

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

захисту рослин, біотехнологій та екології

_____ **Коломієць Ю.В.**

« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

**загальної екології, радіобіології та
безпеки життєдіяльності**

_____ **Клепко А.В.**

« ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Дослідження екологічних ризиків під час експлуатації
автомобільних доріг»**

Спеціальність _____ **101«Екологія»**
(код і назва)

Освітня програма _____ **«Екологія та охорона навколишнього середовища»**
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ **освітньо-професійна**
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор біологічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Гайченко В.А.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к. с.-г. наук, доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Кудрявицька А.М.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Гарячий І.В.

(ПІБ студента)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота виконана на 80 сторінках, містить 6 розділів, 18 таблиць, 8 рисунків, використано 55 бібліографічних джерел.

Актуальність дослідження: дослідженнями негативного впливу автомобільних доріг на навколишнє середовище займаються відносно недавно і на сьогоднішній день ще дуже мало як розрахункових, так і фактичних даних про екологічний стан територій вздовж автодоріг. Тому особливо важливо провести оцінку екологічних наслідків впливу автомобільної дороги М-05 на стан довкілля та обґрунтувати заходи зі зниження негативних наслідків для екосистем та для населення.

Мета роботи – оцінити техногенний вплив автомобільної дороги М-05 у межах Київської області на стан компонентів довкілля та запропонувати заходи з його мінімізації.

Для досягнення цієї мети у роботі поставлені наступні завдання:

- 1) Проаналізувати екологічний стан придорожніх територій автошляху М-05;
- 2) Визначити рівні забруднення повітря токсичними компонентами вихлопних газів;
- 3) Розрахувати ступінь забруднення ґрунтів свинцем та оцінити екологічні збитки;
- 4) Запропонувати природоохоронні заходи для зниження негативного впливу.

Об'єкт дослідження – дослідження впливу експлуатації автомобільної дороги на деградацію екологічних компонентів у зоні безпосередньої близькості до транспортних магістралей.

Предмет дослідження – автомобільна дорога М-05 Київ–Одеса в межах Київської області та її вплив на компоненти довкілля.

Методи дослідження обрані відповідно меті та завданням дослідження та включають в себе загальнотеоретичний метод, методи аналізу та синтезу, статистику транспортних потоків, аналіз екологічних ризиків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНИЙ РИЗИК, ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ, ВИХЛОПНІ ГАЗИ, НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТРАНСПОРТ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	6
1.1. Транспортна інфраструктура Київської області	6
1.2. Вплив транспорту на довкілля	8
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	15
2.1. Викиди в атмосферу та їх наслідки.....	15
2.2. Забруднення ґрунтового покриву свинцем	18
2.3. Забруднення водного середовища	20
РОЗДІЛ 3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	27
3.1. Опис об'єкта дослідження.....	27
3.1.1. Конструкція дорожнього одягу	29
3.2. Обґрунтування вибору оптимальної траси.....	34
3.3. Екологічні аспекти проектування автомобільної дороги	36
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ	40
4.1. Визначення ступеня забруднення ґрунтового покриву внаслідок діяльності автотранспорту.....	40
4.2. Розрахунок забруднення ґрунтового покриву свинцем	43
4.3. Кількісна оцінка забруднення атмосферного повітря, зумовленого автотранспортом.....	45
4.4. Розрахунок концентрації забруднення атмосферного повітря.....	50
4.5. Визначення сукупного індексу екологічного впливу технологічних процесів у будівництві, відновленні та обслуговуванні автомобільних шляхів на довкілля	52
4.5.1. Розрахунок показника екологічної безпеки	57
4.5.2. Аналіз екологічних ризиків.....	58
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ, СПРЯМОВАНІ НА ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ	62
5.1. Стратегії мінімізації акустичного навантаження.....	62
5.2. Зелені захисні насадження.....	66
5.3. Заходи з охорони ґрунтів.....	69
РОЗДІЛ 6. ВАРТІСНІ ЗБИТКИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ВНАСЛІДОК ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА СВИНЦЕМ	71
6.1. Теоретичні засади розрахунку збитків від забруднення довкілля.....	71
6.2. Обчислення збитків.....	73
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	76
ДОДАТКИ	81

ВСТУП

Кожна свідома людина повинна мати всебічне уявлення про сучасний стан екології та навколишнього середовища, а також про основні напрямки державної політики в галузі охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. Сталий економічний і соціальний розвиток, як на регіональному рівні, так і в цілому по Україні, нерозривно пов'язаний із захистом природного середовища, раціональним використанням ресурсів та забезпеченням екологічної безпеки життя людини.

Зараз Україна зіштовхується із доволі значною проблемою забруднення довкілля, спричиненого транспортною інфраструктурою. Це охоплює як прямий вплив автотранспорту, так і штучний тиск на природу під час проектування, зведення та використання доріг. Серед усіх типів транспорту машини лишаються головним джерелом забруднення повітря та порушення природного балансу. Пальне, що застосовується в автомобілях і складається з різних нафтопродуктів та мастил, містить леткі складові, які у складі вихлопних газів дизельних та бензинових двигунів внутрішнього згорання засмічують практично всі складові навколишнього середовища.

Протягом останніх кількох десятиліть, зі стрімким розвитком автомобільного транспорту, його вплив на довкілля став дедалі серйознішим. Транспортні системи є джерелом небезпечного хімічного забруднення, що впливає на атмосферу, водойми та сільськогосподарські угіддя, а також спричиняє шум і вібрацію. Це не лише негативно впливає на навколишнє середовище, але й шкодить здоров'ю людей.

Кожен транспортний засіб споживає 15 кілограмів повітря під час спалювання 1 кілограма бензину, у тому числі 5,5 кілограм кисню. Спалювання однієї тонни палива призводить до викиду 200 кілограмів оксиду вуглецю в атмосферу. Автотранспорт відповідає приблизно за 55 % загальних шкідливих викидів, що складаються з понад 200 сполук, включаючи оксид вуглецю, оксид свинцю, оксид азоту, формальдегід, ароматичні вуглеводні, бензо[а]пірен,

канцерогени (включаючи поверхнево-активні речовини), багато з яких є мутагенами.

Транспортні засоби споживають велику кількість нафтопродуктів, спричиняючи серйозної шкоди довкіллю, зокрема атмосфері. Число транспортних засобів щороку збільшується, що супроводжується відповідним зростанням потреби у зведенні доріг. Постійне зростання кількості автотранспорту має значний несприятливий вплив як на екологічне середовище, так і на здоров'я людей. Це питання є особливо важливим, оскільки вимагає покращення інфраструктури дорожньої мережі з одночасним врахуванням екологічних наслідків її транспортних та експлуатаційних показників [1].

Дослідження негативного впливу доріг на довкілля лише нещодавно привернули увагу, а розрахункові та фактичні відомості щодо екологічних умов у районах, прилеглих до доріг, на даний момент є неповними. Крім того, екологічні норми щодо впливу доріг на природне середовище в зонах, що зазнають впливу, ще не визначені.

Оцінка впливу шляхів на природне довкілля може сприйматися як дієвий засіб планування, сутність якого полягає у здійсненні всебічного розгляду економічних наслідків до початку очікуваної виробничої діяльності, з окремим наголосом на екологічній надійності та рівні втручання людської діяльності у навколишню природу.

З огляду на вищезазначені аспекти, діяльність державних установ та підрозділів захисту довкілля має бути сфокусована на недопущенні та зменшенні шкідливого впливу транспорту на природу та людське здоров'я. Приміром, недбале обслуговування автошляхів спричиняє ранню поломку устаткування, надмірне споживання енергоносіїв та суттєві збитки. Витрати пального на дорогах із вибоїнами є вищими за витрати на якісно доглянутих, рівних покриттях принаймні на 20-25%. Це означає зайві 20-30 тонн енергоносія, що споживаються щоденно на ділянці дороги довжиною 100 км із середньодобовим потоком 4000 транспортних засобів.

РОЗДІЛ 1

ТРАНСПОРТ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1. Транспортна інфраструктура Київської області

Транспортна мережа є вирішальною складовою як виробничої, так і громадської інфраструктури, що обслуговує Київську область. Вона включає дороги, залізницю, авіасполучення, наземний електричний транспорт та підземку. Головними засобами для перевезення вантажів і людей, які забезпечують зв'язок як з іншими областями, так і всередині регіону, є залізничні та автомобільні шляхи.

Загальна протяжність автомобільних доріг загального користування на території Київської області становить 8846,2 км. З цієї протяжності 2470,7 км відведено дорогам національного рівня, а 6375,5 км – місцевим шляхам.

Служба автомобільних доріг Київської області відповідає за управління та технічне обслуговування 2470,7 км автомобільних шляхів загального користування державного значення.

На період перших шести місяців 2024 року в регіоні усі види пасажирського транспорту здійснили перевезення понад 17 мільйонів осіб, що на 9,8% перевищує показник, зафіксований у другій половині 2023 року. Кількість громадян, які скористалися послугами пасажирського транспорту, склала 723,7 мільйона осіб, що відповідає 97,5% від обсягу аналогічного періоду попереднього року. Обсяг вантажообігу транспортних підприємств сягнув 35 255,2 мільярда тонно-кілометрів, що на 5% більше, ніж було зафіксовано у 2023 році. Загалом було транспортовано (відправлено) 65,2 мільйона тонн вантажів, що перевищує торішній обсяг на 5,2%.

Київський регіон містить інфраструктуру перевезень, що уявляє собою всеосяжну сукупність залізничних колій та автотрас, що спроможні пов'язувати між собою як центральні, так і західні, південні, а також східні ділянки України. Завдяки своєму вигідному розташуванню у географічному сенсі, Київська

область набула статусу ключового хаба у сфері транспортного забезпечення та логістики на національному рівні [2].

Залізничне полотно в межах області простягається на орієнтовно 1100 кілометрів, переважна частина яких оснащена електротягою. Це охоплює як головні магістралі, так і численні відрізки для приміського руху, що також обслуговуються електропоїздами. Головними залізничними вузлами, що функціонують у регіоні, є Київ, а також міста Фастів, Біла Церква, Миронівка та Яготин.

Через ці землі пролягають стратегічно значущі залізничні шляхи, що інтегрують Київ із потужними індустріальними центрами всередині країни та державами Європи [3].

Перевезення потягами є домінантою у переміщенні вантажів усередині області. Серед основних товарних позицій – зернові культури, вироби з металу, матеріали для будівництва, а також вугілля та паливні ресурси.

У 2023 році, на території Київського залізничного вузла, обсяг вантажних операцій продемонстрував зростання більш ніж на 30 % від показників попереднього року. Це стало наслідком стабілізаційного процесу у логістичних схемах та поступового відновлення економічних процесів.

Відновився і пасажиропотік: протягом 2023 року залізниця Київщини обслужила понад 25 мільйонів пасажирів, які скористалися як міжміськими, так і локальними поїздами.

Суттєвий ступінь електрифікації (що перевищує 90 %) сприяє кращій ефективності використання енергії та мінімізації несприятливого впливу на довкілля.

Система автошляхів Київщини є однією з найщільніших в українському контексті. Загальна довжина усіх автодоріг становить приблизно 8,9 тисячі кілометрів, причому 1,8 тисячі кілометрів із них віднесені до категорії державного значення.

Ця дорожня розгалуженість гарантує надійне сполучення між усіма поселеннями області та столицею. Завдяки цьому, щодня виконуються тисячі

пасажирських маршрутів, що поєднують Київ із приміськими зонами та районними центрами.

Протягом року 2023 автомобільний транспорт перевіз близько 110 мільйонів пасажирів, де переважна більшість (понад 85 %) припадає на частку приватних перевізників.

Обсяги вантажних автоперевезень сягнули близько 13–14 мільйонів тонн, що становить приріст у 10 % порівняно з 2022 роком.

Незважаючи на мобільність та зручності, використання автомобільного транспорту асоціюється з вищим рівнем використання палива та більшими викидами шкідливих речовин, якщо порівнювати його із залізничним.

Для забезпечення неупередженого аналізу транспортної інфраструктури Київської області, варто зіставити ключові показники двох її основоположних компонентів — залізничних перевезень та автотранспорту, що наведено у таблиці 1.1.1 (дод. А.1) [4,5].

Підсумовуючи, можна зазначити, що залізничний транспорт Київської області є базовим для здійснення вантажних перевезень на великі відстані, забезпечуючи високу стабільність і менший вплив на довкілля.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що залізнична мережа Київщини є фундаментальною для здійснення транспортування вантажів на далекі відстані, демонструючи при цьому високу надійність та помірний вплив на довкілля.

Натомість, автомобільний вид транспорту зберігає свою позицію як головний засіб для перевезень на короткі дистанції та забезпечення місцевої логістики, вирізняючись адаптивністю у формуванні маршрутів і швидким реагуванням.

Спільне та узгоджене функціонування обох цих систем створює збалансовану транспортну мережу регіону, яка ефективно задовольняє потреби виробничого сектору, соціальної сфери та екологічні вимоги.

1.2. Вплив транспорту на довкілля

Автомобіль — це транспортний засіб, що оснащений колесами. Його рушійною силою є двигун, який споживає паливо. Його призначення полягає в

переміщенні осіб, вантажів, забезпеченні буксирування, виконанні специфічних завдань та транспортуванні спеціалізованого устаткування дорогами без використання рейок. Прикладами є легкові авто, вантажні машини, ТЗ спеціального призначення, автобуси тощо.

Автотранспорт надає вищий рівень рухливості, зростання робочої продуктивності та є визначальним елементом сучасного життєвого устрою. Наявність авто є ознакою економічного становища як окремої особи, так і держави в цілому.

Автотранспортні засоби незмінно вважалися одним із ключових чинників, що спричиняють забруднення повітряного басейну. Головними винуватцями посиленого забруднення атмосфери автомобілями є щорічне зростання загального числа машин, порушення правил експлуатації автомобілів, використання морально та технічно застарілого автопарку, неналежна якість пального та мастил, незадовільний стан автодоріг, відсутність об'їзних шляхів, належних дорожніх розв'язок, підземних переходів для пішоходів, а також неефективна організація дорожнього руху.

Київська область зіштовхується з рядом критичних викликів у сфері дорожнього господарства, які значним чином позначаються як на безпеці пересування, так і на стані довкілля. Ключовою проблемою залишається незадовільний стан автошляхів, особливо у віддалених регіонах. Дефекти дорожнього полотна, його зношеність, велика кількість вибоїн і нерівностей призводять не лише до зниження комфорту для водіїв, але й до серйозних екологічних наслідків, зокрема, до підвищення рівня викидів забруднюючих речовин внаслідок частих гальмувань та вібрацій. Згідно з даними Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України, станом на 2024 рік понад третина дорожньої мережі Київщини потребувала повної реконструкції або капітального ремонту. Інцидент на трасі М-05 (Київ — Одеса), де тривала відсутність належного обслуговування провокувала багаторазові затори та аварії, слугує яскравим підтвердженням цієї проблеми [6].

Значною перешкодою є також відсутність належних об'їзних магістралей. Досить часто вантажний транзитний транспорт змушений пролягати через великі населені пункти, що створює надмірне навантаження на дорожнє покриття та погіршує якість атмосферного повітря. За таких обставин інтенсивний транспортний потік значно підвищує рівень забруднення довкілля. Примітним прикладом є місто Бровари: через відсутність об'їзної дороги, транзитні великогабаритні вантажівки проходять безпосередньо через місто, що суттєво нарощує рівень шумового забруднення та концентрацію вихлопних газів.

Проблеми транспортних розв'язок та пішохідних переходів

Не менш критичним аспектом є недосконала організація дорожніх розв'язок. Типовою є ситуація на перехрестях у м. Біла Церква, де не повноцінно сконструйована транспортна розв'язка створює значні затори та ускладнює проїзд, особливо в години пік. Це не тільки призводить до збільшення споживання пального, але й сприяє підвищенню забруднення повітря та шумового фону. Застарілі об'єкти інфраструктури, зокрема розв'язки біля міста Васильків, не мають достатньої пропускної здатності та нерідко стають осередками дорожньо-транспортних пригод.

Підземні пішохідні переходи є життєво необхідними елементами інфраструктури, проте їхня недостатність у багатьох локаціях становить серйозну загрозу безпеці пішоходів. На перевантажених ділянках поблизу великих торговельних центрів та залізничних вокзалів, зокрема в районі м. Бориспіль, де висока інтенсивність руху та щільність пішоходів, відсутність належних переходів створює небезпечні умови. Така ситуація змушує громадян перетинати проїзну частину у не призначених для цього місцях, що збільшує ризик виникнення ДТП.

Недосконала система організації дорожнього руху

Одним із значних недоліків транспортної мережі Київщини є неефективне управління дорожнім рухом. Наприклад, у багатьох містах регіону, включаючи Васильків та Обухів, не завжди використовуються сучасні технологічні рішення для оптимізації роботи світлофорних об'єктів та забезпечення безперервності

потоків транспорту. У Києві та прилеглих територіях затори на основних транспортних артеріях часто є наслідком несинхронізованої роботи світлофорів, що значно збільшує час простою автомобілів. Це не лише знижує загальну ефективність транспортної системи, але й провокує до збільшення викидів шкідливих речовин.

Екологічний вплив незадовільного стану доріг

Погана якість дорожнього покриття та відсутність об'їзних шляхів також погіршують екологічну ситуацію в Київській області. Оскільки велика частина доріг є застарілою і вимагає капітального ремонту, це сприяє не лише зростанню рівня забруднення повітря автомобільними вихлопами, а й інтенсивному руйнуванню полотна, що збільшує концентрацію дорожнього пилу та важких металів у атмосфері. Міста, розташовані вздовж ключових автотрас, як-от Фастів і Тараща, фіксують високі показники забруднення через постійний транзитний трафік, що негативно впливає на здоров'я місцевого населення.

Токсичні елементи, присутні у вихлопних газах автомобілів, чинять надзвичайно згубний вплив на людський організм; ідентифіковано приблизно 280 різних токсичних речовин, найнебезпечнішими з яких є канцерогенний бензо(а)пірен, сполуки азоту, сполуки свинцю та ртуті, а також оксиди вуглецю та оксиди сірки, сажа та вуглеводні – і саме цей небезпечний «коктейль» ми вдихаємо щодня на вулицях наших міст. Крім того, це спричиняє забруднення автомобільних доріг, прилеглих до них територій, включаючи ґрунти та лісосмуги, а під час атмосферних опадів поверхневі та ґрунтові води також можуть бути забруднені.

