

Хмельницький національний університет
Гуманітарно-педагогічний факультет
Кафедра екології та біологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
здобувача першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ШУМОВОГО
НАВАНТАЖЕННЯ В УРБОЕКОСИСТЕМІ
МІСТА КАМ'ЯНЦЯ-ПОДІЛЬСЬКОГО

Галузь знань – 10 «Природничі науки»
Спеціальність – 101 «Екологія»

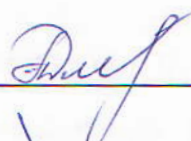
КРЕКОЛ. 022051.01.02.00

Виконала: здобувачка 5 курсу
групи ЕКОЛз -20-1



Анастасія СЛОБОДЯН

Керівник



Андрій ДЯЧУК

Нормоконтролер



Сергій ШЕВЧЕНКО

До захисту допускаю:
Зав. кафедри екології та
біологічної освіти



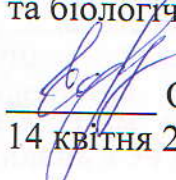
Ольга СФРЕМОВА

18 бересня 2025 р.

Хмельницький 2025

Факультет – Гуманітарно-педагогічний
Кафедра – Екології та біологічної освіти
Освітній рівень – перший (бакалаврський)
Галузь знань – 10 «Природничі науки»
Спеціальність – 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма – «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри екології
та біологічної освіти


Ольга ЄФРЕМОВА

14 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Слободян Анастасії Олегівні

1. Тема роботи: «Розробка рекомендацій щодо зменшення шумового навантаження в урбоекосистемі міста Кам'янця-Подільського».
керівник роботи Дячук Андрій Олександрович, кандидат педагогічних наук, доцент.
Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23.
2. Строк подання здобувачем роботи на кафедру 12.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: наукові статті, відомості про Кам'янець-Подільський, статистичні дані, експериментальні дослідження, звіти Департаменту природних ресурсів та екології Хмельницької обласної державної адміністрації
4. Зміст кваліфікаційної роботи: 1. Теоретичні основи вивчення шумового навантаження в урбоекосистемах. 2. Аналіз стану шумового забруднення в місті Кам'янці-Подільському. 3. Шляхи та рекомендації щодо зменшення шумового забруднення.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка
1	Теоретичні основи вивчення шумового навантаження в урбоекосистемах	12.05-17.05.2025	виконано
2	Аналіз стану шумового забруднення в місті Кам'янці-Подільському	18.05-26.05.2025	виконано
3	Шляхи та рекомендації щодо зменшення шумового забруднення	27.05-02.06.2025	виконано
4	Оформлення роботи	03.06-12.06.2025	виконано

Дата видачі завдання:

12.05.2025 р.

Здобувачка



Анастасія СЛОБОДЯН

Керівник



Андрій ДЯЧУК

АНОТАЦІЯ

Тема – «Розробка рекомендацій щодо зменшення шумового навантаження в урбоекосистемі міста Кам'янця-подільського».

Автор – здобувачка освіти групи ЕКОЛз-20-1 А.О. Слободян.

Керівник – к.пед.н., доцент А.О. Дячук.

Кваліфікаційна робота викладена на 55 сторінках, містить 2 таблиці, 13 рисунків та перелік джерел посилань з 34 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ШУМ, ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ЗАХИСТ.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано основні джерела шуму в урбосистемі міста, вивчено досвід зменшення шумового забруднення. Розроблено програму оцінки рівня шуму у місті Кам'янці-Подільському, проведено інструментальні вимірювання та опрацьовано отримані дані. Запропоновано ряд рекомендацій для зменшення шумового забруднення на прикладі міста Кам'янця -Подільського.

11.06.2025 р.

Анастасія СЛОБОДЯН

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	5
1 Теоретичні основи вивчення шумового навантаження в урбоекосистемах	8
1.1 Джерела шуму в міському середовищі.....	8
1.2 Шум як екологічний та гігієнічний чинник впливу на населення та урбобіоту.....	14
1.3 Міжнародний і національний досвід зменшення шумового забруднення.....	19
2 Аналіз стану шумового забруднення в місті Кам'янці-Подільському...	23
2.1 Програма та методи дослідження урбосистеми.....	23
2.2 Визначення та оцінка шумового забруднення території міста.....	36
3 Шляхи та рекомендації щодо зменшення шумового забруднення.....	40
3.1 Архітектурно-планувальні заходи	40
3.2 Рекомендації зниження шумового забруднення заходами озеленення.....	44
Висновки	50
Перелік джерел посилань	53

ВСТУП

Шум є невід'ємним компонентом життєдіяльності сучасної людини, але його надмірна присутність у міському середовищі призводить до ряду серйозних наслідків – від зниження якості життя до виникнення патологічних станів організму. У мегаполісах та середніх містах значні площі зазнають хронічного акустичного перевантаження. Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 30 % міського населення країн Європи постійно піддається дії рівнів шуму, що перевищують допустимі нормативи. В Україні проблема шумового забруднення довгий час залишалася поза увагою широкого громадського обговорення, проте в останні роки вона все активніше досліджується в межах екологічної політики, урбаністичних стратегій і медико-біологічних досліджень.

Шумове навантаження в місті є багатофакторним явищем. Воно формується під впливом транспортної інфраструктури, промислових об'єктів, комунально-побутових джерел, об'єктів дозвілля, а також поведінкових звичок міського населення. Накопичення та поширення шуму в урбоекосистемах залежить від просторової організації міського середовища, щільності забудови, характеру дорожнього покриття, наявності зелених насаджень, мікрокліматичних умов та інших факторів. Проблема ускладнюється ще й тим, що шум, як фізичне явище, не має запаху чи видимого забарвлення, проте тривала дія навіть на субпороговому рівні може спричинити глибокі фізіологічні й психоемоційні порушення.

Наукові дослідження підтверджують, що тривала дія шуму може призводити до виникнення серцево-судинних захворювань, гіпертонії, порушень сну, зниження когнітивних функцій, стресових реакцій, а також підвищення загальної захворюваності населення.

У зв'язку з вищезазначеним особливої актуальності набуває необхідність вивчення механізмів утворення шуму, його поширення в урбанізованому середовищі, впливу на різні компоненти урбоекосистеми, а також аналізу дієвих

методів регулювання цього виду забруднення. У європейських країнах вже впроваджено низку пілотних проєктів, спрямованих на створення так званих «тихих зон», розвиток акустичного планування, використання шумопоглинаючих матеріалів у будівництві та застосування спеціального зеленого озеленення як акустичного буфера.

У цьому контексті Кам'янець-Подільський є надзвичайно цікавим об'єктом дослідження. Місто Кам'янець-Подільський, як і більшість українських міст, не має комплексної системи моніторингу шуму, а питання акустичного комфорту залишається маловивченим. Вивчення джерел шуму, його впливу на жителів міста, а також напрацювання практичних рекомендацій щодо оптимізації акустичного середовища є важливими кроками до створення збалансованої та здорової урбоекосистеми.

Метою даної кваліфікаційної роботи є комплексне дослідження шумового навантаження в умовах урбанізованої території, зокрема – в місті Кам'янець-Подільський, з ідентифікацією основних джерел шуму, аналізом впливу акустичних факторів на стан здоров'я та добробут населення, а також формулюванням практичних заходів і стратегій зменшення шумового забруднення.

Для досягнення поставленої мети передбачається реалізація наступних завдань дослідження:

- проаналізувати теоретичні засади шумового навантаження в урбаністичному середовищі;
- класифікувати основні джерела шуму в межах урбоекосистем;
- охарактеризувати шум як екологічний та соціальний чинник впливу;
- розглянути міжнародні та національні підходи до боротьби з шумовим забрудненням;
- здійснити оцінку джерел шуму в місті Кам'янець-Подільський;
- запропонувати рекомендації щодо просторового планування з урахуванням акустичного фактора.

Об'єктом дослідження є урбоекосистема міста Кам'янець-Подільський.

Предметом дослідження виступає шумове навантаження та його вплив на населення, урбаністичні структури і стан довкілля.

Методи дослідження, що використовувалися в роботі, включають системний аналіз наукової літератури, статистичної обробки даних, а також порівняльний аналіз національних і міжнародних практик регулювання шуму.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до аналізу шумового навантаження в умовах середнього міста України з урахуванням екологічного, гігієнічного та планувального аспектів, що дозволяє адаптувати досвід зарубіжних міст до українських реалій.

Практичне значення результатів роботи полягає у можливості їх використання під час розробки стратегій сталого розвитку міста, оптимізації акустичного середовища, підготовки міських екологічних програм і реалізації принципів акустично орієнтованого просторового планування.

Апробація результатів дипломної роботи: окремі її частини дослідження та одержані узагальнення були висвітлені в матеріалах щорічної Студентської науково-практичної конференції за підсумками науково-дослідної роботи студентів кафедри екології та біологічної освіти (05 червня 2025 року, м. Хмельницький).

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В УРБООКОСИСТЕМАХ

1.1 Джерела шуму в міському середовищі

Інтенсивний ритм сучасного життя в межах урбанізованих територій супроводжується суттєвим підвищенням рівня шумового забруднення міського середовища. Порушення природної рівноваги у взаємодії між людиною та довкіллям провокує зростання психофізіологічного напруження, оскільки шум, як форма небажаного акустичного впливу, чинить шкідливу дію на організм людини, знижуючи якість її життя. Незважаючи на те, що шум традиційно залишається недостатньо врахованим чинником у плануванні міського розвитку, він набуває особливої ваги при комплексній оцінці стану навколишнього природного середовища, а також при дослідженні впливу на здоров'я населення та загальне соціальне благополуччя мешканців міських агломерацій.

Акустичне навантаження, що формується джерелами міського середовища, охоплює широкий діапазон частот, притаманний людському слуху. Водночас цей шум характеризується неоднорідним розподілом звукового тиску за спектральними параметрами та варіативною часовою структурою. З огляду на це, для класифікації міського шуму використовуються як частотні характеристики (низькочастотний – до 300 Гц, середньочастотний – до 800 Гц, високочастотний – понад 1000 Гц), так і темпоральні ознаки, що поділяють його на сталі та несталі акустичні впливи [1].

До стійких джерел шуму належать насамперед інженерно-технічні системи, які функціонують безперервно в межах промислової або комунальної інфраструктури:

- вентиляційні установки,
- насосне та компресорне обладнання,
- градирні, повітрорудувки,
- трансформаторні підстанції,
- випробувальні стенди та вентиляційні комплекси.

Такі установки генерують акустичний тиск стабільної інтенсивності й частотної структури [2].

Натомість несталі джерела шуму формуються внаслідок дії транспорту – автомобільного, залізничного та авіаційного, а також періодично активних технічних пристроїв, які не функціонують постійно, але мають виражений вплив на звуковий фон міського середовища (рисунок 1.1).

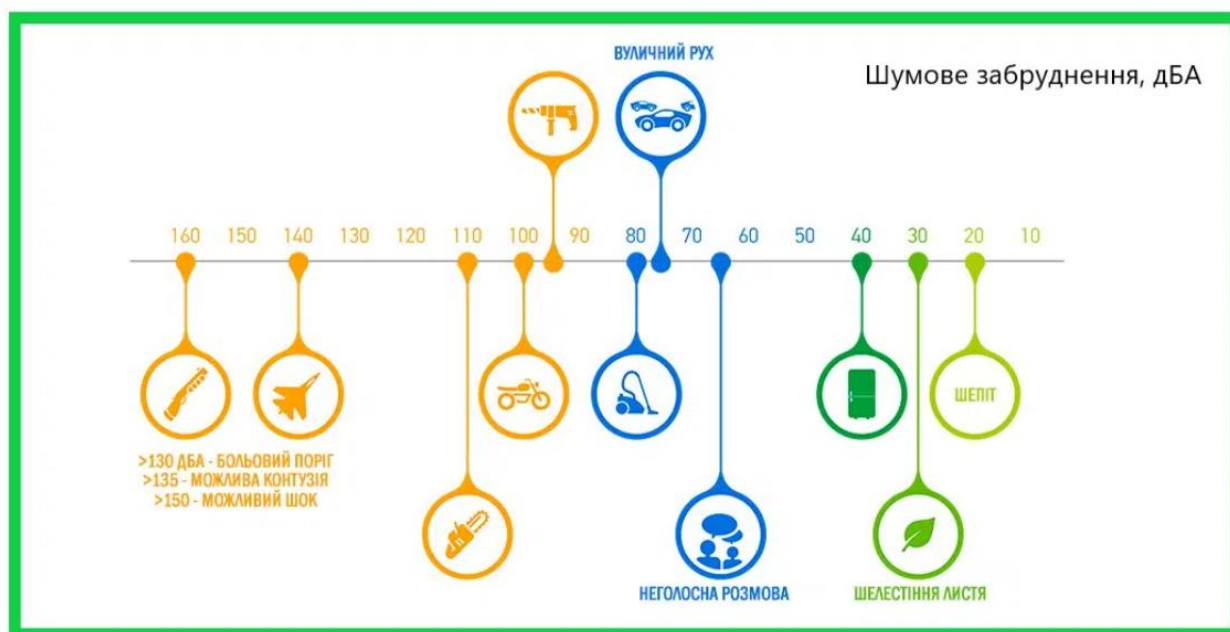


Рисунок 1.1 – Джерела шуму характерні для урбанізованих територій

Серед стаціонарних джерел найвищої інтенсивності домінують саме промислові підприємства, які чинять систематичне й масштабне акустичне навантаження на навколишнє середовище міста [3].

У межах промислових підприємств основними джерелами шумового забруднення виступають механічні, аеродинамічні, газодинамічні, гідродинамічні та електромагнітні процеси, які, як правило, мають нестационарний характер. Їх визначальною особливістю є пульсації швидкостей руху середовищ, а також інтенсивні вібраційні коливання, що генерують акустичні поля різної частотності та амплітуди. До загального шумового фону промислових територій додається також акустичний вплив, що виникає під час виконання вантажно-розвантажувальних і транспортних операцій як на території промислових майданчиків, так і на прилеглих під'їзних шляхах.

