руху людей.

3. Безпека при використанні вантажопідіймальної техніки

Дотримання правил роботи з кранами, лебідками, маніпуляторами: підйом важких елементів (панелей, металевих каркасів) лише сертифікованими стропами; заборона перебування людей під підвішеним вантажем; використання сигнальника, який координує переміщення вантажів.

Забезпечення стабільності техніки: встановлення крана на тверду рівну основу; фіксація опорно-вирівнювальних лап; контроль перевантаження вантажопідіймальних механізмів.

4. Вимоги безпеки при роботі з електроінструментом та обладнанням

Забезпечення справності та ізоляції електроінструменту: використання інструментів з подвійною ізоляцією; регулярний огляд кабелів на пошкодження; застосування переносних трансформаторів і захисних автоматів.

Забезпечення електробезпеки систем автополиву та підсвічування зелених фасадів: монтаж електрокомпонентів лише кваліфікованим персоналом; використання вологостійких роз'ємів та кабелів класу IP67; обов'язкове заземлення металевих конструкцій.

5. Роботи з рослинними та біопозитивними модулями

Безпечна робота з ґрунтовими субстратами та рослинами: використання рукавичок для запобігання алергічним реакціям; захисні окуляри при засипанні субстрату; правильне встановлення мохових або ґратчастих касет на каркас.

Профілактика біологічних ризиків: уникнення контакту зі спорами грибків; застосування респіраторів при роботі з органічними матеріалами; проведення санітарної обробки місць зберігання рослинних модулів.

7. Використання засобів індивідуального захисту

Обов'язковим є застосування засобів індивідуального захисту для монтажників шумозахисних конструкцій: захисні каски; монтажні пояси; рукавиці та протиударні накладки; захисні окуляри або щитки; респіратори під час роботи з пилом і мінеральними субстратами; сигнальні жилети.

8. Дії в аварійних ситуаціях

- негайне зупинення робіт;

- евакуація працівників з небезпечної зони;
- відключення електроживлення;
- повідомлення керівника робіт та служби охорони праці;
- надання першої домедичної допомоги постраждалим.

Дотримання вимог техніки безпеки під час монтажу шумозахисних конструкцій є необхідною умовою для зниження ризиків виробничого травматизму та забезпечення здорових і безпечних умов праці. Урахування специфіки біопозитивних екранів дозволяє гармонійно інтегрувати їх у міське середовище без негативного впливу на персонал, який виконує монтажні та обслуговувальні роботи.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі комплексно досліджено проблему шумового забруднення в містах та можливості її вирішення на основі впровадження біопозитивних шумозахисних технологій. Наукове, технічне й практичне опрацювання теми дозволило сформулювати такі узагальнені висновки:

1. Акустичний дискомфорт є однією з найважливіших екологічних та соціальних проблем сучасних міст. Аналіз літературних джерел, нормативів та статистики показав, що понад 60% міського населення зазнає впливу шуму, який перевищує допустимі санітарні норми. Транспортний шум – основне джерело негативного впливу на здоров'я, спричиняючи стрес, порушення сну, серцево-судинні та когнітивні розлади.

2. Біопозитивне будівництво розглядається як перспективний напрям сталого розвитку міст, що поєднує інженерні рішення зі створенням природних екосистем. Його принципи – екологічність, інтеграція зелених технологій, мінімізація негативного впливу на довкілля та підвищення якості життя населення – відповідають Цілям сталого розвитку ООН (ЦСР 3, 11, 13, 15).

3. У роботі систематизовано типи біопозитивних шумозахисних екранів, включно з вертикальними зеленими стінами, габіонними конструкціями з рослинним заповненням, земляними валами та комбінованими екранами з інертним ядром і зеленим фасадом. Їх акустична ефективність, екологічні переваги та можливості інтеграції у міський простір свідчать про значний потенціал практичного застосування.

4. На основі розрахунку акустичних характеристик встановлено, що комбінований шумозахисний екран із зеленим фасадом забезпечує зниження шумового навантаження до 18–20 дБ, що співставно з ефективністю традиційних бетонних або металевих бар'єрів. Зелені шари сприяють додатковому звукопоглинанню, а також покращують мікроклімат та якість повітря поблизу конструкції.