У процесі роботи транспортних засобів із двигунами внутрішнього згоряння основними джерелами шкідливих для довкілля забруднюючих речовин виступають такі елементи: вихлопні гази; гази, що виходять із картера двигуна; випари з паливної системи; а також неконтрольоване потрапляння експлуатаційних рідин на ґрунт. Вихлопні гази транспортних засобів містять значну кількість свинцю, котрий, у поєднанні з солями інших металів, проникає

у ґрунт, поверхневі водні об'єкти та ґрунтові води, звідки поглинається рослинами, які, у свою чергу, використовуються та споживаються людьми.

Аналізуючи сучасну ситуацію, пов'язану з глобальним виробництвом та експлуатацією автотранспорту, слід зазначити, що вплив автомобільного транспорту на екологічне забруднення та людське здоров'я обумовлений такими ключовими факторами:

- 1) Основна маса автотранспорту функціонує в густонаселених зонах — у містах та потужних промислових осередках;
- 2) Емісія шкідливих речовин від автомобілів відбувається у найнижчих шарах атмосфери, безпосередньо поблизу поверхні землі, де відбувається переважна частина людської життєдіяльності;
- 3) Відпрацьовані гази двигунів містять висококонцентровані токсичні сполуки, які є головними чинниками забруднення повітряного середовища.

Найбільше виділення токсичних елементів у вихлопних газах автомобілів спостерігається при некоректному налаштуванні карбюратора або інжектора, системи запалювання, форсунок чи паливного насоса високого тиску, а також при наявності дефектів у системі відведення відпрацьованих газів (випускній системі).

Несправності цих елементів та механізмів призводять до збільшення об'єму шкідливих викидів у вихлопних газах у кілька разів. При належній регуляції карбюратора або інжектора, при всіх режимах роботи двигуна концентрація чадного газу (СО) не повинна перевищувати 0,5–0,2%, що відповідає нормам для помірно-швидкісного режиму. Проте у разі збою або невірної налаштування паливної системи цей показник може збільшитись у 2,5–5 рази [7].

Обсяг шкідливих викидів від автотранспорту має пряму залежність від режиму роботи силового агрегату і зумовлюється якістю застосовуваного палива. Дані, отримані в ході досліджень щодо середньої кількості основних токсичних компонентів, що вивільняються у вихлопні гази при спалюванні 1000

кг пального у повністю справних карбюраторних і дизельних двигунах, представлені у таблиці 1.2.1 (дод. А.2) [8].

Згідно з аналізом табличних даних, бензинові мотори суттєво сильніше засмічують повітряний простір монооксидом вуглецю та небезпечними вуглеводневими сполуками, якщо порівнювати їх із дизельними силовими агрегатами. Водночас, для дизелів типовою екологічною дилемою є збільшена емісія дрібних часток сажі та "задимленість" вихлопних газів.

Серед заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу транспорту на довкілля, можна виокремити такі:

- оновлення та вдосконалення парку транспортних засобів, що стосується як автомобільного транспорту, так і електротранспорту;
- проведення відновлювальних та ремонтних робіт на дорожньому покритті автомагістралей;
- забезпечення постійного контролю за дотриманням нормативів шумового забруднення (акустичного гаму), що генерується транспортними засобами;
- впровадження та використання систем для нейтралізації (очищення) відпрацьованих газів;
- перехід до використання нетрадиційних (альтернативних) джерел пального;
- масштабне озеленення територій у межах житлових зон, а також
- на розділювальних смугах автотрас.

Головні наслідки впливу автошляхів на природне та суспільне середовище містять:

- виснаження невідновлюваних природних ресурсів, зміни рельєфу, зменшення естетичної та культурної вартості краєвидів (руйнування унікальних природних ландшафтів) та шкода об'єктам, що мають історичне, культурне чи археологічне значення;

- зміни у гідрології та кліматі, зокрема зміни ознак відновлення довкілля, стоку річок, насичення поверхневих та ґрунтових вод, мікроклімату (швидкість

та орієнтація вітру, температура, вологість повітря), супутніх екосистем та рівня ґрунтових вод. Це може спричинити заболочення (або осушення) теренів вздовж шляхів, а також погіршення рослинних угруповань;

- небажаний вплив на людей, звірів і птахів у придорожніх територіях через гул, вібрацію, електромагнітне та іонізуюче випромінювання, що перевищують визначені норми;

- зниження родючості аграрних земель та біологічної продуктивності природних ландшафтів і водних об'єктів через забруднення атмосфери, водойм та ґрунту отруйними речовинами. Наявність будівельних і побутових відходів, а також втрат перевезених вантажів у прибережній смузі сприяє інтенсивному накопиченню великої кількості сміття, що забруднює поверхневий стік, ґрунтові води, ґрунт і рослинність. Цьому також сприяє використання протижеледних матеріалів, продукти зносу автомобільних шин, дорожнього покриття, мінерали, що потрапили внаслідок руху автомобілів поза дорогами, витоки паливно-мастильних матеріалів, спецрідин під час обслуговування та ремонту техніки; застосування екологічно небезпечних місцевих будівельних матеріалів та відходів промислового виробництва (наприклад, піритових огарків, ртутновмісних відходів, кам'яновугільних смол, радіоактивних порід) при будівництві конструктивних шарів дорожнього полотна;

- зменшення популяційного потенціалу тваринного світу, птахів і рослинності внаслідок інтенсивного техногенного впливу транспортних засобів та іншої техніки (під час руху транспортних засобів), ущільнення ґрунту, порушення усталених сезонних маршрутів міграції тварин, а також зміни річкового русла та контурів водойм, порушення гідрологічного балансу, розмивів під час спорудження мостів (що призводить до знищення нерестовищ і зимувальних ям);

- порушення традиційного способу життя місцевого населення (малих народностей), їхнього традиційного природокористування при будівництві доріг у місцях розробки нових родовищ корисних копалин на території проживання цих народностей.

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

2.1. Викиди в атмосферу та їх наслідки

Об'єктом дослідження моєї дипломної роботи є ділянка автомобільної дороги М-05, що пролягає на території Київської області.

Техногенний вплив автодороги на екосистеми придорожньої смуги традиційно класифікують як безпосередній та опосередкований. Автомобільна магістраль, як інженерна конструкція, під час будівництва та експлуатації спричиняє трансформацію природних ландшафтів, модифікує гідрологічний режим поверхневого та ґрунтового стоку, а також ініціює ряд інших несприятливих ефектів, що наведено у таблиці 2.1.1 (дод. Б.1) [9].

Екологічна безпека певної автомобільної магістралі оцінюється за допомогою сукупності екологічно важливих індикаторів та відповідних критеріїв їх оцінювання, які відображають ключові характеристики і особливості дороги як джерела впливу на навколишнє природне та соціальне оточення, а також елементів довкілля, що зазнають впливу з боку цієї дороги. Встановлення цих показників та критеріїв їх оцінки відбувається шляхом аналізування усіх вимог, закріплених у чинних законодавчих актах та нормативно-правових документах [10].

Кількість транспортних засобів, серед яких є багато різних видів автомобілів, постійно збільшується. Це обов'язково впливає на якість повітря, особливо у великих, густонаселених містах, де концентрація машин значно вища, ніж у приміських районах. Погіршення стану довкілля зумовлює зниження стійкості імунної системи населення та сприяє зростанню кількості захворювань [1].

Забруднення атмосфери, що виникає внаслідок експлуатації автомобільного транспорту, проявляється за трьома головними напрямками: викиди шкідливих речовин через відпрацьовані гази, прорив газів у картер

двигуна та виділення шкідливих сполук внаслідок випаровування пального з паливних баків і карбюраторів, а також через витоки палива.

Ключовими чинниками забруднення повітряного простору автомобілями є гази, що виходять після згоряння палива у двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ), а також випаровування пального.

Двигун внутрішнього згоряння являє собою тепловий пристрій, котрий трансформує хімічну енергію палива у механічну енергію.

У контексті пального, що використовується для живлення, двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) класифікуються на бензинові, газові та дизельні. Відносно методу ініціювання процесу горіння паливно-повітряної суміші, ДВЗ поділяються на дві основні категорії: двигуни з іскровим запалюванням (переважно бензинові) та двигуни з компресійним запалюванням (дизельні).

Дизельне паливо являє собою складну суміш вуглеводнів, отриманих з нафти, фракції яких характеризуються точкою кипіння в діапазоні температур від 200 до 350 °С. Для дизельного палива критично важлива відповідність встановленим вимогам щодо в'язкісних характеристик та здатності до самозаймання. Окрім цього, воно має демонструвати хімічну стабільність, а процес його згоряння повинен характеризуватися мінімальним рівнем димоутворення та зниженою токсичністю викидів. Для покращення цих характеристик до пального додають спеціальні присадки — протидимні або багатофункціональні.

Відпрацьовані гази автомобільних двигунів є складною сумішшю, що містить понад 200 різних компонентів, значна частина яких є канцерогенами. Головним показником, що визначає ступінь забруднення довкілля, є конструктивний тип автомобільного двигуна. У таблиці 2.1.2 наведено перелік видів забруднюючих речовин, що викидаються двигунами різних типів (дод. Б.2) [11].

Утворення токсикантів – продуктів часткового окиснення палива та оксидів нітрогену в межах внутрішніх порожнин двигуна під час згоряння паливної суміші – відбувається за принципово відмінними механізмами.

Перша група шкідливих речовин утворюється в результаті хімічних реакцій оксидації пального, що відбуваються як на стадії, яка передує фронту полум'я (передполуменева фаза), так і безпосередньо в процесі горіння та розширення газів.

Друга група токсичних сполук виникає внаслідок взаємодії молекулярного азоту та надлишкового кисню, наявних у продуктах згорання. Реакція формування оксидів нітрогену має переважно термічний характер і безпосередньо не пов'язана з процесами оксидації пального.

До основних токсичних компонентів, що викидаються автотранспортом, належать: відпрацьовані гази, гази картера та випаровування палива.

Відпрацьовані гази, що виділяються двигуном, містять монооксид вуглецю, вуглеводні, оксиди нітрогену, альдегіди та тверді частинки (сажу).

Картерні гази – це суміш частково згорілих газів, що просочилися через проміжки між поршневіми кільцями в картер двигуна, разом з парами мастила.

Паливні випаровування потрапляють у навколишнє середовище з паливної системи двигуна: через з'єднання, шланги тощо.

Розподіл основних компонентів викидів для карбюраторного двигуна є таким: відпрацьовані гази містять 95% монооксиду вуглецю, 55% вуглеводнів та 98% оксидів нітрогену; картерні гази — відповідно 5% вуглеводнів, 2% оксидів нітрогену; а паливні випаровування — до 40% вуглеводнів [12].

Ключовими токсичними речовинами, що є наслідком неповної конверсії палива, виступають тверді частинки (сажа), монооксид вуглецю, вуглеводні та альдегіди.

Обсяг забруднювальних речовин, що випускаються в атмосферу, детермінується низкою факторів. На виділення монооксиду вуглецю істотно впливає дорожній профіль та манера керування транспортним засобом. Наприклад, під час прискорення і уповільнення концентрація монооксиду вуглецю у відпрацьованих газах збільшується майже у 8 разів. Мінімальна кількість монооксиду вуглецю виділяється при стабільному русі транспортного

засобу зі швидкістю 60 км/год. Емісія оксидів нітрогену досягає пікових значень при стехіометричному відношенні повітря до палива 16:1 [13].

Таким чином, рівень емісії шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобільного транспорту визначається численними чинниками: співвідношенням повітря та пального в паливній суміші, режимами функціонування транспорту, рельєфом місцевості та станом дорожнього покриття, технічним станом транспортних засобів та ін.

Склад та обсяг викидів також залежать від типу силового агрегату. Викиди основних забруднювачів значно нижчі у дизельних двигунах. Тому їх прийнято вважати більш екологічно прийнятними. Проте дизельні двигуни характеризуються підвищеною емісією сажі, яка утворюється внаслідок надмірного збагачення паливом. Сажа містить канцерогенні вуглеводні та мікроелементи; їхнє потрапляння в атмосферу є неприпустимим [14].

2.2. Забруднення ґрунтового покриву свинцем

Свинець, визнаний одним із найбільш небезпечних металів, класифікується як речовина надзвичайно високої токсичності (1 клас небезпеки). Тетраетилсвинець, що застосовується як антидетонатор у бензинах (ГДК становить 0,005 мг/м³, 1 клас небезпеки), є причиною потрапляння близько 80% свинцевих сполук, що забруднюють атмосферу, внаслідок використання етилованих бензинів. Згоряння одного літра такого пального призводить до викиду в довкілля від 0,2 до 0,4 г свинцю. За різними оцінками, щорічний обсяг викидів свинцю в атмосферу внаслідок спалювання рідкого палива сягає від 180 до 260 тис. тонн, що в 60–130 разів перевищує його природне надходження від вулканічної діяльності.

Оксиди свинцю утворюються у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння, що працюють на етилованому бензині, який використовується для збільшення октанового числа та запобігання детонації. Під час згоряння однієї тонни етилованого бензину в атмосферу виділяється приблизно 0,5–0,85 кг оксидів свинцю.

Гранично допустимі концентрації свинцю встановлені на рівні: 0,03 мг/м³ в атмосферному повітрі, 0,03 мг/л у водних об'єктах та 32 мг/кг у ґрунті.

Повна відмова від використання етилованого бензину є найбільш ефективним заходом для зниження забруднення навколишнього середовища свинцевими викидами від автомобільного транспорту.

Оксиди свинцю мають здатність акумулюватися в організмі людини, потрапляючи через продукти харчування як рослинного, так і тваринного походження. Свинець та його похідні є вкрай токсичними речовинами, що можуть завдати значної шкоди здоров'ю. Вплив свинцю на нервову систему спричиняє погіршення когнітивних функцій, зміни у фізичній активності, порушення координації рухів та слуху, а також негативно впливає на серцево-судинну систему, сприяючи розвитку кардіологічних захворювань. Отруєння свинцем, також відоме як сатурнізм, є однією з найбільш розповсюджених професійних інтоксикацій.

Вміст свинцю у рослинності, що зростає поблизу автомобільних доріг, прямо корелює з віддаленістю від проїзної частини. Наприклад, в Європі нормативна концентрація свинцю (Pb) у трав'яному покриві становить 10 мг на 1 кг сухої маси.

При вдиханні забрудненого міського повітря, великі свинцеві аерозольні частинки затримуються у верхніх дихальних шляхах (бронхах і носоглотці), тоді як дрібні частинки (діаметром менше 1 мкм), що становлять близько 70–80%, проникають у легеневу тканину. Звідти, через систему капілярів, вони потрапляють у кров, зв'язуються з еритроцитами та викликають інтоксикацію крові. Клінічні ознаки свинцевої інтоксикації, такі як анемія, перманентні головні болі, м'язові болі, стають очевидними при концентрації свинцю в крові, що перевищує 80 мкг/100 мл. Сполуки свинцю особливо шкідливі для розвитку інтелекту у дітей, оскільки в дитячому організмі затримується до 40% сполук свинцю, що потрапили. У ґрунтах, прилеглих до автошляхів, відбувається накопичення як загальних, так і рухомих форм свинцю.

Наприклад, поблизу кільцевих автомобільних доріг великі свинцеві частинки осідають на придорожній території на відстані до 30 м, а за відсутності рослинних насаджень – до 400 м.

Свинець та його сполуки інгібують активність ферментів, дестабілізують метаболічні процеси, що, в свою чергу, призводить до зниження продуктивності сільськогосподарських культур, втрат у тваринницькій галузі та деградації лісових насаджень. Враховуючи здатність рослин накопичувати значні об'єми свинцю, вживання у їжу зернових або плодово-овочевих культур, вирощених поблизу транспортних магістралей, становить значний ризик для здоров'я [15].

2.3. Забруднення водного середовища

Експлуатація автомобільних магістралей супроводжується утворенням стічних вод, які характеризуються різноманітним складом і об'ємом. Ці стічні води надходять у навколишнє середовище, переважно до об'єктів гідросфери (річок, каналів, озер, водосховищ тощо).

Забруднення водних ресурсів відбувається внаслідок потрапляння викидів автотранспорту на ґрунт у зонах водозбору, у підземні води та безпосередньо у відкриті водойми. Серед поширених забруднювачів особливу тривогу викликає наявність нафтопродуктів у водних об'єктах. Початкові ознаки у вигляді окремих райдужних плям спостерігаються навіть при розливі 4 мл/м² (що еквівалентно товщині плівки 0,004–0,005 мм). При збільшенні кількості до 10–50 мл/м², плями набувають сріблястого блиску, а при перевищенні 80 мл/м² – формуються виразні кольорові смуги. Непрозора плівка виникає при розливі понад 0,2 л/м², а при 0,5 л/м² – вона набуває темного кольору.

Вплив автошляхів на природні водотоки виявляється у зміні їхніх:

- а) гідрохімічних показників;
- б) рівня каламутності річкових вод, а також термічного та льодового режимів;
- в) санітарно-гігієнічних та рибогосподарських умов на ділянках річок, що перетинаються автодорогою;
- г) режимів рівня та водного балансу витрат;

д) гідравлічних та морфологічних характеристик русла і заплави річок та струмків.

Функціонування автомобільних доріг та транспортних споруд зумовлює забруднення водойм та підземних вод шляхом інфільтрації стоків з поверхні ґрунту, а також через скидання неочищених стічних вод з дорожнього покриття у підземні горизонти.

Основним джерелом забруднення водного стоку є зношування та руйнування дорожніх покриттів. Провідними забруднювальними компонентами поверхневого стоку є: продукти абразії дорожніх покриттів, частинки зносу автотранспорту та згоряння палива, тверді матеріали, що зносяться з узбіч та відкритих ґрунтових поверхонь, включаючи наслідки вітрової ерозії ґрунтів, втрати нафтопродуктів (палива, мастил) транспортними засобами та на об'єктах дорожнього сервісу (автозаправні станції, зони відпочинку, автомайстерні), солі та тверді частинки антижеледних реагентів (у зимовий період), тверді побутові відходи та продукти життєдіяльності учасників руху, а також втрати при транспортуванні різноманітних вантажів.

Усі забруднювачі, присутні у поверхневому стоці з доріг, класифікуються на такі групи:

- Мінеральні та органічні домішки природного походження, що утворюються внаслідок змиву ґрунту з ґрунтових доріг та узбіч, а також ерозії ґрунту;
- Грубодисперсні домішки (частинки піску, глини, гумусу), а також розчинені органічні та мінеральні сполуки; речовини техногенного походження в різних фазово-дисперсних станах — це витікання нафтопродуктів, продукти згоряння палива та зносу транспортних засобів, шин, абразії дорожніх покриттів, солі та інші протижеледні реагенти, втрати під час перевезення різноманітних вантажів, а також у випадках аварійних ситуацій;
- Біогенні та бактеріальні забруднення, які потрапляють у водотоки через незадовільний санітарно-технічний стан території та каналізаційних

систем, а також внаслідок розміщення твердих відходів та продуктів життєдіяльності водіїв і пасажирів у відведеній смузі.