На сучасному етапі розвитку технічних наук розроблено науково обґрунтовані методики розрахунку акустичних характеристик основного технологічного обладнання та інженерних комунікацій промислових об'єктів. Крім того, створено галузеві кадастри, які охоплюють типові джерела шуму, та впроваджено нормативні документи, що регламентують допустимі рівні акустичних впливів на довкілля.

У контексті взаємодії з міською забудовою промислові підприємства розглядаються як просторово протяжні акустичні джерела, оцінка впливу яких здійснюється з урахуванням їх зовнішнього шумового випромінювання. Польові (натурні) вимірювання параметрів акустичного режиму дозволяють не лише отримати кількісну оцінку рівнів шуму на межі промислових об'єктів, а й сформуванати галузеву класифікацію підприємств за інтенсивністю їх акустичного впливу, а також встановити орієнтовні межі зон акустичного дискомфорту в прилеглих житлових районах або на вільних від забудови територіях.

Особливістю промислового шуму є його тривала дія, яка часто носить постійний або імпульсний характер і спостерігається як у денний, так і в нічний час, що зумовлює його підвищену екологічну небезпеку та необхідність вжиття ефективних заходів акустичного захисту [2, 4].

Інтенсивне зростання рівня автомобілізації в сучасних урбанізованих просторах, розширення вантажопотоків, активний розвиток громадського транспорту, а також збільшення масштабів інфраструктури для зберігання та обслуговування транспортних засобів спричинили просторову концентрацію різних типів транспорту в межах ключових транспортних вузлів міської морфології. Унаслідок цього в зазначених зонах спостерігається істотне підвищення рівнів акустичного навантаження, що формує зони стабільного шумового дискомфорту [5].

Зазначені джерела шуму мають просторово-дискретний характер, подібний до промислових об'єктів, тому їхня інформаційна модель вибудовується за аналогічними принципами: із диференціацією за видами транспорту, часовими параметрами експлуатації, кількісними характеристиками

транспортного потоку, а також із урахуванням впливу стаціонарних технічних систем, задіяних у забезпеченні транспортного функціонування.

У межах житлової забудови акустичне навантаження формується також за рахунок об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, що забезпечують функціонування комунальної техніки, а також за рахунок закладів культурно-побутового призначення, зон відпочинку, спортивних майданчиків і операцій технічного обслуговування на територіях громадського користування. Характерною рисою шуму, що створюється такими об'єктами, є його епізодичність та переривчастість, зумовлена циклічним режимом роботи механізмів і систем [2, 5].

При здійсненні комплексної оцінки акустичного режиму міського середовища комунально-побутове шумове навантаження розглядається як фоновий рівень, що накладається на загальну картину акустичного впливу. Попри множинність джерел, найпотужнішим і стабільним чинником погіршення акустичного комфорту в урбанізованому просторі залишається автомобільний транспорт, який продовжує відігравати домінуючу роль серед антропогенних джерел шумового забруднення [3].

Завдяки високому рівню маневровості, мобільності, здатності забезпечувати оперативну доставку вантажів і пасажирів на різні відстані, а також загальнодоступності, комфорту поїздки та конкурентній швидкості перевезень, автомобільний транспорт протягом останніх десятиліть зберігає домінуючі позиції серед усіх видів транспортної інфраструктури. Сукупність цих характеристик зумовила стрімке зростання кількості автомобілів у межах урбанізованих територій.

Акустичне навантаження, спричинене міським автотранспортом, характеризується широким спектром звукових частот із домінуванням у межах від 400 Гц до 800 Гц, що відповідає низько- та середньочастотному діапазону. Типовим для такого шуму є поступове зниження звукового тиску приблизно на 5 дБ в кожній октаві, що свідчить про його енергоємність та глибоку проникність. Саме ці спектрально-часові особливості пояснюють суттєвий

рівень деструктивного впливу автотранспортного шуму на міське середовище та здоров'я населення [6].

Зростання рівня транспортного шуму в міському середовищі прямо корелює з особливостями організації дорожнього руху та технічними параметрами транспортних засобів: конструкцією й потужністю двигунів, вантажопідйомністю, швидкісними режимами, інтенсивністю транспортних потоків, станом дорожнього покриття, конфігурацією вулично-дорожньої мережі, зокрема наявністю ухилів і типом перехресть.

У структурі акустичного навантаження автотранспорт розглядається як джерело шуму з різною геометрією впливу: як точковий об'єкт – у випадку індивідуального транспортного засобу, або як лінійне чи переривчасте джерело – при аналізі руху транспортного потоку по вулицях з різною інтенсивністю.

Беручи до уваги безпосередню взаємодію автотранспорту з людьми у робочих і побутових умовах, а також високі рівні шуму, які створюються на магістральних вулицях, що становлять від 60 % до 70 % протяжності міської вуличної мережі й забезпечують до 90 % загального пробігу автомобілів, можна обґрунтовано вважати, що саме магістральні транспортні потоки є ключовим джерелом шумового забруднення в межах міста [7].

Рівень шуму, зумовлений рухом автомобільного транспорту, значною мірою визначається низкою техніко-експлуатаційних параметрів: конструктивними особливостями двигунів, потужністю силових агрегатів, вантажопідйомністю транспортних засобів, їх швидкісним режимом, інтенсивністю трафіку, характеристиками дорожнього полотна (включно з його технічним станом), ухилами вулично-дорожньої мережі та кількістю перехресть із різними рівнями руху.

В контексті міського середовища транспортні засоби розглядаються як різнотипні джерела шуму: точкові – при аналізі окремих автомобілів, та лінійні або переривчасті – у разі оцінки сукупного шуму, що створюється потоками транспорту на вуличних ділянках з різною інтенсивністю руху.

З огляду на тісну взаємодію міського автотранспорту з повсякденним життєвим простором мешканців, а також враховуючи, що саме транспортні потоки на магістральних вулицях генерують найбільш інтенсивні рівні шумового забруднення, можна стверджувати, що ці магістралі становлять головне джерело акустичного навантаження в межах урбанізованих територій. Зокрема, на них припадає до 70 % загальної довжини вуличної мережі та до 90 % сумарного пробігу міського автотранспорту, що лише підсилює їх значення в структурі шумового фону міста [2, 4, 7].

Однією зі складових частин транспортної мережі міста є всі види рейкового транспорту – трамвайні лінії, відкриті лінії метро, залізничні колії, а також підвісні монорейкові дороги.

Відомо, що за інтенсивною шумністю від залізничного транспорту займає проміжне значення між автомобільними та авіаційними шумами, проте за деякими джерелами залізничного шуму немає рівних.

Рівні шуму на територіях, розташованих уздовж рейкового шляху, залежать від типу транспортних одиниць швидкості та інтенсивності руху у двох напрямках, а також конструкції колійного підстави і його стану, поздовжніх ухилів і параметрів шляху.

Частка протяжності рейкових шляхів у загальній структурі транспортної мережі міст зазвичай невелика, проте високочастотна природа акустичної характеристики рейкового шуму і велика глибина зон його поширення диктує необхідність боротьби з ним в розряд першочергових.

Кожен з міських джерел спонукає поширення шуму на прилеглі території, а при своєму, спільному впливі, створюють шумове забруднення територій, яке залежить від умов поширення звуку в приземному шарі атмосфери [3, 5].

1.2 Шум як екологічний та гігієнічний чинник впливу на населення та урбобіоту

У сучасних умовах урбанізованого розвитку шумове забруднення посідає місце серед провідних екологічних проблем, нарівні з такими глобальними викликами, як забруднення атмосфери та гідросфери. Право людини на безпечне

та сприятливе довкілля вже закріплене в конституціях низки країн, що свідчить про визнання акустичного комфорту елементом фундаментальних прав людини. Проблематика шуму дедалі активніше включається в поле досліджень екологічної науки. Якщо раніше акценти були зосереджені переважно на хімічних, фізичних і біологічних чинниках впливу навколишнього середовища на людину, то нині зростає інтерес до вивчення психологічних та психофізіологічних аспектів цього впливу.

На цьому тлі формується нова міждисциплінарна галузь – акустична екологія, яка вивчає характеристики звукового середовища та його вплив на здоров'я, поведінку й емоційний стан людини. Згідно з сучасними екологічними концепціями, шум розглядається як чинник, що за рівнем загрози може бути співвіднесений із забрудненням повітря хімічними речовинами або іонізуючим випромінюванням. Доведено, що надмірний шум дестабілізує роботу фізіологічних систем організму та порушує адаптаційні механізми [8].

Незважаючи на поширену помилкову думку про здатність людини адаптуватися до постійного шумового тиску, численні наукові дослідження спростовують це уявлення. Звикання до шуму є неможливим як на фізіологічному, так і на біохімічному рівнях. Особливо несприятливою для організму є дія звуків високої частоти та шуму інтенсивністю понад 80 дБА, який чинить безпосередній шкідливий вплив на центральну нервову систему, серцево-судинну систему та психоемоційний стан людини.

З огляду на вищезазначене, боротьба з шумовим забрудненням набуває особливого значення в системі пріоритетів міжнародних природоохоронних інституцій, які формують політику зниження акустичного навантаження на міське середовище.

Вплив шумового навантаження на людський організм є багатофакторним і визначається спектром частот, рівнем інтенсивності звуку, тривалістю експозиції, віддаленістю від джерела шуму, його геометричними параметрами, а також індивідуальними фізіологічними та психофізичними особливостями людини. Сприйняття шуму має суто суб'єктивний характер і варіюється залежно від віку (найбільша аудіочутливість реєструється у підлітковому віці –

приблизно від 14 років до 19 років), психоемоційного типу особистості, стану здоров'я, а також загального рівня акустичного комфорту довкілля [].

Однією з характерних реакцій організму на шумове навантаження є залучення слухового аналізатора, що спричиняє фізіологічний механізм адаптації. Цей механізм реалізується у вигляді зниження чутливості слухових рецепторів до постійного або надмірного звукового подразника, що виконує захисну функцію. Як правило, така адаптація призводить до тимчасового зниження слухової чутливості на 5 дБ або 10 дБ, що дозволяє організму певною мірою компенсувати вплив несприятливого звукового середовища.

Тривалий вплив звукових коливань високої інтенсивності може призводити до розвитку явища, відомого як слухова втома, в основі якого лежать реакції центральної нервової системи. Цей стан характеризується тимчасовим зниженням слухової чутливості, що часто спостерігається, зокрема, після перебування в умовах потужного авіаційного шуму [5].

Надмірний рівень гучності здатен спричиняти серйозні порушення функціонального стану слухового апарату. До таких патологічних наслідків належать тинітус (суб'єктивне відчуття шуму або дзвону у вухах без наявного зовнішнього звукового стимулу), прогресуюча туговухість, а також інші слухові дисфункції. Тинітус може бути спричинений низкою чинників, зокрема судинними порушеннями, фармакологічними ускладненнями, патологіями внутрішніх органів та психоемоційним перенапруженням, проте найпоширенішим етіологічним фактором залишається саме інтенсивний акустичний вплив. Він ушкоджує елементи периферичного слухового аналізатора, особливо чутливі волоскові клітини в завитці внутрішнього вуха.

Хронічне піддавання впливу шуму, рівень якого перевищує безпечні санітарно-гігієнічні норми, може поступово призводити до незворотної втрати слуху. Зниження слухової функції зумовлене дегенеративними змінами у волоскових клітинах, які відповідають за трансформацію механічних звукових коливань у нервові імпульси. Внаслідок тривалого акустичного перевантаження ці клітини гинуть, не підлягаючи регенерації, що зумовлює розвиток перманентної глухоти.

Особливу увагу лікарі акцентують на впливі навіть незначного рівня шуму у періоди відпочинку, зокрема під час нічного сну, коли організм має здійснювати повноцінне відновлення функціональних резервів. У зв'язку з цим, на законодавчому рівні в Україні, як і в низці інших країн, передбачено обмеження шумового впливу в нічний час – з 23:00 год до 7:00 год. Згідно з чинними нормативами, допустимий рівень шуму у цей період не повинен перевищувати 45 дБ у зовнішньому середовищі, а в межах житлових приміщень – коливається в діапазоні від 30 дБ до 40 дБ [6].

Суттєвим аспектом впливу шумового забруднення є те, що навіть при тривалому впливі звукових подразників незначної інтенсивності в організмі людини можуть відбуватися істотні зміни, зокрема у функціонуванні центральної нервової системи. Такі зміни зумовлені порушенням нормальної активності нейронів головного мозку, що виникає внаслідок поширення збудження від слухового аналізатора на інші ділянки кори та підкіркових структур. Акустичне подразнення також може викликати активацію ділянок мозку, відповідальних за регуляцію ендокринної системи та біологічних ритмів.

Цей вплив реалізується через зміни у частоті серцевих скорочень, дихальній активності, артеріальному тиску, біохімічному складі крові та реакції зіниць. Зокрема, довготривала дія шуму може стати провокуючим фактором у розвитку гіпертонічної хвороби, патологій травної системи, зокрема виразкової хвороби шлунка та дванадцятипалої кишки. При надзвичайно високих рівнях звукового тиску (понад 120 дБ), характерних, наприклад, для шуму реактивної авіації, спостерігається подразнення вестибулярного апарату, що може викликати запаморочення та порушення координації рухів [2, 10, 11].

Відповідно до аналітичних звітів Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), шумовий вплив розглядається як фактор, що відволікає увагу та перешкоджає повноцінному сприйняттю мовної інформації. Це, у свою чергу, може негативно позначатися на когнітивній продуктивності, ускладнюючи процеси переробки, зберігання та відтворення інформації. Окрім того, фоновий шум здатен дестабілізувати психофізіологічний стан людини, знижуючи

загальний рівень працездатності та сприяючи виникненню тривожних і стресових реакцій.