5. Запропоновано практичні рекомендації щодо впровадження біопозитивних шумозахисних рішень в Україні, зокрема адаптацію конструкцій до місцевих кліматичних умов, використання стабілізованих рослин та мохів, інтеграцію з інфраструктурою «зелених коридорів», залучення громад до догляду за зеленими фасадами.

6. Встановлено значні соціально-економічні переваги біопозитивних екранів, серед яких: підвищення естетичної привабливості міського середовища, формування нових зон біорізноманіття, поліпшення комфорту та психологічного стану населення, створення елементів зеленого каркасу міста.

7. Економічний аналіз показав, що хоча біопозитивні рішення потребують вищих капітальних витрат, їх довгострокові переваги – покращення здоров'я населення, підвищення вартості прилеглої нерухомості, зниження соціальних та екологічних витрат, можливість залучення грантів та інвестицій – роблять їх фінансово доцільними в стратегічній перспективі. Окупність таких проєктів становить 10–15 років.

Результати дослідження підтверджують, що біопозитивні шумозахисні технології є ефективним інструментом зменшення шумового забруднення, формування здорового та комфортного міського середовища й досягнення стратегічних цілей сталого розвитку. Запропоновані конструктивні рішення, можуть бути використані підприємствами будівельної галузі та містобудівними організаціями при плануванні реконструкції дорожньої та житлової інфраструктури України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абракітов В.Е., Скрипник О.С., Нестеренко С.В. Шумозахисні екрани як засіб оптимізації шумового режиму. *Комунальне господарство міст*, 2021, том 1, вип. 161. С. 296–300.
2. Биваліна М.В. Інженерний благоустрій міських територій. Містобудівні методи оцінки якості міського середовища: Навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2014. 216 с.
3. Биваліна М.В. Шумозахисні зелені насадження. *Архітектурний вісник КНУБА*. 2016. С. 243-250.
4. Білик О.А. Зелене будівництво: концепція, причини та тенденції розвитку. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. Економічні науки*. Вип. 20, Част. 1. 2016. С. 53–57.
5. Васькіна І. В. Аналіз впливу автотранспортних засобів на навколишнє середовище в селітебних зонах міст. *Екологічна безпека*. 2009. № 4 (8). С. 16–19.
6. Венжега, В. І., Пасов, Г. В. Зменшення впливу автомобільного транспорту на довкілля. *Технічні науки та технології*, 2020. №(4(18)), С. 28–35.
7. Верещагіна П.М., Коваленко О.А., Чепак О.І. Технологія озеленення населених місць : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2015. 104 с.
8. ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека у будівництві. [Чинний від 2012-04-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 122 с.
9. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014.
10. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. Наказ Міністерства Охорони здоров'я України від 22.02.2019 № 463.
11. ДСТУ ГОСТ 31296.1:2007 Шум. Опис, вимірювання і оцінка шуму на місцевості. Частина 1. Основні величини і процедура оцінювання (ГОСТ 31296.1-2005 (ИСО 1996-1:2003), IDT; ISO 1996-1:2003, MOD). [Чинниц від 01.04.2008]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2009.
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. [Чинний з 2014-01-01]. Київ: Міністерство

регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 2014. 46 с.