Концентрація суспендованих частинок у поверхневому стоці з мостових конструкцій залежить від сезонних факторів і режиму стоку, а також від інтенсивності та складу транспортного потоку, стану дорожнього покриття, дорожньої ситуації тощо. Суспендовані частинки впливають на прозорість води та проникнення світла, на температуру, хімічний баланс розчинених речовин у поверхневих водах, адсорбцію токсичних елементів, а також на склад та просторовий розподіл відкладень і швидкість седиментації. Діапазон концентрацій суспензій у поверхневому стоці коливається від 45 до 4000 мг/л. Для обчислень гранично допустимих скидів забруднювальних речовин у природні водні об'єкти застосовуються значення типових концентрацій цих речовин (табл 2.3.1) [16].

Таблиця 2.3.1. Рівні концентрацій забруднювальних субстанцій, виявлених у поверхневому стоці з дорожнього покриття автомобільних доріг першої категорії.

Назва речовини	Кількість речовини, мг/дм ³	
	в дощових водах	в талих водах
Нерозчинені тверді фракції	1300	2700
Продукти переробки нафти	24	26
Важкі метали (приведені до свинцю)	0,28	0.30

Нафтові продукти, що містяться у відведенні поверхневих вод, є комплексом мастильних матеріалів і пального, які використовуються в автомобільній сфері. Вони потрапляють на дорожнє покриття через витоки з окремих вузлів або агрегатів транспортних засобів. Окрім зазначеного, при здійсненні запуску силових агрегатів "на холодну" в зимовий період.

Утворення дрібнодисперсних часток, збагачених важкими металами, є наслідком абразивного зносу фрикційних поверхонь гальмівних механізмів та елементів зчеплення, а також покришок автотранспортних засобів. Цей

дисперсний матеріал акумулюється вздовж дорожнього полотна і надалі транспортується гідрологічними потоками.

Окрім вищезазначених джерел, певні види моторних і трансмісійних мастил, що містять металовмісні органічні присадки, а також антиожеледні реагенти, застосовувані в дорожньому господарстві, можуть бути джерелом важких металів. Додатково, ці реагенти постачають хлориди натрію та кальцію, а також інші хімічні сполуки. Кумуляція зазначених речовин у придорожній зоні спостерігається не лише у поверхневих горизонтах ґрунту, а й проникає на глибину до 60 см, досягаючи горизонтів ґрунтових вод та ризосфери рослин.

За умов низьких температур та обмеженого дренажу, реагенти активно абсорбуються сніговим покривом. Спеціалізована техніка здійснює транспортування забрудненого снігу на відстань до 50 метрів від проїжджої частини. Частина солей, що вже зазнала хімічних перетворень, залишається на дорожньому покритті та може поширюватися на значні відстані аерозольним шляхом, а також разом із бризками від коліс, пилом або снігом. Екстремальне засолення ґрунту негативно впливає на метаболізм рослин, гальмуючи їх ріст, репродуктивну здатність та дисемінацію [17].

Протягом терміну експлуатації автомобільної магістралі, розташовані в безпосередній близькості зелені насадження зазнають негативного впливу забруднення, зумовленого, в першу чергу, емісією продуктів згоряння палива двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ), а також практиками літнього та зимового утримання дорожньої інфраструктури (зокрема, мостів). Високі концентрації сольових компонентів (іонів натрію та хлору) антиожеледних засобів є токсичними для всіх складових лісового біогеоценозу. Присутність хлоридів у ґрунтовому розчині ускладнює абсорбцію води та поживних речовин рослинами, негативно впливає на активність ґрунтової мікробіоти і може спровокувати її деградацію. Також, вони порушують біохімічні процеси асиміляції та метаболізму у клітинах рослин, що в кінцевому підсумку призводить до їхнього послаблення або повної зупинки.

Функціонування автошляхів впливає на фауну передусім через модифікацію їх просторової та сезонної активності. Контамінація навколишнього середовища призводить до зниження репродуктивного потенціалу, скорочення життєвого циклу, сповільнення личинкового розвитку, зменшення вітальності яєць та зміни морфологічних характеристик окремих особин. Придорожні території, за умови їх інтенсивного озеленення, приваблюють тварин і слугують місцем гніздування для різноманітних видів птахів, що, на жаль, може призвести до їхньої загибелі внаслідок колізій з автотранспортом [18].

2.4. Оцінка акустичного навантаження

Останні десятиліття ознаменувалися підвищеною стурбованістю екологів щодо згубного впливу акустичного забруднення на здоров'я людини. Наукові дослідження свідчать, що від 60 до 80 відсотків шумового фону, що оточує мешканців міських агломерацій, спричинено транспортними потоками. Цей різновид антропогенного шуму розглядається як один із найнебезпечніших параметричних факторів забруднення навколишнього середовища.

Слухова система людини наділена здатністю розрізняти значущі звукові сигнали від несуттєвого «фонового» шуму. З метою профілактики тривалого негативного впливу акустичного дискомфорту на фізичний стан людини під час відпочинку та нічного сну, еквівалентний коригований рівень звукового тиску в межах житлових приміщень не повинен перевищувати 30 дБ [19].

Ефективним заходом для мінімізації шкідливого впливу автомобільного транспорту на міське населення є облаштування пішохідних зон із безумовною заборонаю пересування механічних транспортних засобів.

Доцільним є створення транспортних тунелів у місцях найвищої інтенсивності транспортних потоків, що забезпечує розмежування руху автотранспорту та пішоходів на різних рівнях.

З екологічної перспективи, проблема акустичного дискомфорту, спричиненого транспортним рухом, у зоні зазначеного дослідження, де

функціонує транспортна розв'язка, набуває особливої гостроти, оскільки автомагістраль пролягатиме у безпосередній близькості до житлової забудови.

Шум, що генерується міським транспортом, варіюється в діапазоні 70-90 дБА, з домінуючою частотою енергії 400-800 Гц. Транспортні засоби є причиною приблизно 80% всього шуму, який проникає в зони постійного перебування людей.

Формування оптимального або комфортного навколишнього середовища, включаючи акустично збалансоване, залишається важливою та актуальною проблемою.

У відповідності до державних нормативів та чинних методологій, аналіз шумових характеристик транспортних потоків та вимірювання їх рівнів, як правило, здійснюється на прямолінійних ділянках міських автомагістралей. Вплив транспортних вузлів і різноманітних факторів, що модифікують рівень шуму на суміжних територіях, зазвичай враховується за допомогою відповідних корегувальних коефіцієнтів. Найбільші показники шуму реєструються на міських транспортних магістралях, зокрема в зонах їх перетину. Обчислення шумового рівня на перехрестях транспортних артерій засвідчують просторову неоднорідність звукових полів, причому значення рівня звуку тут можуть перевищувати розрахункові показники для прямолінійних ділянок на 2-7 дБА.

На сьогодні для визначення акустичних показників транспортних потоків застосовуються такі методи: натурні вимірювання (інструментальний), розрахунковий та аналітичний метод (графоаналітичний).

Натурні вимірювання передбачають ідентифікацію статистичних характеристик шуму, а саме рівнів звукового тиску, що продукуються міськими джерелами, включно з транспортними потоками. Метод натурних вимірювань використовується для встановлення кореляції між рівнем шуму та інтенсивністю, швидкістю та складом потоку, режимом його руху, а також для оцінки шуму за певний часовий проміжок.

Вимірювання рівнів шуму на міських дорогах, у житлових і громадських будівлях, а також на прилеглих територіях проводяться з метою контролю

відповідності фактичних шумових рівнів допустимим нормам, а також для розробки необхідних шумозахисних заходів та оцінки їхньої ефективності.

Розрахунковий метод базується на використанні узагальнених у нормативній літературі даних експериментальних досліджень та враховує спеціальні поправкові коефіцієнти, виявлені раніше в процесі вивчення шумових характеристик. Цей метод є наближеним, оскільки він оперує усередненими даними для всіх типів джерел шуму і застосовується для прогнозування шумового забруднення. Сьогодні розроблені розрахункові методи, які дають змогу визначати шумові характеристики руху транспорту на міських магістралях: аналітичні методи і методи моделювання.

Аналітичний метод, що використовує детерміновані та ймовірнісні моделі, дає можливість прогнозувати рівень шуму від транспортних потоків.

Проведення натурних вимірювань рівня звукового тиску та його поширення на території житлової забудови є доволі трудомістким і не завжди практично можливим. Тому в багатьох країнах використовують метод прямого акустичного моделювання для вивчення закономірностей розповсюдження шуму в умовах міської забудови на спеціалізованих акустичних полігонах.

Графоаналітичний метод, що базується на емпіричних дослідженнях, є одним із спрощених оціночних підходів, який репрезентується у вигляді номограм. Він використовує узагальнені відомості про дискретні джерела акустичного забруднення та враховує корективи, що залежать від умов розповсюдження звуку.

Для аналізу акустичної обстановки та візуалізації результатів польових вимірювань використовується акустичне картографування. Карта шуму території генерується шляхом нанесення на план місцевості ізоліній рівнів звукового тиску. Це дозволяє визначити акустичний режим в будь-якій точці досліджуваної території з точністю до 1 дБА [20].

РОЗДІЛ 3

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Опис об'єкта дослідження

Автомобільна дорога являє собою інженерну конструкцію, метою створення якої є уможливлення безперервного пересування автотранспорту протягом усього року, при цьому дозволяючи досягати високих темпів руху з оптимізацією витрат на будівництво та експлуатацію, а також гарантуючи належний рівень безпеки та комфорту під час руху. Фундаментальною частиною дороги як інженерного об'єкта є її земляна основа, що вирівнює природний ландшафт поверхні ґрунту, а також дорожнє покриття, власне проїзна частина, бічні смуги (узбіччя), інженерні та лінійні споруди, та усі елементи облаштування.

Переважає більшість автотрас на території України пролягають крізь забудовані території, що суперечить усталеним стандартам для глобальних транспортних мереж, оскільки це неминуче тягне за собою обмеження максимальної швидкості руху автотранспорту.

Транспортно-експлуатаційний стан дорожньої мережі оцінюється як незадовільний: 35 % покриттів не відповідають нормам за показниками рівності, а 14 % — за критеріями несучої здатності. Середній темп руху на українських автошляхах у 2–3 рази менший, аніж спостерігається у країнах Західної Європи.

Автошлях національного значення М-05, що з'єднує Київ та Одесу, вважається одною з визначальних транспортних артерій України, яка підтримує зв'язок між державною столицею та Одесою, одним із найбільших морських портів. Цей маршрут є складовою міжнародного транспортного коридору Е 95 (траса Санкт-Петербург – Київ – Одеса – Стамбул), що надає йому стратегічної ваги як для зовнішньоекономічних перевезень, так і для транзитного сполучення.

Загальна довжина цієї дороги сягає приблизно 453 кілометрів, з яких близько 90 км проходить територією Київщини. В межах області цей відтинок має чотири смуги (по дві на кожен напрямок), що класифікує його як категорію М-05 І-А, з розділювальною смугою та бар'єрними огорожами. Покриття

переважно асфальтобетонне, проте після нещодавніх модернізацій з'явилися також ділянки з цементобетону.

Завантаженість трафіком у межах Київської області є однією з найвищих по всій Україні. За даними, опублікованими «Укравтодором» та порталом Autostrada.info, середньодобовий потік транспорту на підступах до столиці перевищує 45–50 тисяч одиниць, причому вантажівки становлять приблизно 20–25% від цього обсягу. Це створює значний антропогенний тиск на дорожнє полотно, узбіччя та оточуючі території.

На відрізку, що лежить у Київській області, М-05 пролягає повз такі населені пункти, як Чабани, Віта-Поштова, Калинівка, Глеваха, Васильків та Великополовецьке, а також має примикання до низки регіональних автошляхів. Для забезпечення безпеки руху були збудовані сучасні транспортні розв'язки у місцях найбільшого скупчення транспорту. Зокрема, у Віті-Поштовій була завершена спорудження тунельної розв'язки у 2025 році, що гарантує безперервний рух і усуває небезпечне регульоване перехрестя (за інформацією CFTS, 2025).

Вздовж траси передбачені захисні конструкції: екрани для зменшення шуму поблизу житлових масивів, бар'єрні огорожі, системи дренажу та укріплення для запобігання ерозії узбіч. У найбільш завантажених зонах (особливо біля Києва та Василькова) встановлене освітлення, нанесена розмітка термопластиком, змонтовано сучасні дорожні знаки та облаштовано багаторівневі пішохідні переходи.

Згідно з оцінками Агентства відновлення (дані 2024 року), пропускна спроможність траси М-05 на Київщині в середньому сягає до 3 000 авто за годину у кожному напрямку, що відповідає високим критеріям для міжнародних магістралей. Проте, зростання транспортних обсягів вимагає подальшого вдосконалення розв'язок та дорожнього покриття з метою зменшення заторів та зниження екологічного сліду.

Автошлях М-05 володіє ключовою роллю у соціально-економічному розвитку регіону. Він обслуговує не лише транзит вантажів, а й підтримує

активний туристичний та діловий обмін між північними та південними областями країни. З огляду на це, підтримання його стану, забезпечення екологічної безпеки та ефективне обслуговування є важливими складовими національної транспортної стратегії.

3.1.1. Конструкція дорожнього одягу

Дорожній одяг – це багатошарова конструкція проїзної частини, спроектована для забезпечення безпечного та комфортного руху транспортних засобів, а також для розподілу прикладених навантажень на ґрунт основи. Структура дорожнього одягу включає в себе покриття, основу та додатковий шар основи (як ілюстровано на рис. 3.1.1.1 та рис. 3.1.1.2) [21].

Додатковий шар основи є нижнім конструктивним елементом дорожнього одягу, призначеним для сприйняття навантажень від шару основи, що розташований вище, та їх подальшої передачі на ґрунти земляного полотна. Для формування даного шару, як правило, використовуються гравійні матеріали, шлакові відходи, ґрунти, модифіковані в'язучими речовинами, або піщані суміші. На додаток до функції розподілу навантажень на земляне полотно, додатковий шар основи відіграє важливу роль у забезпеченні морозостійкості та дренажу, сприяючи відведенню надлишкової вологи з верхніх шарів земляного полотна та покращенню гідрологічного режиму дорожньої конструкції.

Основа являє собою міцний несучий елемент дорожнього одягу, який формується з використанням кам'яних матеріалів або ґрунтів, укріплених за допомогою в'язучих композицій. Головна функція основи полягає у більш рівномірному розподілі тиску від транспортного потоку на ґрунт земляного полотна або нижні шари конструкції. Основа може бути представлена як одним шаром, так і декількома шарами. Враховуючи відсутність прямого контакту з колесами транспортних засобів, для її створення допускається використання матеріалів з дещо нижчими характеристиками міцності, ніж ті, що використовуються для покриття.

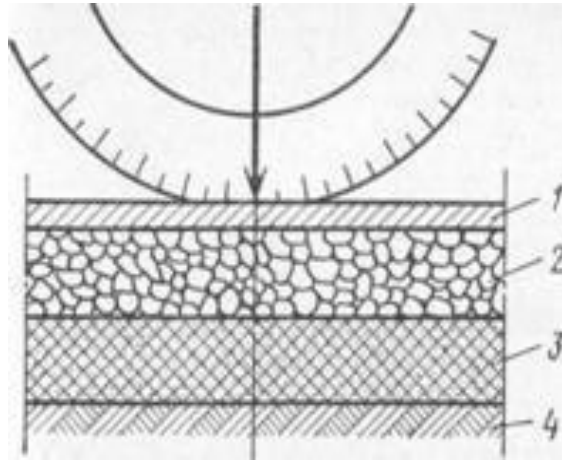


Рисунок 3.1.1.1. Компонентний склад дорожньої конструкції:
1 - шар покриття, 2 - основа, 3 - додатковий шар основи, 4 - ґрунт
земляного полотна.

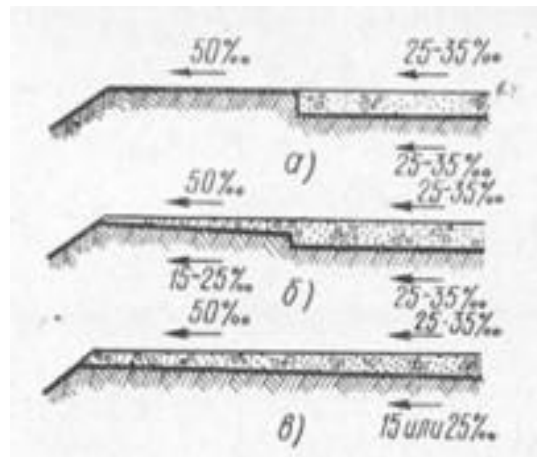


Рисунок 3.1.1.2. Конфігурації поперечного перерізу дорожнього одягу:
а – коритний (увігнутий), б – напівкоритний (напівувігнутий), в –
серпоподібний (опукло-увігнутий).

Покриття, по суті, являє собою верхній, найбільш стійкий елемент дорожньої конструкції. Його функція — приймати безпосередньо навантаження від рухомого транспорту, гарантуючи потрібні експлуатаційні характеристики автошляху: належну міцність та гладкість поверхні, високий ступінь зчеплення із шинами, а також стійкість до стирання. Зазвичай покриття поділяють на шар, який піддається зносу (зносний шар), та базовий шар. Зносний шар періодично відновлюють у міру його руйнування. Якщо йдеться про двошарові конструкції, то товщина верхнього шару з бетону має бути не менше 60 мм.

Коли ширина полотна перевищує 45 метрів, виконується нарізка поздовжніх швів для запобігання появі поздовжніх розломів у покритті.

Поперечні шви, призначені для компенсації температурних розширень, підтримують поздовжню стабільність покриття під час літнього нагріву. Їх створюють, ґрунтуючись на температурі повітря під час укладання суміші, з кроком приблизно 24–60 метрів, прорізаючи на повну глибину плити. У випадках, коли застосовується безрейкова технологія зведення покриття, компенсаційні шви формують наприкінці кожної робочої зміни, а також у разі перерв у постачанні суміші, що тривають понад 20–30 хвилин (Рис. 3.1.1.3) [21].

