

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
Факультет гідрометеорології і екології
Кафедра екології та охорони довкілля

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

**ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ОКРЕМОЇ ДІЛЯНКИ
АВТОМОБІЛЬНОЇ МАГІСТРАЛІ
ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF A PARTICULAR
SECTION OF A HIGHWAY**

Виконала: здобувач денної форми навчання
спеціальності 183 - Технології захисту
навколишнього середовища
Освітньо-професійна програма Технології захисту
навколишнього середовища

Михальчук Аліна Юріївна

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к.х.н. Вовкодав Г.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.геогр.н, доц. Пилип'юк В.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
екології та охорони довкілля
№ 9 від 27 . 05 . 2025 р.

Завідувач кафедри

Ангеліна ЧУГАЙ

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК №
протокол № від . . 20 р.

Оцінка / /
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

(підпис)

(прізвище, ім'я)

Одеса 2025

АНОТАЦІЯ

Михальчук А. Ю. Оцінка впливу на довкілля окремої ділянки автомобільної магістралі

Актуальність теми зумовлена сучасними тенденціями зростання транспортного навантаження на автомобільні магістралі, що призводить до посилення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Особливості функціонування автотрас, такі як інтенсивність руху, технічний стан покриття та особливості ландшафту, обумовлюють специфічний характер впливу на довкілля.

Сучасна практика проектування та експлуатації автомобільних доріг часто розглядає техніко-економічні та екологічні аспекти окремо, без повноцінного врахування їхнього взаємозв'язку. Це обмежує можливості ефективного управління екологічними ризиками. Тому оцінка впливу на довкілля окремих ділянок автотрас є актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи полягає у проведенні комплексної оцінки впливу на довкілля окремих ділянок автотрас (на прикладі ділянки траси М07).

Об'єкт дослідження – процес забруднення навколишнього середовища внаслідок функціонування окремих ділянок автотрас (на прикладі траси М07).

Предмет дослідження – механізми формування та методи зменшення негативного впливу автотранспорту на довкілля.

Результати досліджень. Дослідження, проведене на прикладі траси М07, засвідчило, що навіть обмежена за протяжністю ділянка автошляху може виступати потужним джерелом багатofакторного антропогенного навантаження, яке охоплює атмосферу, ґрунти, водні ресурси та біоценози.

Проведений аналіз підтвердив, що основними чинниками негативного впливу автотрас є вихлопні викиди, шумове навантаження, вторинне пилове забруднення, знос дорожнього покриття і шин, а також потрапляння до ґрунтів і водотоків хімічних реагентів та нафтопродуктів. Важливо зазначити, що екологічне навантаження носить не лише безпосередній, але й кумулятивний характер, проявляючись у вигляді довгострокових змін у біотичних та абіотичних компонентах довкілля.

Теоретичне та практичне значення. Результати моделювання продемонстрували зв'язок між зусиллям тяги, коефіцієнтом зчеплення шин і умовами метеорологічного характеру, які змінюють характер розподілу забруднюючих речовин у повітрі та воді. Саме ці чинники мають бути враховані при плануванні систем очищення, облаштуванні зливової каналізації та впровадженні шумопоглинаючих бар'єрів.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань (25 найменування). Робота містить 5 рисунків, 6 таблиць. Загальний обсяг роботи – 57 сторінок.

Ключові слова: траса, двигун внутрішнього згоряння, автотранспорт, атмосферне повітря.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СУЧАСНИЙ СТАН АВТОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ.....	5
1.1 Сучасна характеристика автотранспортної інфраструктури	5
1.1.1 Стан дорожньої інфраструктури.....	10
1.1.2 Вантажні перевезення.....	10
1.1.3 Екологічний аспект.....	11
1.2 Аналіз законодавчої бази у сфері охорони довкілля від впливу автотранспортних засобів.....	15
2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	19
2.1 Загальні джерела екологічного навантаження від автотранспортних об'єктів.....	19
2.2 Види і масштаби впливу: шум, викиди, відходи, забруднення ґрунтів і вод.....	21
2.3 Методики оцінки екологічного ризику транспортних об'єктів	27
2.4 Критерії екологічної безпеки автодорожніх ділянок.....	31
3 ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ОКРЕМОЇ ДІЛЯНКИ АВТОТРАНСПОРТУ (НА ПРИКЛАДІ ТРАСИ М07).....	36
3.1. Розташування об'єкту.....	36
3.2 Коротка характеристика об'єкту.....	37
3.3 Вплив на навколишнє середовище.....	43
3.4 Заходи з мінімізації впливу на довкілля.....	49
3.4.1 Технічні рішення.....	49
3.4.2 Організаційні заходи.....	50
3.4.3 Природоохоронні заходи.....	50
3.4.4 Використання альтернативних технологій.....	51
3.4.5 Інтеграція сучасних технологій.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	55

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена сучасними тенденціями зростання транспортного навантаження на автомобільні магістралі, що призводить до посилення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Автотранспорт є одним з основних джерел забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів і ґрунтів, проте питання комплексної оцінки його впливу на конкретних ділянках залишається недостатньо вивченим. Особливості функціонування автотрас, такі як інтенсивність руху, технічний стан покриття та особливості ландшафту, обумовлюють специфічний характер впливу на довкілля.

Сучасна практика проектування та експлуатації автомобільних доріг часто розглядає техніко-економічні та екологічні аспекти окремо, без повноцінного врахування їхнього взаємозв'язку. Це обмежує можливості ефективного управління екологічними ризиками. Тому оцінка впливу на довкілля окремих ділянок автотрас є актуальним науково-практичним завданням.

Мета роботи полягає у проведенні комплексної оцінки впливу на довкілля окремих ділянок автотрас (на прикладі ділянки траси М07).

Об'єкт дослідження – процес забруднення навколишнього середовища внаслідок функціонування окремих ділянок автотрас (на прикладі траси М07).

Предмет дослідження – механізми формування та методи зменшення негативного впливу автотранспорту на довкілля.

Методи дослідження:

- системний аналіз для вивчення взаємозв'язків між компонентами екосистеми;
- порівняльний аналіз для оцінки рівня забруднення;
- статистичні методи для обробки експериментальних даних;
- моделювання розподілу забруднюючих речовин.

1 СУЧАСНИЙ СТАН АВТОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

1.1 Сучасна характеристика автотранспортної інфраструктури

Сучасний світ, що стрімко розвивається та постійно прискорює темпи життя, неможливо уявити без розгалуженої транспортної інфраструктури, яка виконує роль кровоносної системи глобальної економіки. Автомобільні магістралі, будучи найважливішими артеріями цієї системи, не лише забезпечують безперервний рух товарів і пасажирів, але й формують нові економічні зв'язки, сприяють розвитку регіонів та інтеграції територій. Проте цей прогрес має й іншу, менш оптимістичну сторону – значний та часто незворотний вплив на навколишнє природне середовище.

Будівництво та подальша експлуатація автомобільних доріг, особливо таких масштабних, як міжрегіональні та міжнародні траси, неминуче порушують природну рівновагу, трансформуючи ландшафти, змінюючи гідрологічний режим територій і впливаючи на всі компоненти екосистем. Вже на етапі проектування виникають серйозні екологічні ризики, пов'язані з вибором траси, оскільки кожен кілометр дороги проходить через унікальні природні комплекси, які можуть бути вразливими до будь-якого втручання.

Сучасна транспортна система України характеризується значним переважанням автомобільних перевезень, які за обсягами та значенням для економіки значно випереджають інші види транспорту. Автотранспортна інфраструктура країни представлена розгалуженою мережею доріг різного класу, загальною довжиною понад 169 тисяч кілометрів, з яких лише близько 27% відповідають сучасним вимогам якості. Особливу увагу привертають магістральні автотраси міжнародного значення, такі як М05, М06 та М07, які не лише забезпечують міжрегіональне сполучення, але й формують значне навантаження на навколишнє середовище [1].

Окрема ділянка автомобільної траси, навіть якщо вона становить лише невеликий відрізок у загальній транспортній мережі, може стати критичним

фактором впливу на довкілля. Її екологічні наслідки залежать від безлічі умов: географічного розташування, інтенсивності транспортного потоку, наявності охоронюваних природних територій поблизу, кліматичних особливостей регіону та технологічних рішень, застосованих під час будівництва. Наприклад, ділянка дороги, прокладена через густий лісовий масив, може призвести до фрагментації середовища проживання тварин, порушення їх міграційних шляхів і, як наслідок, до зменшення популяцій рідкісних видів. У той же час траса, що проходить через сільськогосподарські угіддя, може спричинити деградацію родючих ґрунтів через їх забруднення важкими металами або хімічними речовинами.

Особливу увагу привертає хронологічний аспект впливу. Деякі зміни в екосистемах є миттєвими та очевидними – наприклад, зникнення рослинності на місці будівництва або загибель тварин під час зведення дороги. Однак існують і довгострокові наслідки, які проявляються поступово: накопичення токсичних речовин у ґрунтах, зміна гідрологічного режиму через порушення природного дренажу, зниження якості повітря внаслідок постійних викидів автотранспорту. Такі процеси можуть тривати роками, а їх повний ефект стає помітним лише через десятиліття, що ускладнює своєчасне вжиття заходів для їх усунення.

Екологічний вплив автотранспорту проявляється у багатьох аспектах, серед яких найбільш значущими є забруднення атмосферного повітря. Щорічно автомобілі викидають у повітря сотні тисяч тонн шкідливих речовин, включаючи оксиди вуглецю та азоту, вуглеводні, сажу та інші токсичні компоненти. Ці викиди створюють стійкі осередки забруднення вздовж автотрас, особливо помітні в межах міст та густонаселених районів, де концентрація транспорту досягає критичних значень. Дослідження показують, що в зоні впливу великих автомагістралей рівень забруднення повітря регулярно перевищує гранично допустимі концентрації у 2-3 рази, що становить серйозну загрозу для здоров'я людей та стану навколишніх екосистем [2].

Не менш значущим є вплив автотрас на водні ресурси. Технологічні особливості експлуатації доріг призводять до постійного надходження у водні об'єкти нафтопродуктів, важких металів, протижеледних реагентів та інших шкідливих речовин. Ці забруднювачі потрапляють у водойми як безпосередньо з поверхні дорожнього полотна під час опадів, так і через систему дренажних комунікацій. Довготривале накопичення таких речовин призводить до деградації водних екосистем, порушення біологічного балансу та втрати якості води, що особливо критично для регіонів з обмеженими водними ресурсами.