Акустичне навантаження, що діє на організм людини, може спричиняти формування стійких вогнищ збудження або гальмування у корі головного мозку, що, у свою чергу, негативно позначається на функціонуванні вищої нервової діяльності. Такі зміни супроводжуються зниженням загальної працездатності, зокрема інтелектуальної, зменшенням концентрації уваги, збільшенням частоти помилкових дій, а також можуть слугувати пусковим механізмом у розвитку певних соматичних або психосоматичних захворювань.

Найбільш уразливими до впливу надмірного шуму вважаються діти та особи похилого віку. Зокрема, учні, які перебувають у навчальному середовищі з фоновим шумовим навантаженням понад 45 дБ, можуть демонструвати зниження слухової чутливості внаслідок функціонального виснаження слухового аналізатора, порушення діяльності вегетативної нервової системи, підвищену втомлюваність та головний біль. У таких умовах суттєво зменшується здатність до зосередження та сприйняття інформації [2, 8].

Епідеміологічні дослідження вказують на те, що загальний рівень захворюваності населення в умовах постійного шумового фону може зростати приблизно на 15 %. При цьому кожне перевищення допустимого рівня шуму на 10 дБ корелює зі збільшенням показників захворюваності до 1,3 разів. Окрім того, наявність надлишкового акустичного фону негативно впливає на продуктивність праці, знижуючи її ефективність [9, 12].

Шум, як одна з форм антропогенного фізичного забруднення, чинить суттєвий вплив не лише на людину, а й на інші біологічні компоненти міського середовища. Попри те, що вплив шуму на урбобіоту ще не набув такого широкого наукового розголосу, як його дія на здоров'я людини, низка досліджень доводить наявність значного деструктивного потенціалу цього чинника для тварин, птахів, комах і навіть деяких рослин.

Більшість видів тварин, що мешкають у містах, мають розвинені акустичні системи комунікації, зокрема для орієнтації в просторі, пошуку їжі, вибору партнера та сигналізації про небезпеку. Надмірний або постійний міський шум

(наприклад, транспортний, індустриальний, побутовий) перешкоджає цим сигналам, що призводить до порушення біологічних ритмів і комунікативної поведінки. Деякі види змушені змінювати частотний діапазон або гучність своїх звуків, щоб їхні сигнали не зливалися з фоновим шумом, що, у свою чергу, може зменшувати ефективність комунікації або спонукати до зміни ареалу.

Особливо вразливими до шумового стресу є птахи, які орієнтуються в просторі за допомогою звукових сигналів. У міських популяціях деяких видів спостерігається зменшення чисельності, затримка в періодах гніздування або зниження репродуктивного успіху. Дослідження в Європі та США показують, що у птахів, які гніздяться поблизу автострад або жвавих міських вулиць, підвищується рівень кортикостероїдів – гормонів стресу, що негативно впливають на імунну систему й поведінку [10, 11].

Ссавці, особливо дрібні (гризуни, кажани), також чутливі до шумового фону. Наприклад, кажани, які використовують ехолокацію, зазнають труднощів при орієнтації у просторі через перешкоди від шуму, що може впливати на їхню здатність до полювання та навігації. Порушення нормальної поведінки через шум можуть сприяти зміні популяційної структури, витісненню одних видів іншими, менш чутливими, а також спотворенню природного балансу екосистеми.

Шумовий стрес впливає також на інші елементи урбобіоти, зокрема комах. Наприклад, у джмелів і бджіл спостерігається зниження активності запилення в умовах високого шумового навантаження, що опосередковано впливає на рослинні компоненти екосистеми. Порушення зв'язків між видами, зменшення кількості запилювачів або зміна структури взаємодій у харчових ланцюгах призводить до зниження екологічної стійкості міських біоценозів [8, 11].

Хоча рослини не мають слухових органів, дослідження вказують на непрямий вплив шуму й на них. Наприклад, зниження чисельності запилювачів, змінені поведінка тварин, що поширюють насіння, або пригнічення росту мікроорганізмів у ґрунті можуть впливати на динаміку рослинних угруповань. Також в умовах високого шумового навантаження зменшується ефективність зелених насаджень як природних фільтрів – шум заважає виконанню їхніх

екосистемних функцій у повному обсязі, особливо в умовах стресу від інших факторів забруднення.

Загалом вплив шуму на урбобіоту є комплексним, системним і потенційно деструктивним. Порушення природних комунікативних, трофічних та поведінкових зв'язків знижує рівень біорізноманіття в містах, впливає на екологічну рівновагу та може мати довготривалі наслідки. Таким чином, шум повинен розглядатися не лише як фактор, що впливає на комфорт людини, а й як суттєвий компонент екологічного навантаження, який визначає загальний стан і функціонування урбоекосистем.

1.3 Міжнародний і національний досвід зменшення шумового забруднення

У сучасному світі питання акустичної безпеки посідає одне з ключових місць у сфері охорони навколишнього середовища, оскільки шумове забруднення стало стійким чинником, що негативно впливає на здоров'я населення, якість життя та функціонування урбанізованих територій. У відповідь на загострення цієї проблеми в багатьох країнах світу сформувалися комплексні підходи до її подолання, які включають як нормативно-правове регулювання, так і практичне впровадження інженерно-технічних та планувальних заходів.

На міжнародному рівні значний вклад у розвиток стратегій боротьби з надмірним шумом зробила Європейська комісія. Прийняття Директиви 2002/49/ЄС щодо оцінки та управління рівнями шуму в навколишньому середовищі стало основою для розробки національних програм у державах-членах Європейського Союзу. Згідно з цим документом, муніципалітети зобов'язані здійснювати регулярне картографування акустичних умов та розробляти плани дій щодо зниження впливу шуму, особливо в районах із підвищеним антропогенним навантаженням. Акцент робиться на профілактиці, а також на охороні зон, де рівень акустичного забруднення є порівняно низьким [11, 13].

У європейській практиці важливу роль відіграє також інтеграція питань акустичного захисту в містобудівну політику. Зокрема, при плануванні нових

житлових масивів, транспортної інфраструктури чи промислових зон враховується можливий акустичний вплив, що дозволяє уникнути перевищення нормативних показників шуму на етапі реалізації проєктів. Водночас застосовуються різноманітні шумозахисні конструкції, акустичне озеленення, впровадження технологій зниженої гучності на транспорті тощо [9].

У світовій практиці варто звернути увагу на досвід Японії, де державна політика у сфері зниження шуму має глибоко інтегрований характер. Завдяки високому рівню урбанізації та техногенного навантаження, країна реалізує комплексні програми моніторингу, які поєднують акустичні вимірювання з біомедичними дослідженнями впливу шуму на людину. Акцент робиться не лише на технічних аспектах, а й на інформаційній роботі з населенням, залученні громадськості до вирішення питань міського шуму, що підвищує ефективність впроваджуваних заходів.

Україна також поступово адаптує європейський досвід у боротьбі з шумовим забрудненням, зокрема шляхом гармонізації національного законодавства з відповідними положеннями ЄС. Згідно із Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» та іншими нормативними актами, передбачено необхідність регулювання шумових навантажень, визначення допустимих рівнів акустичного впливу та здійснення контролю за їх дотриманням. Водночас національна практика поки що стикається з низкою проблем – відсутністю ефективного моніторингу, застарілою технічною базою та обмеженим фінансуванням заходів зі зменшення шуму.

Однак у ряді українських міст уже реалізовано окремі пілотні проєкти, спрямовані на зниження шуму в громадських місцях, біля закладів освіти та охорони здоров'я. Впровадження шумозахисних екранів уздовж автомагістралей, заміна старого транспорту на менш шумний, обмеження швидкості у житлових зонах, розвиток зелених насаджень – усе це свідчить про формування вітчизняної моделі управління акустичним середовищем [8, 9, 12].

З інформаційних джерел відомі впроваджені пілотні проєкти в українських містах та регіонах, спрямованих на зниження рівня шумового забруднення в міських умовах (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Приклади реалізованих шумозахисних проєктів

Місто	Технологія	Результат та ефект
Львів	150 м шумозахисного екрану	зниження шуму, покращення умов у дитсадку
Полтавщина	від 1 100 м екранів до 12 000 м екранів вздовж автодороги	масова реалізація, масштабний захист територій
Рівне	доступні полікарбонатні екрани	ефективність та бюджетність
Франція	сенсорний контроль	інноваційний підхід для боротьби з шумом

Зокрема у 2017 році у Львові реалізовано перший пілотний проєкт із встановлення шумозахисного екрану уздовж вул. Липинського – з метою захистити гімназію «Відродження» та дитячий садок від дорожнього шуму. Екран завдовжки 150 м і висотою 3,5 м суттєво знизив рівень акустичного навантаження: діти почали краще спати й потенційно зменшили тривожність і стрес.

Цей проєкт був профінансований міським бюджетом, його вартість склала близько 800 000 грн. Додатково у Львові підтримується виробництво шумозахисних екранів НВП «ІМВО», що свідчить про локальну індустріалізацію цього напрям.

Прикладом зниження рівня шуму біля автомагістралі є облаштування на автодорозі М-03 «Київ–Харків» у селах Супрунівка та Решетилівка 1 100 метрів шумозахисних панелей (заввишки до 4 м), виготовлених в Україні. Роботи були виконані у співпраці Укравтодору та Світового банку в рамках програми дорожньої безпеки. Наступного етапу передбачає монтаж близько 12 000 погонних метрів екранів у Лубенському, Миргородському та Полтавському районах.

У Рівному почали використовувати бюджетні аналоги – шумозахисні екрани з полікарбонату, що виробляються приватним підприємством «ВестБуд».

Ці конструкції економічні, легкі, проте з ефективною звукопоглинальною здатністю. Їх встановлюють вздовж трас Київ – Чоп та Рівне – Луцьк, зокрема поряд із залізничними коліями. Загальна довжина вже змонтованих екранів перевищує 5 500 метрів

З зарубіжних проєктів варто виокремити досвід Франції. Так у містах Парижі та Ліоні тестують сенсорну мережу, що автоматично фіксує транспортний шум, ідентифікує транспортні засоби з перевищеним рівнем, а також включає камери для ідентифікації порушників. Система є частиною стратегії зниження шумового забруднення, поєднаної з потребою зниження швидкості і переходом на електричний транспорт [2, 6, 8, 12].

Таким чином, міжнародний і національний досвід засвідчує, що ефективна боротьба з шумовим забрудненням потребує міждисциплінарного підходу – поєднання правових, технічних, медичних та соціальних механізмів.

2 АНАЛІЗ СТАНУ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ В МІСТІ КАМ'ЯНЦІ-ПОДІЛЬСЬКОМУ

2.1 Програма та методи дослідження урбосистеми

Кам'янець-Подільський розташований у південно-західній частині Хмельницької області, на Подільській височині, за 101 км від обласного центру, Хмельницького, і приблизно 88 км від Чернівців. Місто займає площу близько 27,8 км². До складу Кам'янця-Подільського входять такі мікрорайони: Старе Місто, Руські Фільварки, Польські Фільварки, Біланівка, Новий План, Карвасари, Видрівка, Підзамче, селище Смирнова, Черемушки, селище цукрового заводу, селище Першотравневе, селище Жовтневе, Жовтневий масив (рисунок 2.1) [14].

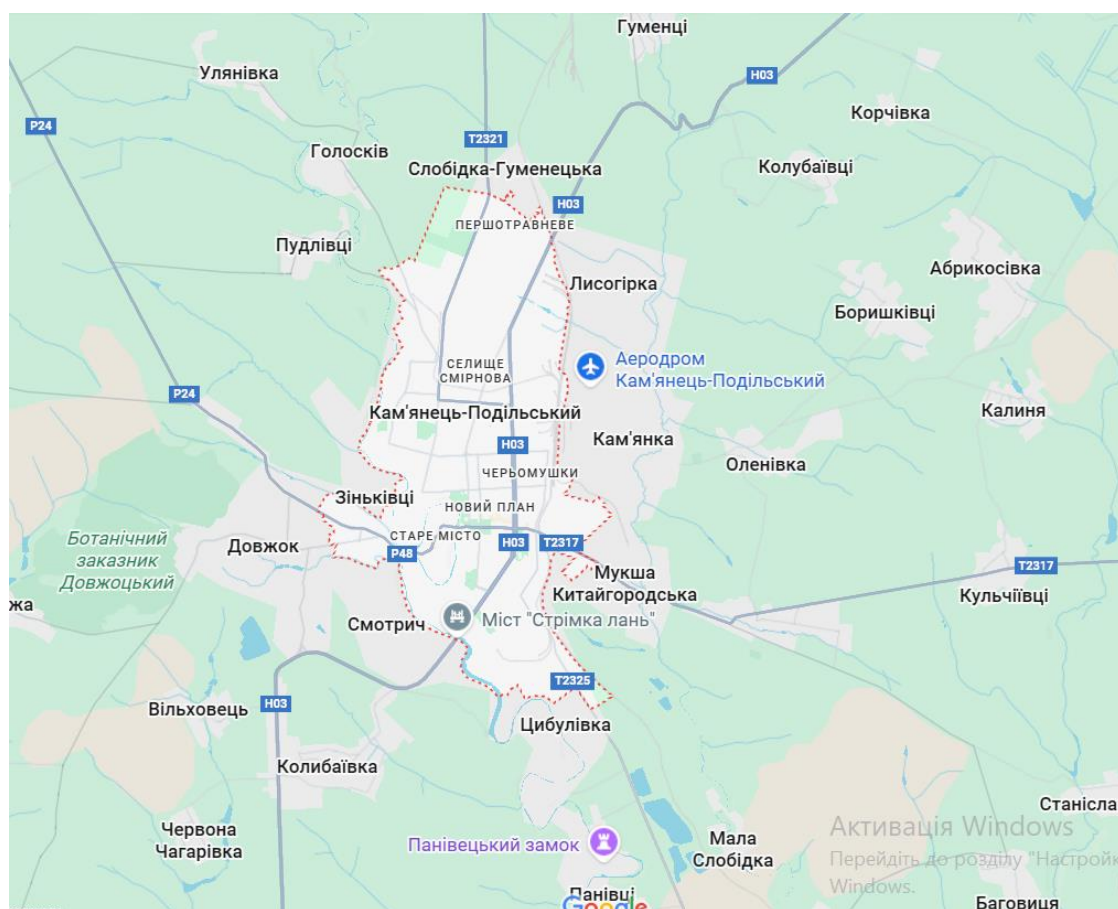


Рисунок 2.1 – Основні райони та історичні назви міста Кам'янця-Подільського

В межах адміністративної реформи місто стало центром Кам'янець-Подільської міської територіальної громади. Громада утворена 12 червня 2020 року шляхом об'єднання Кам'янець-Подільської міської ради обласного значення та Колибаївської і частини Довжоцької сільських територіальних громад Кам'янець-Подільського району. До складу громади входить адміністративний центр - місто Кам'янець-Подільський та 12 населених пунктів: Вільховець, Довжок, Зіньківці, Княгинин, Колибаївка, Лісківці, Нагоряни, Острівчани, Рихта, Смотрич, Ходорівці, Червона, Чагарівка (рисунок 2.2) [14].