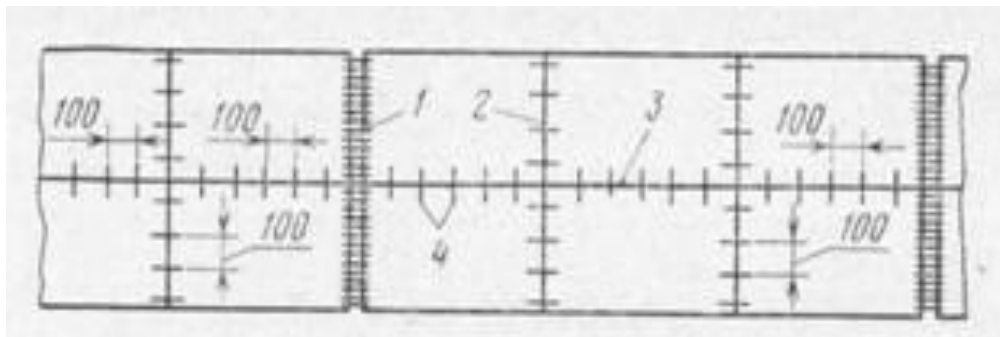


Рисунок 3.1.1.3. Схематичне розташування конструктивних швів у цементобетонній плиті:

1 – деформаційний шов, призначений для компенсації температурного розширення; 2 – компенсаційний шов, що забезпечує зменшення напружень, викликаних стисненням; 3 – поздовжній з'єднувальний елемент; 4 – арматурні стрижні, що забезпечують механічне з'єднання секцій покриття.

Поперечні деформаційні шви призначені для компенсації стискання бетонних плит, що виникає внаслідок зниження температур. Ширина швів варіюється в межах від 0,6 до 1 см. Їх формування здійснюється шляхом нарізання на глибину, що становить не менше 25% від загальної товщини покриття, з інтервалом між швами в діапазоні 5-8 метрів. Для забезпечення сумісної роботи плит та підтримки їхнього взаємного розташування в шви інтегруються сталеві стрижні, відомі як штирі (поз. 4), які запобігають горизонтальному зсуву плит. Штирі розміщуються перпендикулярно до поперечного шва, заглиблюючись на половину товщини покриття. З метою

забезпечення безперешкодного переміщення плит відносно одна одної в горизонтальній площині під впливом температурних коливань, одна половина кожного штиря покривається бітумною мастикою, що запобігає адгезії цієї частини стрижня з бетоном суміжної плити. У випадках влаштування цементобетонних покриттів на стабілізованих основах, допускається виключення процесу встановлення штирів у поперечні деформаційні шви. Шви підлягають герметизації за допомогою гідроізоляційних матеріалів.

Основи дорожнього одягу можуть бути виконані з використанням щебневих, гравійних, шлакових матеріалів або з ґрунтів, стабілізованих за допомогою в'язучих компонентів. У певних ситуаціях, щебневі та гравійні основи піддаються просоченню бітумними або дьогтьовими сполуками [22].

Для гарантування безперервного та надійного руху транспорту протягом усього року, незважаючи на будь-які метеорологічні умови, на земляному полотні автомобільної дороги формується дорожня конструкція (рис. 3.1.1.4) [22].

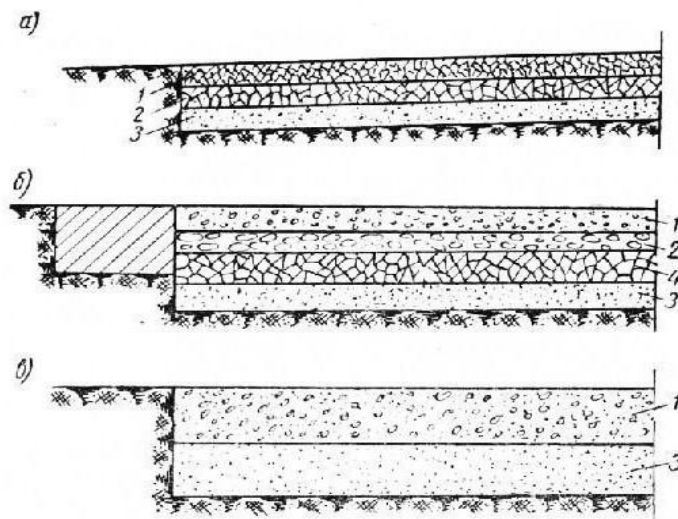


Рисунок 3.1.1.4. Дорожній одяг

а - з щебневим або гравійним покриттям; б - з асфальтобетонним покриттям; в - з монолітобетонним покриттям;

1 - верхній шар; 2 - нижній шар; 3 - підстильний шар; 4 – підстава.

Конструкція дорожнього одягу на автомагістралях характеризується багатошаровою структурою, що включає в себе: покриття (верхній, несучий шар, який визначає функціональні та транспортні характеристики проїзної частини); основу (основний несучий шар, який забезпечує стабільність усієї конструкції дорожнього одягу); та додатковий шар (що може виступати в ролі підстилаючого, несучого або вирівнюючого).

Дорожні покриття класифікуються за різними категоріями.

Найпростіші покриття – це ті, що створені з ґрунтів, покращених шляхом додавання різних гранулометричних фракцій (наприклад, піску або гравію); або з ґрунтів, відібраних згідно з визначеним гранулометричним складом.

Покриття проміжного типу – це ті, що складаються з природного гравію або штучно підібраних гравійних сумішей певної зернистості, або з щебеню заданої форми та розміру; а також ґрунтів, стабілізованих за допомогою в'язучих матеріалів

Удосконалені полегшені покриття – це щебеневі та гравійні покриття з використанням бітумних матеріалів, укладені на відповідні основи; вони включають такі матеріали, як щебінь, гравій, шлак, камінь, а також ґрунтово-гравійні або ґрунтові композиції, оброблені органічними в'язучими речовинами.

Удосконалені капітальні покриття – це конструкції на основі цементобетону та асфальтобетону, щебню з використанням бітумних матеріалів, мозаїчної або брущатої кладки, змонтовані на бетонній, щебеневій, шлаковій, ґрунтово-щебеневій основі або ґрунтовій основі, закріпленій в'язучими речовинами.

Вибір типу дорожнього покриття обумовлюється присвоєною дорозі категорією, а також рівнем інтенсивності транспортного потоку, що нею рухається.

Значення інтенсивності руху на конкретних відрізках магістралі полягає у верифікації відповідності актуального транспортного навантаження категорії дороги, а також в обґрунтуванні планування заходів щодо підтримки, відновлення та організації дорожнього руху.

Облік транспортних засобів на дорогах здійснюється з метою збору та акумулювання даних стосовно їх загальної кількості, а також пропорційного розподілу окремих груп рухомого складу в межах загального потоку.

Інформація, отримана в результаті аналізу інтенсивності та структури трафіку, є необхідною для:

- оцінки відповідності технічних і експлуатаційних параметрів дорожнього полотна фактичній інтенсивності транспортного потоку;
- ідентифікації категорії дороги та проектування дорожнього одягу;
- прогнозування майбутніх показників інтенсивності та структури руху;
- науково обґрунтованого планування транспортних перевезень з розробкою оптимальних маршрутів і розкладів;
- формування планів робіт з ремонту дорожнього полотна, включаючи визначення обсягів та термінів їх реалізації;
- техніко-економічного обґрунтування розміщення транспортних мереж;
- розробки стратегій, націлених на вдосконалення організації руху та підвищення рівня його безпеки.

Періодичні коливання в інтенсивності трафіку протягом доби, тижня чи року фіксуються за допомогою індексу нерівномірності. Його обчислюють для кожної ділянки обліку на основі даних про середньодобову інтенсивність руху у будні дні, вихідні та в піковий місяць перед відпускним періодом. Даний коефіцієнт враховує специфічні характеристики руху, властиві конкретній дорозі, регіону або країні.

Автоматизовані системи обліку, як правило, складаються з двох основних елементів: детектора (сенсора, датчика), що фіксує факт наявності або проїзду транспортного засобу, і лічильника, який сумує отримані сигнали.

3.2. Обґрунтування вибору оптимальної траси

Вибір найбільш вдалого маршруту пролягання траси є критично важливим етапом у процесі оцінювання екологічного сліду.

Автомагістраль має бути спроектована таким чином, аби спричиняти найменшу шкоду довкіллю. Прокладати трасу заборонено через ділянки, що мають особливий природоохоронний статус. Слід надавати перевагу варіантам, що передбачають найменші втрати лісів (особливо цінних порід та місць значного скупчення фауни). Бажано, щоб проєкт мінімізував перетини річок та інших водойм.

Екологічна перевага того чи іншого варіанту трасування визначається шляхом аналізу ключових екологічних та економічних показників, таких як:

а. Екологічні критерії, орієнтовані на зменшення рівня впливів:

- на хімічний склад атмосферного повітря;
- на водні ресурси;
- на акустичний фон атмосфери;
- на флору;
- на фауну;
- на ґрунти.

б. Економічні критерії:

- зведення до мінімуму сукупних приведених витрат;
- інвестиційна привабливість територій уздовж дороги;
- покращення зв'язності між об'єктами економічної діяльності;
- мінімізація вилучення земель, що використовуються, та демонтажу

будівель.

Розвиток різноманітних видів транспортних засобів, особливо автомобільного, та розбудова мережі автомобільних шляхів призвели до значного збільшення прямих і непрямих наслідків впливу транспорту на людську цивілізацію. Негативні екологічні фактори, зумовлені функціонуванням транспортної системи (шкідливі викиди газів, акустичне забруднення, вібраційні впливи тощо), сьогодні мають вплив не лише на пасажирів, а й на значну частину населення, яка перебуває за межами транспортних засобів та відповідної інфраструктури [23].

Варто відзначити, що одночасно зі зростанням інтенсивності впливу сучасного транспорту на природні екосистеми, модифіковані внаслідок цього природні чинники починають досить помітно та дедалі відчутніше прямо або опосередковано впливати, ускладнюючи функціонування самої транспортної системи. Наприклад, у ситуаціях забруднення атмосферного повітря, що призводить до різкого збільшення частоти туманів, відбувається припинення роботи аеропортів та уповільнення трафіку на автомобільних магістралях.

Попри широкий спектр проявів впливу транспорту на природне середовище, джерела цього впливу можна класифікувати за двома основними категоріями:

а) Транспортна інфраструктура (автомобільні дороги, залізничні колії, аеропорти, трубопровідні мережі тощо); вона здійснює безпосередній, перманентний та довготривалий вплив на навколишнє середовище;

б) Безпосередньо транспортні засоби (автомобілі, літальні апарати, судна тощо), які чинять короточасний вплив на природу; вони викликають екологічні наслідки, що згодом можуть зникнути, однак у деяких випадках здатні зберігатися протягом тривалого періоду.

3.3. Екологічні аспекти проектування автомобільної дороги

Екологічна стійкість автошляху визначається як забезпечення охорони навколишнього природного та соціального середовища від негативного впливу дорожньої інфраструктури на всіх етапах її існування: будівництва, модернізації, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту. Такий стан досягається, коли параметри впливу дороги на екосистему не виходять за межі природного фону або не перевищують встановлені санітарно-гігієнічні (екологічні) стандарти. За таких умов природні екосистеми на прилеглих територіях здатні функціонувати без значних змін протягом тривалого періоду часу.

Екологічні стандарти, що висуваються до транспортних інженерних споруд, включають:

а) Потребу в ресурсах (матеріалах та енергії), з урахуванням витрат на їх видобуток, проміжні виробничі етапи та будівельні технології;

б) Типи та обсяги відходів, що утворюються протягом усього життєвого циклу споруди;

в) Унікальні кліматичні, природні та ландшафтні особливості території;

г) Стратегії рекультивації, включно з регенерацією втраченої енергії, повторним використанням або рециклінгом матеріалів конструкції;

д) Варіанти утилізації самої конструкції та супутніх відходів.

До ключових екологічних критеріїв належать (ці вимоги повинні бути інтегровані у проєкт транспортного об'єкта протягом усього його життєвого циклу):

- Забезпечення безпеки транспортних послуг (уникнення людських жертв, зникнення фауни та флори, що призводить до виснаження генетичного різноманіття видів та популяцій, внаслідок дорожньо-транспортних пригод, природних чи техногенних катастроф та порушень техніки безпеки);
- Екологічна безпечність (зниження рівня забруднення атмосфери, ґрунтового покриву та водних ресурсів у придорожній зоні до безпечних концентрацій);
- Гарантування комфортних умов для користувачів транспортної інфраструктури та мешканців територій, суміжних з автомагістралями (зменшення інтенсивності параметричного забруднення до санітарно-гігієнічних нормативів);
- Максимальне зменшення вилучення земель та збереження їх продуктивності, підтримка або поліпшення існуючого ландшафту, підтримання параметрів навколишнього середовища під час будівництва та функціонування споруди в межах, які не викликають руйнування чи деградації прилеглих екосистем;
- Збереження (запобігання надмірному вичерпанню) невідновлюваних природних ресурсів, що використовуються у будівництві та функціонуванні транспортної інфраструктури;

- Забезпечення належної транспортної ефективності (міра реалізації експлуатаційних характеристик) транспортних об'єктів [24].

Вимоги повинні враховувати наступні аспекти:

- Ресурсний потенціал довкілля: Відображення поточного стану та прогнозованої динаміки природних ресурсів, що включає оцінку окремих природних активів та інтегровану оцінку екологічного благополуччя.
- Екологічна оцінка економіки: Врахування екологічної оцінки сучасної господарської системи, а також траєкторій її перспективного розвитку.
- Динаміка екосистем: Визначення ступеня варіативності систем та ідентифікація відхилень поточного стану від референтних, нормативних або базових значень.
- Ефективність природоохоронних інтервенцій: Оцінка результативності запланованих заходів з охорони природи.
- Критерії та зіставлення: Виступати в якості нормативних орієнтирів, еталонів і бази для порівняння (ліміти гранично допустимих концентрацій, викидів, навантажень) та відображати фінансову квантифікацію негативного впливу на екологічні системи та економічну сферу.

Автомобільна дорога, як інженерна споруда, безпосередньо впливає на навколишнє середовище, трансформуючи характеристики природних комплексів. З погляду екологічної безпеки, важливими чинниками проєктування та експлуатації автошляхів є забруднення, викликане транспортними потоками, відчуження земельних ділянок та їх фрагментація. Екологічна стійкість є ключовим індикатором ефективності інвестицій у розвиток дорожньої інфраструктури.

Екологічно збалансований стан доріг характеризується такими критеріями:

- а) Технічна кондиція дорожнього покриття та супутніх споруд.
- б) Інтенсивність забруднення навколишнього середовища в придорожній зоні.

в) Вплив технічного стану дорожнього полотна на обсяги викидів шкідливих субстанцій автотранспортом.

В таблиці 3.3.1 надано поділ дорожніх споруд на класи, що базується на оцінці їхнього потенціалу до заподіяння шкоди екологічній системі (дод. В.1) [25].

Оцінка стану автошляху як екологічно безпечного ґрунтується на низці умов:

- фактичне забруднення повітря, ґрунтів та водойм, викликане функціонуванням дороги, не виходить за межі встановлених екологічних та санітарно-гігієнічних норм;
- інтенсивність шуму та вібрації, що генеруються транспортними потоками, не перевищує максимально допустимих значень для територій населених пунктів поруч;
- система збору та очищення поверхневих водних стоків функціонує таким чином, що ефективно унеможливорює потрапляння мастил, важких металів та інших шкідливих субстанцій у довкілля;
- канави, смуги відведення та озеленення підтримуються у належному санітарному вигляді, сприяючи утриманню пилу, зниженню шумового впливу та стабілізації місцевого мікроклімату;
- відсутні чи знаходяться під контролем інженерних захисних споруд процеси ерозії, надмірного зволоження та руйнування країв дорожнього полотна;
- проводяться систематичні виміри екологічного стану елементів навколишнього середовища на ділянці, що відчуває вплив магістралі;
- під час здійснення будівельних чи відновлювальних робіт неухильно впроваджуються природоохоронні заходи, зафіксовані у відповідній проєктній документації;
- експлуатація дорожнього покриття не створює загрозливих ситуацій для життєдіяльності та здоров'я мешканців, а також для рослинного і тваринного світу суміжних регіонів [26].

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ЗБИТКІВ ВІД ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

4.1. Визначення ступеня забруднення ґрунтового покриву внаслідок діяльності автотранспорту

Функціонування транспортних засобів супроводжується утворенням "умовно твердих" викидів, до яких відносяться аерозольні частинки та пил. Хронічні викиди сполук плюмбуму (свинцю) та карбону (сажі) досягають значних обсягів, особливо за інтенсивності руху, що перевищує 30 000–40 000 транспортних одиниць на добу. Викиди кадмію та цинку також можуть спричиняти суттєвий негативний вплив на довкілля. Постійні викиди стійких плюмбовмісних сполук відбуваються в процесі роботи двигунів внутрішнього згоряння, що використовують етилований бензин.

Вважається, що приблизно 20% загальної маси плюмбуму розсіюється з газовими викидами у формі аерозолів, а решта 80% осідає на поверхні прилеглих доріг у вигляді дрібнодисперсних часток (розміром до 25 мкм) та водорозчинних сполук, накопичуючись у ґрунті на глибині орного шару або на глибині проникнення атмосферних опадів. Загроза акумуляції плюмбовмісних сполук у ґрунті полягає у їхньому інтенсивному поглинанні рослинністю та подальшому потраплянні до організмів тварин, птахів і людини через трофічні ланцюги [27].

Відповідно до загальних санітарних норм, гранично допустима концентрація (ГДК) плюмбуму в ґрунті з урахуванням фонового забруднення становить 32 мг/кг. Оцінка контамінації придорожного ґрунту плюмбумом, що міститься у вихлопних газах автомобілів, має здійснюватися на основі визначення ступеня забруднення поверхневого шару ґрунту, використовуючи розрахункові методики.