Ґрунтовий покрив у зоні впливу автотрас також зазнає суттєвих змін. Постійне надходження нафтопродуктів, важких металів та інших токсичних речовин призводить до зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів, зниження їх родючості та порушення мікробіологічного балансу. Особливо це помітно на ділянках з інтенсивним рухом вантажного транспорту, де концентрація забруднювачів у ґрунтах може перевищувати фонові значення у десятки разів. Ці зміни мають довготривалий характер і можуть зачіпати не лише безпосередньо прилеглі території, але й поширюватись на значні відстані за рахунок міграції забруднюючих речовин.

Окремої уваги заслуговує проблема шумового забруднення, яке супроводжує роботу автотранспорту. Рівень шуму в безпосередній близькості від великих автомагістралей часто перевищує 80-85 дБ, що значно вище за допустимі норми та створює постійний дискомфорт як для мешканців прилеглих територій, так і для представників тваринного світу. Хронічний вплив підвищеного шумового фону призводить до серйозних порушень у функціонуванні екосистем, змінюючи поведінку тварин, порушуючи їх міграційні маршрути та знижуючи біорізноманіття.

Фрагментація природних територій є ще одним важливим аспектом впливу автотрас на довкілля. Будівництво нових доріг та розширення існуючих призводить до поділу єдиних екосистем на ізольовані ділянки, що обмежує можливості міграції тварин та порушує природні зв'язки між

біоценозами. Це явище особливо небезпечне для великих ссавців та рідкісних видів, чії популяції і так перебувають під загрозою. У багатьох випадках автотраси стають непереборною перешкодою для тварин, що призводить до зменшення їх чисельності та порушення генетичного різноманіття популяцій [3].

Варто відзначити, що вплив автотранспорту на довкілля має кумулятивний характер - його наслідки накопичуються протягом тривалого часу і часто стають помітними лише через багато років після початку експлуатації дороги. Це ускладнює своєчасне виявлення проблем та вжиття адекватних заходів щодо їх вирішення. Крім того, екологічний вплив автотрас посилюється в умовах кліматичних змін, коли екстремальні погодні явища (зливи, паводки, посухи) сприяють більш інтенсивному поширенню забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

У рамках концепції сталого розвитку ключову роль відіграє зменшення шкідливого впливу автомобільного транспорту на екосистеми. Сьогоднішні стратегії подолання цієї проблеми базуються на цілісному підході, що охоплює: запровадження суворих екологічних норм для автотранспорту, популяризацію використання екологічно чистого палива, раціоналізацію організації дорожнього руху, застосування інноваційних матеріалів для будівництва доріг з мінімальним екологічним слідом, а також розробку високоефективних механізмів охорони природи. Для успішного втілення цих ініціатив необхідні консолідовані зусилля державних інституцій, приватного сектора та громадянського суспільства, а також значні фінансові вкладення в оновлення транспортної системи.

У сучасних умовах, коли екологічна свідомість стає невід'ємною частиною суспільного розвитку, питання мінімізації шкоди від транспортної інфраструктури набуває особливої ваги. Дослідження впливу окремих ділянок автомобільних трас на довкілля дозволяє не лише оцінити масштаби екологічної проблеми, але й розробити ефективні механізми її вирішення. Використання інноваційних будівельних технологій, застосування екологічно

безпечних матеріалів, впровадження сучасних систем очищення стічних вод із дорожнього полотна, створення екологічних переходів для тварин – усі ці заходи можуть суттєво зменшити антропогенний тиск на природні комплекси.

На сьогодні автомобільний транспорт є одним із найбільш розвинених та затребуваних видів транспорту в Україні. Він відіграє ключову роль у перевезеннях пасажирів та вантажів, забезпечуючи гнучкість, доступність та високу швидкість доставки. За останніми даними, протяжність автомобільних доріг загального користування в Україні складає понад 170 тис. км, де близько 20 тис. км — це дороги державного значення [4].

Автомобільний транспорт забезпечує майже 60% внутрішніх вантажоперевезень та понад 80% пасажирських перевезень, що робить його основним видом транспорту для населення та бізнесу. Порівняно з іншими видами транспорту, автомобільний має низку переваг:

- мережа доріг охоплює всі регіони, що забезпечує доступність навіть у віддалені населені пункти;
- висока маневреність дозволяє здійснювати перевезення «від дверей до дверей» без додаткових перевантажень;
- швидкість доставки є вищою порівняно з залізничним або водним транспортом, особливо на короткі та середні відстані;
- гнучкість маршрутів дає можливість оперативно реагувати на зміни попиту та логістичні потреби.

Однак автомобільний транспорт має й суттєві недоліки:

- висока енергоємність — витрати палива на одиницю вантажу значно вищі, ніж на залізничному чи водному транспорті;
- залежність від якості дорожньої інфраструктури, яка в Україні залишається недостатньо розвиненою;
- екологічний вплив — автомобілі є одним із головних джерел забруднення атмосфери, зокрема викидів CO₂, NO_x та твердих частинок.

1.1.1 Стан дорожньої інфраструктури

Транспортна інфраструктура України демонструє суттєві регіональні диспропорції як за густотою розміщення, так і за рівнем технічного обслуговування. За офіційними даними, лише три п'ятих від загальної кількості магістралей державного значення відповідають актуальним стандартам якості, тоді як інші 40% перебувають у стані, що вимагає капітального відновлення або повноцінної модернізації. Географічний аналіз показує чітку закономірність - найбільш задовільний стан дорожнього покриття фіксується в центральній та західній частині країни, на противагу східним і південним областям, де інфраструктурний розвиток значно поступається.

1.1.2 Вантажні перевезення

Автомобільний транспорт домінує у внутрішніх вантажоперевезеннях, особливо для невеликих партій товарів. Основні вантажопотоки включають:

- сільськогосподарську продукцію (зерно, овочі, фрукти);
- будівельні матеріали;
- промислові товари та споживчі товари.

Пасажирські перевезення

У сфері пасажирських перевезень автомобільний транспорт поділяється на:

- громадський транспорт (автобуси, маршрутні таксі) — забезпечує близько 70% міських та міжміських перевезень;
- приватний транспорт — стрімко зростає через доступність автомобілів та розвиток сервісів карпулінгу (спільних поїздок);
- таксі та сервіси доставки — набувають популярності завдяки цифровим платформам.

1.1.3 Екологічний аспект

Автотранспорт є основним джерелом забруднення повітря в містах. Для зменшення негативного впливу впроваджуються такі заходи:

- перехід на екологічно чисті види палива (електроенергія, газ);
- розвиток громадського транспорту, зокрема електробусів;
- вдосконалення дорожньої інфраструктури для зменшення заторів.

Перспективи розвитку

Для подальшого розвитку автотранспортної системи України необхідно:

- 1) модернізувати дорожню інфраструктуру, зокрема через програми європейської інтеграції;
- 2) впроваджувати «розумні» транспортні системи (ITS) для оптимізації руху;
- 3) розвивати електромобільність та альтернативні види палива;
- 4) підвищувати якість послуг громадського транспорту.

Автомобільний транспорт залишається ключовим елементом транспортної системи України, і його розвиток має бути спрямований на підвищення ефективності, екологічності та доступності для всіх категорій населення.

Динаміка вантажообігу автомобільного транспорту на території України протягом останнього періоду зафіксувала значні коливання, детерміновані взаємодією внутрішніх економічних механізмів, трансформацією інфраструктурного потенціалу та екзогенними впливами [5].

Автомобільний транспорт посідає ключове місце в транспортній системі України, забезпечуючи гнучкість та оперативність логістичних ланцюгів. Останні роки характеризуються суттєвими змінами у структурі вантажоперевезень, що обумовлено як внутрішніми економічними процесами, так і зовнішніми факторами – від пандемії COVID-19 до повномасштабної російської агресії.

Аналіз динаміки вантажообігу дозволяє виявити ключові тенденції:

- зростання частки автотранспорту у загальному обсязі перевезень, незважаючи на абсолютні коливання;
- трансформація логістичних потоків у зв'язку з тимчасовою окупацією частини території та руйнуванням інфраструктури;
- адаптація галузі до нових умов функціонування, зокрема через розвиток альтернативних транспортних коридорів.

Наведена таблиця ілюструє зміни обсягів перевезень та вантажообігу автомобільним транспортом за період 2017-2023 років, що дозволяє простежити вплив ключових подій на розвиток галузі.

Табл. 1.1. Зміни обсягів перевезень та вантажообігу автотранспортом

Рік	Перевезення вантажів, млн т	Вантажообіг, млн т·км	Частка в загальному вантажообігу, %
2017	425	48 200	12,3
2018	437	49 800	12,6
2019	452	51 500	13,1
2020	398	45 600	14,0
2021	412	47 300	14,5
2022	320	36 500	16,2
2023	350	40 100	17,0

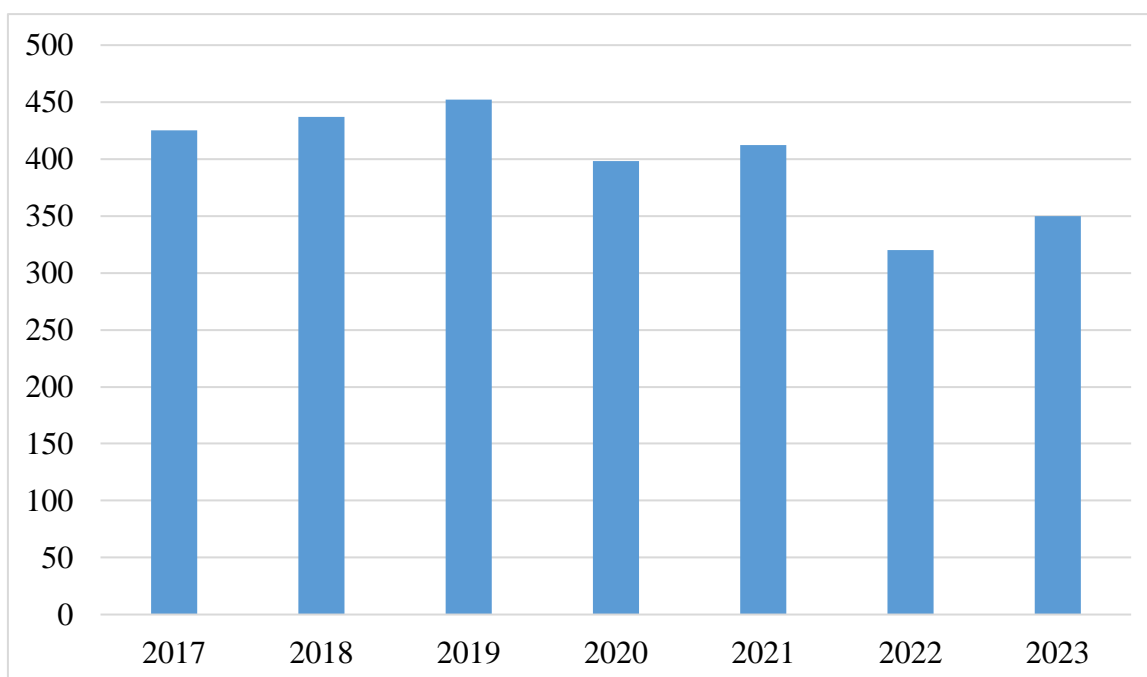


Рис. 1.1. Обсяги перевезень вантажообігу автотранспортом, млн т

Попри скорочення абсолютних обсягів у 2022–2023 рр. через війну, частка автотранспорту в загальному вантажообігу зросла з 12,3% (2017 р.) до 17 % (2023 р.). Це пов'язано з:

- руйнуванням залізничної інфраструктури в окремих регіонах;
- зростанням попиту на швидкі логістичні рішення (наприклад, доставку гуманітарних вантажів).