13. Заїченко В. І. Безпека праці в будівництві. Конспект лекцій. Харків: ХНУМГ, 2014. 98 с.
14. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 р. №1264. Відомості Верховної Ради України , 1991, № 41, ст.546.
15. Закон України «Про охорону праці» № 2694-XII від 14.10.1992. Відомості Верховної Ради (ВВР), 1992, № 49, ст.668.
16. Інженерний благоустрій міських територій. Містобудівні методи оцінки якості міського середовища: Навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2014. 216 с.
17. Коваленко М.Г. Функції міських зелених насаджень та їх нормування. *Містобудування та територіальне планування. КНУБА.* 2015. Вип. 55. С 194–201.
18. Корявченков Ю. Шумове забруднення в Європі: чому Україні варто діяти вже зараз. URL: <https://ndu.kr.ua/565-shumove-zabrudnennya-v-evropi-chomu-ukrajini-varto-diyati-vzhe-zaraz>.
19. Кривомаз Т.І., Савченко А.М. Зниження впливу будівельної галузі на кліматичні зміни шляхом впровадження принципів зеленого будівництва. *Екологічна безпека та природокористування.* 2021. № 37 (1). С. 55–68.
20. Крижановская Н.Я, Вотінов М.А., Смірнова О.В. Основи ландшафтної архітектури та дизайну. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 348 с.
21. Лисенко О.Ю., Ідак Ю.В., Пришляк Б. Роль фітодизайну в організації міського простору. *SWORLD.* 2015. N13. № 1. С. 54–61.
22. Літвак О.А., Данілова О.О. Використання фітонцидних властивостей рослин при озелененні міського середовища. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції, 21-22 вересня 2023 р.* Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2023. С. 64–67.
23. Літвак О.А., Литвиненко Г.В. Інтеграція біопозитивних шумозахисних конструкцій в міське середовище. *Проблеми екології та енергозбереження :*

- матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції, м. Миколаїв 23-24 жовтня 2025 р. Миколаїв: НУК, 2025. С. 146-151.
24. Максимцев С.І., Дударець С.М. Шумопоглинальні властивості придорожніх лісових смуг різних конструкцій в умовах Західного Полісся. *Ukrainian Journal OF Forest and Wood Science*. 2020. Вип. 11, № 3. С. 25-35.
25. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень. ДБН 360-92**. Наказ Держкоммістобудування 17.04.1992 № 44. Київ: Укранхбудінформ, 2002. 92 с.
26. Новосельчук Н.Є. Озеленення штучних основ як засіб екологічного оздоровлення міського середовища. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2010. № 4. С. 88–92.
27. Організація наглядової діяльності в галузі охорони праці: навч. посіб. / Филипчук А. С., Ткачук К. Н., Зеркалов Д. В., Полукаров О. І., Полукаров Ю. О., Кружилко О. Є. Київ: Основа, 2014. 261с.
28. Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А., Житкевич Я.Я. Оцінка шумового забруднення урбанізованих територій від автотранспорту (на прикладі міста Одеса). *Екологічні науки*. 2022. № 2(41). С. 56–61.
29. Роль зелених насаджень в місті. Норми віддаленості забудови від проїжджої частини вулиці. Вплив кімнатних рослин. URL: <https://erteam.ru/uk/the-role-of-green-spaces-in-the-city-norms-of-remoteness-of-the-building-from-the-roadway-of-the-street.html>.
30. Тубальцев А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок : навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2001. 84 с.
31. Урбоекологія та фітомеліорація: навчальний посібник /Л.М. Філіпова, А.П. Стадник, В.В. Мацкевич та ін. Біла Церква, 2018. 214 с.
32. Шаповалов В.А. Забезпечення охорони праці при організації будівельних майданчиків: навч. посібник. Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2017. 161 с.
33. Швець В. В., Руденко К. С., Веремій О. Г. Формування екологічного каркасу міста. Укриття під зеленим покривом. Науково-технічний збірник

- «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». 2010. Т. 9. № 2. С. 139–143.
34. Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2022 рік. Київ: Міністерство охорони здоров'я України. 2023. 39 с.
35. Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік. Київ: Міністерство охорони здоров'я України. 2024. 39 с.
36. Alyami S. H., Rezgui Y. Sustainable building assessment tool development approach. *Sustainable Cities and Society*. 2012. Vol. 5. P. 52–62.
37. Best Sound Barrier Plants To Block The Noise From Busy Roads. URL: https://www.gardeningknowhow.com/special/spaces/noise-reduction-plants.htm?utm_source=chatgpt.com.
38. Brown, A. Powering the Future : The Problems and Possibilities of Green Energy. In *Sourcebook on Contemporary Controversies*. New York : International Debate Education Association. 2010, 259 p.
39. Climate Wall: the Green Noise Barrier by RAU. URL: <https://rau.de/en/produkt/climatewall/>
40. Cordero A. S., Melgar S. G., Márquez J. M. A. Green building rating systems and the new framework level(s): A critical review of sustainability certification within Europe. *Energies*. 2020. Vol. 13. P. 66.
41. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise - Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise. *Official Journal of the European Union*. 189, 18.7.2002, p. 12–25.
42. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Union*.
43. Directive 2002/91/EC of the European parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Communities*. 2003. p. 65–71
44. Directive 2012/27/EU of the European parliament and of the council of 25 October 2012 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the*