Рівень забруднення поверхневого шару ґрунту плюмбумом на різних відстанях від краю автомобільної дороги визначається за формулою:

$$P_c = \frac{P}{h \times \rho}, \quad (4.1.1)$$

де P_c – індикатор інтенсивності забруднення верхнього шару ґрунту свинцем, виражений у $\text{мг}/\text{м}^2$;

P – обсяг акумульованого свинцю на поверхні ґрунтового покриву, $\text{мг}/\text{м}^2$;

h – глибина ґрунтового горизонту, в межах якого відбувається розподіл надходжень свинцю (для оброблюваних земель приймається значення 0,2 м, для інших типів угідь, включаючи незаймані землі, – 0,1 м), м;

ρ – густина ґрунту, $\text{кг}/\text{м}^3$ [28].

$$P = 0,4 \times K_i \times \varphi \times T_p \times P_e + F \quad (4.1.2)$$

де K_i – коефіцієнт, який корегує вплив віддаленості (L , в метрах) від межі проїзної частини (значення визначається згідно з таблицею 4.1.1) [28];

φ – безрозмірна величина, що відображає залежність від інтенсивності та орієнтації вітрового потоку;

T_p – прогнозований період служби автомобільної дороги, виражений в днях (зазвичай приймається як 7300 днів, що еквівалентно 20-річному планованому терміну);

F – базовий рівень забруднення ґрунтової поверхні;

P_e – інтенсивність викиду свинцю.

Таблиця 4.1.1. Значення коефіцієнта K_i в залежності від відстані L до межі проїзної смуги

L, м	10	20	30	40	50	60	80	100	150	200
K_i	0,50	0,10	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,005	0,001	0,0002

Викид свинцю, виражений у міліграмах на метр за добу, при заданій середньодобовій інтенсивності трафіку протягом розрахункового періоду, обчислюється за наступною формулою:

$$Pe = Kп \times m m_p \times Kт \times Ko \times (\sum_{i=1}^n Gi \times Pi \times Ni), \quad (4.1.3)$$

де $Kп = 0,74$ – коефіцієнт перерахунку одиниць вимірювання;

m_p - коефіцієнт, що враховує дорожні й автотранспортні умови в залежності від середньої швидкості транспортного потоку (приймається за малюнком 4.1.1);

$Kт$ - коефіцієнт, що враховує частку свинцю, що викидається у вигляді твердих частинок в загальному обсязі викидів;

$Ko = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує осідання свинцю в системі випуску відпрацьованих газів автомобіля;

Gi - середній експлуатаційний витрата палива для даного типу автомобілів (таблиця 4.1.2) [28], л/км;

Ni - середньодобова інтенсивність руху автомобілів даного типу, авт./добу;

Pi - вміст сполук свинцю в паливі для автомобіля даного типу, г/кг;

Таблиця 4.1.2. Типові витрати палива, зафіксовані в реальних умовах використання транспортного засобу

№ п/п	Тип автомобілю	Значення G_i , л/км
1	легкові автомобілі (інжекторна технологія подачі палива)	0,08
2	легкові автомобілі (карбюраторна технологія подачі палива)	0,12
3	вантажні автомобілі	0,4
4	автобуси	0,35

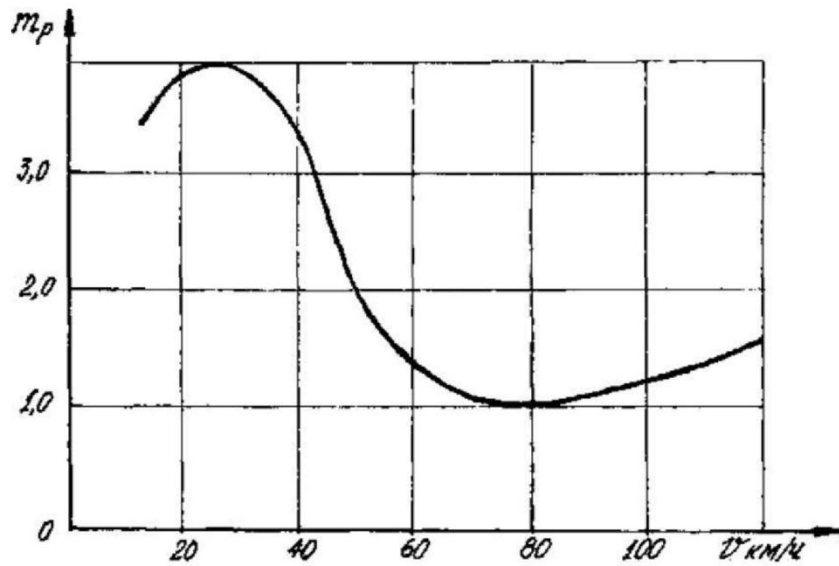


Рисунок 4.1.1. Взаємозв'язок між значенням коефіцієнта m_p та середньою швидкістю транспортного потоку

Визначення ступеня забруднення поверхневого ґрунту свинцем уздовж автомобільної магістралі вимагає зіставлення отриманих показників концентрації свинцю з встановленими гранично допустимими концентраціями, регламентованими загальними санітарно-гігієнічними нормами [29].

4.2. Розрахунок забруднення ґрунтового покриву свинцем

Провести обчислення та здійснити оцінку ступеня забруднення прилеглих до автомобільної дороги територій викидами свинцю, а також обрати превентивні заходи для мінімізації радіусу їх розповсюдження. В основу розрахунків покласти наступні параметри: прогнозований термін функціонування автошляху становить 20 років (7300 діб); з урахуванням рози вітрів, коефіцієнт напрямку вітру $\varphi = 0,7$; висота шару ґрунту $h = 0,2$ м, а його щільність $\rho = 1200$ кг/м³ (переважно рілля); структура транспортного потоку представлена типами автотранспортних засобів, що відповідають порядковим номерам у таблиці 4.2.1.

Таблиця 4.2.1. Вихідні дані

N, авт./добу	Розподіл автомобілів по типу, %				V, км/год
	1-й	2-й	3-й	4-й	
50000	63	5	20	12	80

$$1) P_e = K_p \times m_p \times K_T \times K_o \times (\sum_{i=1}^n G_i \times P_i \times N_i) = 0,74 \times 1 \times 0,5 \times 0,8 \times (\sum_{i=1}^n (0,08 \times 0,12 \times 0,4 \times 0,35) \times 50000) = 19,9 \text{ (мг/м}^2 \times \text{доба)}$$

$$2) P = 0,4 \times K_i \times \varphi \times T_p \times P_e + F = 0,4 \times 0,5 \times 0,7 \times 7300 \times 19,9 + 2 = 20340 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$3) P_c = \frac{P}{h \times \rho} = \frac{20340}{0,2 \times 1200} = 84,7 \text{ (мг/кг)}.$$

Розрахунки виявили, що рівень забруднення поверхневого шару ґрунту свинцем у зоні впливу траси М-05 досягає 84,7 мг/кг, що перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК = 32 мг/кг) більш ніж у 2,6 рази. Це говорить про те, що придорожні землі в цій ділянці непридатні для сільськогосподарського використання та можуть створювати ризик для здоров'я людей через потрапляння свинцю в харчові продукти.

Отже, з метою підтримання та покращення якості ґрунту, пропонується наступне:

а) Запровадження систематичного моніторингу стану ґрунтового покриву в міських умовах, що розглядається як фундаментальний елемент екосистем. Цей процес передбачає регулярну оцінку характеристик ґрунту для відстеження змін та виявлення потенційних проблем.

б) Акцентування уваги на ретельному виборі видів рослин для офіційного озеленення, враховуючи їхні біоекологічні властивості, резистентність до аеротехногенного забруднення та адаптаційні механізми в умовах антропогенно трансформованих міських екосистем.

З метою мінімізації розповсюдження забруднення вздовж придорожніх територій рекомендується впровадження захисних зелених насаджень, шумозахисних екранів, захисних валів (насіпів) або прокладання автомобільної дороги у виїмці. Ефективність зазначених заходів можливо спрогнозувати на етапі проектування, використовуючи таблицю 4.2.2 [30].

Таблиця 4.2.2. Зменшення концентрації забруднюючих речовин різними видами захисних конструкцій та рослинності

Заходи	Зниження концентрації, %
один ряд дерев з чагарником висотою до 1,5 м на смузї газону 3-4 м	10
два ряди дерев без чагарнику на смузї газону 8..10 м	15
два ряди дерев з чагарником на смузї газону 10..12 м	30
три ряди дерев з двома рядами чагарнику на смузї газону 15-20 м	40
чотири ряди дерев з чагарником висотою 1,5 м на смузї газону 25-30 м	50
суцільні екрани, стіни будівель заввишки понад 5 м від рівня проїжджої частини	70
земляні насипи, укоси при прокладанні дороги у виїмці при різниці оцінок 2-3 м	50
земляні насипи, укоси при прокладанні дороги у виїмці при різниці оцінок 3-5 м	60
земляні насипи, укоси при прокладанні дороги у виїмці при різниці оцінок більш 5 м	70

4.3. Кількісна оцінка забруднення атмосферного повітря, зумовленого автотранспортом

Вихлопні гази автотранспортних засобів містять широкий спектр компонентів, значна частина з яких є токсичними. Серед основних забруднювачів виділяються: монооксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту та сполуки свинцю у формі дрібнодисперсних часток (аерозолів) [31].

Визначення ступеня забруднення атмосферного середовища зазначеними викидами необхідно здійснювати на основі розрахункових методів.

При обчисленні обсягів викидів слід враховувати диференціацію автотранспортних засобів за типами та специфічні дорожні умови. Розрахунки базуються на інтенсивності руху різних категорій автомобілів у загальному транспортному потоці. Величина емісії кожної окремої газоподібної речовини, що входить до складу вихлопних газів, в атмосферу визначається за допомогою відповідної формули:

$$q = 2,06 \times 10^{-4} \times m \times [(\sum_1^i G_{ik} \times N_{ik} \times K_b) + (\sum_1^i G_{id} \times N_{id} \times K_d)], \quad (4.3.1)$$

де m - коефіцієнт, що відображає вплив дорожніх умов та транспортного потоку (рис. 4.3.1).

G_{ik} - середній показник споживання палива у процесі експлуатації для конкретної категорії автомобілів, оснащених карбюраторними двигунами, виражений в літрах на кілометр.

G_{id} - середній показник споживання палива у процесі експлуатації для конкретної категорії автомобілів, оснащених дизельними двигунами, виражений в літрах на кілометр.

N_{ik} – інтенсивність транспортного потоку для кожного ідентифікованого типу автомобілів з карбюраторними двигунами, виражена в кількості транспортних засобів за годину.

N_{id} - інтенсивність транспортного потоку для кожного ідентифікованого типу автомобілів з дизельними двигунами, виражена в кількості транспортних засобів за годину.

K_b та K_d - коефіцієнти, що враховують специфіку викидів, характерних для різних типів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) (табл 4.3.2)

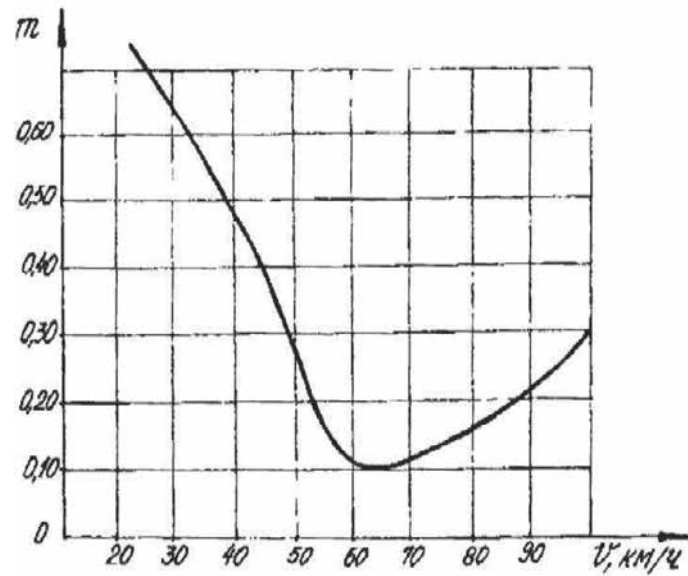


Рисунок 4.3.1. Вплив середньої швидкості транспортного потоку на величину коефіцієнта m

Таблиця 4.3.1. Статистичні дані щодо середніх обсягів споживання пального різних типів транспорту

№ п/п	Тип транспорту	Об'єм палива, спожитий на одиницю пройденого шляху, л/км
1	Легкові автомобілі	0,1
2	Малотоннажні вантажні транспортні засоби (до 5 тонн)	0,14
3	Вантажний автотранспорт великої тоннажності (6т та більше)	0,35
4	Автобуси	0,38
5	Вантажні автомобілі	0,32
6	Автобуси	0,3

Таблиця 4.3.2. Значення коефіцієнтів Кб и Кд

Забруднююча речовина	Бензиновий двигун внутрішнього згорання з примусовим запалюванням	Дизельний двигун внутрішнього згорання
Монооксид вуглецю	0,4	0,12
Вуглеводневі сполуки	0,15	0,05
Азотовмісні оксиди	0,08	0,04

Для кількісної оцінки вивільнення свинцевих сполук в атмосферу у формі аерозольних частинок застосовується визначення показника масового викиду, що характеризує інтенсивність емісії. Цей параметр, виражений у грамах на метр за секунду (г/м·с), обчислюється на основі спеціалізованої формули та відображає об'ємну продуктивність процесу забруднення повітря:

$$q = 2,06 \times 10^{-7} \times m_p \times K_T \times K_0 \times (\sum_{i=1}^n G_{ik} \times P_{ik} \times N_{ik}), \quad (4.3.2)$$

де $2,06 \cdot 10^{-7}$ - це коефіцієнт, що використовується для конвертації значень у стандартні одиниці вимірювання, узгоджені з метою аналізу та звітності.

m_p - безрозмірний коефіцієнт, що є функцією дорожніх та транспортних умов. Його значення визначається за допомогою рисунка 4.1.1, враховуючи середню швидкість транспортного потоку.

$K_0 = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує затримку свинцю в системі випуску відпрацьованих газів, відображає частку свинцю, що не викидається в атмосферу через його осідання у вихлопній системі.

$K_T = 0,2$ - коефіцієнт, що відображає частку свинцю, яка виділяється в атмосферу у формі аерозольних частинок відносно загальної кількості викидів свинцю.

Концентрація забруднюючих речовин атмосферного повітря, а саме монооксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту, що спостерігається вздовж автомагістралі, обчислюється з використанням формули:

$$C_j = \frac{2 \times q_j}{\sqrt{2\pi \times \sigma \times V_B \times \sin \varphi}} + F_j \quad (4.3.3)$$

де j - позначає тип забруднення;

σ - стандартне відхилення гаусового розподілу розсіювання в вертикальній площині (визначається з використанням таблиці 4.3.3), вимірюється в метрах;

V_B - являє собою швидкість вітру, що домінує протягом розрахункового періоду, виражена в метрах за секунду;

φ - кут, сформований між напрямком вітру та віссю дороги;

F_j - відображає фоновий рівень концентрації конкретного забруднювача повітря, мг/м³.

Таблиця 4.3.3. Варіації стандартного гаусового відхилення в залежності від метеорологічних умов та віддаленості від дорожнього полотна

Метеорологічні умови	Віддаленість вимірювання від полотна дороги, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
	Величина σ								
Сонячна	2	4	6	8	10	13	19	24	30
Дощова	1	2	4	6	8	10	14	18	22

Інформація щодо гранично допустимих концентрацій ключових забруднюючих речовин, зокрема монооксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту, що виділяються в процесі згоряння палива та присутні в атмосферному повітрі, систематизована у таблиці 4.3.4 [32].

Таблиця 4.3.4. Гранично допустимі концентрації (ГДК) продуктів згоряння палива у атмосферному повітрі

Вид речовини	Клас небезпеки	Середньодобові ГДК, мг/м ³
Монооксид вуглецю	IV	3,0
Вуглеводневі сполуки	III	1,5
Азотовмісні оксиди	II	0,04

4.4. Розрахунок концентрації забруднення атмосферного повітря

Дослідити рівні забруднення атмосферного повітря монооксидом вуглецю, оксидами азоту та вуглеводнями за умов сонячної та дощової погоди на різних відстанях від автошляху. На основі отриманих даних, обґрунтувати вибір заходів захисту для мінімізації концентрацій зазначених забруднюючих речовин у зоні житлової забудови.

Таблиця 4.4.1. Вихідні дані

N _a , авто/год	Розподіл автомобілів по типу, %						V, км/ч	φ	L, м
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й			
4200	25	10	30	10	20	5	80	45	50

1) Розрахунок вмісту монооксиду вуглецю:

$$q = 2,06 \times 10^{-4} \times 0,15 \times [(0,1 \times 1050 \times 0,4) + (0,14 \times 420 \times 0,4) + (0,35 \times 1260 \times 0,12) + (0,38 \times 420 \times 0,4) + (0,32 \times 840 \times 0,12) + (0,3 \times 210 \times 0,12)] = 0,007(\text{г/м}\cdot\text{с}).$$

2) Розрахунок вмісту вуглеводнів:

$$q = 2,06 \times 10^{-4} \times 0,15 \times [(0,1 \times 1050 \times 0,15) + (0,14 \times 420 \times 0,15) + (0,35 \times 1260 \times 0,05) + (0,38 \times 420 \times 0,15) + (0,32 \times 840 \times 0,05) + (0,3 \times 210 \times 0,05)] = 0,0027(\text{г/м}\cdot\text{с}).$$

3) Розрахунок вмісту азотовмісних оксидів:

$$q = 2,06 \times 10^{-4} \times 0,15 \times [(0,1 \times 1050 \times 0,08) + (0,14 \times 420 \times 0,08) + (0,35 \times 1260 \times 0,04) + (0,38 \times 420 \times 0,08) + (0,32 \times 840 \times 0,04) + (0,3 \times 210 \times 0,04)] = 0,0018 \text{ (г/м} \cdot \text{с)}.$$

4) Концентрація монооксиду вуглецю:

$$C = \frac{2 \times 0,007}{\sqrt{2\pi \times 6 \times 4 \times 0,7}} = 0,0014 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C = \frac{2 \times 0,007}{\sqrt{2\pi \times 4 \times 4 \times 0,7}} = 0,0017 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

5) Концентрація вуглеводнів:

$$C = \frac{2 \times 0,0027}{\sqrt{2\pi \times 6 \times 4 \times 0,7}} = 0,00053 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C = \frac{2 \times 0,0027}{\sqrt{2\pi \times 4 \times 4 \times 0,7}} = 0,00064 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

6) Концентрація азотовмісних оксидів:

$$C = \frac{2 \times 0,0018}{\sqrt{2\pi \times 6 \times 4 \times 0,7}} = 0,00035 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

$$C = \frac{2 \times 0,0018}{\sqrt{2\pi \times 4 \times 4 \times 0,7}} = 0,00043 \text{ (мг/м}^3\text{)}$$

7) Порівняння результатів розрахунку з значеннями ГДК:

$$\text{ГДК (CO)} = 3,0 \text{ мг/м}^3 > C \text{ (CO)} = 0,0014 \text{ мг/м}^3;$$

$$\text{ГДК (CO)} = 3,0 \text{ мг/м}^3 > C \text{ (CO)} = 0,0017 \text{ мг/м}^3;$$

$$\text{ГДК (C}_m\text{H}_n) = 1,5 \text{ мг/м}^3 > C \text{ (C}_m\text{H}_n) = 0,00053 \text{ мг/м}^3;$$

$$\text{ГДК (C}_m\text{H}_n) = 1,5 \text{ мг/м}^3 > C \text{ (C}_m\text{H}_n) = 0,00064 \text{ мг/м}^3;$$

$$\text{ГДК (NO}_x) = 0,04 \text{ мг/м}^3 > C \text{ (NO}_x) = 0,00035 \text{ мг/м}^3;$$

$$\text{ГДК (NO}_x) = 0,04 \text{ мг/м}^3 > C \text{ (NO}_x) = 0,00043 \text{ мг/м}^3.$$

Отже, зафіксований рівень забруднення атмосферного повітря не перевищує встановлені гранично допустимі концентрації. Тим не менш, з метою попередження можливих локальних перевищень, що можуть виникати за несприятливих метеорологічних явищ або збільшення інтенсивності транспортного потоку, доцільно здійснювати безперервний контроль за станом атмосферного повітря та впровадити профілактичні заходи, зокрема створення захисних зелених насаджень, обмеження використання техніки з високими показниками викидів шкідливих речовин та забезпечення систематичного технічного обслуговування автотранспортного парку.