Автомобільні пасажирські перевезення становлять структурну основу сучасної транспортної системи України, виконуючи ключову функцію у забезпеченні мобільності населення. Цей сегмент охоплює широкий спектр транспортних засобів - від міських автобусів і маршрутних таксі до міжміських автолайнів, легкового транспорту та служб таксі, формуючи багаторівневу систему переміщення.

Значення автомобільного пасажирообігу особливо зростає в умовах недостатньо розвиненої залізничної інфраструктури та обмеженої мережі аеропортів у периферійних регіонах. Він виконує компенсаторну функцію, забезпечуючи транспортний зв'язок у районах, де інші види транспорту є недоступними або економічно недоцільними.

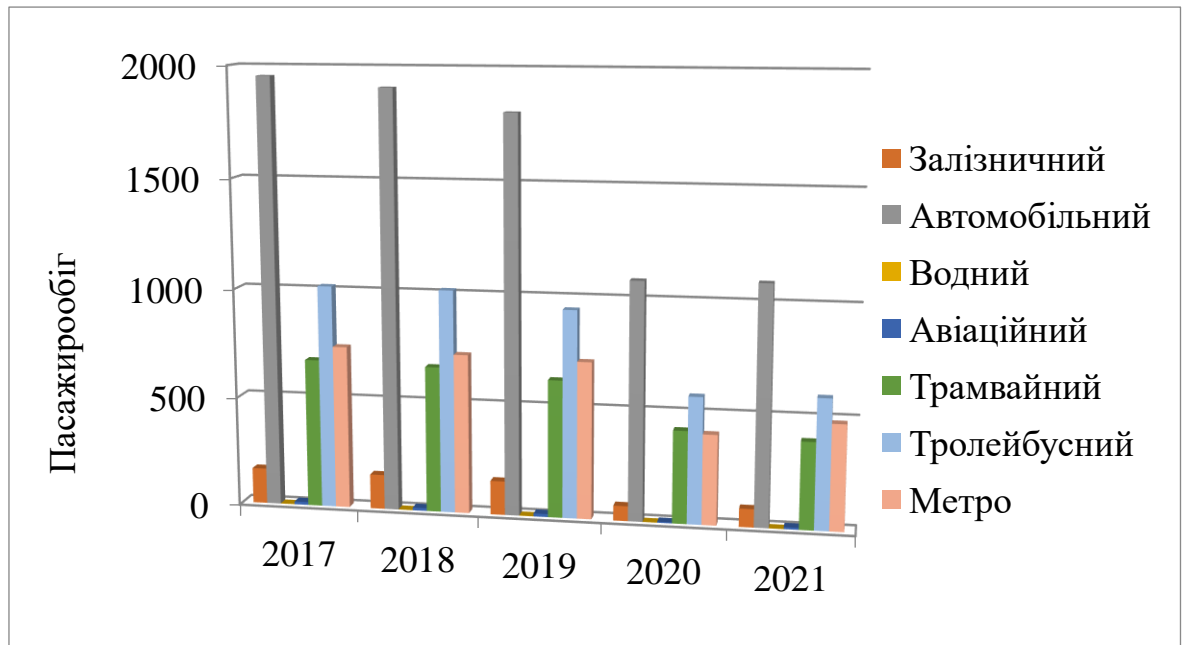


Рис. 1.2. Пасажиروبіг за видами транспорту в Україні, млрд. пас

Автомобільний транспорт посідає унікальну нішу в сучасній транспортній системі завдяки комплексу конкурентних переваг. На відміну від рейкового чи повітряного транспорту, він демонструє виняткову просторову гнучкість, здатність проникати в найвіддаленіші населені пункти та оперативно реагувати на зміни пасажиропотоку. Ця адаптивність особливо цінна в умовах динамічного розвитку міських агломерацій та для забезпечення транспортного зв'язку в депресивних регіонах [6].

З економічної перспективи автомобільні перевезення формують найбільш демократичний сегмент транспортних послуг. Їх собівартість істотно нижча порівняно з альтернативними видами транспорту, що забезпечує соціальну інклюзивність та доступність мобільності для всіх верств населення. Для соціально вразливих груп – пенсіонерів, студентів, малозабезпечених громадян – громадський автотранспорт часто є єдиною доступною можливістю для щоденних переміщень.

1.2 Аналіз законодавчої бази у сфері охорони довкілля від впливу автотранспортних засобів

Українське законодавство щодо захисту природи від шкідливої діяльності автотранспорту включає низку нормативних документів, які встановлюють вимоги до рівня викидів, шуму, поводження з відходами, а також визначають механізми контролю та покарання за порушення. У сучасних умовах, коли транспортна активність постійно зростає, особливого значення набуває не лише регулювання технічних параметрів транспортних засобів, а й системний моніторинг їх екологічного впливу протягом усього життєвого циклу.

Основою правового регулювання є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991 р) [7]. Цей документ закріплює ключові засади державної екологічної політики, зокрема:

- першочерговість екологічної безпеки;
- обов'язкове проведення екологічної експертизи;
- дотримання встановлених екостандартів;
- реалізацію принципу екологічної відповідальності («забруднювач платить»).

Окрему роль відіграє Закон «Про охорону атмосферного повітря» (2001 р) [8], який спеціалізується на питаннях запобігання забрудненню повітря. Він вимагає, щоб усі транспортні засоби відповідали нормативам щодо викидів шкідливих речовин, таких як оксиди азоту, вуглеводні, чадний газ та тверді частки. Важливим кроком у вдосконаленні цих норм стало поступове запровадження європейських стандартів (зокрема Euro-5 та Euro-6) у рамках виконання умов Угоди про асоціацію з ЄС.

Таблиця 1.2. — Норми викидів для транспортних засобів за європейськими стандартами [6]

Параметри	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
CO (г/км)	2,30	1,00	1,00	1,00
NO _x (г/км)	0,15	0,08	0,06	0,06
PM (г/км)	0,10	0,025	0,005	0,005

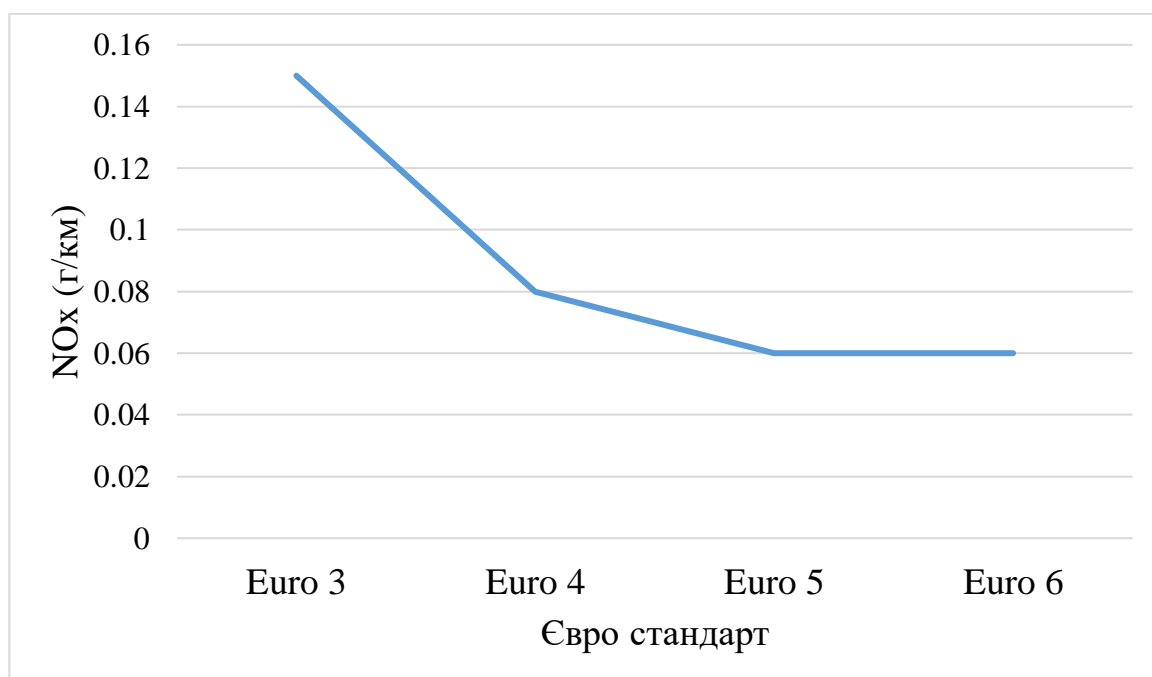


Рис. 1.3. — Зниження рівня викидів NO_x у нормативних стандартах Євро

Варто звернути увагу на Закон України «Про екологічну експертизу» (1995 р. із наступними змінами) [9], що встановлює правила проведення державної та громадської екологічної експертизи, зокрема щодо проектування або модернізації автомобільних доріг. З 2017 року до екологічної експертизи додався інститут оцінки впливу на довкілля (ОВД), впроваджений Законом України «Про оцінку впливу на довкілля» [10]. Цей документ передбачає чіткий алгоритм проведення оцінки, обов'язкові громадські обговорення, прозорість інформації та відповідність європейським екологічним стандартам.

Окрім законів, екологічну безпеку в автотранспортній галузі забезпечують різні підзаконні акти. Так, Постанова Кабінету Міністрів України №1304 від 13.12.2001 регулює екологічний контроль транспортних засобів на державному кордоні, а Наказ Міністерства охорони довкілля №177 (2007 р) [11] встановлює методику вимірювання рівня шкідливих викидів у вихлопних газах автомобілів.

На технічному рівні вимоги до автотранспорту закріплено в Державних санітарних правилах і нормах, а також ДСТУ – зокрема:

- ДСТУ 4276:2004 «Автомобілі. Викиди шкідливих речовин. Вимоги та методи контролю»;
- ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо їх застосування».