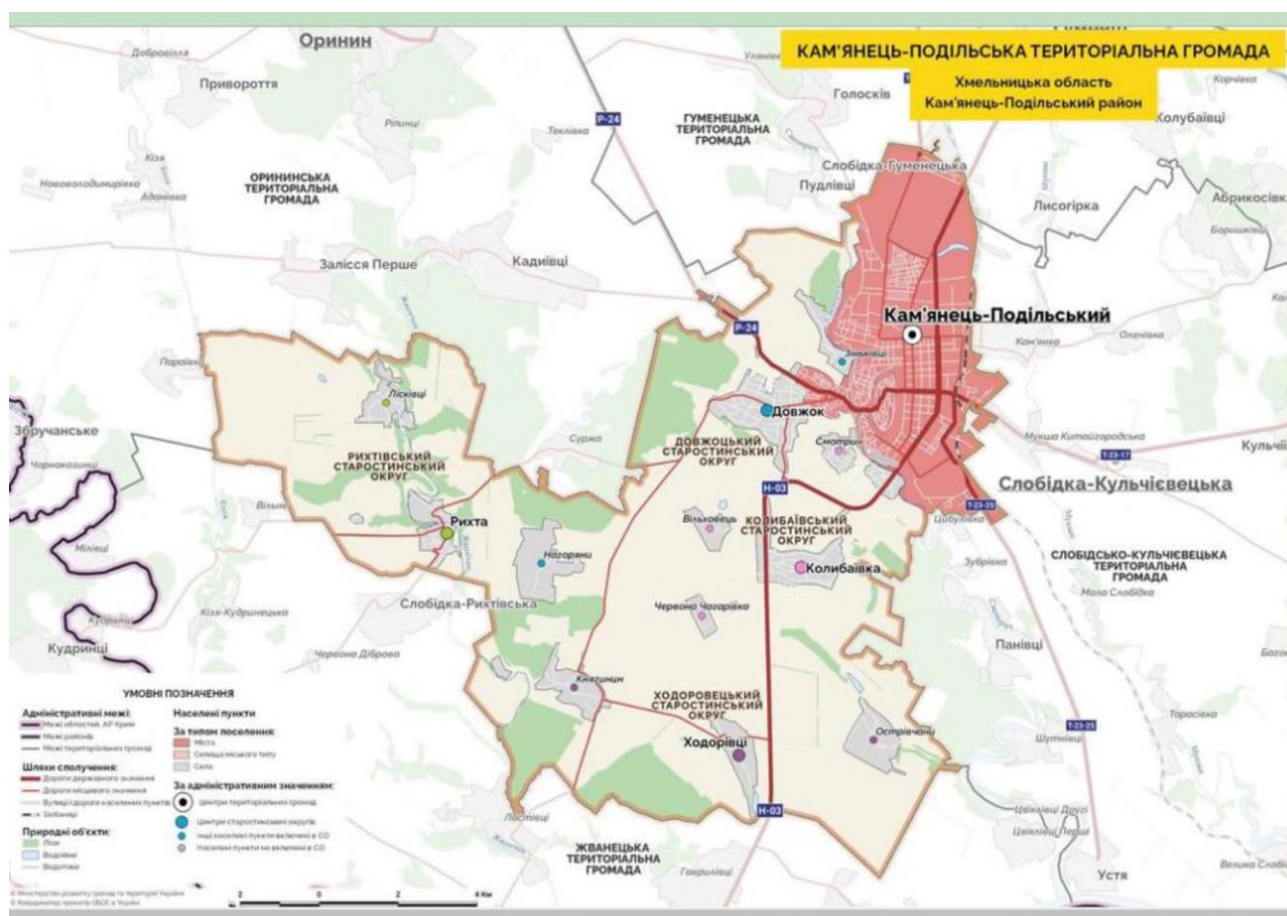


Рисунок 2.2 – Карта Кам'янець-Подільської міської територіальної громади

Площа громади становить 17 428,8 га. За функціональним використанням територія Кам'янець-Подільської МТГ поділяється на такі зони:

- селитебну (міська і сільська забудова);
- промислову;
- сільськогосподарську;
- лісгосподарську;

- рекреаційну (історико-архітектурні об'єкти, парки, сквери, зелені насадження загального користування, водойми);
- природоохоронну (об'єкти природно-заповідного фонду) [14, 15].

Населення громади становить близько 107,879 тис. осіб, у т. ч. міське населення – 96,896 тис. осіб, сільське населення – 10,983 тис. осіб.

Клімат громади помірно-континентальний з м'якою нестійкою зимою порівняно сухою весною (мало опадів в квітні місяці), дощовим літом та відносно сухою осінню. Проте в окремі роки буває зима багатосніжна та холодна, пізня весна і осінь дощова. Максимальна температура повітря влітку досягає до плюс 38 °С, а найнижча температура постає при надходженні в ці широти континентального арктичного повітря. Тоді абсолютний мінімум повітря досягає від мінус 31 °С до мінус 35 °С морозу. Середня температура повітря найтеплішого місяця (липня) плюс 19°С, а найхолоднішого (січня) – від мінус 5 °С до мінус 6°С. Середня річна температура від плюс 7 °С до плюс 8 °С. Середня річна кількість опадів становить від 510 мм до 580 мм [14].

Кліматичні умови регіону визначаються особливостями радіаційних та циркуляційних процесів помірно-континентального сектору атлантично-континентальної кліматичної області помірного поясу Східної Європи. Середня річна температура повітря плюс 7,8 °С. Добові та річні амплітуди температури свідчать про помірний ступінь континентальності клімату [15, 16].

На території Кам'янець-Подільської МТГ прояви зміни клімату зумовлені атмосферними явищами і процесами, зокрема, змінами середньомісячної та середньорічної температури повітря, її мінімальними та максимальними показниками, проявом кліматичних аномалій і екстремальних явищ погоди; змінами кількості опадів продовж всіх сезонів, і зокрема в зимовий період; водним режимом річок, проявом надмірної посухи.

Переважаючий напрямок вітрів змінюється за сезонами. Узимку домінують південно-східні вітри у літній період північно-західні. Протягом року їх тривалість близька до рівного значення (рисунок 2.3). Середня багаторічна швидкість вітру коливається від 3,0 м/с до 3,5 м/с, із підвищенням швидкості у зимовий період до 4,0 м/с. Максимальна швидкість від 10 м/с до 15 м/с [16, 17].

Вітер протягом року переважає західного та північно-західного напрямків. Сильні вітри (більше 10 м на секунду) спостерігаються рідко.

Місто Кам'янець-Подільський перекладається через глибокий Смотрич-каньйон за рівнем перепаду до 60 м, а річка Смотрич, огинаючи старе місто, створює мікрорайон на природному півострові. Середня висота над рівнем моря становить від 210 метрів до 360 метрів [14].

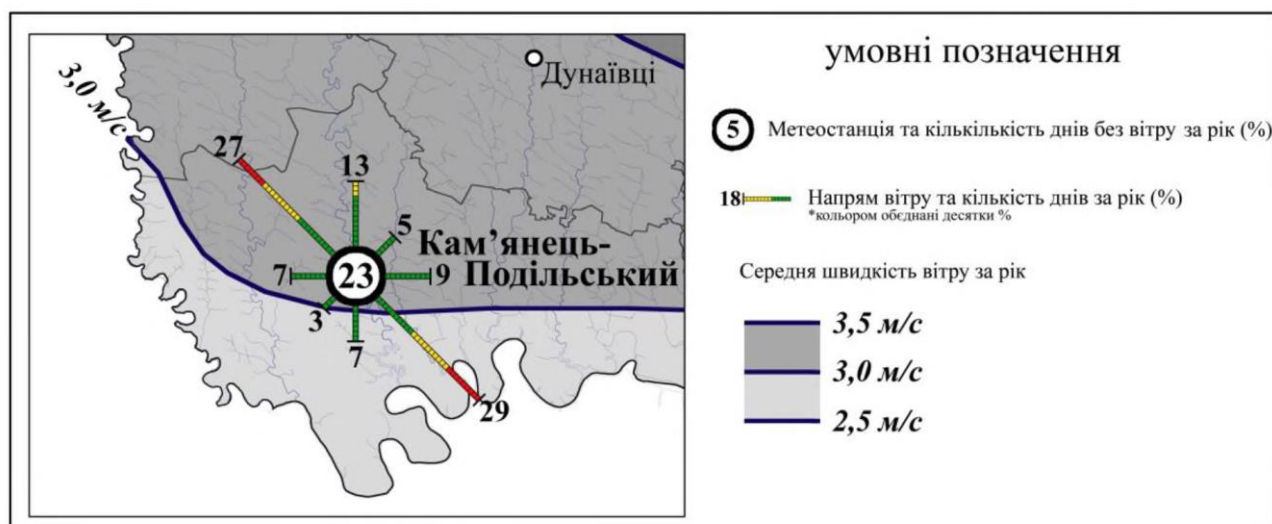


Рисунок 2.3 – Середні параметри переважаючих вітрів м. Кам'янець-Подільський [14]

Рельєф території – хвилястий, із значною висотною варіацією та специфічними акустичними властивостями, що впливають на поширення звуку (резонансні ефекти в каньйоні), створюючи контрасти між «спокійними» і «гучними» зонами залежно від розміщення джерел шуму.

Промисловий потенціал Кам'янець-Подільської міської територіальної громади представлений сукупністю 236 функціонуючих підприємств. У 2023 році ключові показники обсягів реалізації промислової продукції були забезпечені діяльністю 34 основних промислових суб'єктів господарювання, що охоплюють різні галузі: добувну промисловість і розроблення кар'єрів (1 підприємство, або 2,9 %), переробну промисловість (26 підприємств, або 76,5 %), а також підприємства, що спеціалізуються на виробництві, передачі та розподілі електроенергії, газу, пари, кондиційованого повітря, послугах з водопостачання, каналізації та управління відходами (7 одиниць, або 20,6 %).

У структурі переробної промисловості домінують підприємства, орієнтовані на виробництво готових металевих виробів, електротехнічного обладнання, машинобудування, автотранспортних засобів, а також причепів і напівпричепів. Такий профіль характерний для 18 підприємств із 26 підприємств цієї групи, що становить 69,2 % їх загальної кількості [14, 17].

За інформацією, наданою Головним управлінням статистики у Хмельницькій області, за період січень–вересень 2023 року обсяг реалізованої промислової продукції підприємствами, що входять до структури Кам'янець-Подільської МТГ, досяг 3 103 397,0 тис. грн. Порівняно з аналогічним періодом 2022 року, цей показник зріс на 28,8 %, що свідчить про позитивну динаміку розвитку промислового сектора громади [14].

Аналіз питомої ваги різних видів економічної діяльності в загальному обсязі реалізованої продукції демонструє переважаюче значення переробної промисловості, яка формує 88,4 % від загального показника. Частка підприємств, що займаються постачанням енергетичних ресурсів і кондиціонованого повітря, становить 8,5 %, сектор водопостачання та поводження з відходами – 3,0 %, тоді як на добувну промисловість і розробку кар'єрів припадає лише 0,1 %.

Серед підприємств переробної промисловості провідну роль відіграють виробники у сфері металургії, на яких припадає 55,0 % у структурі обсягів реалізованої продукції даної галузі, що свідчить про її стратегічну вагу в промисловій структурі громади.

Сучасні урбаністичні процеси супроводжуються стабільною тенденцією до зростання рівня автомобілізації, що є однією з ключових характеристик інтенсивного розвитку міських агломерацій. Зосередження значної кількості транспортних засобів у межах обмеженої площі міської територіальної громади зумовлює істотний вплив транспортної інфраструктури на акустичне середовище. Автотранспортні потоки в умовах урбанізованого середовища відіграють провідну роль як джерело зовнішнього техногенного шуму, формуючи одну з основних екологічних загроз – шумове забруднення з різним рівнем інтенсивності в межах міських просторів.

Кількість транспорту на території міста за період з 2010 року до 2020 року зросла на 15 %, що стало наслідком росту туристичного й транзитного потоку. Основними транспортними артеріями є дороги державного значення Н-03 та Р - 48 з інтенсивністю до 8 000 машин/добу на ділянках через місто . Мережа муніципальних автобусів щоденно перевозить до 40 000 пасажирів по 12 маршрутах [14, 16].

Водні ресурси Кам'янець-Подільської міської територіальної громади включають поверхневі та підземні води.