4.5. Визначення сукупного індексу екологічного впливу технологічних процесів у будівництві, відновленні та обслуговуванні автомобільних шляхів на довкілля

Для проведення зіставного аналізу та визначення доцільності впровадження певної технологічної концепції або вибору конкретних матеріалів при здійсненні підготовчих заходів, будівництві земляного полотна, облаштуванні дорожнього покриття, відновленні та підтримці автомобільних шляхів застосовують узагальнений індекс (P), який обчислюється, беручи до уваги вагомість окремих характеристик екологічної обстановки:

$$P = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n + 0.7S_{\text{ест}}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n + 0.7}, \quad (4.5.1)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - коефіцієнти, що враховують етапність окремих параметрів впливу на навколишнє середовище при виконанні даного технологічного комплексу;

S_1, S_2, \dots, S_n - оцінка ступеня впливу на навколишнє середовище;

$S_{\text{ест}}$ - оцінка естетичного сприйняття ландшафту. При поліпшенні ландшафту $S_{\text{ест}} = 3$, збереженні в незмінному вигляді $S_{\text{ест}} = 2$, погіршенні $S_{\text{ест}} = 1$.

Аналіз технологічних процесів та матеріалів з погляду їхнього впливу на довкілля, а також розробка заходів для мінімізації негативного впливу, є

необхідною умовою для кожного етапу будівництва, реконструкції та експлуатації дорожньої інфраструктури.

Параметри впливу дорожнього будівництва на навколишнє середовище на різних етапах (підготовчі роботи, спорудження земляного полотна, формування дорожнього покриття, ремонт і утримання доріг, розробка кар'єрів і резервів, видобуток і транспортування мінеральної сировини) та їхні відповідні коефіцієнти значущості деталізовані в таблиці 4.5.1 [33].

Таблиця 4.5.1. Вагомість чинників впливу при аналізі безпеки дорожнього руху

Оцінюваний параметр	Коефіцієнт значущості α , при виконанні робіт					
	Підготовчі роботи	Спорудження земляного полотна	Влаштування дорожнього одягу	Ремонт доріг	Експлуатація дороги	Розробка кар'єрів і резервів, видобуток і транспортування матеріалів
1	2	3	4	5	6	7
Ерозійна стійкість	0,9	0,9	-	0,8	-	1,0
Стан рослинності	1,0	0,9	-	0,8	-	-
Шумовий вплив	0,8	0,7	0,8	0,8	-	0,8
Стан родючого шару ґрунту	-	1,0	-	0,5	-	1,0
Атмосферне забруднення викидами газоподібних речовин від автотранспортних засобів	0,3	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8
Атмосферне забруднення твердими частинками	0,5	0,8	0,8	0,9	1,0	0,9

Закінчення таблиці 4.5.1

1	2	3	4	5	6	7
Забруднення атмосфери викидами речовин, що тверднуть, та матеріалів на їхній основі	-	-	1,0	1,0	-	-
Атмосферне забруднення, зумовлене емісією летких органічних сполук від плівкотвірних матеріалів	-	-	0,7	0,5	-	-
Забруднення природного середовища, спричинене використанням антижелезних сполук	-	-	- -	1,0	-	-
Екологічне забруднення, спричинене використанням пилопоглинаючих речовин	-	-	- -	0,9	-	-

Екологічна сумісність окремих факторів впливу на довкілля під час здійснення технологічних процесів будівництва, ремонту та експлуатації автомобільних шляхів визначається за трибальною шкалою. Перелік факторів, що застосовуються для оцінювання рівня екологічної відповідності окремих технологічних операцій, а також критерії їх оцінки, представлені у таблиці 4.5.2 [34, 35].

Таблиця 4.5.2 Елементи, що впливають на безпечність доріг, і способи їхньої кваліфікації

Оцінюваний параметр	Вимоги, що пред'являються до параметру для оцінки S_i , в балах		
	1	2	3
<p>Ерозійна стійкість незакріпленого укосу, що характеризується коефіцієнтом місцевої стійкості (K), визначається як:</p> $K = (\rho_s \cdot h \cdot \operatorname{tg}\varphi + C) / (\rho_s \cdot h \cdot \operatorname{tg}\alpha),$ <p>де: ρ_s – об'ємна маса ґрунту; h – глибина поверхневого горизонту; $\operatorname{tg}\varphi$ – тангенс кута внутрішнього тертя ґрунту; C – питоме зчеплення ґрунту; $\operatorname{tg}\alpha$ – нахил поверхні укосу.</p>	$K > 1$	$K = 1$	$K < 1$
<p>Стан рослинності за межами території, яку займає спорудами: Пошкодження зеленої маси рослин, %</p>	0-10	11-30	31-50 і більше
<p>Стан родючого шару ґрунту: вміст сторонніх домішок, %</p>	0-10	11-30	21-30 і більше
<p>Забруднення атмосфери відпрацьованими газами: концентрація в повітрі робочої зони CO, $\text{мг}/\text{м}^3$</p>	Не менше 20	20	Більше 20
<p>Середньодобова концентрація в повітрі населених місць, $\text{мг} / \text{м}^3$:</p>			
CO	Менше 1	1	Більше 1
сажа	Менше 0,05	0,05	Більше 0,05
максимально разова концентрація в повітрі населених місць, $\text{мг} / \text{м}^3$:			
CO	Менше 3	3	Більше 3
сажа	Менше 0,15	0,15	Більше 0,15
<p>Забруднення атмосфери пилом, концентрація, в повітрі населених місць, $\text{мг} / \text{м}^3$:</p>			

Продовження таблиці 4.5.2

1	2	3	4
максимально разова	Менше 0,5	0,5	Більше 0,5
середньодобова	Менше 0,15	0,15	Більше 0,15
Шумовий вплив: рівень звуку, дБА			
робоча зона	Менше 85	85	Більше 85
населені місця	Менше 60	60	Більше 60
Сільськогосподарські території, зони відпочинку та туризму	Менше 50	50	Більше 50
санітарно-курортні зони	Менше 40	40	Більше 40
території заповідників і заказників	Менше 35	35	Більше 35

Оцінка прийнятності технологічних процесів і розробка природоохоронних заходів базуються на значенні інтегрального показника P . Залежно від його величини, встановлюються наступні умови:

- Якщо P знаходиться в діапазоні 2,51 - 3,00, функціонування автомобільних доріг визнається допустимим без додаткових обмежень.

- У випадку, коли P дорівнює 1,51 - 2,50, експлуатація автомобільних доріг дозволяється за умови впровадження запобіжних заходів і використання відповідних засобів, особливо відносно параметрів, що отримали оцінку «1».

- При значенні P між 1,00 та 1,50, експлуатація автомобільних доріг допускається лише після розробки та реалізації розширеного комплексу заходів, спрямованих на зменшення рівнів шкідливого впливу до нормативних значень.

При порівняльному аналізі різних технологічних рішень і матеріалів для експлуатації автомобільних доріг, необхідно враховувати період їх негативного впливу на довкілля. Пріоритет, як правило, надається технологічним схемам і матеріалам, які характеризуються меншою тривалістю негативного впливу.

Для мінімізації впливу технологічних процесів, що не відповідають

екологічним нормам, до прийнятних рівнів, рекомендується застосування як окремих організаційно-технічних рішень, так і їх комбінацій. До таких рішень можуть відноситися: використання захисних насаджень з видів дерев і чагарників, стійких до пилу та газів, встановлення шумозахисних екранів (шумовідбивних та шумопоглинаючих), облаштування ізольованих систем перехоплення стічних вод з подальшим очищенням, заміна матеріалів на менш небезпечні, а також впровадження організаційних заходів, спрямованих на скорочення викидів шкідливих речовин.

4.5.1. Розрахунок показника екологічної безпеки

Під час реалізації робіт з формування шару основи дорожнього одягу автомобільної магістралі, було здійснено оцінювання рівня дотримання екологічних норм для низки параметрів, що впливають на довкілля (відповідно до раніше представлених таблиць 4.5.1 та 4.5.2). Зокрема, проаналізовано наступні аспекти:

- емісія в атмосферу монооксиду вуглецю (СО) з вихлопних газів техніки;
- забруднення території продуктами абразії, пиловими частинками, різноманітними відходами, сміттєвими утвореннями та нафтохімічними речовинами;
- акустичний вплив (шумове навантаження) на навколишнє природне середовище.

Для етапу влаштування дорожнього одягу прийнято такі значення коефіцієнтів:

- $\alpha_1 = 0,8$ – викиди газів;
- $\alpha_2 = 0,8$ – пил і продукти зношення;
- $\alpha_3 = 0,8$ – шумовий вплив;
- $\alpha_4 = 1,0$ – в'язучі матеріали;
- $\alpha_5 = 0,7$ – плівкоутворюючі матеріали.

1) Поточний стан (без захисних заходів):

$$S_1 = 2; S_2 = 1; S_3 = 2; S_4 = 1; S_5 = 2; S_{\text{сст}} = 2.$$

Розрахунок:

$$P = \frac{2 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,8 + 1 \cdot 1,0 + 2 \cdot 0,7 + 0,7 \cdot 2}{0,8 + 0,8 + 0,8 + 1,0 + 0,7 + 0,7} = \frac{7,8}{4,8} = 1,63$$

Отже, отримане значення $P = 1.63$ свідчить про те, що експлуатація автомобільних шляхів є можливою виключно за умови впровадження додаткових запобіжних заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу до прийнятних параметрів.

2) Після впровадження захисних заходів:

$$S_1 = 3; S_2 = 2; S_3 = 3; S_4 = 2; S_5 = 2; S_{\text{ест}} = 3.$$

Розрахунок:

$$P = \frac{3 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,0 + 2 \cdot 0,7 + 0,7 \cdot 3}{0,8 + 0,8 + 0,8 + 1,0 + 0,7 + 0,7} = \frac{11,9}{4,8} = 2,48$$

Отже, $P = 2.48$ – експлуатація автомобільної дороги вважається допустимою за умови впровадження превентивних та коригувальних заходів, спрямованих на мінімізацію потенційних негативних наслідків.

Висновок:

Після впровадження природоохоронних заходів показник екологічної безпеки підвищується з 1.63 до 2.48, що свідчить про значне зменшення шкідливого впливу дорожніх робіт на довкілля.

4.5.2. Аналіз екологічних ризиків

Зі зростанням кількості автомобілів та доріг їхній негативний вплив на природу також поступово зростає. Це забруднює світ, створює проблеми для природи та порушує функціонування всього. Якщо ми хочемо зробити дороги менш шкідливими для природи, нам слід створювати нові способи та плани для зменшення ризиків для природного середовища.

Екологічний ризик визначається як можливість настання негативних наслідків для довкілля в результаті будь-яких змін природних об'єктів і факторів. Ризик трактується як вірогідність виникнення надзвичайних ситуацій протягом

певного часового інтервалу, що виражається кількісно. Найчастіше акцентується техногенний аспект екологічного ризику – ймовірність виникнення техногенних аварій, здатних завдати значної шкоди навколишньому середовищу або здоров'ю населення. Таким чином, ключовим елементом усіх методик оцінки екологічних ризиків є отримання кількісних та якісних характеристик небажаних наслідків і своєчасне попередження аварій, завдання шкоди здоров'ю людей, екологічним компонентам, а також погіршення іміджу суб'єкта господарювання, який реалізує проєкт [36].

Аналіз екологічних ризиків спрямований на розробку управлінських рішень, що, з одного боку, мінімізують вірогідність прояву чинників екологічної небезпеки, а з іншого – зменшують збитки та втрати у випадку їх реалізації.

Оцінювання екологічних ризиків також проводиться на етапі комплексної екологічної оцінки території. У процесі аналізу екологічних ризиків доцільно виділяти чотири етапи, кожен з яких має конкретні завдання.

Перший етап – ідентифікація екологічних ризиків, метою якого є виявлення екологічних ризиків, що потенційно можуть проявитися на території, яка оцінюється.

Другий етап – оцінювання ризику, кінцевою метою якого є визначення кількісних параметрів екологічних ризиків, що потенційно існують на оцінюваній території.

Третій етап – моніторинг екологічних ризиків, мета якого полягає у виборі методів і обґрунтуванні режиму моніторингу ідентифікованих екологічних ризиків та визначенні регламентів задоволення інформаційних потреб органів державної влади та управління, населення, засобів масової інформації тощо.

Четвертий етап – управління екологічним ризиком, метою якого є розробка заходів, що дозволяють знизити рівень ризику до «прийняттого значення» та оцінити результативність прийнятих управлінських рішень.

Існують три основні методології оцінювання ймовірності виникнення екологічних ризиків:

- Статистичний метод, що ґрунтується на аналізі накопичених статистичних даних щодо різних факторів екологічної небезпеки, які проявилися на об'єктах, що мають подібний вид діяльності, або пов'язані з природними процесами, що спостерігалися в даному регіоні в минулому.
- Аналітичний метод, який базується на вивченні причинно-наслідкових зв'язків у природно-антропогенній системі конкретної території. Це дозволяє оцінити ймовірність прояву фактора екологічної небезпеки як комплексного явища, сформованого комбінацією послідовності елементарних подій з відомими ймовірностями їх настання.
- Експертний метод, який передбачає оцінку вірогідності виникнення факторів екологічної небезпеки шляхом опрацювання результатів опитувань спеціалістів.

Методи статистичного напрямку набули найбільшого розповсюдження. Оцінюється відсоток території, схильної до впливу екологічної небезпеки, частота або ймовірність виникнення небезпеки, а також середні збитки за рік для кожного джерела екологічної небезпеки. Кількість статистичних показників ризиків може бути значною. Найбільш часто використовуються наступні:

- частота виникнення екологічної небезпеки на певній території, 1/ рік;
- відсоток території, що піддається впливу таких джерел;
- середня кількість летальних випадків, травм або захворювань, спричинених екологічними небезпеками за рік;
- середній матеріальний збиток від конкретної екологічної небезпеки за рік для певної території (наприклад, в млн. дол. / рік);
- середній матеріальний збиток за один інцидент на певній території.

Очевидно, що зі збільшенням дорожньої інфраструктури та густоти населення на досліджуваних територіях, середні показники збитків для даної території будуть змінюватися в часі в бік збільшення.

Водночас існує зворотний процес, а саме зниження екологічних ризиків на певній території з плином часу. Це пов'язано з впровадженням нових методів і засобів технічного захисту, а також зменшенням ризиків завдяки вдосконаленню

законодавства та систематичному виконанню організаційних заходів. У такому випадку статистичні показники збитків будуть зменшуватися в часі. Впровадження запобіжних заходів пов'язане з певними витратами, і їхня вартість повинна бути меншою, ніж зменшення ризику. У деяких випадках застосування захисних заходів може бути значно дорожчим, ніж позитивний ефект від зниження цих ризиків.

Населення, для якого екологічні ризики можуть бути доволі високими, використовує різні способи управління цими ризиками. У країнах із розвиненим громадянським суспільством, де уряд змушений зважати на суспільну думку, важливу роль відіграють цілеспрямовані кампанії та акції. Вплив цих керуючих чинників може сягати міжнародної арени. В умовах авторитарних або корумпованих урядів спектр законних дій населення, що намагається відстояти свої права, значно вужчий або взагалі відсутній. Для населення основним методом управління екологічними ризиками є мінімізація негативних наслідків будь-якої діяльності шляхом вибору місця проживання, впливу на комерційний сектор і сектор влади за допомогою акцій, в тому числі і за підтримки некомерційних екологічних організацій.

Отже, таким чином було проведене дослідження дозволило визначити концентрації основних поллютантів, які надходять в атмосферу внаслідок функціонування автотранспорту на ділянці автомагістралі М-05 (Київ — Одеса) в межах Київської області. До переліку аналізованих компонентів увійшли монооксид вуглецю (СО), вуглеводні (С_mН_n) та оксиди азоту (NO_x), що є типовими складниками викидів двигунів внутрішнього згоряння.

Результати розрахунків показали, що концентрації зазначених субстанцій у приземному шарі атмосфери не перевищують встановлені нормативні значення гранично допустимих концентрацій (ГДК): для СО — 3,0 мг/м³, для вуглеводнів — 1,5 мг/м³, для оксидів азоту — 0,04 мг/м³. Зафіксовані значення концентрацій склали відповідно 0,0014–0,0017 мг/м³, 0,00053–0,00064 мг/м³ та 0,00035–0,00043 мг/м³, що вказує на прийнятний рівень забруднення атмосферного повітря в межах чинних нормативів.

РОЗДІЛ 5

РЕКОМЕНДАЦІЇ, СПРЯМОВАНІ НА ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

5.1. Стратегії мінімізації акустичного навантаження

Описані заходи спрямовані на пом'якшення негативного впливу автомобільного транспорту на довкілля та охоплюють такі стратегії, як усунення заторів на дорогах, заохочення використання альтернативних видів транспорту (зокрема, громадського) та підвищення екологічної чистоти автомобілів [37].