Важливим нормативним напрямком є державна програма реформування та розвитку автомобільного транспорту, затверджена низкою постанов КМУ, яка передбачає гармонізацію екологічного законодавства з директивами ЄС, зокрема Директивами 2007/46/ЕС (про затвердження типу транспортних засобів), 2008/50/ЕС (про якість повітря) та 2010/40/EU (про інтелектуальні транспортні системи) [12].

На рівні місцевого самоврядування також можуть ухвалюватися локальні програми щодо поліпшення екологічної ситуації в містах, наприклад, «Програма зниження шумового забруднення в межах міської території» або «Програма переходу на екологічний транспорт».

У рамках міжнародного партнерства Україна бере активну участь у діяльності Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP) та ОБСЄ, сприяючи впровадженню європейських екологічних норм у транспортній галузі. Це передбачає перехід на низьковуглецевий транспорт, розширення використання електромобілів та впровадження екологічно орієнтованих логістичних рішень.

Отже, система правового регулювання екологічної безпеки автотранспорту в Україні є багатошаровою: вона охоплює як загальні

конституційні принципи та базові закони з екології, так і спеціальні технічні регламенти, що стосуються експлуатації транспортних засобів, організації дорожнього руху та поводження з автотранспортними відходами. Однак практична ефективність цієї системи залежить від чіткого дотримання нормативів, оснащення сучасними засобами моніторингу, фінансового забезпечення екологічних програм та екологічної культури водіїв і підприємств.

2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ АВТОМАГІСТРАЛЕЙ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

2.1 Загальні джерела екологічного навантаження від автотранспортних об'єктів

Автотранспортна інфраструктура являє собою складну систему техногенного впливу на навколишнє середовище, де кожен елемент від дорожнього полотна до рухомого складу вносить свій внесок у формування екологічного навантаження. Цей вплив має багаторівневий і системний характер, що вимагає глибокого аналізу всіх його складових.

Основним і найбільш очевидним джерелом забруднення є безпосередньо транспортні засоби, які в процесі експлуатації генерують комплекс фізико-хімічних факторів впливу. Рухомий склад становить динамічне джерело забруднення, характер якого змінюється залежно від багатьох параметрів: типу двигуна, віку техніки, якості палива, умов експлуатації та інших факторів. Особливу увагу при цьому варто приділити диференціації впливу різних категорій транспортних засобів - від легкових автомобілів до важких вантажівок і автобусів, кожен з яких має свої особливості екологічного впливу [13].

Автотранспортні об'єкти, особливо автомагістралі, є великими джерелами антропогенного впливу на навколишнє середовище. Їх екологічне навантаження формується під комплексним впливом техногенних факторів, пов'язаних із експлуатацією транспортної інфраструктури та безпосередньою діяльністю автотранспорту. Ці фактори можна умовно поділити на прямі (безпосередні викиди, фізичні зміни) та опосередковані (наслідки будівництва, логістичні процеси).

Прямі джерела забруднення передусім пов'язані з роботою двигунів транспортних засобів. При згорянні палива утворюються газоподібні викиди, такі як оксиди вуглецю (CO), азоту (NO_x), вуглеводні (CH), діоксид сірки (SO₂)

та тверді частки (сажа, важкі метали). Склад та кількість цих речовин залежать від типу двигуна (бензиновий, дизельний, електричний), якості палива, технічного стану транспортного засобу та умов руху. Наприклад, при зниженні швидкості або в заторах викиди CO і NO_x значно зростають через неповне згоряння палива. Окрему групу забруднювачів становлять леткі органічні сполук, які виділяються не лише з вихлопними газами, але й через випаровування палива з паливних баків.

До прямих джерел також належать механічні фактори: зношених шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття, що призводить до утворення дрібнодисперсних частинок (PM_{2,5}, PM₁₀), які накопичуються в ґрунті та повітрі. Особливо небезпечними є частки, що містять важкі метали (свинець, кадмій, цинк), які з часом потрапляють у водні об'єкти через змивання дощовими водами.

Опосередкований вплив включає забруднення, пов'язане з етапами будівництва та обслуговування автомагістралей. Наприклад, використання будівельної техніки супроводжується викидами дизельних вихлопів, а викопні роботи – порушенням ґрунтового покриву та ерозією. Після введення ділянки в експлуатацію додаткове навантаження створюють об'єкти дорожньої інфраструктури (автозаправні станції, мийки, стоянки), які є джерелами розлитого палива, мастильних матеріалів та хімічних реагентів (антиобледенювачів).

Важливим аспектом є динаміка забруднення, яка залежить від інтенсивності руху, сезонних умов і навіть доби. Наприклад, у спекотну погоду збільшується випаровування летких сполук, а взимку – надходження в ґрунти хлорних та фосфорних реагентів. Нічний рух вантажівок підвищує рівень шуму, що впливає на тваринний світ прилеглих територій.

Стаціонарні елементи транспортної інфраструктури також є значними джерелами антропогенного навантаження. До них належать не лише власне дорожнє полотно, але й всі допоміжні споруди: мости, естакади, шумозахисні екрани, з'їзди та розв'язки. Кожен з цих елементів у процесі експлуатації

взаємодіє з навколишнім середовищем, створюючи специфічні види впливу. Наприклад, дорожнє покриття постійно піддається фізичному зносу, що призводить до утворення дрібнодисперсних частинок, а антиобледенювальні реагенти, які використовуються в зимовий період року, стають джерелом хімічного забруднення прилеглих територій.

Загальне екологічне навантаження від автотранспортних об'єктів є багатокомпонентним і формується під впливом як постійних (викиди, вібрація), так і періодичних факторів (будівельні роботи, сезонне обслуговування). Ця комплексність обумовлює необхідність інтегрованого підходу до оцінки впливу, що враховує не лише обсяги забруднювачів, але й їхню взаємодію з навколишніми екосистемами. Наприклад, накопичення важких металів у ґрунті може призвести до їхнього потрапляння в рослини, а через них – у органи тварин і людини, створюючи довгострокові екологічні та медичні ризики.

2.2 Види і масштаби впливу: шум, викиди, відходи, забруднення ґрунтів і вод

Автомобільні магістралі як складові транспортної інфраструктури створюють комплексний антропогенний вплив на навколишнє середовище, який проявляється через різноманітні форми та механізми дії. Цей вплив має як безпосередній, так і опосередкований характер, поширюючись на всі компоненти екосистем – від атмосферного повітря до гідросфери та літосфери.

Шумове забруднення від автотранспорту залишається одним із найбільш актуальних екологічних проблем сучасних міст. Його формування обумовлено комплексом факторів, серед яких особливе місце займають робота двигунів внутрішнього згоряння, взаємодія шин із дорожнім полотном, процеси гальмування та аеродинамічні явища при русі транспортних засобів. Характерною рисою такого шуму є його динамічність – інтенсивність звукового тиску постійно коливається в залежності від інтенсивності руху,

швидкісних характеристик транспорту, типу дорожнього покриття та наявності природних чи штучних перешкод для поширення звукових хвиль.

Найбільш критичні показники шумового забруднення (до 85-95 дБ) реєструються у безпосередній близькості до транспортних магістралей, що в 2-3 рази перевищує допустимі санітарні норми. Особливо гостро ця проблема проявляється в нічний період, коли загальний шумовий фон міста значно знижується, що робить транспортний шум більш помітним і дратівливим [14].

Хронічний вплив інтенсивного шуму має серйозні негативні наслідки. У людей він викликає порушення сну, підвищує рівень психоемоційного напруження та сприяє розвитку серцево-судинних патологій. Для тваринного світу таке акустичне забруднення призводить до порушення природних комунікаційних механізмів, зміни традиційних міграційних шляхів та зниження репродуктивного потенціалу. Ці обставини підкреслюють необхідність розробки та впровадження ефективних заходів щодо зменшення шумового впливу автотранспорту на навколишнє середовище.

Автомобільні викиди представляють значну небезпеку для стану атмосферного повітря, містять складний комплекс хімічних сполук з різним ступенем шкідливості. До основних забруднювачів належать токсичні гази – оксиди вуглецю, азоту та сірки, численні вуглеводневі сполуки, леткі органічні речовини, а також тверді частинки мікроскопічних розмірів. Особливу загрозу становлять стійкі органічні сполуки, важкі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні, здатні накопичуватись в організмі та довкіллі, викликаючи віддалені негативні наслідки.

Характер і обсяг викидів визначаються технічними особливостями транспортних засобів – типом двигуна, його технічним станом, якістю використовуваного палива, а також умовами експлуатації. Дизельні двигуни генерують значні кількості оксидів азоту і сажі, тоді як бензинові – продукують переважно оксид вуглецю і вуглеводні. Важливо враховувати, що в атмосфері під впливом сонячного випромінювання відбуваються складні хімічні перетворення первинних забруднювачів з утворенням вторинних

токсичних сполук, таких як озон, пероксиацетилнітрати та інші фотохімічні окисники, які мають високу біологічну активність.

Поширення забруднюючих речовин в повітрі має чітко виражену просторову динаміку, яка залежить від конфігурації транспортних магістралей, особливостей рельєфу місцевості, наявності зеленого захисного покриву та метеорологічних умов. Критичні концентрації найчастіше спостерігаються у безпосередній близькості від джерел викидів, особливо за несприятливих метеоумов – слабкої вітрової активності, температурних інверсій, що сприяють накопиченню шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери. Ці фактори обумовлюють необхідність комплексного підходу до моніторингу та контролю автотранспортних викидів для захисту здоров'я населення та стабільності екосистем [15].

Проблема відходів від автотранспортної діяльності включає кілька аспектів. По-перше, це безпосередньо тверді побутові відходи, що утворюються пасажирами і водіями (упаковка, харчові залишки, фільтри тощо). По-друге, це відходи експлуатації транспортних засобів – зношені шини, акумулятори, фільтри, гальмівні колодки, технічні рідини. По-третє, це відходи, пов'язані з обслуговуванням дорожньої інфраструктури – змет з дорожнього полотна, залишки ремонтних матеріалів, протижеледні реагенти. Особливістю цих відходів є їх висока небезпека для довкілля через наявність токсичних компонентів, важких металів, нафтопродуктів. Наприклад, зношені шини містять канцерогенні ароматичні аміни, а відпрацьовані мастильні матеріали – поліциклічні ароматичні вуглеводні. Процеси деградації цих матеріалів у довкіллі можуть тривати десятиріччями, супроводжуючись вилуговуванням токсичних речовин у ґрунтові води. Особливо гостро проблема відходів стоїть у місцях відпочинку водіїв, автозаправних станціях, автостоянках, де часто спостерігається несанкціоноване розміщення відходів.