- European Communities*. 2012, L315.
45. Environmental noise guidelines for the European Region. World Health Organization, 2018. 181 p.
 46. Environmental noise in Europe – 2025. EEA Report 05/2025. Copenhagen: European Environment Agency, 2025. 151 p.
 47. Fenner R. A., Ryce T. A comparative analysis of two building rating systems. Part 1: Evaluation. *Engineering Sustainability*. 2008. Vol. 161. Iss. 1. P. 55–63.
 48. Feist W. Das kostengünstige Passivhaus – Projektbeschreibung . Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Protokollband № 1. Darmstadt, 1996. S. 9–21.
 49. Gabriel M.A. Visions for a Sustainable Energy Future. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2008, 252 p.
 50. Green Noise Barriers. RAU Lärmschutzwände Geosystem GBK GmbH. URL: <https://rau.de/en/noise-protection-by-the-roadside/>.
 51. Guidelines on Design of Noise Barriers. Environmental Protection Department. Highways Department. Government of the Hong Kong SAR. Third Issue, December 2022. 60 p.
 52. Gupta, H., Roy, S. Geothermal Energy : An Alternative Resource for the 21st Century. Amsterdam, the Netherlands : Elsevier. 2007, 280 p.
 53. Hordeski, M. Megatrends for Energy Efficiency and Renewable Energy. Lilburn, GA : Fairmont Press. 2011, 305 p.
 54. Huss A., Spoerri A., Egger M., Roeoesli M., for the Swiss National Cohort Study Group. Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction. *Epidemiology*. 2010. № 21(6). P.829–36.
 55. Krombacher Brewery, Krombach, Germany. URL: <https://www.reckli.com/en/showroom/reference/krombacher-brewery-krombach-germany>.
 56. Mateus R., Bragança L. Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT–H. *Building and Environment*. 2011. Vol. 46. P. 1962–1971.
 57. Meadows D. H., Randers J., Meadows D. L. Limits to Growth. The 30-Year Update. London : Earthscan, 2006.

58. Mercier, A., DuBois, E. Energy Recovery. New York : Nova Science Publishers. 2009, 329 p.
59. Noise and sound insulation – a green infrastructure service in the urban realm. URL: <https://livingroofs.org/noise-sound-insulation/>.
60. Noise protection for today, tomorrow and the future. URL: <https://climatewall.com/en-us/products/climatewall/>.
61. Noise reduction: Moss Walls vs Acoustic Panels. URL: https://www.benholm.com/academic-research/noise-reduction-moss-walls-vs-acoustic-panels/?utm_source=chatgpt.com
62. Planting of noise barriers. URL <https://www.ecotec-wall.de/en/noise-barriers/planting-plant-noise-barriers/>.
63. Ragnarsdottir K. V., Sverdrup H. U., Koca D. Assessing long term sustainability of global supply of natural resources and materials, Chapter Number X, In; Sustainable Development. 2011. P.20-46.
64. Schulz P. Nemecek, J. Buildings and the Environment. In Environmental Science, Engineering and Technology Series. New York : Nova Science Publishers. 2009, 309 p.
65. Sinha A., Gupta R., Kutnar A. Sustainable development and green buildings. Drvna Industrija. 2013. Vol. 64 (1). P. 45-53.
66. Sioros D. Building for the 21st Century : Energy and the Environment. Fairmont Press. 2000, 477 p.
67. Thakre C., Bisarya A., Laxmi V., Kalawapudi K., Vijay R., An innovative design and development of noise barrier with newly composite mix of acoustic panel, *Journal of Environmental Management*, 2024. Vol. 361. 121276.
68. Climate Wall: the Green Noise Barrier by RAU. URL: <https://rau.de/en/produkt/climatewall/>.
69. What are Acoustic Moss Wall Panels? URL: https://www.quietearthmoss.com/preserved-moss-walls/acoustic-moss-wall-panels/?utm_source=chatgpt.com
70. Womack J. P., Jones D. T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 2nd ed. New York : Free Press, Riverside, 2010.