Зважаючи на неможливість перенесення траси за межі міської забудови через її інтеграцію з комплексом інженерних споруд протипаводкового захисту, а також потенційні руйнування будівель та вилучення цінних земельних ділянок, у проектній документації враховано всі технічно обґрунтовані рішення, спрямовані на максимальне зменшення габаритів об'єкта. Серед них особливо слід відзначити:

- Встановлення акустичних екранів висотою 3 метри вздовж автомобільної дороги з обох боків (за напрямком руху транспорту). Застосування екранів дозволяє зменшити рівень еквівалентного шуму на 12 дБА, а також знизити концентрацію шкідливих речовин в атмосферному повітрі на 25-30%. Ефективність запропонованого рішення підтверджена результатами експериментальних досліджень (рис. 5.1.1) [38].



Рисунок 5.1.1. Інженерні рішення для контролю шумового забруднення

- Забезпечення підвищеної акустичної ізоляції будівель, що зазнають впливу транспортного шуму інтенсивністю до 60 дБА, шляхом встановлення

віконних конструкцій з потрійним склінням. (Замість "пристрій підвищеної шумозахисту за рахунок потрійного скління...")

- Впровадження ландшафтного озеленення на площі 3 гектари з метою пом'якшення шумового забруднення, зниження концентрації атмосферних забруднювачів та часткової компенсації екологічних втрат, пов'язаних з вирубкою дерев у межах смуги відчуження. (Замість "посадку зелених насаджень...")

- Проведення комплексу робіт з відновлення екологічної цінності (рекультивациі) деградованих земель, що включають занедбані ділянки доріг, тимчасові проїзди, створені на період будівельних робіт, та території, що використовувалися під час будівництва. (Замість "проведення рекультивациі...")

- Гарантування стабільності ґрунтових схилів до ерозійних процесів шляхом висівання багаторічних трав та застосування геосинтетичних матеріалів на ділянках з великим кутом нахилу. (Замість "забезпечення протиерозійної стійкості...") [39].

Ліквідація заторів на дорогах:

Дорожні затори є типовою проблемою для великих міських агломерацій. Їх виникнення зумовлене перевищенням інтенсивності транспортного потоку над пропускною здатністю наявної дорожньої інфраструктури.

Будь-яка транспортна артерія, включно з автомобільними дорогами, лініями метрополітену, трамвайними та залізничними коліями, має обмежену пропускну спроможність в умовах вільного руху, коли пересування одного транспортного засобу не чинить відчутного впливу на швидкість інших учасників дорожнього руху. При перевищенні цього порогу, збільшення кількості транспортних одиниць призводить до сповільнення загальної швидкості потоку. Критичний рівень місткості та вплив додаткового трафіку на швидкість руху визначаються фізичними та технічними характеристиками конкретної магістралі. Важливо зазначити, що дорожні затори можуть утворюватися навіть за умови неповного блокування руху. Повна зупинка транспортного потоку є екстремальною формою затору.

У великих містах з метою оптимізації транспортних потоків реалізуються проекти будівництва об'їзних шляхів для міжміського транспорту, а також підземних і надземних транспортних естакад, що забезпечують оптимальний режим швидкості та безперервність руху, що також призводить до зменшення витрат пального та обсягів викидів шкідливих речовин.

Активізація використання громадського транспорту:

Громадський транспорт вирізняється значно меншим використанням дорожнього простору в розрахунку на одного перевезеного пасажера, порівняно з індивідуальними транспортними засобами. Відповідно, перехід від використання особистого транспорту до громадського сприяє зменшенню загальної інтенсивності транспортного потоку та зниженню рівня перевантаженості доріг.

Досягнення щільності пасажиропотоку в громадському транспорті, що перевищує діапазон 8-12 осіб, створює передумови для оптимізації розподілу міського простору. Це дозволяє перепрофілювати території для задоволення різноманітних суспільних потреб, тим самим підвищуючи якість міського середовища шляхом збільшення площ, відведених під зелені насадження, пішохідні зони та інші рекреаційні об'єкти.

Результати досліджень показують, що автобуси, в розрахунку на пасажиро-кілометр, продукують втричі менше діоксиду вуглецю (CO₂) порівняно з приватними легковими автомобілями. У випадку метрополітену, цей показник є ще більш вражаючим – двадцятиразове зниження викидів CO₂. Щодо інших забруднюючих речовин, автобуси виділяють у двадцять п'ять разів менше монооксиду вуглецю (CO), ніж автомобілі з бензиновими двигунами, та в чотири рази менше твердих частинок, ніж транспортні засоби з дизельними двигунами, в перерахунку на одиницю перевезеного пасажера.

Важливо підкреслити, що ефективність як економічна, так і екологічна, громадського транспорту прямо пропорційна ступеню його заповненості. Чим вищий коефіцієнт використання транспортного засобу, тим кращі показники його продуктивності та екологічної безпеки.

Перехід від використання індивідуальних транспортних засобів до громадського транспорту також сприяє зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод. Це зумовлено низкою факторів, зокрема:

- Застосування передових систем сигналізації, інформування та блокування, особливо на рейковому транспорті.
- Підвищені вимоги до кваліфікації водіїв громадського транспорту, включаючи суворий процес відбору, спеціалізоване навчання, забезпечення дисципліни, ефективне управління, систематичний контроль та регулярні медичні огляди.
- Дотримання більш жорстких стандартів технічного обслуговування.
- Впровадження інженерних рішень, спрямованих на мінімізацію ризиків виникнення нещасних випадків та пошкоджень.

Підвищення екологічних характеристик автомобільного транспорту:

В глобальному масштабі активно проводяться дослідження та розробки, спрямовані на поліпшення екологічних показників як громадського, так і приватного транспорту.

Варто зазначити, що при гальмуванні транспортних засобів, оснащених двигунами внутрішнього згорання, відбувається втрата енергії. Кінетична енергія перетворюється на теплову енергію, що призводить до нагрівання та зносу гальмівних колодок, шин та дорожнього покриття. Для повторного прискорення транспортного засобу потрібне додаткове споживання палива.

Натомість, електродвигуни, що використовуються в метро, поїздах та тролейбусах, під час гальмування функціонують як генератори, частково повертаючи енергію назад в електричну мережу [40].

Провідні компанії розробляють та випускають автомобілі та автобуси з гібридними силовими установками, що поєднують дизельні двигуни та електродвигуни. Останні живляться від акумуляторних батарей, в які рекуперується енергія під час гальмування. Використання таких приводів дозволяє знизити витрату палива в автобусах приблизно на 15%.

Проте, найважливішим наслідком є не економічна вигода, а екологічні переваги – зменшення викидів шкідливих речовин та рівня шуму.

Значна частина цих автобусів експлуатується в рекреаційних зонах, де вимоги до екологічної чистоти та тиші є особливо високими [41].

5.2. Зелені захисні насадження

Захисні насадження являють собою багаторядні смуги рослинності, що виконують широкий спектр екологічних та господарських функцій. Окрім безпосереднього захисту ґрунтового покриву та регулювання мікрокліматичних умов, а також забезпечення маскуванню та створення перешкод, ці фітоценози сприяють фрагментації та зміцненню ландшафтної структури, а також збільшенню його біологічного різноманіття. Вони не лише забезпечують сприятливе середовище для існування різноманітних організмів (зокрема, мікроорганізмів, комах, дрібних ссавців, птахів тощо), але й стимулюють біологічне відновлення навколишніх територій (рис. 5.2.1) [42].



Рисунок 5.2.1. Рослинні захисні смуги

При створенні вітрозахисних смуг зазвичай застосовують принцип чергування рослин з різною вертикальною структурою. Рекомендується організовувати рослини одного таксону у вигляді багаторядних груп. Така групова організація насаджень первинно враховує перспективний стан

екосистеми та покращує візуальне сприйняття ландшафту. У вузьких захисних смугах доцільно об'єднувати від 3 до 5 екземплярів одного виду, тоді як у ширших смугах – від 5 до 15.

Дерева-піонери, що характеризуються інтенсивним ростом, висаджують поодинокі між рослинами основної породи. Після їх видалення через певний проміжок часу (від кількох років до десятиліть) не повинно утворюватися прогалин. Пріоритет надається деревним та чагарниковим видам з густою кроною та великим листям, а також вічнозеленим рослинам. Тополя, завдяки своїй щільній, високій кроні та швидкому росту, є вдалим вибором для ролі піонерної породи. Використання хвойних у вітрозахисних смугах може бути ускладнене в зимовий період. Застосування ялини з метою маскуванню не рекомендується через швидке оголення нижньої частини стовбура та низьку стійкість до вітрових навантажень. Сосна добре поєднується з листяними породами, хоча її стовбур також з часом втрачає нижні гілки.

Звукоізоляційні вали здатні суттєво зменшити рівень шумового забруднення на невеликій відстані від джерела. Для досягнення максимального ефекту, схил валу, орієнтований до джерела шуму, повинен мати максимально можливу крутизну. Крутизна схилів, що перевищує співвідношення 1:1,5, ускладнює їх озеленення, а співвідношення 1:1,25 сприяє ерозії земляного насипу [43].

Озеленення звукоізоляційних валів є переважним з багатьох міркувань, включаючи посилення захисної функції, маскуванню джерела шуму, що позитивно впливає на психоемоційний стан.

Лісові масиви та переліски представляють собою найбільш стійку форму зелених насаджень. В процесі землевпорядних робіт часто виникають земельні ділянки неоптимальної конфігурації, які можуть бути використані для лісонасаджень. Незважаючи на спорадичний характер цих ділянок, їх екологічний внесок у ландшафт є значним як з біологічної, так і з естетичної точки зору (табл. 5.2.1) [44].

Структура лісового масиву включає периферійну зону, вкриту дикорослими або культивованими трав'янистими рослинами, захисну ділянку з низькорослими чагарниками та центральну лісову зону з високорослими деревами. У великих лісових масивах можуть бути відкриті ділянки – галявини, оточені узліссям з подібною структурою, а також просіки. Переліски, розташовані між полями, слугують місцем відпочинку та живлення для дрібних диких тварин та птахів, забезпечуючи захист від несприятливих погодних умов та хижаків. З цієї причини відстань між перелісками не повинна перевищувати 500 метрів. По краях зеленого масиву формують смугу щільних чагарників шириною близько 5 метрів, а окремі переліски з'єднують за допомогою живоплотів, межових насаджень або захисних смуг.

Таблиця 5.2.1. Вплив типу зелених насаджень на ступінь очищення атмосферного повітря

Структура захисної смуги	Ширина захисної смуги	Відсоток зниження рівня забруднень	
		загальний	в тому числі за рахунок насаджень
Однорядна смуга дерев	5	5-10	4-7
Однорядна смуга чагарників	5	7-10	5-7
Дворядна посадка дерев висотою 10-12 м з чагарником	10	10-30	8-20
Дворядна посадка дерев висотою 10-18 м	10	10-30	20-25
Чотирирядна посадка дерев висотою 12-15 м з чагарником	25	35-45	25-30
Багаторядна смуга деревночагарникових насаджень при висоті 15-30 м при повноті (м)	0,5-0,6	40-45	30-40
	0,7-0,8	55-60	45-50
	0,8-1,0	70-75	60-70

Ефективне озеленення прилеглих до транспортних магістралей та незабудованих міських територій є надзвичайно важливим фактором у

пом'якшенні негативного впливу автомобільного транспорту на міське населення та покращенні екологічного стану середовища проживання.

Деревно-чагарникова рослинність, абсорбуючи з атмосфери токсичні газоподібні сполуки та нейтралізуючи їх у власних тканинах, відіграє значну роль у підтримці газового гомеостазу атмосфери та біологічній фільтрації повітря. Принцип організації санітарно-захисних смуг базується на експлуатації газозахисних характеристик зелених насаджень. Ці властивості рослинності також враховуються при реалізації заходів щодо захисту атмосферного повітря міст від транспортних емісій [45].

5.3. Заходи з охорони ґрунтів

Найбільш надійним та результативним методом охорони ґрунтового покриву, рослинного світу та фауни від забруднень та акустичного впливу, що генеруються об'єктами автомобільного транспорту, є створення захисних лісових насаджень.

Вздовж автомагістралей та в санітарно-захисних зонах інших інфраструктурних об'єктів висаджуються деревні та чагарникові культури з метою запобігання сніговим та піщаним наносам, селевим потокам, лавинам, обвалам, зсувам. Зелені насадження розміщуються на відстані не менше 15 метрів від краю проїзної частини. Вони забезпечують захист прилеглих населених пунктів та природного середовища існування тварин від шумового забруднення та теплової радіації, абсорбують значну частину токсичних субстанцій з викидів двигунів внутрішнього згорання [46].

Під час будівництва автошляхів виникає необхідність у знятті продуктивного шару ґрунту, який в подальшому складається у вали для повторного застосування. Обсяги зняття родючого шару варіюються в залежності від його компонентного складу та характеристик, типу ґрунтів, вмісту гумусу у нижній межі та становлять 0,3-1,2 м.

З метою збереження флористичного та фауністичного різноманіття від негативного впливу під час прокладання та експлуатації шляхів сполучення проводиться дослідження місць проживання тварин, ведеться облік їх популяції

та випадків загибелі, впроваджуються спеціалізовані заходи для охорони тваринного світу та цінних видів рослин (зокрема, використовуються сучасні лісозберігаючі технології), ініціюється створення нових заповідних територій та природних комплексів, що знаходяться під охороною держави.

Рекомендовано вжити наступні заходи для мінімізації шкідливого впливу на довкілля:

а) Впровадження шумозахисних бар'єрів уздовж обох сторін автодороги висотою 3 метри. Зазначені конструкції дозволяють зменшити показники еквівалентного рівня шуму на 12 дБА та знизити концентрацію атмосферних забруднювачів на 25-30%. У будівлях, де рівень транспортного шуму сягає 60 дБА, слід забезпечити підвищений акустичний захист шляхом встановлення потрійного скління.

б) Організація зелених насаджень загальною площею 3 га з метою пом'якшення шумового навантаження та скорочення вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі.

в) Здійснення відновлення покинутих ділянок доріг, тимчасових будівельних проїздів та територій, що використовувалися під час будівельних робіт.

г) Гарантування стійкості укосів до ерозії за допомогою засівання травами та застосування геосинтетичних матеріалів на схилах з великим кутом нахилу.

РОЗДІЛ 6

ВАРТІСНІ ЗБИТКИ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ВНАСЛІДОК ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА СВИНЦЕМ

6.1. Теоретичні засади розрахунку збитків від забруднення довкілля

Економічні втрати, зумовлені забрудненням довкілля небезпечними речовинами, складаються з наступних елементів:

$$Z_{\text{нп}} = Z_{\text{пв}} + Z_{\text{гр}}, \quad (6.1.1)$$

де $Z_{\text{нп}}$ – шкода, зумовлена погіршенням стану здоров'я населення, що виникло внаслідок забруднення атмосферного повітря свинцем;

$Z_{\text{гр}}$ – збиток, спричинений забрудненням ґрунтів токсикантами.

Витрати, пов'язані з негативним впливом забруднення довкілля на стан здоров'я населення, охоплюють додаткові фінансові ресурси, що спрямовуються на наступні категорії:

- Медичне забезпечення: оплата послуг охорони здоров'я, придбання медикаментів, забезпечення догляду за пацієнтами та їх харчування.
- Реабілітація: фінансування санаторно-курортного оздоровлення, поліпшення раціону харчування, а також інші витрати, спрямовані на відновлення фізичного стану.
- Компенсація втрати працездатності: відшкодування збитків, пов'язаних із тимчасовою або постійною непрацездатністю, як загальною, так і професійною.
- Витрати на переселення: фінансування, обумовлене необхідністю зміни місця проживання у зв'язку з несприятливою екологічною ситуацією.
- Відшкодування упущеної вигоди: компенсація збитків, понесених постраждалими через втрачені можливості у професійній чи іншій діяльності, достроковий вихід на пенсійне забезпечення, а також відшкодування психологічної та моральної шкоди [47,48].

Оцінка фінансових втрат, зумовлених погіршенням здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря небезпечними субстанціями, здійснюється за допомогою відповідної формули:

$$Z_{\text{пв}} = V_{\text{хв}} \times Z_{\text{б}} \times K_{\text{нп}} \times N_j \times K_{\text{інф}}, \quad (6.1.2)$$

Де $Z_{\text{пв}}$ – сумарний економічний збиток від погіршення здоров'я населення внаслідок забруднення повітря, грн.;

$V_{\text{хв}}$ – середні витрати на один випадок захворювання, грн/випадок;

$Z_{\text{б}}$ – базовий рівень загальної захворюваності населення регіону, випадків/тис. чол.;

$K_{\text{нп}}$ – коефіцієнт приросту захворюваності населення внаслідок забруднення повітря небезпечними речовинами;

N_j – кількість населення, що піддається впливу забруднення, тис. чол.;

$K_{\text{інф}}$ – коефіцієнт, що враховує інформованість населення про забруднення небезпечними речовинами повітря.

Ґрунт кваліфікується як забруднений, коли наявність шкідливих субстанцій досягає критичної межі, що призводить до таких наслідків:

- спостерігається пригнічення або погіршення стану рослинності;
- знижується врожайність сільськогосподарських угідь;
- відбувається дестабілізація екологічного балансу в ґрунтовому біоценозі;
- відбувається міграція токсичних речовин із ґрунту у підземні або надземні водні об'єкти.

Оптимальним рівнем наявності небезпечних речовин у ґрунті вважається такий, за якого відсутні будь-які з перелічених вище негативних проявів [49].

Економічна шкода, зумовлена забрудненням родючих ґрунтів шкідливими сполуками, розраховується за допомогою формули:

$$Z_{\text{гр}} = \Gamma_{\text{оз}} \times \Pi_{\text{д}} \times K_{\text{з}} \times K_{\text{н}} \times K_{\text{вг}}, \quad (6.1.3)$$

де $\Gamma_{\text{оз}}$ – нормативна грошова оцінка забрудненої земельної ділянки, грн/м²;

$\Pi_{\text{д}}$ – площа земельних ділянок, які зазнали забруднення м²;

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт небезпечності забруднюючої речовини;

$K_{\text{вг}}$ – коефіцієнт еколого-господарського значення;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт забруднення земельної ділянки, якщо вміст забруднюючої речовини встановлювався за результатами інструментально-лабораторного контролю, визначається за формулою:

$$K_{\text{з}} = \frac{C_{\text{зв}} \times \Gamma_{\text{п}}}{T_{\text{зс}} \times I_{\text{п}} \times K_{\text{розр}}}, \quad (6.1.4)$$

де $C_{\text{зв}}$ – концентрація (масова частка) забруднюючої речовини за результатами інструментально-лабораторного контролю, мг/кг;

$\Gamma_{\text{п}}$ – глибина земельного шару, на яку зафіксовано просочування забруднюючої речовини, м;

$T_{\text{зс}}$ – товща земельного шару (глибина), яка є розмірною одиницею для розрахунку витрат на ліквідацію забруднення залежно від глибини просочування і дорівнює 0,2 м;

$I_{\text{п}}$ – індекс поправки до витрат на ліквідацію забруднення залежно від глибини просочування забруднюючої речовини;

$K_{\text{розр}}$ – розрахунковий коефіцієнт, що дорівнює 1000000 мг/кг;

$K_{\text{н}}$ – коефіцієнт небезпечності забруднюючої речовини – 4;

$K_{\text{вг}}$ – коефіцієнт еколого-господарського значення земель – 1 [50].