Забруднення ґрунтів уздовж автомобільних магістралей має комплексний характер і обумовлене як безпосереднім осіданням викидів з атмосфери, так і прямим попаданням хімічних речовин у результаті

експлуатації дороги. Основні джерела забруднення включають викиди транспортних засобів, знос дорожнього покриття, використання протижеледних реагентів, випадкові розливи палива та мастильних матеріалів. Забруднення ґрунтів має чітко виражену просторову динаміку – максимальні концентрації забруднювачів зазвичай спостерігаються у безпосередній близькості від дороги (10-50 м) і зменшуються з віддаленням. Однак деякі речовини, особливо важкі метали (мідь, цинк, кадмій, свинець) і стійкі органічні сполуки, здатні накопичуватися в ґрунтах протягом десятиріч, створюючи стійкі осередки забруднення. Важливим аспектом є зміна фізико-хімічних властивостей ґрунтів під впливом транспортного забруднення – підвищення рН, зміна окисно-відновного потенціалу, порушення мікробіологічної активності. Це призводить до деградації ґрунтового покриву, зниження його родючості, зміни рослинного покриву. Особливо небезпечним є те, що забруднені ґрунти стають вторинним джерелом забруднення для суміжних середовищ – через вивітрювання у атмосферу, вимивання дощовими водами у водойми, включення в харчові ланцюги.

Забруднення водних об'єктів пов'язане з автомобільними магістралями через кілька механізмів. По-перше, це пряме попадання забруднюючих речовин у водойми з поверхневим стоком з дорожнього полотна. Такі стоки містять широкий спектр забруднювачів – від важких металів і нафтопродуктів до протижеледних реагентів і зносу шин. По-друге, це фільтрація забруднених ґрунтових вод у водойми. По-третє, це аварійні розливи небезпечних вантажів під час транспортування. Особливістю забруднення водних екосистем є те, що багато забруднюючих речовин здатні накопичуватися в донних відкладеннях, створюючи довгострокові осередки забруднення. Наприклад, нафтопродукти, осідаючи на дно, можуть поступово вивільняти токсичні компоненти протягом багатьох років. Важкі метали, потрапляючи у водне середовище, включаються в харчові ланцюги, накопичуючись у водних організмах. Використання хлорвмісних

протиожеледних реагентів призводить до підвищення мінералізації водойм, зміни іонного складу води, що особливо небезпечно для прісноводних екосистем. Слід зазначити, що вплив на водні об'єкти має кумулятивний характер – навіть невеликі, але постійні надходження забруднювачів з часом можуть призводити до серйозних порушень у водних екосистемах [16].

Масштаби впливу автомобільних магістралей на довкілля значною мірою залежать від інтенсивності руху, особливостей проектування дороги, характеру навколишніх ландшафтів та кліматичних умов. Наприклад, у міських умовах вплив зазвичай більш інтенсивний, але менш протяжний у просторі через наявність забудови, тоді як у сільській місцевості забруднення може поширюватися на значно більші відстані. Сезонні коливання також відіграють важливу роль – у зимовий період збільшується вплив протиожеледних реагентів, у спекотну суху погоду посилюється пилоутворення, у дощовий період – вимивання забруднювачів у водойми. Важливим аспектом є те, що різні види впливу часто взаємодіють і посилюють один одного. Наприклад, кислотні дощі, викликані викидами оксидів сірки і азоту, сприяють вилугуванню важких металів з ґрунтів і їх потраплянню у водойми. Шумове забруднення в поєднанні з хімічним стресом може призводити до більш виражених наслідків для біоти, ніж кожен з цих факторів окремо.

Табл. 2.1. Характеристика основних видів впливу автотранспортних об'єктів

Вид впливу	Основні джерела	Масштаби впливу	Наслідки	Період дії
Шумове	Двигуни ТЗ; шини/дорога; гальмування; аеродинамічний шум	50-100 дБ (безпосередньо біля дороги); зона впливу до 500 м для магістралей	Порушення сну; серцево-судинні захворювання; зміна поведінки тварин	Постійний (денний/нічний)
Атмосферні викиди	Вихлопні гази; випаровування палива; знос шин і гальм	До 1 км від джерела (основна зона); дальній перенос окремих речовин	Дихальні захворювання; кислотні дощі; парниковий ефект	Постійний з сезонними коливаннями
Відходи	Зношені шини; акумулятори; фільтри; побутові відходи	Локальні звалища біля доріг; накопичення в радіусі 1-5 км	Забруднення ґрунтів; отруєння тварин; засмічення територій	Довгостроковий (роки)
Забруднення ґрунтів	Викиди ТЗ; протижелезні реагенти; розливи ГЗМ	10-50 м (інтенсивне); до 200 м (фонове)	Деградація ґрунтів; накопичення в рослинах; забруднення ґрунтових вод	Довгостроковий (десятки років)
Забруднення вод	Поверхневий стік; фільтрація з ґрунтів; аварійні розливи	Водозбірні басейни в радіусі 5-10 км	Евтрофікація водойм; токсикація гідробіонтів погіршення якості води	Сезонний/ аварійний

2.3 Методики оцінки екологічного ризику транспортних об'єктів

Оцінка екологічного ризику транспортних об'єктів є складним багатоетапним процесом, що поєднує методики різних наукових дисциплін – екології, хімії, фізики, гідрології, біології та математичного моделювання. Цей процес спрямований на кількісне та якісне визначення потенційних загроз для довкілля, пов'язаних з функціонуванням транспортної інфраструктури, та розробку науково обґрунтованих заходів щодо мінімізації цих ризиків.

Сучасні методики оцінки екологічного ризику базуються на комплексному підході, який враховує всі аспекти взаємодії транспортних об'єктів з навколишнім середовищем. Вихідним етапом будь-якого дослідження є ідентифікація потенційно небезпечних факторів, яка включає аналіз технологічних процесів, характеристик транспортного потоку, особливостей дорожньої інфраструктури та чутливості навколишніх екосистем. Цей етап передбачає детальне вивчення всіх можливих шляхів поширення забруднюючих речовин – через атмосферу, ґрунтові води, поверхневий стік, біологічні ланцюги.

Важливим інструментом оцінки екологічного ризику є математичне моделювання, яке дозволяє прогнозувати просторово-часовий розподіл забруднюючих речовин у різних компонентах довкілля. Для атмосферного поширення викидів використовуються такі моделі, як CALPUFF, AERMOD або OSPM, які враховують метеорологічні умови, рельєф місцевості, параметри джерел викидів та фізико-хімічні властивості забруднювачів. Ці моделі дозволяють визначити зони максимального впливу та оцінити інтегральне навантаження на екосистеми, розрахувати поля концентрацій забруднюючих речовин на різних відстанях від джерела [17].

Для оцінки ризику забруднення водних об'єктів застосовуються гідрологічні та гідродинамічні моделі, які дозволяють простежити шляхи міграції забруднювачів з поверхневим стоком, розрахувати їх концентрації у водоймах, оцінити вплив на водні екосистеми. Особливу увагу приділяють

моделям, що враховують процеси сорбції-десорбції, біологічного розкладання та біоаккумуляції забруднюючих речовин.

Оцінка впливу на ґрунти проводиться з використанням геоінформаційних систем (ГІС), які дозволяють інтегрувати дані про просторовий розподіл забруднення, властивості ґрунтів, характер землекористування. Важливим елементом є вивчення міграції забруднювачів у ґрунтового профілі, для чого застосовуються спеціалізовані моделі (наприклад, HYDRUS), що враховують фізико-хімічні процеси у ґрунтовому середовищі.

Біологічні методи оцінки ризику включають біомоніторинг стану екосистем, що дозволяє виявити ранні ознаки негативного впливу. Використовуються біоіндикаторні види рослин і тварин, дослідження ферментативної активності ґрунтів, аналіз стану водних біоценозів. Застосування цих методик дозволяє кількісно оцінити антропогенний вплив транспортної інфраструктури на біотичні компоненти екосистем, що має вирішальне значення для вивчення довгострокових кумулятивних наслідків.

Окрему групу методів становлять токсикологічні дослідження, спрямовані на визначення критичних концентрацій забруднюючих речовин для різних компонентів екосистем. Вони включають лабораторні експерименти з визначення летальних і сублетальних доз, дослідження мутагенних і канцерогенних ефектів, оцінку впливу на репродуктивні функції організмів.

Важливим етапом оцінки екологічного ризику є розрахунок інтегральних показників ризику, які дозволяють кількісно оцінити потенційну шкоду для здоров'я людини та стану екосистем. До таких показників належать коефіцієнти небезпеки (Hazard Quotient), індекси канцерогенного ризику, інтегральні показники екологічного стану територій. Їх розрахунок базується на порівнянні фактичних або прогнозованих концентрацій забруднювачів з гранично допустимими рівнями, врахуванні часу експозиції, шляхів надходження речовин до організму.

Сучасні методики оцінки екологічного ризику все частіше включають елементи прогнозування довгострокових наслідків, зокрема за допомогою сценарного моделювання. Це дозволяє оцінити, як зміниться екологічна ситуація при збільшенні інтенсивності руху, зміні транспортного парку, впровадженні нових технологій чи зміні кліматичних умов.

Особливу увагу приділяють методикам оцінки кумулятивного ризику, які враховують одночасний вплив кількох факторів (хімічного, фізичного, біологічного) і їх синергетичні ефекти. Такі методики особливо актуальні для оцінки впливу великих транспортних вузлів, де одночасно діють численні джерела забруднення.

Важливим елементом охорони довкілля у транспортній сфері є створення інтегрованих систем екологічного моніторингу, здатних забезпечити комплексний контроль впливу транспортної інфраструктури на навколишнє середовище. Такі системи базуються на мережі сучасних датчиків і аналітичних інструментів, які дозволяють:

- безперервно фіксувати рівні забруднення атмосферного повітря (оксиди азоту, вуглецю, тверді частки тощо);
- контролювати акустичне навантаження в зонах активного руху транспорту;
- оцінювати стан водних ресурсів поблизу транспортних магістралей;
- аналізувати динаміку змін ключових екологічних показників у реальному часі.

Завдяки автоматизованому збору даних та їх інтеграції в єдину інформаційну платформу такі системи дозволяють оперативно виявляти критичні ситуації, моделювати можливі наслідки та вживати своєчасних управлінських рішень. Використання штучного інтелекту та машинного навчання додатково підвищує ефективність прогнозування екологічних ризиків, пов'язаних із транспортною діяльністю.

Розвиток таких систем моніторингу є особливо актуальним у контексті європейської інтеграції, оскільки дозволяє забезпечити дотримання суворих

екологічних стандартів, запровадити превентивні заходи щодо зменшення шкідливого впливу транспорту та підвищити прозорість екологічної політики у транспортній галузі.