Поверхневі водні об'єкти належать до басейну річки Дністер. Головними є притоки першого порядку: річка Муша, річка Смотрич, річка Жванчик та річка Збруч. й представлені головними артеріями – річкою Смотрич і річкою Жванчик з їх притоками.

У межах територіальної громади на річці Смотрич діють дві гідроелектростанції, функціонування яких супроводжується створенням локального підпору води за допомогою гребель. Кам'янець-Подільська гідроелектростанція, зважаючи на особливості інженерного виконання, формує малогабаритне водосховище, що не виходить за межі природного річища річки, із максимальною глибиною, яка не перевищує 1,5 метра.

Цибулівське водосховище забезпечує утворення водного підпору на ділянці завдовжки приблизно 4,5 км – від греблі до підніжжя Кам'янецької фортеці, при цьому ширина водного дзеркала сягає до 50 метрів. Водночас ця штучна водойма виконує небажану функцію акумулювання побутових відходів, що накопичуються внаслідок безпосереднього антропогенного втручання, а також шляхом змиву забруднюючих речовин із навколишніх схилів під час інтенсивних атмосферних опадів [15, 16].

У межах міста Кам'янець-Подільський у річку Смотрич впадають три значущі правобережні притоки, що сформувалися уздовж радіальних тектонічних розломів, які беруть початок від основи меандра в районі фортифікаційної споруди (замку). Характерним прикладом є річка Дібруха, розташована на південних околицях міста, яка утворює глибоко врізану каньйоноподібну долину біля підніжжя фортеці, в районі вулиці Карвасари.

Ширина її русла становить до одного метра, а глибина коливається в межах від 0,2 м до 0,6 м. Поздовжній профіль водотоку характеризується численними висотними перепадами, зумовленими різною стійкістю до ерозійного впливу гірських порід, у яких здійснено врізання русла. Це сприяє формуванню численних порогів і перекатів, а також водоспаду висотою близько 3 метрів у пригирловій частині. Швидкість течії коливається в межах від 0,7 м/с до 1,1 м/с.

Спостерігаються істотні сезонні коливання рівня води, характерні для невеликих водотоків з переважанням дощового живлення. Донна поверхня має кам'янисту структуру з наявністю локальних антропогенних об'єктів, які ускладнюють вільний рух потоку [14, 17, 18].

Контроль за якістю та спостереження за станом забруднення поверхневих вод здійснюють: Регіональний офіс водних ресурсів у Хмельницькій області, Хмельницький обласний центр з гідрометеорології, Державна установа «Хмельницький обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України», Державна екологічна інспекція в Хмельницькій області, КП «Міськтепловоденергія».

Централізоване водопостачання забезпечується з Дністровського басейну за допомогою насосних станцій та комплексу очисних споруд, а також підземного водозабору до якого входить 28 артезіанських свердловин. До системи водопостачання входить 6 водопровідних насосних станцій та 325 км водопровідних мереж. Виробничі потужності дають змогу подати 50 тис м³/добу води.

У межах міста Кам'янець-Подільський функціонують 35 громадських колодязів, які забезпечують альтернативне джерело водопостачання для населення. Упродовж 2022 року було проведено комісійне обстеження 17 із них, у результаті чого встановлено, що частина цих споруд відповідає вимогам, визначеним Державними санітарними нормами та правилами «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [14, 15].

Система централізованого водовідведення в місті функціонує на основі комплексу каналізаційних насосних станцій, які транспортують стічні води на очисні споруди. До структури водовідведення входять 14 каналізаційних

насосних станцій, розгалужена мережа каналізаційних трубопроводів загальною протяжністю 162 км, а також центральні міські очисні споруди. Потужності цього комплексу дозволяють здійснювати повну біологічну очистку до 70 тис. м³ стічних вод щодоби.

Потенційними джерелами забруднення підземних водоносних горизонтів можуть бути витіки з аварійних або зношених ділянок каналізаційної інфраструктури, включаючи напірні колектори, а також проникнення забруднюючих речовин через закинуті або технічно непридатні свердловини. Додаткову загрозу становлять поверхневі стоки з територій, де відбувається неконтрольоване накопичення твердих побутових та промислових відходів, а також наявність несанкціонованих сміттєзвалищ, які сприяють вторинному забрудненню довкілля.

Рослинний покрив Кам'янець-Подільської міської територіальної громади диференційований і сформований відповідно до особливостей ґрунтів, ландшафту та фізико-географічних особливостей і представлений лісовим, чагарниковим, лучним, степовим, хемофітним, водним, болотним, антропогенним типами рослинності [16].

У Кам'янець-Подільській міській територіальній громаді акустичне навантаження зумовлюється дією комплексу джерел: інтенсивного автомобільного руху, виробничої активності промислових і комунальних підприємств, об'єктів будівництва та елементів рекламної інфраструктури.

На характер акустичного фону в межах громади впливають низка просторово-часових і ландшафтних факторів, серед яких: віддаленість об'єкта спостереження від транспортних магістралей, добова активність руху, щільність і склад автотранспорту, наявність або відсутність зелених зон, локалізація будівельних майданчиків, а також інтенсивність звукового супроводу від інформаційних та рекламних джерел [8].

Розглянемо сучасні методи вимірювання шумового забруднення, які застосовуються в місті Кам'янці-Подільському для моніторингу акустичного стану довкілля.

На сьогоднішній день розроблено методи для визначення шумових характеристик різних джерел міського шуму. До них належать метод прямих натурних вимірювань (інструментальний метод), метод масштабного і математичного моделювання (розрахунковий метод), а також аналітичний метод (графоаналітичний), що базується на використанні детермінованих і ймовірнісних моделей. Інструментальний метод являє собою встановлення шумових характеристик досліджуваних джерел у натурних умовах за допомогою спеціалізованих приладів (шумомірів) відповідно до суворо встановленої методики [4, 7].

Інструментальні методи визначення акустичних характеристик джерел шуму визнаються найточнішими та найбільш достовірними, оскільки дають змогу враховувати реальні просторово-часові та метеорологічні умови під час натурних вимірювань параметрів шумового навантаження. Водночас їхнє застосування є обмеженим, зокрема – вони можуть бути ефективно реалізовані переважно в умовах вже сформованої забудови, наприклад, при її реконструкції або модернізації. До основних ускладнень у використанні цього підходу слід віднести залежність результатів вимірювань від змінних факторів довкілля, таких як мікроклімат, добові й сезонні коливання, а також їх одномоментний характер, що ускладнює репрезентативність результатів у довгостроковій перспективі.

Основними інструментами дослідження є шумоміри, що відповідають вимогам міжнародних стандартів точності, а також автоматизовані станції моніторингу, здатні фіксувати рівні шуму в режимі реального часу. Особлива увага приділяється вимірюванням у місцях інтенсивного руху транспорту, поблизу промислових об'єктів та у житлових зонах. Отримані дані дозволяють виявити перевищення допустимих рівнів та розробити відповідні заходи для зниження шумового навантаження [19].

Метод натурних вимірювань доцільно використовувати переважно в науково-дослідній практиці, зокрема при створенні кадастрів шумових джерел у межах міських територій, що, у свою чергу, слугує основою для подальших прогнозних і розрахункових моделей.

Розрахунковий підхід ґрунтується на використанні математичних моделей, які дозволяють визначати рівні акустичного навантаження на основі відомих технічних параметрів джерела шуму та умов його розміщення. Такі моделі, як правило, базуються на даних нормативних документів, довідкових матеріалів або типових характеристик. Попри умовну точність і спрощений характер (що пояснюється застосуванням усереднених параметрів без урахування індивідуальних особливостей джерел), цей метод має високу прикладну цінність, особливо у випадках прогнозування потенційного рівня шуму на певних територіях.

Графоаналітичний метод передбачає використання узагальнених емпіричних даних, отриманих шляхом експериментальних досліджень, у вигляді номограм та інших графічних залежностей. Цей підхід дозволяє враховувати коригування на умови поширення звукових хвиль та особливості джерела шуму. Його застосування є доцільним в інженерно-технічній практиці як доповнення до розрахункових методів, зокрема в умовах попереднього аналізу акустичних характеристик при проектуванні міської інфраструктури [19].

Під час виконання дослідження, було використано інструментальний метод вимірювання шуму у місті Кам'янець-Подільський, оскільки він є найбільш репрезентативний та доступний.

Вимірювання проводились за допомогою шумоміра моделі Benetech GM 1356.

Цифровий шумомір **Benetech GM1356** – це портативний вимірювальний прилад, призначений для оперативного визначення рівнів звукового тиску (шуму) в навколишньому середовищі. Він широко застосовується в екологічному моніторингу, санітарно-гігієнічних дослідженнях, промисловості, на будівельних майданчиках, а також у побутових умовах для вимірювання шуму від транспорту, техніки тощо (рисунок 2.4) [20].



Рисунок 2.4 – Цифровий шумомір **Benetech GM1356** [20]

Діапазон вимірювання шуму використовуваним приладом становить від 30 дБ до 130 дБ, що дозволяє фіксувати як фоновий, так і надмірний шум від технічних або транспортних джерел. Частотний діапазон охоплює значення від 31,5 Гц до 8 кГц, що відповідає спектру сприйняття людського слуху, а точність вимірювань становить плюс-мінус 1,5 дБ. Шумомір оснащений великим рідкокристалічним дисплеєм із підсвічуванням, що забезпечує зручне зчитування даних навіть за умов недостатньої освітленості.

Прилад підтримує два режими частотного вимірювання – **A** і **C**. Режим **A** моделює чутливість людського вуха до різних частот, тому застосовується при оцінці шуму, що впливає на людей. Натомість **C** – вимірювання використовується для аналізу низькочастотних або техногенних шумів. Також доступні режими часової реакції: «**FAST**» (швидкий) і «**SLOW**» (повільний), які дають змогу адаптувати прилад до характеру джерела шуму.

Шумомір має функції збереження максимального та мінімального значення шуму, автоматичного вимкнення, індикації перевищення діапазону та наявний аналоговий вихід (AC/DC) для підключення до зовнішніх пристроїв збору чи обробки даних. Живлення приладу здійснюється від стандартної 9 – вольтової батареї, що забезпечує його автономну роботу [20].

Benetech GM1356 активно використовується в екологічному моніторингу, при проведенні санітарно-гігієнічних обстежень, для контролю рівня шуму в

житлових зонах, а також в умовах виробництва та будівництва, де рівень акустичного навантаження є критичним чинником впливу на здоров'я працівників та населення. Простота використання, надійність і відповідність міжнародним стандартам робить цей прилад ефективним інструментом для оперативного контролю шумового забруднення.

Вибір локацій для проведення акустичних вимірювань здійснювався на ділянках вулично-дорожньої мережі, де забезпечується стабільна швидкість руху транспортних засобів. З метою мінімізації впливу сторонніх шумових факторів, вимірювання повинні проводитися на відстані щонайменше 50 метрів від транспортних вузлів, таких як перехрестя, площі з інтенсивним трафіком та зупинки громадського транспорту.

Необхідною умовою проведення вимірювань є сухий і чистий стан проїжджої частини, що забезпечує достовірність отриманих результатів. Тимчасові межі здійснення вимірювань мають відповідати періодам пікової інтенсивності руху автотранспорту, коли акустичне навантаження є найбільш репрезентативним.

Проведення досліджень не допускається за умов опадів або за наявності вітру зі швидкістю, що перевищує 5 м/с. У разі наявності вітру в межах від 1 м/с до 5 м/с, обов'язковим є застосування спеціального вітрозахисного екрана (ковпака) для мікрофона, що дозволяє уникнути викривлень у реєстрації звукового сигналу [19].

У межах дослідження було складено програму вимірювань шумового навантаження на території міста Кам'янець-Подільський, яка охоплює всі ключові етапи організації та реалізації дослідницького процесу. Програма передбачає визначення репрезентативних точок контролю, обґрунтування періодів проведення замірів, вибір відповідного обладнання, встановлення режимів фіксації показників, а також методику подальшої інтерпретації отриманих даних. Алгоритм дослідження структуровано у вигляді послідовної схеми, яка відображає логіку здійснення вимірювальних процедур – від підготовки та польових робіт до аналітичної обробки результатів та оцінки ступеня шумового забруднення міського середовища (рисунок 2.5).