6.2. Обчислення збитків

$C_{\text{зв}} = 84,7$ мг/кг (згідно розрахунків в Розділі 4)

$\Gamma_{\text{п}} = 0,5$ м

$T_{\text{зс}} = 0,2$ м

$I_{\text{п}} = 1$

$\Gamma_{\text{оз}} = 200$ грн/м² (нормативна оцінка станом на 2024 р.)

$\Pi_{\text{д}} = 2000$ м²

$K_{H(Pb)} = 4$ (надзвичайно небезпечні)

$K_{ВГ} = 1$ (землі сільськогосподарського призначення)

$V_{ХВ} = 4000$ грн/випадок

$Z_6 = 30$ випадків/тис. чол.

$K_{НП} = 1,05$

$N_j = 50$ тис. чол.

$K_{інф} = 0,1$

$$1) K_3 = \frac{84,7 \times 0,5}{0,2 \times 1 \times 1000000} = 0,0002$$

$$2) Z_{ГР} = 200 \times 2000 \times 0,0002 \times 4 \times 1 = 320 \text{ (грн)}$$

$$3) Z_{ПВ} = 4000 \times 30 \times 1,05 \times 50 \times 0,1 = 630000 \text{ (грн)}$$

$$4) Z_{НП} = 630000 + 320 = 630320 \text{ (грн)}$$

У підсумку проведених обчислень з'ясовано, що загальний економічний збиток через забруднення довкілля свинцем дорівнює 630320 грн.

Переважна частка збитків (понад 99 %) зумовлена погіршенням стану здоров'я населення внаслідок вживання питної води, забрудненої сполуками свинцю. Це пояснюється високим ступенем токсичності свинцю, його властивістю накопичуватися в організмі людини та спричиняти тривалі отруєння, що тягне за собою додаткові витрати на медичне забезпечення, лікування та зниження працездатності.

Втрати від забруднення ґрунтів є досить невеликими (320 грн), проте вони також мають важливе екологічне значення, оскільки свинець порушує біологічний баланс ґрунтових екосистем, зменшує врожайність сільськогосподарських культур і сприяє повторному забрудненню водних ресурсів.

Таким чином, висновки оцінки демонструють значний еколого-економічний вплив забруднення свинцем, що вимагає впровадження сукупності природоохоронних кроків, спрямованих на обмеження викидів цієї речовини, контроль стану ґрунтів і вод та збільшення поінформованості громадян про екологічні небезпеки.

ВИСНОВКИ

1. Інтенсивні транспортні потоки автомобільної дороги М-05 генерують багатоаспектний техногенний вплив, який проявляється у забрудненні атмосферного повітря, акумуляції токсичних елементів у ґрунтовому покриві, погіршенні якості водних об'єктів, зміні фізичних характеристик середовища (шум, вібрація) та деградації природних ландшафтів.

2. Встановлено, що концентрації основних токсичних компонентів відпрацьованих газів не перевищують встановлені нормативи для атмосферного повітря. Але їхня перманентна наявність у зоні активного руху створює довготривалі загрози для здоров'я населення та стабільності екосистем, особливо за несприятливих метеорологічних умов або зростання транспортного навантаження.

3. Концентрація нагромадження свинцю в ґрунті у поверхневому горизонті становить 84,7 мг/кг, що перевищує гранично допустимий рівень більше ніж у 2,6 рази. Нагромадження свинцю в ґрунті зумовлює ризики його подальшої міграції у рослинність, водні ресурси та харчові продукти, що може становити небезпеку для здоров'я людей.

4. Впровадження природоохоронних заходів, зокрема створення захисних зелених зон, встановлення шумозахисних бар'єрів, регулярний екологічний моніторинг, економне використання дорожніх матеріалів та покращення системи водовідведення — сприяють підвищенню екологічної стійкості територій, що межують з автодорогою М-05.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Веб-сайт [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://ecology.zt.gov.ua/StanDov1.html>
2. Бондар Н. Розвиток транспортної інфраструктури України на засадах державно-приватного партнерства : монографія. Київ : НТУ, 2014. 336 с.
3. Журавель, В. Аналіз досвіду використання високошвидкісних залізничних сполучень / В. Журавель // Українські залізниці. – 2016. – №1. – С. 34-41.
4. Стратегія розвитку Київської області на 2021-2027 роки. – Київ, 2019. – 158 с.
5. Веб-сайт [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://interfax.com.ua/news/economic/991090.html>
6. Веб-сайт [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://restoration.gov.ua/>
7. Архіпова Г. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах / Г. І. Архіпова, І. С. Ткачук, Є. І. Глушков // Вісник НАУ. — 2009. — № 1.
8. Екологічна безпека автомобільного транспорту: Матеріали І науковопрактичної онлайн-конференції / Відп. ред. канд. філос. наук М.Брегін. – Львів: 2016. – 79 с.
9. Кириченко, М. В., та ін. (2017). Екологічні аспекти сучасного транспорту і їх вплив на екосистеми. Одеса: ОНУ імені І. І. Мечникова.
10. Екологічна безпека автомобільної дороги / VI Всеукраїнська заочна науково – практична конференція « Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України». – 2020. – 129 с.
11. Шевченко, Ю. О. (2020). Екологічний моніторинг автомобільного транспорту та його вплив на навколишнє середовище. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна.
12. Air pollution [accessed 2020 Feb 05]. Available from: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_2

13. Бородіна Н.А. Методологічний підхід до оцінки впливу на атмосферне повітря транспортних засобів при експлуатації автомобільної дороги. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. –К., 2014. –Вип.92. – с. 214-222.
14. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище [електронний ресурс] // режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/5549/1/4.pdf>.
15. Макосій С. Д. Зарубіжний досвід реалізації стратегії сталого розвитку. К.: Одеський регіональний інститут державного управління, 2016. С. 324 –328.
16. Faisal, M.; Wu, Z.; Wang, H.; Hussain, Z.; Azam, M.I.; Muzammil, M. Assessment and Source Apportionment of Water-Soluble Heavy Metals in Road Dust of Zhengzhou, China. Environ. Sci. Pollut. Res. 2022.
17. Деркач І. В., Романюк Н. Д. Вплив засолення ґрунту на рослинні організми. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. 2016. № 3-4 (67). С. 91–106.
18. Корнелюк Н. М. Особливості акумулювання важких металів вегетативними органами *Chenopodium album* L. в умовах техногенного забруднення ґрунтів м. Черкаси. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2019. Вип. № 2 (115). С. 93–100.
19. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови : Наказ МОЗ України від 22.02.2019 №463 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text>.
20. Транспортна екологія / під ред. О.І.Запорожця. – К.: Центр навчальної літератури, 2017.- 508 с.
21. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ. 2015. 112 с. (Інформація та документація).
22. ДБН А.2.2-1-2021 Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС). Київ. 2022. 22 с. (Інформація та документація).

23. Запорожець О.І., Бойченко С.В., Матвєєва О.Л., Шаманський С.Й., Дмитруха Т.І., Маджд Т.М. Транспортна екологія : навч. посіб. / за заг. ред. С. В. Бойченка. Київ: НАУ, 2017. 507 с. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/37212> .
24. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха; за заг. редакцією С. В. Бойченка. – К.: НАУ, 2017. – 507 с.
25. Кожушко В. П., Храпаль О. В. Науково-методичний підхід до врахування екологічних факторів поліпшення транспортних умов автомобільних доріг. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2013. № 8. С. 97–100.
26. Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування: ГБН В.2.3-37641918-556:2015. – [Чинні від 2015-12-01]. - К: Міністерство інфраструктури України, 2015. – 30 с.
27. Георгієвська Л. В. Аналіз впливу автомобільних викидів на довкілля. Матеріали ХІХ Міжнародної наукової конференції "Наукове майбутнє - 2019". 2019. № 7. 58-68 с.
28. Яковишина, Т. Ф. Удосконалення методики визначення екологічного ризику за умов різних рівнів забруднення свинцем ґрунтів урбоєкосистем //ScientificHeritage. – 2018. –Vol. 1, N24. – Р. 66–71.
29. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів (затверджено наказом Держкомстату від 13.11.2008 р. № 452).
30. Екологічна безпека автомобільної дороги / VI Всеукраїнська заочна науково – практична конференція « Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України». – 2020. – 129 с.
31. Цілі сталого розвитку Україна-2021. Моніторинговий звіт. Державна служба статистики України. 2021. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/csr_present/2020/ukr/st_rozv/publ/SDGs%20Ukraine%202021%20Monitoring%20Report%20ukr.pdf.

32. R. Baldauf, Roadside vegetation design characteristics that can improve local, near-road air quality, *Transp. Res. D: Transp. Environ.*, 2017, 52, 354–361.
33. ГСТУ 218-02071168-096-2003. Оцінка та прогнозування екологічного стану доріг та виробничих баз.
34. Адамова Г.В. (2021). Аналіз впливу системи «автомобіль-дорогасередовище» на об'єкти навколишнього природного середовища. The current state of development of world science: characteristics and features. Collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceeding of the I International Scientific and Theoretical Conference (Vol. 1),. Lisbon, Portuguese Republic: European Scientific Platform
35. Аболмасова Г.В., Пісня Л.А., Черепньов І.А., Калінін І.В. Комплексна екологічна оцінка впливу системи «автомобіль-дорога-середовище» на об'єкти навколишнього природного середовища. *Науковий Журнал «Інженерія природокористування»*. X. 2019. №4(14). С.75-85.
36. Л.І.Соломенко. Екологія людини.- К.: Центр навчальної літератури, 2017. – 120 с.
37. Решетченко А.І. Дослідження впливу автотранспортних потоків на акустичне середовище урболандшафтів. *Комунальне господарство міст*. 2018. №7 (146). 180-183 с.
38. Веб-сайт [Електронний ресурс] – режим доступу: <http://mehanika.com.ua/index.php/uk/ekrani-shumozakhisni-shumopoglinayuchi-paneli>
39. Куріс Ю.В., Матяшева О.Б., Белоконь К.В., Кожемякін Г.Б. Дослідження впливу автотранспорту на шумову безпеку міста в сталому розвитку урбанізованих територій. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету*. 2017. № 1(30). 183-188 с.
40. Закон України «Про альтернативні види палива», 2009. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>.

41. ДВЗ з нетрадиційними робочим циклами. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 82 с.
42. Веб-сайт [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/22322-polezakhysni-lisovi-nasadzhennia-ta-bioenerhetyka.html>
43. Озеленення населених місць: підручник для студентів вищих навчальних закладів / В.П. Кучерявий, В.С. Кучерявий — Львів, Видавництво «Новий Світ-2000», 2020.—666 с.
44. A. Tiwari, P. Kumar, R. Baldauf, K. M. Zhang, F. Pilla, S. Di Sabatino, et al., Considerations for evaluating green infrastructure impacts in microscale and macroscale air pollution dispersion models, *Sci. Total Environ.*, 2019, 672, 410–426.
45. Біляєв М.М. & Русакова Т.І. (2018). Прогноз локальних зон забруднення біля автомагістралі з урахуванням рослинності. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 55, 333–341
46. Шемаєв В. В. Теоретико-методологічні засади та пріоритети розвитку транспортної інфраструктури в системі економічної безпеки України : монографія. Київ : НУОУ, 2018. 366 с.
47. ВООЗ: Всесвітня статистика здоров'я [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/2018/en.
48. Чепелевська Л.А. Тенденції медико-демографічних показників України у ХХІ столітті /Л.А.Чепелевська // Україна. Здоров'я нації.–2018. No1. –С. 48–53.
49. Нагірняк Т. Б., Грабовський Р. С., Грицина М. Р. Екологоекономічні аспекти раціонального використання і охорони земельних ресурсів в Україні. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Ґжицького. 2017. №79. С. 111–116.
50. Екологічна геохімія агроландшафтів України: монографія / Єгорова Т. М. та ін. за наук. ред. академіка НААН О. І. Фурдичка. К.: ДІА. 2018. 264 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.1

Таблиця 1.1.1. Порівняльна характеристика залізничних і автомобільних перевезень

Параметр	Залізничні шляхи	Автомобільні шляхи
Довжина мережі в регіоні	≈ 1100 км	≈ 8900 км
Ступінь електрифікації / Якість покриття	> 90 % під електрифікацією	> 80 % із твердим покриттям
Перевезення пасажирів (2023 р.)	~25 млн осіб	~110 млн осіб
Переміщення вантажів (2023 р.)	~30 млн тонн	~13–14 млн тонн
Ощадливість енергоресурсів	Високий рівень, мінімальні викиди	Нижчий, значні витрати палива
Екологічна чистота	Вища	Нижча

Додаток А.2

Таблиця 1.2.1 Надходження токсичних складових у повітря від бензинових і дизельних моторів

Шкідливі елементи	Маса (кг) небезпечних сполук у вихлопних газах на 1000 кг відпрацьованого палива	
	Бензинові двигуни	Дизельні двигуни
Монооксид вуглецю (СО)	268,00	29,4
Оксиди азоту	25,60	39,8
Гідрокарбонати (СН)	32,20	9,1
Тверді частинки (сажа)	1,34	3,4
Діоксид сірки	1,34	37,0
Плюмбум (Свинець)	0,27	-
Загальна сума	396,75	118,7

Додаток Б.1

Таблиця 2.1.1 Види та наслідки впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище

Об'єкт навколишнього середовища, який піддається впливу	Фактор, який впливає на навколишнє середовище	Наслідки впливу
Атмосфера	Транспортні засоби (водії, пасажери) та техніка, що знаходиться на дорозі	Хімічне забруднення в результаті викиду відпрацьованих газів двигунів, запахи від гниття сміття, акустичне забруднення транспортним шумом.
	Дорожнє покриття	Забруднення повітря продуктами зношення дорожнього покриття, пилом і сміттям з його поверхні.
	Дорожня інфраструктура	Забруднення повітря викидами на АЗС, викидами відпрацьованих газів в місцях зупинок і стоянок автомобілів (станціях технічної допомоги, пунктах харчування), викидами підприємств дорожнього сервісу
Літосфера, геологічні умови	Земляне полотно, споруди мостових переходів і шляхопроводів, тунелів	Деформації в підстиляючих ґрунтах, ерозійні процеси земляного полотна і на прилеглих територіях
	Дорожнє покриття	Передавання вібрації від транспорту на прилеглі території
Літосфера, гідрологічні умови	Водопрпускні і водовідвідні споруди	Ерозія русел водотоків, відвідних русел і процеси утворення ярів. Підтоплення території з верхової сторони
Літосфера, ґрунт	Земляне полотно	Забруднення ґрунту продуктами ерозії земляного полотна. Забруднення придорожньої території матеріалами для ремонту і утримання доріг.
	Дорожнє покриття	Забруднення продуктами зношення дорожнього покриття
	Споруди інфраструктури (водії, пасажери) в придорожній смузі	Забруднення сміттям, побутовими відходами, нафтопродуктами, погіршення естетики ландшафту
Гідросфера	Земляне полотно	Забруднення води річок і озер

		продуктами ерозії земляного полотна
	Дорожнє покриття	Забруднення поверхневих і підземних вод в продуктах зношення дорожнього покриття, автомобільних шин, викидами газів, що відходять автомобілів, в результаті ненормативного використання протижелезних хімічних матеріалів
	Водопрпускні і водовідвідні споруди	Зміна режиму течії води в водотоках (швидкість течії, наноси, розмиви, каламутність води)
	Споруди інфраструктури в придорожній смузі	Забруднення поверхневих вод брудом, сміттям, нафтопродуктами, побутовими відходами

Додаток Б.2

Таблиця 2.1.2. Ключові типи забруднюючих викидів, що генеруються різними типами автомобільних силових установок.

Тип двигуна	Паливо	Речовини, що забруднюють атмосферне повітря	Приклад застосування
Чотиритактний двигун внутрішнього згорання	Бензин, дизель	Вуглеводні, оксид вуглецю, оксиди азоту, сажа	Автомобілі, автобуси, літаки
Двотактний двигун внутрішнього згорання	Бензин (з додаванням масла)	Вуглеводні, оксид вуглецю, оксиди азоту, тверді речовини	Мотоцикли, допоміжне обладнання

Додаток В.1

Таблиця 3.3.1. Класифікація дорожніх об'єктів відповідно до їхньої екологічної стабільності/безпеки

Категорія (Клас)	Характеристика
Перший клас	<p>Об'єкти, які суттєво впливають на довкілля, до прикладу, великі транспортні артерії федеральні та регіональні автобани й швидкісні траси першої та другої груп, з мінімальною кількістю чотирьох смуг руху, включаючи інженерні конструкції на них, а також окремі мостові переходи та естакади, протяжність яких перевищує 500 метрів.</p> <p>Згідно з міжнародними настановами та федеральними актами, зведення дорожніх споруд першого класу класифікується як діяльність, що становить значний екологічний ризик.</p>
Другий клас	<p>Об'єкти, здатні чинити значний вплив на довкілля. Це стосується шляхів сполучення другої та третьої технічних категорій, якщо очікуваний (прогнозний) обсяг трафіку перевищує дві тисячі транспортних засобів за добу, а також будь-яких штучних споруд на них. Сюди ж відносять окремі відрізки інших автошляхів, розташовані у межах населених пунктів, на територіях, що мають особливий природоохоронний статус, або ж у випадках, коли проектування відбувається у складних умовах, що потребують індивідуальних рішень</p>
Третій клас	<p>Об'єкти, що чинять невеликий, місцевий вплив на довкілля. Дороги автомобільного транспорту з передбачуваною інтенсивністю переміщення транспорту до 2000 одиниць за добу та відповідні інженерні споруди. Проекти дорожньої інфраструктури, що є технологічно простими та розраховані на масове чи повторне впровадження. Заходи з відновлення дорожнього покриття</p>