Процес визначення екологічних ризиків, пов'язаних з транспортними об'єктами, вимагає гнучкого та диференційованого підходу, що враховує численні взаємопов'язані фактори. Ключову роль у виборі методик дослідження відіграють специфічні характеристики об'єкта - його функціональне призначення, технологічні особливості та масштаби впливу на навколишнє середовище. Не менш важливим є аналіз чутливості території, де розташований об'єкт, з урахуванням наявності особливо охоронюваних природних територій, густонаселених районів або інших уразливих елементів екосистеми.

Сучасна практика екологічної оцінки передбачає використання широкого спектру методів - від традиційних інструментів моніторингу до інноваційних технологій прогнозування. Особливе значення має етап життєвого циклу об'єкта, оскільки методичні підходи суттєво відрізняються для стадій проектування, будівництва, експлуатації чи реконструкції. Наприклад, для новобудов перевагу віддають прогностичним моделям, тоді як для діючих об'єктів ефективнішими є методи, що базуються на реальних даних моніторингу [18].

Найбільш точні та обґрунтовані результати досягаються при комплексному застосуванні різних підходів, що дозволяє компенсувати обмеження окремих методів. Синтез кількісних і якісних оцінок, поєднання експериментальних даних з результатами моделювання, інтеграція традиційних аналітичних методів з сучасними ГІС-технологіями - все це сприяє формуванню цілісної картини екологічних ризиків. Такий багаторівневий підхід особливо важливий для стратегічного планування розвитку транспортної інфраструктури, оскільки дозволяє не лише оцінити поточний стан, але й передбачити довгострокові наслідки для навколишнього середовища.

2.4 Критерії екологічної безпеки автодорожніх ділянок

Сучасна система оцінки екологічного впливу автотранспортної інфраструктури ґрунтується на комплексі взаємопов'язаних нормативних показників, розроблених з урахуванням останніх наукових досягнень та міжнародного досвіду. Ця методологічна база постійно розвивається, інтегруючи нові підходи до оцінки антропогенного навантаження та адаптуючись до змін у транспортних технологіях і екологічних стандартах.

Основним інструментом регулювання слугують гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин, що враховують специфіку автотранспортних викидів. Для атмосферного повітря встановлено диференційовані нормативи, які розрізняються за тривалістю впливу (гострі короточасні ефекти проти хронічного впливу) та враховують особливості розподілу забруднювачів у просторі. До ключових речовин, що підлягають обов'язковому контролю, належать не лише класичні газоподібні сполуки, а й тонкодисперсні частинки, поліароматичні вуглеводні та важкі метали у формі аерозолів.

Для ґрунтів узбіч і прилеглих територій розроблено спеціальну систему оцінки, що включає аналіз фізико-хімічних властивостей, визначення ступеня міграції забруднювачів, оцінку біологічної доступності токсикантів та дослідження кумулятивного ефекту.

Особливий акцент робиться на прогностичних методах, що дозволяють оцінити довгострокову динаміку накопичення забруднювачів та їх вплив на прилеглі екосистеми. Сучасні підходи до нормування враховують не лише абсолютні значення концентрацій, але й їх біологічну активність, потенціал до біоаккумуляції та синергетичні ефекти при сумісній присутності різних токсикантів. Така комплексна методологія дозволяє ефективно балансувати між потребами транспортного розвитку та необхідністю збереження навколишнього середовища.

Нормативне регулювання якості водних ресурсів у зоні впливу автомобільних доріг становить критично важливий компонент екологічного моніторингу. Ця система передбачає комплексну оцінку як прямого хімічного забруднення, так і опосередкованих змін гідрологічного режиму та фізико-хімічних властивостей води. До ключових параметрів контролю належать показники кислотно-лужної рівноваги, рівня мінералізації, наявності емульгованих нафтопродуктів та інших плаваючих речовин, що формують поверхневі плівки.

Особливе значення у системі моніторингу надається оцінці органічного навантаження, яке визначається через інтегральні показники біохімічного та хімічного споживання кисню. Ці параметри дозволяють кількісно оцінити ступінь деградації водних екосистем внаслідок надходження стічних вод з проїжджих частин, що містять рештки паливно-мастильних матеріалів, протижеледних реагентів, продуктів зносу покриттів та дорожнього покриття.

Сучасні підходи до нормування враховують не лише абсолютні значення концентрацій забруднювачів, але й їх кумулятивний вплив, особливості трансформації у водному середовищі та потенціал до біоаккумуляції. Водночас аналізується динаміка відновлення водних екосистем, що дозволяє розробити адекватні заходи щодо мінімізації шкідливого впливу автотранспортної інфраструктури на гідросферу.

Шумове навантаження як критерій екологічної безпеки регламентується через систему нормативів, що враховують як еквівалентні, так і максимальні рівні звуку, спектральний склад шуму, тривалість його впливу. Встановлюються різні нормативні значення для денної і нічної доби, для різних типів територій (жилі зони, лікувально-оздоровчі установи, природоохоронні території). Сучасні підходи передбачають також оцінку низькочастотного шуму і вібрації, які можуть мати значний вплив на здоров'я людини при тривалому впливі [19].

Критерії екологічної безпеки для біотичних компонентів екосистем включають показники біорізноманіття, продуктивності екосистем, стану ключових біоіндикаторних видів. Наприклад, оцінюється зміна видового складу і чисельності ґрунтової мікрофлори, стану хвойних насаджень уздовж доріг, наявності і розподілу чутливих до забруднення видів тварин. Важливим показником є коефіцієнт накопичення токсичних речовин у рослинах, що дозволяє оцінити реальну небезпеку потрапляння забруднювачів у харчові ланцюги.

Сучасні підходи до визначення критеріїв екологічної безпеки все більше враховують не лише окремі показники, але і їх взаємодію, що відображається в концепції інтегральних індексів екологічного стану. До таких індексів належать показники екологічного навантаження на територію, коефіцієнти екологічної стабільності ландшафтів, індекси якості довкілля. Вони дозволяють комплексно оцінити вплив автодорожньої ділянки на навколишнє середовище, враховуючи як прямі, так і опосередковані ефекти, короткострокові і довгострокові наслідки.

Система екологічних нормативів для автотранспортних об'єктів передбачає суттєві відмінності залежно від характеру території їх розташування. Цей диференційований підхід ґрунтується на принципі зональної відповідності, коли ступінь охоронних вимог визначається екологічною чутливістю та функціональним призначенням конкретної території.

Найбільш пом'якшені вимоги застосовуються до зон промислової забудови, тоді як для житлових районів діють значно жорсткіші обмеження. Особливо регламентованими є території сільськогосподарського призначення, де зберігається високий пріоритет захисту родючості ґрунтів. Максимально суворі нормативні рамки встановлені для, водозбірних територій питних водозаборів, зон санітарної охорони курортів, територій природно-заповідного фонду, охоронних зон водно-болотних угідь, рекреаційних лісів та зелених зон.

Такий підхід дозволяє враховувати не лише абсолютний рівень забруднення, але й потенційну небезпеку для найбільш уразливих компонентів екосистем. Для кожного типу територій розробляються спеціальні коефіцієнти екологічної значимості, які застосовуються до базових нормативів. Це забезпечує необхідний баланс між розвитком транспортної інфраструктури та збереженням найцінніших природних комплексів.

Слід зазначити, що система критеріїв екологічної безпеки постійно вдосконалюється, що пов'язано з кількома факторами. По-перше, це поява нових наукових даних про вплив автотранспорту на довкілля, зокрема про дію малих концентрацій забруднювачів при тривалому впливі, про ефекти комбінованої дії різних факторів, про вплив на кліматичні зміни. По-друге, це вдосконалення методів контролю і аналізу, що дозволяє виявляти і кількісно оцінювати нові види забруднення. По-третє, це зміна суспільних пріоритетів у напрямку підвищення вимог до якості довкілля і здоров'я населення.

Окрему групу критеріїв становлять показники, які пов'язані з організацією природоохоронних заходів на автодорожніх ділянках. Сюди відносяться нормативи щільності шумозахисних екранів, ефективності очисних споруд для поверхневого стоку, ширини санітарно-захисних зон, якості рекультивації порушених земель. Оцінюється також наявність і ефективність систем моніторингу, що дозволяє оперативно виявляти порушення екологічної безпеки.

Важливим напрямком розвитку системи критеріїв є впровадження принципів сталого розвитку, що передбачає оцінку не лише негативних, але і позитивних аспектів впливу дорожньої інфраструктури. Це включає критерії енергоефективності, використання вторинних матеріалів, застосування екологічно орієнтованих технологій будівництва і експлуатації доріг, створення екологічних коридорів для міграції тварин [20].

Сучасні тенденції в розвитку критеріїв екологічної безпеки автодорожніх ділянок включають також інтеграцію кліматичних аспектів, зокрема облік впливу на вуглецевий баланс територій, адаптацію до змін

клімату, зменшення вуглецевого сліду транспортної інфраструктури. Це призводить до появи нових нормативних показників, пов'язаних із використанням відновлюваних матеріалів, викидами парникових газів, енергоспоживанням.

Таким чином, система критеріїв екологічної безпеки автодорожніх ділянок являє собою динамічний комплекс взаємопов'язаних показників, що охоплюють всі аспекти впливу транспортної інфраструктури на довкілля. Вона постійно розвивається, відображаючи новітні наукові знання, технологічні можливості і суспільні очікування, забезпечуючи баланс між розвитком транспортної системи і збереженням навколишнього середовища.

3 ОЦІНКА ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ОКРЕМОЇ ДІЛЯНКИ АВТОТРАНСПОРТУ (НА ПРИКЛАДІ ТРАСИ М07)

3.1. Розташування об'єкту

Автомобільна траса М07, що є складовою частиною європейського маршруту Е373, розташована у північно-західній частині України. Ця важлива транспортна артерія бере свій початок на північних околицях Києва, де вона з'єднується з кільцевою дорогою столиці, і простягається у північно-західному напрямку через території чотирьох областей України.