ПРОГРАМА І АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ШУМУ У МІСТІ КАМ'ЯНЕЦЬ-ПОДІЛЬСЬКИЙ

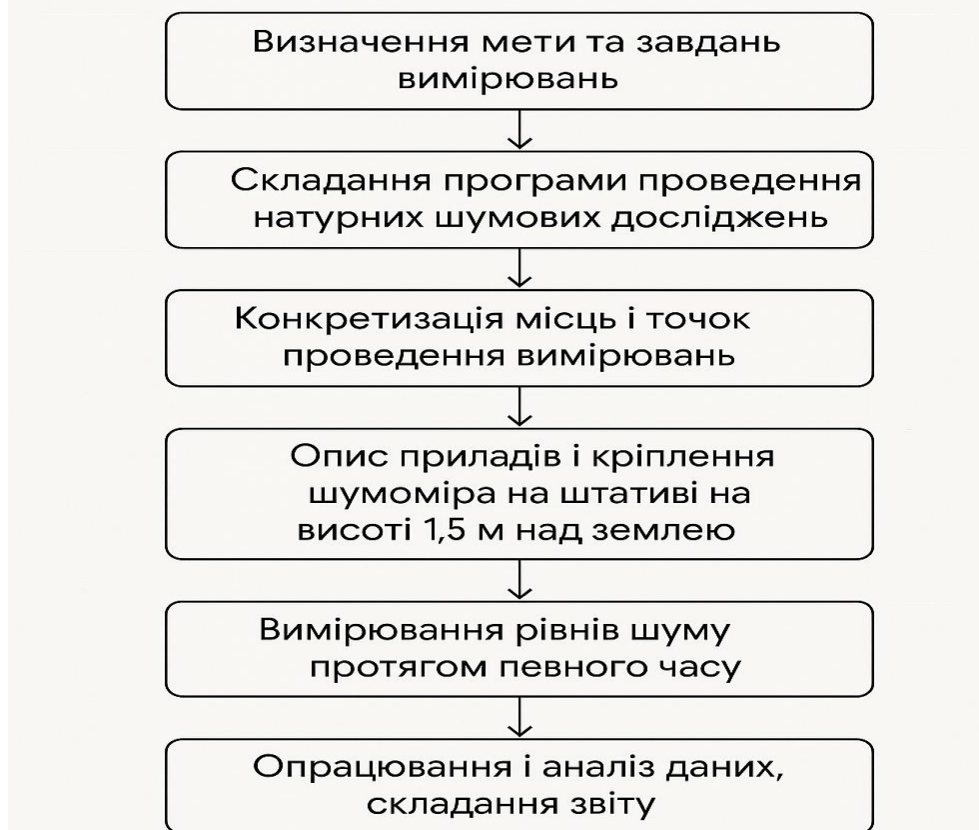


Рисунок 2.5 – Алгоритм проведення досліджень з визначення шумового забруднення на території міста Кам'янець-Подільський

2.2 Визначення та оцінка шумового забруднення території міста

З метою проведення комплексної оцінки рівня шумового забруднення на території міста Кам'янець-Подільський було визначено низку репрезентативних точок, що охоплюють різні функціональні зони населеного пункту. До вибраних локацій увійшли транспортні вузли, центральна частина міста, освітні заклади та житлові квартали, що дозволяє простежити просторову варіативність акустичного навантаження в межах урбанізованого середовища (рисунок 2.6).

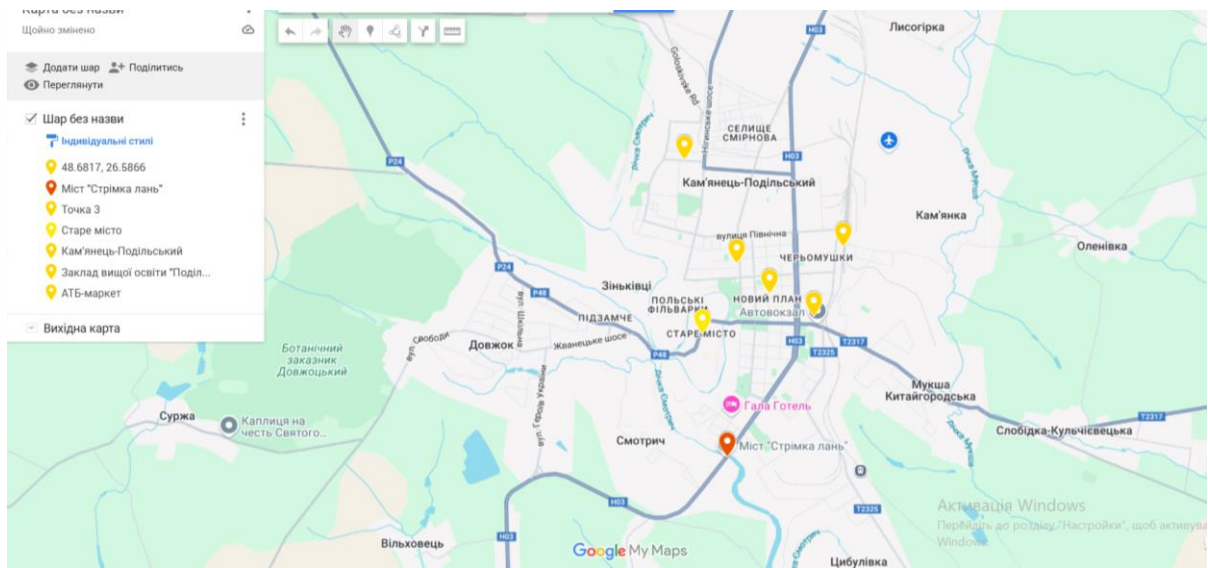


Рисунок 2.6 – Карта репрезентативних точок вимірювання рівнів шуму

Обрані точки для проведення вимірювання шумового навантаження в місті Кам'янець-Подільський були визначені на основі принципу репрезентативності джерел шуму, характеру території та функціонального зонування міста:

- центральна площа міста обрана як осередок адміністративної та культурної активності, де фіксується значна кількість людей, туристів і транспорту, що зумовлює підвищений рівень акустичного навантаження (точка 1);

- міст «Стрімка лань» є одним із головних транзитних вузлів, де рух транспорту не тільки інтенсивний, але й посилюється через конструктивні особливості мосту, які можуть сприяти резонансному шуму (точка 2);

- автовокзал – одна з ключових транспортних локацій міста, де шум спричинений великою кількістю автобусів, таксі, приватного транспорту та пасажиропотоком. (точка 3);

- площа Польський ринок – туристично приваблива територія з інтенсивною пішохідною активністю, де важливо оцінити вплив шуму на історико-культурне середовище (точка 4);

- район залізничного вокзалу характеризується періодичним, але потужним техногенним шумом, пов'язаним із прибуттям і відправленням потягів, навантажувальними роботами та інфраструктурою (точка 5);

– територія біля закладу вищої освіти «Подільський державний університет» є важливою для аналізу впливу шуму на освітній процес та дітей, що особливо актуально з точки зору гігієнічних норм (точка 6);

– житловий мікрорайон Жовтневий дозволяє провести моніторинг фонових шумових рівнів у зоні, віддаленій від основних джерел шуму, з метою оцінки загального акустичного фону (точка 7).

У заданих точках проведено інструментальні вимірювання рівня шуму, відповідно о 8:00 годині, 13.00 годині та 21.00 годині. Результати вимірювань подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювання рівнів шуму у місті Кам’янці-Подільському у період з квітня до травня 2025 року

Номер точки вимірювання	Рівень шуму о 8:00 годині, дБА			Рівень шуму о 13:00 годині, дБА			Рівень шуму о 21:00 годині, дБА		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Точка 1	52	55	54	61	70	58	57	55	60
Точка 2	62	60	57	82	75	68	68	56	75
Точка 3	68	62	54	54	53	52	56	54	53
Точка 4	55	52	49	62	74	67	58	62	67
Точка 5	53	56	56	64	83	75	75	80	83
Точка 6	49	49	52	62	68	53	50	51	48
Точка 7	45	51	53	42	44	46	51	53	56

У межах дослідження було здійснено інструментальне вимірювання рівнів звукового тиску в семи репрезентативних точках міста Кам’янець-Подільський у три часові інтервали: ранковий (08:00), денний (13:00) та вечірній (21:00). Для підвищення достовірності даних кожне вимірювання проводилося тричі (I, II, III серії), а отримані значення дозволяють простежити добову динаміку шумового навантаження в межах різних міських зон. Графічно динаміка зміни рівнів шуму представлена на рисунку 2.7.

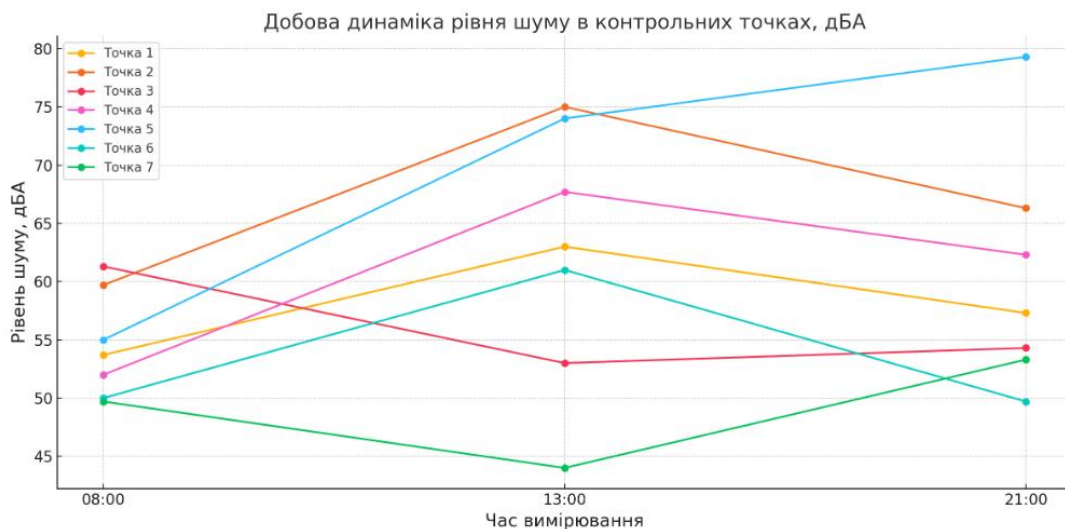


Рисунок 2.7 – Динаміка зміни рівнів шуму на території міста Кам'янця-Подільського

Загалом, найвищі значення рівня шуму були зафіксовані в денний період, що пояснюється зростанням інтенсивності руху транспорту та активізацією господарської діяльності. Наприклад, на дорозі біля мосту «Стрімка лань», максимальний рівень шуму сягав від 82 дБА до 75 дБА о 13:00, що перевищує санітарно допустимі норми для житлової забудови. Схожі перевищення спостерігалися і в точці вимірювання біля залізничного вокзалу, де в денні години рівень шуму досягав 83 дБА.

У ранкові та вечірні години рівень акустичного навантаження є дещо нижчим, однак у деяких точках (розташованих біля скупчення населення) також фіксувалися значення, що наближаються до критичних. Показники отримані, поблизу житлової забудови з віддаленням від магістралей, свідчать про нижчий рівень шуму, що не перевищує 56 дБА, що можна вважати допустимим фоновим рівнем.

Аналіз рівнів шуму в точці 4 (район Старого міста м. Кам'янець-Подільський) свідчить про значну варіативність показників протягом доби, з помітним зростанням у денний час. У ранковий період рівень шуму становив від 52 дБА до 55 дБА, що перебуває в межах допустимих значень для територій рекреаційного типу. Однак у денні години показники зростають до 74 дБА, що перевищує нормативи та свідчить про вплив інтенсивного туристичного потоку,

руху автотранспорту та господарської діяльності в межах історичного осередку. У вечірній час рівень шуму знову залишається підвищеним – до 67 дБА, що свідчить про недостатній спад активності.

У ході проведеного дослідження було застосовано інструментальний метод вимірювання шуму, що забезпечив високу точність та репрезентативність результатів. Вимірювання рівня звукового тиску здійснювались у семи стратегічно обраних точках міста Кам'янець-Подільський із врахуванням функціонального зонування території. Результати засвідчили, що найбільші перевищення рівнів шуму спостерігалися в денні години у транспортних вузлах та туристично активних зонах, зокрема в районах мосту «Стрімка лань» та залізничного вокзалу. Натомість у житлових мікрорайонах рівень шуму не перевищував гранично допустимих значень, що вказує на локалізацію основних джерел акустичного навантаження. Отримані дані є основою для подальшого моніторингу та розробки заходів щодо зниження шумового забруднення в місті.

3 ШЛЯХИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ШУМОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ

3.1 Архітектурно-планувальні заходи

Вибір архітектурно-планувальних заходів та заходів озеленення для зниження шумового навантаження на території міста Кам'янець-Подільський базується на комплексному врахуванні просторових, функціональних, історико-культурних та екологічних особливостей урбанізованого середовища. Проведений інструментальний моніторинг рівнів шуму продемонстрував наявність акустичного перевантаження у ключових точках міста, зокрема в центральній частині, поблизу транспортних вузлів та на території об'єктів культурної спадщини. Це обумовлює необхідність системного підходу до акустичної оптимізації міського середовища.

Застосування архітектурно-планувальних заходів, таких як буферне зонування, орієнтація забудови з урахуванням шумових потоків, раціональне розміщення громадських просторів, спрямоване на зменшення впливу джерел шуму на житлові та рекреаційні зони. Зокрема, створення шумозахисних фасадів, акустичних екранів та вуличних шумопоглинальних бар'єрів дозволяє суттєво знизити рівень шуму без порушення історичного силуету міста, що є особливо актуальним для Кам'янця-Подільського як об'єкта з високим туристичним та культурним потенціалом [12].

Серед інженерних засобів боротьби із шумовим забрудненням найбільш ефективним і поширеним методом є встановлення **протишумових екранів**. У міських умовах і особливо в районах, прилеглих до залізничних колій, ці конструкції значною мірою зменшують інтенсивність звукових коливань, що поширюються на прилеглу житлову забудову.

У Кам'янці-Подільському залізниця проходить у безпосередній близькості до житлових кварталів, зокрема в районі мікрорайонів Жовтневий та Підзамче. Це зумовлює підвищене шумове навантаження, особливо під час руху вантажних потягів. Згідно з дослідженнями, рівень шуму поблизу залізничної колії може

сягати понад 80 дБ, що значно перевищує допустимі санітарні норми (для житлової забудови максимальний рівень 55 дБ у денний та 45 дБ у нічний час).

Протишумові екрани виконують функцію акустичного бар'єру, перешкоджаючи прямому поширенню звукових хвиль від джерела (поїзда) до споживача (мешканців). Конструктивно екрани виготовляють з матеріалів з високим коефіцієнтом звукопоглинання – таких як металеві касети з мінераловатним наповненням, акрилове скло, дерев'яні або бетонні панелі зі спеціальною текстурованою поверхнею [21, 22].

Оптимальна висота протишумового екрану становить **від 2,5 метрів до 5 метрів**, залежно від типу джерела шуму, відстані до забудови та рельєфу місцевості. У міських умовах доцільним є використання **прозорих акрилових екранів**, що мінімізують візуальне навантаження та не порушують естетики архітектурного середовища історичного міста (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Приклад встановлення акрилового екрану

Ефективність екранів залежить від їх **розміщення**: важливо, щоб вони перекривали лінію прямого поширення звуку від коліс потягу до вікон першого

поверху [30, 31]. В окремих випадках доцільним є **поєднання вертикального екрану з земляним валом**, що додатково знижує рівень шуму на від 5 дБ до 10 дБ. На рисунку 3.2 візуалізовано очікуване зниження рівня шуму в дБ залежно від обраного методу шумозахисту.