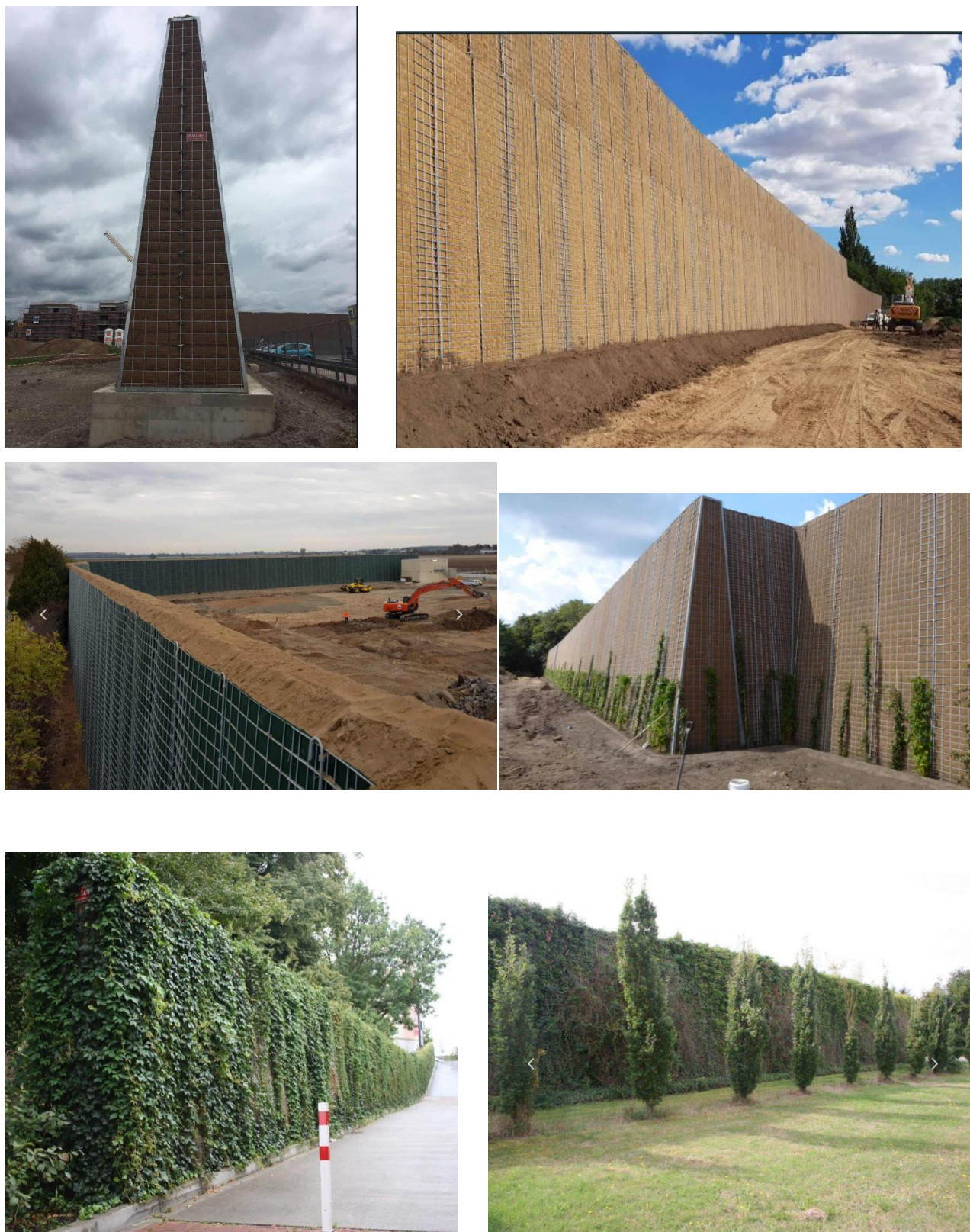


Рис. А.1. Етапи монтажу та експлуатації біопозитивного шумозахисного екрану