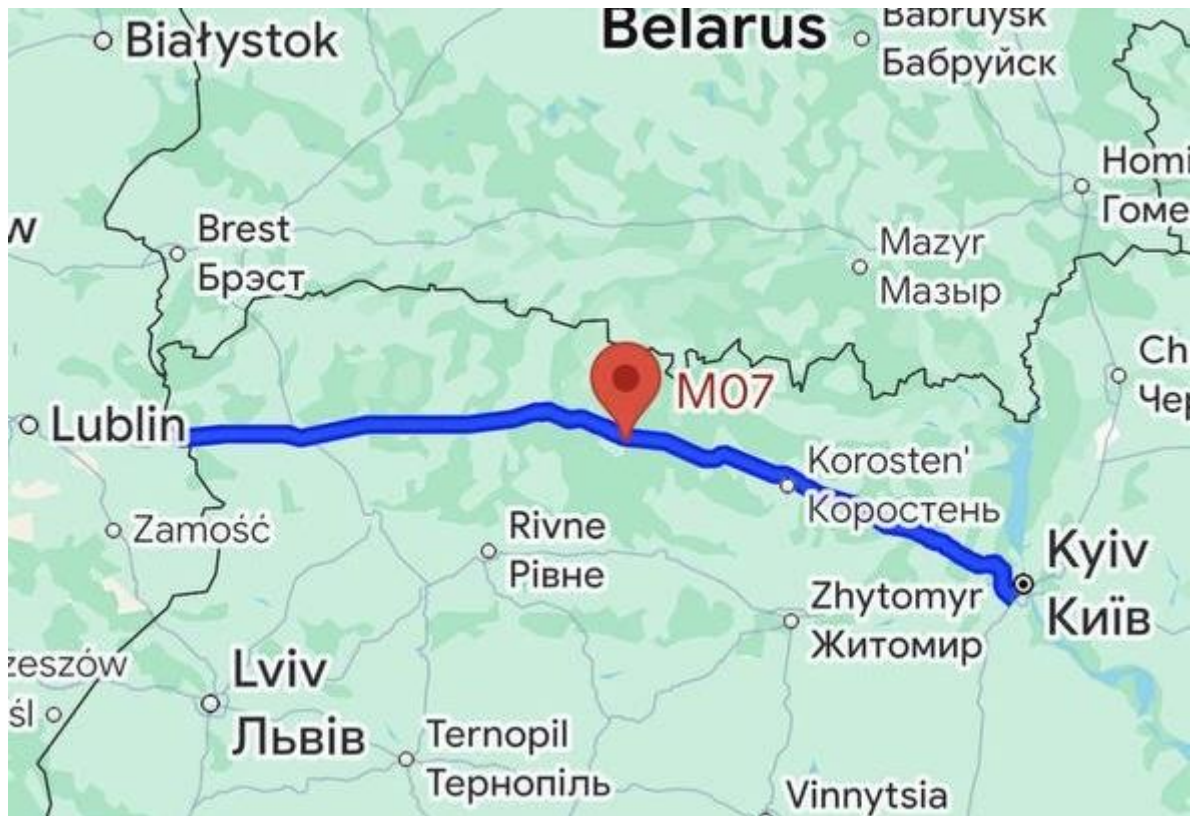


Рис 3.1 Карта-схема ділянки траси М07

Географічно траса проходить через різноманітні природні ландшафти, починаючи від лісостепових територій Київщини, через поліські масиви Житомирської області, до підвищених ділянок Малопольської височини у Рівненській області та завершуючись на рівнинних просторах Волинської

області. Протягом свого маршруту траса перетинає численні водні перешкоди, серед яких такі значні річки як Тетерів у Житомирській області, Стир у Рівненській області та Прип'ять на Волині.

Адміністративно маршрут траси охоплює території Київської, Житомирської, Рівненської та Волинської областей. У Київській області вона проходить через Вишгородський та Іванківський райони, у Житомирській - через Коростенський та Овруцький райони. Далі на заході траса перетинає Дубенський та Кременецький райони Рівненщини, а у Волинській області проходить через Луцький та Ковельський райони.

Рельєф місцевості вздовж траси варіюється від рівнинних ділянок з абсолютними висотами близько 110 метрів над рівнем моря у прикієвських районах до більш підвищених територій у Кременецькому районі, де висоти сягають 280 метрів. Особливістю географічного розташування траси є її проходження через межу двох великих природних зон - Поліської низовини та Малопольської височини.

Завершується траса М07 на західному кордоні України, у пункті пропуску "Ягодин", де вона з'єднується з польською автострадою А18. Це розташування робить її важливим транспортним коридором між Україною та країнами Європейського Союзу. Протяжність траси на території України становить приблизно 486 кілометрів, що робить її однією з найдовших магістралей у західному напрямку.

3.2 Коротка характеристика об'єкту

Автомобільна траса М07, що має статус європейського маршруту Е373, є стратегічно важливим транспортним коридором на північному заході України. Ця магістраль довжиною 486 км формує ключовий ланцюг транспортного зв'язку між столицею України та кордоном з Європейським Союзом.



Рис. 3.2 Автошлях М07

Траса має переважно 1-2 смугову конструкцію з асфальтобетонним покриттям. Ширина проїжджої частини на більшості ділянок становить 7-9 метрів. На окремих відрізках у межах міст (Луцьк, Ковель) траса розширюється до 4 смуг. Середня розрахункова швидкість руху складає 90 км/год, хоча на деяких ділянках обмежена до 50-70 км/год через проходження через населені пункти.

М07 є важливим елементом:

- міжнародних транспортних зв'язків - складає частину пан'європейського коридору, що з'єднує Україну з Польщею та далі з країнами ЄС;
- регіонального сполучення - забезпечує зв'язок між чотирма областями України;
- логістичних ланцюгів - через трасу здійснюється значний обсяг вантажоперевезень, особливо у напрямку кордону.

Траса обладнана сучасними пунктами пропуску на кордоні (Ягодин), мережею АЗС, сервісних центрів та зонами відпочинку. На ділянках поблизу великих міст (Київ, Луцьк) розвинена об'їзна інфраструктура. Водночас, на

окремих відрізках у сільській місцевості інфраструктура потребує модернізації.

Траса М07 проходить через різноманітні ландшафти, включаючи міські агломерації, гористі місцевості та ділянки з поганим покриттям.

Табл. 3.1 Екологічний вплив ділянок траси М07 за типами покриття та інтенсивності руху

Ділянка траси М07	Тип покриття	Інтенсивність руху (авто/добу)
Київ – Житомир	Асфальтобетон (якісний)	15000–20000
Житомир – Рівне	Асфальтобетон (середній)	10000–15000
Рівне – Луцьк	Асфальт з тріщинами	8000–12000
Луцьк – Ковель	Гравій (частково)	5000–8000
Карпати (Стрий – Івано-Франківськ)	Асфальт (круті підйоми)	6000–9000

Аналіз екологічного стану окремих ділянок автомобільних шляхів дає змогу виявити критично важливі зони, де негативний вплив транспорту на довкілля проявляється з особливою інтенсивністю. Найбільш відчутні прояви такого впливу спостерігаються на окремих відрізках дороги, кожен з яких має свої особливості географічного положення, технічного стану покриття, інтенсивності руху та умов експлуатації. В першу чергу слід відзначити ділянки, що проходять через карпатські підйоми, зокрема між населеними пунктами Стрий та Івано-Франківськ. У цій частині дороги, внаслідок значного перепаду висот та складного рельєфу місцевості, відбувається суттєве зростання тягового навантаження на двигуни автомобілів. Це зростання сили тяги, яке в середньому становить приблизно 3,5 рази у порівнянні з рівнинними умовами, призводить до інтенсивнішого споживання пального, що, в свою чергу, викликає збільшення обсягів викиду вуглекислого

газу (CO_2) в атмосферу. Рівень цих викидів у таких умовах може зрости на 30–50% у порівнянні з експлуатацією транспорту в більш сприятливих географічних умовах. Це пов'язано з тим, що двигуни працюють на підвищених обертах і фактично наближаються до межі своїх технічних можливостей, що супроводжується не лише більшим використанням палива, а й значно вищим тепловим та механічним навантаженням на систему в цілому. Такі умови експлуатації транспортних засобів не лише скорочують термін служби двигунів, але й посилюють екологічний тиск на навколишнє середовище, насамперед в регіонах, які вже є екологічно вразливими через специфіку ландшафту, мікроклімату та біорізноманіття [21].

Незадовільний стан дорожнього покриття на трасі Рівне–Луцьк створює комплекс екологічних проблем, що виходять далеко за межі звичайних транспортних незручностей. Нерівності дорожнього полотна, що проявляються у вигляді ям, хвилястості та інших деформацій, ініціюють ланцюг негативних явищ, які суттєво впливають на стан навколишнього середовища.

Постійна взаємодія транспортних засобів з дефектним покриттям призводить до інтенсифікації процесів зношування автомобільних шин. В умовах нерівномірного руху з частими гальмуваннями та прискореннями утворюється значна кількість мікрочастинок гуми, які осідають у прилеглих до дороги територіях. Ці частинки, відомі як гумовий пил, характеризуються високою стійкістю до природного розкладання та здатністю накопичуватися в ґрунтовому покриві протягом тривалого часу.

Наслідки такого забруднення мають системний характер:

- порушення фізичних властивостей ґрунтів (щільність, повітро- та водопроникність);
- зміна хімічного складу ґрунтових горизонтів;
- деградація мікробіологічних угруповань;
- зниження біологічної продуктивності земель;
- трансформація рослинного покриву.

Особливу небезпеку становлять токсичні компоненти, які містяться у складі гумових частинок і поступово вивільняються в навколишнє середовище. До них належать канцерогенні сполуки, важкі метали та інші хімічні речовини, що використовуються при виробництві автомобільних шин. Ці елементи здатні мігрувати по харчових ланцюгах, створюючи потенційну загрозу для здоров'я людей та стабільності екосистем.

Проблема потребує комплексного підходу, що включає як оперативні заходи щодо відновлення дорожнього покриття, так і довгострокові стратегії моніторингу та рекультивації забруднених територій. Важливим напрямком є розробка та впровадження екологічно безпечних матеріалів для виробництва автомобільних шин, що зменшать токсичний вплив у разі їх зношування.

Міські відрізки автомобільних магістралей в таких обласних центрах як Луцьк і Рівне створюють унікальний комплекс екологічних проблем, які суттєво відрізняються від впливу міжміських трас. Високий рівень урбанізації формує особливі умови функціонування транспорту, де щільність транспортних потоків, постійні затори та необхідність частих зупинок і стартів призводять до значного посилення негативного впливу на довкілля та здоров'я мешканців.

Специфіка міського середовища сприяє різкому зростанню викидів особливо небезпечних речовин, серед яких першочергову увагу привертають оксиди азоту. Їх концентрація в повітрі біля міських ділянок трас регулярно перевищує нормативні показники у 1,5-2 рази, що створює серйозні ризики для здоров'я населення. Ситуація ускладнюється тим, що ці забруднювачі взаємодіють з іншими міськими шкідливими речовинами - пиловими частинками, вуглеводнями, озоном, утворюючи складні токсичні комплекси з посиленою біологічною активністю.