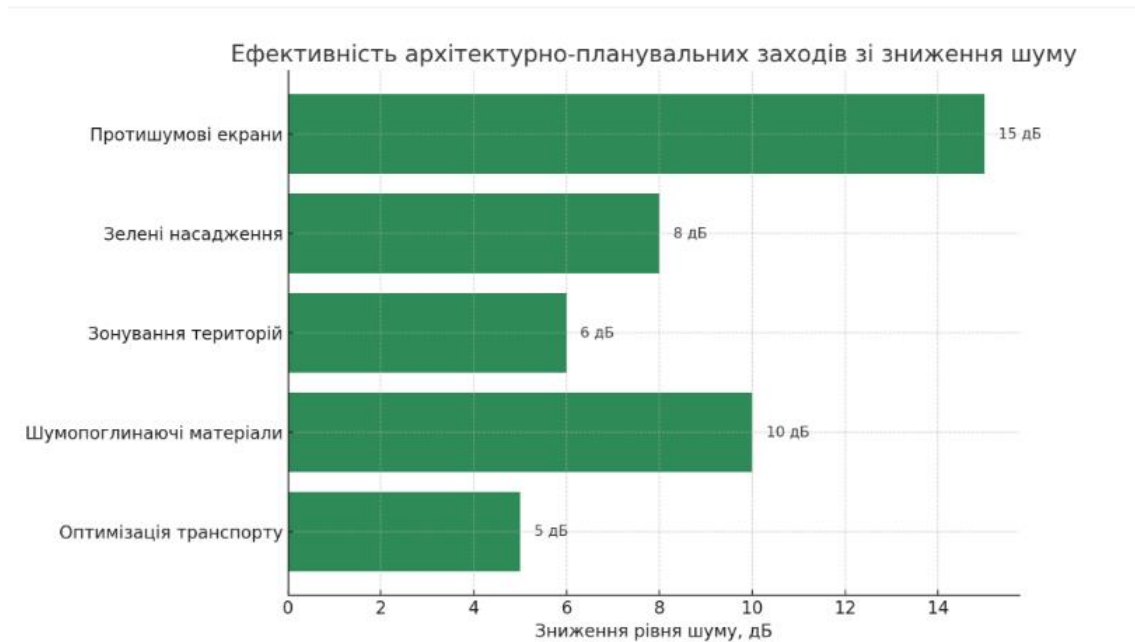


Рисунок 3.2 – Графік ефективності впровадження шумозахисних заходів

У місті Кам'янці-Подільському доцільно встановлювати **поглинаючі** або **комбіновані протишумові екрани** на ділянках залізниці, що проходять поблизу житлових кварталів (наприклад, мікрорайони Руські фільварки, селище Смірнова, Хмельницьке шосе). Особливо ефективними є конструкції з зеленою вставкою (вертикальне озеленення), що крім шумозахисту виконують естетичну функцію.

Важливим засобом контролю за шумовим навантаженням є функціональне зонування міського простору, що передбачає розміщення житлової забудови на безпечній відстані від транспортних артерій, промислових об'єктів та залізничних колій. Між джерелом шуму та житлом доцільно планувати перехідні зони – парки, сквери, адміністративні або комерційні об'єкти з низькою чутливістю до шуму [29, 33].

Для Кам'янця-Подільського, який має компактну структуру історичного центру, важливо також зберігати режим тиші в охоронних зонах пам'яток

архітектури шляхом обмеження руху вантажного транспорту та встановлення шумопоглинаючих покриттів на вулицях із бруківкою.

У процесі реконструкції або нового будівництва важливо застосовувати конструктивні рішення, що забезпечують підвищену звукоізоляцію приміщень. До таких належать:

- подвійні або потрійні склопакети;
- зовнішні жалюзі з шумопоглинаючим шаром;
- утеплені фасади з акустичними панелями;
- внутрішні перегородки з мінеральної вати або пінополістиролу [30, 31].

Оскільки експериментальні показники рівнів шуму у точці розташованій в безпосередній близькості до пам'яток архітектури, музеїв, готелів та пішохідних маршрутів вказують на перевищення допустимих значень, необхідно розглянути можливості зниження значень. Підвищений рівень акустичного навантаження в цій зоні становить загрозу як для комфортного перебування мешканців і туристів, так і для збереження культурної спадщини, оскільки постійне віброакустичне навантаження негативно впливає на стан історичних споруд. Це вимагає розробки заходів щодо зниження шумового забруднення, зокрема шляхом обмеження руху транспорту, застосування шумопоглинальних покриттів і планування зон спокою в межах Старого міста.

Історична частина Кам'янця-Подільського є об'єктом національного культурного значення, тому усі заходи повинні відповідати принципам збереження автентичності та законодавства. Зокрема рекомендуємо наступне:

- протишумові екрани не повинні порушувати візуальний образ історичних вулиць і панорам, тому тут перевага віддається скляним прозорим або напівпрозорим шумозахисним екранам;

- вузькі вулиці зі щільною забудовою (вулиці Татарська, Зарванська, Вірменська) дозволяють використовувати архітектурну акустику фасадів – спеціальні конструктивні елементи, що відбивають або розсіюють звук;

- у зоні Старого міста рекомендується створення внутрішніх дворів із зеленими зонами, що мають здатність акустично екранувати простір.

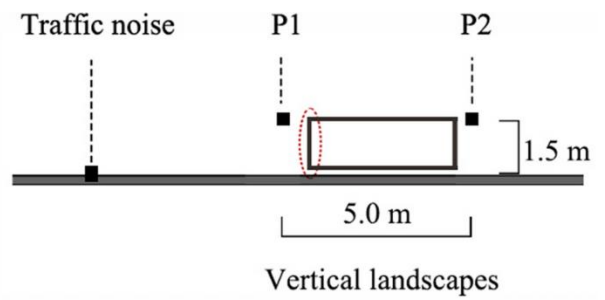
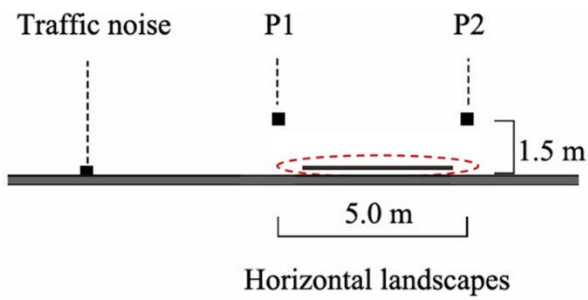
Таким чином, обрані заходи є результатом поєднання просторового аналізу, даних шумових вимірювань та сучасного науково-інженерного підходу до формування акустично безпечного міського середовища. Їх реалізація дозволить не лише знизити рівень шуму, але й сприятиме збереженню архітектурної цілісності, розвитку туристичної привабливості та підвищенню якості життя мешканців Кам'янця-Подільського.

3.2 Рекомендації зниження шумового забруднення заходами озеленення

Акустичне забруднення в межах урбанізованих територій набуває дедалі більшої екологічної та соціальної значущості, що зумовлює необхідність оперативного впровадження комплексних заходів щодо мінімізації його негативного впливу на життєдіяльність населення. В умовах інтенсивного зростання чисельності міського населення та стрімкого розвитку транспортної й техногенної інфраструктури, шум трансформується з побутового подразника у фактор системної загрози для фізичного та психоемоційного благополуччя людини. У зв'язку з цим питання моніторингу, аналізу та впровадження ефективних технологій і стратегій зниження шумового навантаження в міському середовищі набуває пріоритетного характеру в науковому дискурсі та державній політиці у сфері охорони навколишнього середовища і громадського здоров'я [33].

Одним із ефективних способів зменшення акустичного навантаження на навколишнє середовище є застосування фітомеліоративних заходів, зокрема створення захисних насаджень уздовж транспортних магістралей. Встановлено, що найбільш дієвими в аспекті шумозахисту є багаторядні зелені смуги, які формуються з урахуванням щільного розміщення крон дерев і заповнення нижнього ярусу чагарниковою рослинністю, що дозволяє значно знижувати рівень проникнення шуму (рисунок 3.3)

розм



Horizontal landscapes without slope



Vertical flexible landscapes without slope



Horizontal landscapes with slope



Vertical flexible landscapes with slope



Рисунок 3.3 – Рекомендації планування зелених насаджень біля автомобільних доріг та стоянок

Однак варто уникати створення суцільного рослинного бар'єру, який за певних умов може призвести до акустичних реверберацій. Для досягнення кращого ефекту рекомендується чергування відстаней між насадженнями та варіювання рослин за видовим складом. Важливим конструктивним критерієм при проектуванні таких насаджень є конфігурація у вигляді поперечного перерізу, наближеного до трикутника, з пологою стороною, орієнтованою в напрямку джерела шуму (рисунок 3.4). Такий підхід забезпечує максимальне поглинання та розсіювання звукових хвиль, сприяючи формуванню більш сприятливого акустичного середовища в межах урбанізованих територій [29, 32].



Рисунок 3.4 – Приклад використання багатоярусного озеленення

У зимовий період ефективність шумозахисної функції зелених насаджень істотно знижується – орієнтовно 4 рази. Однак навіть у безлистяному стані рослинність здатна зменшувати рівень акустичного навантаження від 2 дБ до 5 дБ. В умовах сезонного зниження інтенсивності шуму, наявність снігового покриву на підліску додатково підсилює акустичну абсорбцію, що створює додатковий бар'єр для розповсюдження звукових хвиль.

Окрім деревно-чагарникових елементів, суттєвий шумопоглинальний потенціал мають й інші форми озеленення, зокрема дернове покриття та вертикальне озеленення. Газонні ділянки можуть забезпечити зниження рівня шуму приблизно на 6 дБ, завдяки структурі травостою, яка сприяє розсіюванню звукової енергії [33, 34]. Вертикальні зелені екрани, зокрема ліани, що вкривають фасади будівель, істотно підвищують звукоізоляційні властивості стінових конструкцій – від 6 разів до 8 разів порівняно з незахищеними поверхнями – і забезпечують ефективне розсіювання звукових коливань у міському середовищі.

При плануванні заходів з акустичного озеленення міського простору необхідно враховувати, що нераціональне розміщення рослинності вздовж джерел шуму може не лише не зменшити, а й спричинити зростання рівня шумового навантаження. Такий негативний ефект обумовлюється здатністю

листяних поверхонь відбивати звукові хвилі. Наприклад, висадження дерев із густою кроною у центральній смузі вулиці у форматі бульвару здатне спричинити акустичне відбиття у напрямку до прилеглих житлових кварталів, рекреаційних зон або дитячих та спортивних майданчиків.

Крім того, однорядні посадки дерев із відкритим простором у підкрановій частині погано затримують шумове випромінювання від транспортних потоків. У таких випадках утворюється своєрідний «акустичний тунель», який не чинить ефективного опору поширенню звукових хвиль між землею та нижньою межею крони. Для досягнення належного шумопоглинального ефекту листкова поверхня повинна створювати перешкоду для проходження звукової енергії, беручи участь у процесах її розсіювання, поглинання та часткового відбиття.

Враховуючи вплив шумового забруднення на здоров'я людини та особливості його просторового розподілу в урбанізованих районах, доцільним є впровадження озеленювальних рішень як одного з ключових елементів стратегії зниження шуму. Висадження дерев, чагарників та інших видів рослин у межах вулиць, парків, скверів, зелених алей та вздовж транспортних артерій виконує функцію природного акустичного бар'єру, зменшуючи рівень прямого та відбитого шуму.

Одним із ефективних природоорієнтованих рішень щодо зниження рівня шумового забруднення в умовах щільної міської забудови є застосування озеленення на будівлях, зокрема зелених дахів і вертикального озеленення фасадів. Ці системи здатні значною мірою знижувати акустичне навантаження за рахунок абсорбції та розсіювання звукових хвиль, що генеруються автотранспортом, залізничним сполученням та побутовими джерелами шуму.

У дослідженні [10] було проведено метааналіз експериментальних і модельних даних щодо впливу рослинності на рівень шуму. Автори виявили, що вертикальні зелені фасади здатні зменшувати шум до 13 дБ залежно від характеристик покриття: щільності листя, товщини шару рослинного ґрунту та вологості. Зелені дахи, у свою чергу, забезпечують додаткову ізоляцію верхніх поверхів будівель, знижуючи проникнення повітряного шуму, що розповсюджується через атмосферу (рисунок 3.5).

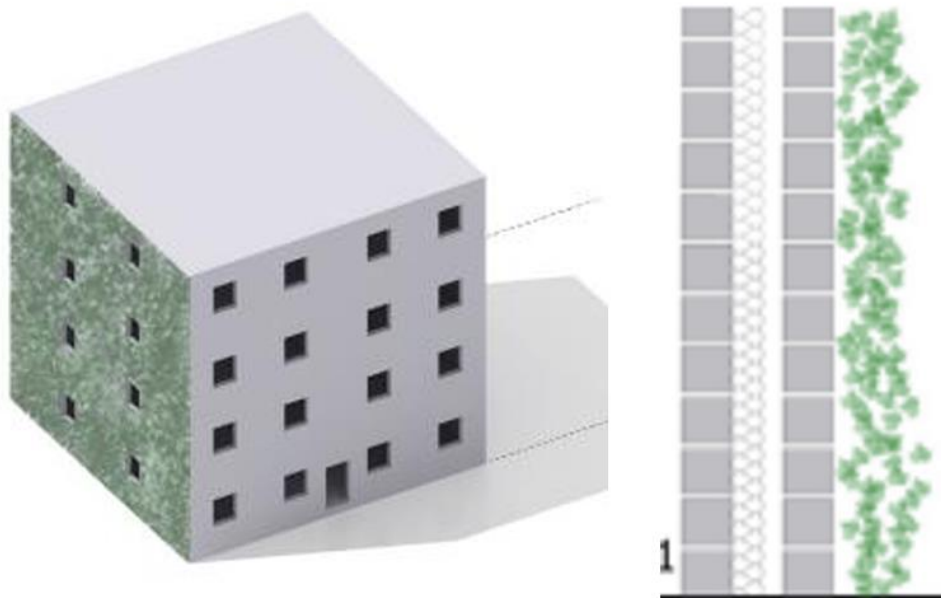


Рисунок 3.5 – Схеми використання вертикального озеленення

Механізм зменшення шуму включає звукопоглинання листям і стеблами, розсіювання хвиль на нерівностях рослинного покриву, а також поглинання акустичної енергії вологою в ґрунтовому шарі. Крім того, озеленення знижує ефект відбиття звукових хвиль від жорстких будівельних поверхонь, що є особливо актуальним у вузьких історичних вулицях Кам'янця-Подільського.

На прикладі історичних європейських міст, таких як Відень, Барселона та Копенгаген, успішно впроваджуються системи вертикального озеленення з використанням місцевої флори, що не порушує архітектурної цілісності пам'яток і водночас суттєво покращує акустичне середовище. Таким чином, інтеграція зелених рішень у структуру історичної міської забудови Кам'янця-Подільського не лише сприятиме зниженню шумового навантаження, а й відповідатиме принципам сталого розвитку та збереження культурного ландшафту.

Окрім акустичної ролі, такі насадження сприяють гармонізації міського ландшафту, покращують мікроклімат, збагачують повітря киснем, поглинають пил та шкідливі домішки, що в сукупності підвищує якість життя міського населення.

Важливою складовою шумозахисної стратегії виступає система озеленення, яка є одночасно естетичним, екологічним і акустичним елементом

міського середовища. Дерева, кущі та багаторічна зелень мають здатність поглинати та розсіювати звукові хвилі, формуючи природні шумозахисні екрани. Зокрема, смуги густих зелених насаджень завширшки від 15 метрів до 20 метрів здатні зменшувати рівень шуму на від 8 дБА до 10 дБА, що є істотним зниженням при високій інтенсивності дорожнього руху. Рекомендоване озеленення вздовж головних магістралей та біля освітніх і житлових закладів також сприятиме поліпшенню мікроклімату та психологічного комфорту мешканців.

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведене в межах цієї кваліфікаційної роботи, дозволило комплексно охарактеризувати проблематику шумового забруднення в урбоєкосистемі міста Кам'янець-Подільський, обґрунтувати її актуальність та запропонувати практичні напрямки вирішення. Вивчення теоретичних засад проблеми дозволило виявити, що шум є не лише санітарно-гігієнічним, а й соціально-екологічним фактором, який значною мірою впливає на якість життя міського населення, функціонування урбобіоти, рівень психоемоційного благополуччя, а також на загальну екологічну стабільність.

Особливістю шумового забруднення є його поширеність у просторі, інтегрованість у міські потоки життєдіяльності та відсутність чітко локалізованих меж, що зумовлює системний підхід до його аналізу. Встановлено, що джерелами надмірного шуму виступають переважно автомобільний транспорт, залізничні вузли, локальні виробництва, будівельні майданчики та елементи інфраструктури, включно з інформаційно-рекламними носіями. При цьому найбільшого впливу зазнають густонаселені, транспортно навантажені та туристично активні зони міста, зокрема центральна площа, міст «Стрімка лань» та залізничний вокзал.

Проведений інструментальний моніторинг підтвердив значне перевищення гранично допустимих рівнів шуму у вказаних локаціях, особливо в денний час, коли інтенсивність руху досягає свого піку. Вимірювання проводилися із використанням точного шумоміра Venetech GM1356, що дало можливість зафіксувати реальну добову динаміку акустичного навантаження на семи ключових точках міста. Зафіксовані значення рівнів шуму, які сягали 83 дБА у деяких точках, вказують на наявність системної проблеми, що вимагає цілеспрямованого акустичного менеджменту.

Важливим результатом дослідження стало виокремлення міських просторів, які потребують першочергового втручання в аспекті зниження шумового навантаження. Це дало змогу адаптувати світовий та національний

досвід до локального контексту міста Кам'янець-Подільський. Зокрема, було запропоновано систему архітектурно-планувальних рішень, яка враховує історико-культурну унікальність міста, складну топографію і щільну забудову. До таких рішень належать буферне зонування, акустичне орієнтування забудови, використання шумозахисних фасадів, вертикального озеленення та багаторядних зелених бар'єрів.

Окрема увага приділена можливостям застосування протишумових екранів біля транспортних коридорів, включно із залізничними коліями, з урахуванням їхнього візуального впливу на ландшафт та архітектурну цілісність історичного середовища. Такі екрани можуть бути інтегровані у вигляді акустичних стін з прозорих полікарбонатних матеріалів або озелених конструкцій, які одночасно виконують функцію шумопоглинання та ландшафтної інтеграції.

Важливим вектором у концепції екологічного оздоровлення міського середовища виступає озеленення як інструмент шумозахисту. Емпіричні та літературні дані підтверджують ефективність багаторядних зелених смуг і вертикального озеленення фасадів, здатних знижувати рівень шуму до 13 дБ. Крім акустичного ефекту, зелені насадження покращують мікроклімат, зменшують рівень пилу, підвищують естетичну привабливість територій, зменшують психологічне навантаження мешканців та створюють сприятливі умови для рекреації.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що подальша стратегія просторового розвитку Кам'янця-Подільського має передбачати комплексний підхід до акустичного планування. Це має включати: вдосконалення нормативно-правової бази, регулярний моніторинг акустичного стану, запровадження акустичних кадастрів, популяризацію зелених технологій і залучення мешканців до екологічно орієнтованих практик. Зменшення шумового навантаження має розглядатися не як технічна або суто санітарна задача, а як частина широкої системи забезпечення сталого розвитку міста, добробуту громади та збереження історико-природної спадщини.

Таким чином, результати дослідження дозволяють не лише ідентифікувати ключові проблемні зони в межах міста, а й надати науково обґрунтовані та

практично релевантні рекомендації щодо їх трансформації у напрямку зниження шумового забруднення. Успішна реалізація запропонованих заходів сприятиме гармонізації взаємодії між антропогенним середовищем та природними компонентами урбоекосистеми Кам'янця-Подільського.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Дяченко Т.О. Аналіз впливу транспортного шуму на навколишнє середовище та людину / Т.О. Дяченко, В.М. Євчук // Економіка та управління на транспорті. – 2018. – Вип. 6. – С. 125 – 131.

2 Стольберг Ф.В. Шумове забруднення: вплив на урбанізоване середовище та шляхи вирішення проблеми / Ф.В. Стольберг., А.І. Решетченко // Місто. Культура. Цивілізація : матер. VI міжнар. наук.-теорет. інтернет-конф. (м. Харків, квітень 2016 р.). – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – 2016. – С. 262 – 263.

3 Шейкіна О.Ю. Акустичне забруднення селітебного середовища міста від транспортних потоків / О.Ю. Шейкіна, О.О. Мислюк // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2007. – Вип. 5 (46). – С. 144 – 147.

4 Куріс Ю.В. Дослідження впливу автотранспорту на шумову безпеку міста в сталому розвитку урбанізованих територій / Ю.В. Куріс, О.Б. Матяшева, К.В. Белоконь, Г.Б. Кожемякін // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. – 2017. – № 1(30). – С. 183 – 188.

5 Качинський А. Перед лицем екологічних загроз: міжнародний і національний аспект екополітики / А. Качинський // Політика і час. – 1994. – № 5. – С. 73 – 77.

6 Environmental noise guidelines for the European region / World Health Organization. – 2018. – 181 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.euro.who.int/eu/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> (дата звернення: 21.04.2025).

7 Решетченко А.І. Використання статистичних методів аналізу в оцінці зниження транспортного шуму зеленими насадженнями на урбанізованих територіях / А.І. Решетченко // Регіональні проблеми охорони довкілля : матер. міжнар. наук. конф. молодих вчених (м. Одеса, ОДЕКУ, 1–3 червня 2020 р.). – Одеса : ОДЕКУ. – 2020. – С. 112–117.

8 Кундельська Т.В. Визначення рівня шумового забруднення на території міста Івано-Франківська в контексті сталого розвитку / Т.В. Кундельська // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2017. – № 1. – С. 239 – 250.

9 Аналіз існуючих нормативів країн ЄС порівняно із вимогами українського законодавства в сфері шумового навантаження в урбоєкосистемі / А.І. Решетченко, А.І. Борсук, Ю.І. Вергелес // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2019. – № 2(20). – С. 16 – 23.

10 Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation / B. Shahsavari, A. Ghaffarian, J. Tookey // Applied Acoustics. – 2017. – Vol. 120. – P. 15 – 24.

11 Bakker J. Applying vertical greening systems to reduce traffic noise in outdoor environments: Overview of key design parameters and research methods / J. Bakker, M. Lugten, M. Tenpierik // Sustainable Cities and Society. – 2023. – Vol. 93. – Article 104471.

12 Кучеренко Л.В. Містобудівні методи захисту від шумового забруднення міст / Л.В. Кучеренко, В.С. Калініченко // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – 2016. – № 1. – С. 103–107.

13 Директива 2002/49/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 25 червня 2002 року стосовно оцінки та управління процесами, пов'язаними з шумом // OVL. – 2002. – № 189. – С. 12.

14 Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту документа державного планування «Програма соціально-економічного та культурного розвитку Кам'янець-Подільської міської територіальної громади на 2024-2025 роки». – м. Кам'янець-Подільський. – 2023. – 88 с.

15 Будзей О.В. Вулицями Кам'янця-Подільського / Серія «Історичні місця України» / О. В. Будзей. – Львів: Світ. – 2005. – 272 с.

16 Природа Хмельницької області. / Під. ред. К.І. Геренчука. – Львів : Вища школа. Вид-во Львів. ун-ту. – 1980. – 152 с.

17 Кліматичні ресурси Поділля. / П.Л. Царик, Г.В. Чернюк // Наукові записки Трнопільського національного педагогічного університету імені

Володимира Гнатюка. Серія : Географія. – Тернопіль : ТНПУ, 2008. – №1. – С. 50-65.

18 Петров М.Б. Кам'янець-Подільський / М.Б. Петров, І.В. Рибак // Енциклопедія історії України : у 10 т. / редкол. : В.А. Смолій (голова) та ін. – Київ : Наук. думка. – 2007. – Т. 4. – С. 55–64.

19 ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій будинків і споруд від шуму. – Київ. – 2014. – 54 с.

20 Шумомір А/С (30 - 130 dB) VENETECH GM1356 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/zdjygh> (дата звернення: 04.05.2025).

21 Котенко С.Г. Зниження рівнів шуму рухомих джерел шумозахисними екранами з кінцевою звукоізоляцією : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.08 – Прикладна акустика та звукотехніка / С.Г. Котенко. – Київ : НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». – 2019. – 132 с.

22 Zaets V. Investigation of the efficiency of a noise protection screen with an opening at its base / V. Zaets, S. Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5. – № 5(89). – P. 4–11.

23 Погребняк А. Вплив звукоізоляції на акустичну ефективність шумозахисного екрана / А. Погребняк, С. Котенко // ELCONF-2015. – С. 28–31. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://elconf.ieee.org.ua/> (дата звернення: 14.05.2025).

24 Лозанський В.Р. Екологічне управління в розвинутих країнах світу в порівнянні з Україною / В.Р. Лозанський // – Харків. – 2000. – 46 с.

25 Охорона навколишнього середовища та використання природних ресурсів України : статист. збірник. – Київ : Держкомстат України. – 2017. – 345 с.

26 Екологічний стан Хмельницької області // Загальноукраїнський проєкт «Екологія та природні багатства України». – Вип. II. – Київ. – 2005. – С. 64.

27 Решетченко А.І. Роль зелених насаджень у зменшенні шуму антропогенного походження (на прикладі м. Харків) /А.І. Решетченко, Ю.І. Вергелес // Регіональні проблеми охорони довкілля : матер. міжнар. наук.

конф. молодих вчених (м. Одеса, 30 травня – 1 червня 2018 р.). – Одеса : ТЕС. – 2018. – С. 192–197.

28 Дяченко Т.О. Аналіз впливу транспортного шуму на навколишнє середовище та людину / Т.О. Дяченко, В.М. Євчук // Економіка та управління на транспорті. – 2018. – Вип. 6. – С. 125–131.

29 Гринчишин Н. Шумове забруднення магістральних вулиць центральної частини міста Львова / Н. Гринчишин, Т. Шуплат, О. Жоріна // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2021. – № 24. – С. 6–11.

30 Шумозахисні екрани. Полікарбонат як матеріал для захисту від шуму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/gusfcm> (дата звернення: 24.05.2025).

31 Шумозахисні (звуковідбивні, шумопоглинаючі) паркани [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/gusfcm> (дата звернення: 24.05.2025).

32 Pérez G. Green roofs for acoustic insulation and noise reduction / G. Pérez, J. Coma, C. Barreneche // In: Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability. – Cham: Springer. 2018. – P. 65–80.

33 Матвєєва О.Л. Використання смуги зелених насаджень як акустичного екрана в зоні авіаційних підприємств / О.Л. Матвєєва, Л.М. Чуйченко // Наукоємні технології. – 2013. – № 1(17). – С. 100–103.

34 Хворост М.В. Захист сельбищної зони від шуму транспортної магістралі акустичними методами / М.В. Хворост, С.А. Грязнова, В.В. Малишева / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2014. – Вип. 4(41). – С. 79–81.