Важливим фактором, що посилює проблему, є особливості міського мікроклімату. Щільна багатоповерхова забудова створює так званий "каньйонний ефект", який обмежує природну вентиляцію та сприяє накопиченню забруднювачів у приземному шарі атмосфери. Це призводить до

формування стійких зон підвищеної концентрації шкідливих речовин, де мешканці постійно перебувають під впливом токсичного середовища.

Медико-екологічні дослідження свідчать про серйозні наслідки такого впливу на здоров'я населення. Хронічне вдихання забрудненого повітря спричиняє зростання захворювань дихальної системи, учащення алергічних реакцій, зниження імунітету, порушення у розвитку дітей та загострення хронічних хвороб у людей похилого віку. Особливо вразливими виявляються мешканці будинків, розташованих безпосередньо вздовж магістралей, а також люди, які тривалий час перебувають у зоні впливу - продавці кіосків, дорожні робітники, поліцейські.

Вирішення цієї комплексної проблеми вимагає системного підходу, що поєднує технічні, планувальні та організаційні заходи. Серед пріоритетних напрямів можна виділити розвиток об'їзних маршрутів, впровадження суворих екологічних стандартів для міського транспорту, оптимізацію дорожнього руху, створення ефективних систем вентиляції міських каньйонів, а також активний розвиток альтернативних видів транспорту. Не менш важливим є постійний моніторинг якості повітря та інформування населення про рівні забруднення, що дозволить мінімізувати ризики для здоров'я мешканців [22].

Локалізований аналіз найбільш проблемних ділянок траси М07 дозволяє не лише виявити джерела підвищеного екологічного навантаження, але й сформулювати уявлення про специфіку забруднення в залежності від географічного розташування, інфраструктурних особливостей і режиму експлуатації. Детальна оцінка екологічних параметрів забезпечує наукову обґрунтованість управлінських рішень, спрямованих на оптимізацію транспортної системи з урахуванням принципів сталого розвитку.

3.3 Вплив на навколишнє середовище

Сучасна транспортна інфраструктура, зокрема автомобільні магістралі, становить складний техногенний комплекс, який формує багаторівневий вплив на навколишнє природне середовище. Траса М07 як стратегічно важливий транспортний коридор між Україною та країнами Європейського Союзу вимагає особливо ретельного аналізу її екологічних наслідків. Цей вплив має системний характер і проявляється через численні взаємопов'язані фізичні, хімічні та біологічні процеси, що вимагають комплексного наукового підходу до їх дослідження та оцінки.

Фундаментальною основою для розуміння механізмів впливу є аналіз енергетичного балансу транспортного потоку. Кожен автомобіль, рухаючись магістраллю, перетворює хімічну енергію палива на механічну роботу, що супроводжується низкою побічних ефектів. Ці ефекти включають не лише безпосередні викиди продуктів згоряння, а й цілий спектр опосередкованих впливів, таких як теплове забруднення, акустичний тиск, механічний знос покриття та інші фактори. Особливістю траси М07 є її значна протяжність (486 км) і проходження через різноманітні природні ландшафти, що обумовлює неоднорідність екологічного навантаження на різних ділянках.

Аналіз впливу транспортної магістралі на довкілля вимагає ретельного вивчення показників інтенсивності руху, які є визначальним чинником обсягів шкідливих викидів. Статистичні дані за 2021 рік свідчать про суттєву нерівномірність навантаження на різних ділянках траси М07, що безпосередньо впливає на екологічну ситуацію в прилеглих територіях.

Характерною особливістю є значні коливання інтенсивності руху протягом доби. У періоди ранкових та вечірніх годин пік спостерігається зростання транспортного навантаження до 30% порівняно зі середньодобовими показниками. Такі різкі коливання створюють пульсуючий характер забруднення, який особливо відчутний у безпосередній близькості до магістралі [23].

Табл. 3.2 Середня величина інтенсивності руху у 2021 році

Проміжок часу	Середня інтенсивність руху за днями тижня, авто/год						
	понеділок	вівторок	середа	четвер	п'ятниця	субота	неділя
00-01	522	455	427	418	418	425	369
01-02	366	351	328	329	330	309	256
02-03	267	282	269	276	266	250	190
03-04	237	266	239	260	249	222	162
04-05	287	323	298	302	299	272	169
05-06	651	620	545	570	546	428	234
06-07	1 677	1 588	1 497	1 494	1 425	768	435
07-08	1 569	1 540	1 598	1 612	1 548	957	583
08-09	1 622	1 682	1 666	1 696	1 675	1222	776
09-10	1 527	1 554	1 573	1 591	1 562	1 402	1022
10-11	1 492	1 489	1 509	1 532	1 491	1 470	1 230
11-12	1 487	1 438	1 467	1 475	1 491	1 541	1 478
12-13	1 504	1 437	1 454	1 493	1 486	1 596	1 733
13-14	1 524	1 443	1 476	1 496	1 476	1 618	1 879
14-15	1 506	1 420	1 440	1 517	1 501	1 667	1 951
15-16	1 512	1 459	1 482	1 564	1 551	1 701	1 939
16-17	1 547	1 496	1553	1 584	1 583	1 723	1 726
17-18	1565	1 542	1609	1683	1 650	1 717	1 639
18-19	1 538	1 496	1564	1622	1 555	1 653	1 582
19-20	1389	1 335	1344	1420	1 392	1562	1 621
20-21	1275	1207	1215	1266	1229	1381	1 523
21-22	1056	983	989	1035	1001	1116	1389
22-23	841	775	765	776	788	785	1158
23-00	620	565	561	577	573	540	795

У процесі експлуатації автотранспорту постійний рух шин по дорожньому покриттю призводить до механічного зносу покришок, виділення мікрочастинок гумової пилу та інших забруднювальних речовин, що потрапляють у ґрунт і повітря. Одним із ключових факторів, які впливають на інтенсивність цього процесу, є дотична сила тяги – сила, що виникає в зоні контакту колеса з дорогою та забезпечує рух автомобіля.

За даними досліджень, величина дотичної сили залежить від:

- крутного моменту двигуна,
- радіуса колеса,
- коефіцієнта зчеплення з дорожнім покриттям.

Для більшої точності розрахунок дотичної сили тяги (F_k , Н) може бути проведений окремо для спуску, підйому і майданчику з урахуванням стану типу дорожнього полотна, швидкості руху і опору повітря за такою формулою:

$$F_k = G(f_0 + i + \varpi_B), \quad (3.1)$$

де G – вага автомобіля, Н;

f_0 – коефіцієнт опору тертя (характеризує тип і стан дорожнього полотна: для асфальтобетону $f_0 = 0,015–0,020$, для гравійної дороги $f_0 = 0,040–0,045$);

i – ухил на дорозі ($+i$ на підйомі; $-i$ на спуску; $i=0$ на майданчику);

ϖ_B – коефіцієнт опору повітря.

Вага автомобіля розраховується за виразом:

$$G = M_a g, \quad (3.2)$$

де

M_a – маса автомобіля з вантажем, кг;

g – прискорення вільного падіння ($g=9,81$ м/с²).

Коефіцієнт опору повітря (ϖ_B) розраховується за формулою:

$$\varpi_B = \frac{kSV^2g}{G}, \quad (3.3)$$

де k – коефіцієнт обтічності (для вантажних $k=0,06 – 0,07$; для легкових автомобілів $k=0,020 – 0,035$; для автобусів $k=0,025 – 0,040$);

S – площа проекції автомобіля на площину, що перпендикулярна напрямку його руху («лобова площа»), м²;

V – швидкість руху автомобіля, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

G – вага автомобіля, Н.

Лобову площу автомобіля можна визначити за наближеними формулами:

– для вантажних автомобілів з кузовом «фургон»

$$S = 0,90BH,$$

– для вантажних автомобілів і автобусів

$$S = 0,85BH ,$$

де B и H – габаритна ширина і висота автомобілів, м [3].

Табл. 3.2 Інформація про масу і габаритні ширину і висоту автомобілів

Група автомобілів	Ширина B , м	Висота H , м	Маса M_a , кг
Легкові	1,76	1,5	1500
Легкі вантажні	1,93	2,6	3500
Середні вантажні	2,3	2,52	10000
Автобуси	2,37	2,85	6500

Попередній аналіз впливу автомобільних магістралей на довкілля дозволив виявити ключові фактори антропогенного навантаження, зокрема викиди забруднюючих речовин, шумове забруднення та накопичення токсичних елементів у ґрунтах. Для поглибленого дослідження цих процесів було обрано конкретну ділянку траси М07 між містами Стрий та Івано-Франківськ, яка характеризується значним перепадом висот (близько 300 метрів) та середнім ухилом 0,05. Ця ділянка є особливо показательною для аналізу впливу рельєфу місцевості на параметри руху транспортних засобів та пов'язані з цим екологічні наслідки.

Вибір саме середнього вантажного автомобіля (а не важкого автопоїзда) обумовлений тим, що цей клас транспорту є найбільш поширеним на досліджуваній ділянці та водночас дозволяє отримати репрезентативні дані, які можна екстраполювати на інші типи вантажних транспортних засобів. Коефіцієнт обтічності 0,06, прийнятий для розрахунків, є типовими для більшості сучасних вантажівок і дозволяє отримати об'єктивні результати.

Особливе значення має вибір саме ділянки з перепадом висот 300 метрів та ухилом 0,05. На таких ділянках вантажні автомобілі демонструють найбільш виражений вплив на довкілля, оскільки підйом на ухил вимагає значного збільшення потужності двигуна, що призводить до різкого зростання викидів. При русі на підйом викиди забруднюючих речовин можуть зростати

на 40-60% порівняно з рухом по рівній місцевості. Крім того, саме вантажний транспорт найбільш чутливий до змін рельєфу місцевості, що робить його ідеальним об'єктом для вивчення впливу топографічних особливостей на екологічні показники.

Вихідні дані:

Ділянка: Стрий – Івано-Франківськ (перепад висот ~ 300 м, ухил $i = 0,05$)

Авто: середній вантажний (маса $M_a = 10000$ кг, $B = 2,33$ м, $H = 2,52$ м)

Швидкість: $V = 60$ км/год = $16,67$ м/с

Коефіцієнт обтічності: $k = 0,06$

Кроки розрахунку:

1. Вага авто:

$$G = 10000 \cdot 9,81 = 98100 \text{ Н}$$

2. Лобова площа:

$$S = 0,85 \cdot B \cdot H = 0,85 \cdot 2,33 \cdot 2,52 = 4,98 \text{ м}^2$$

3. Опір повітря:

$$\sigma_b = \frac{k \cdot S \cdot V^2}{G} = \frac{0,06 \cdot 4,98 \cdot (16,67)^2}{98100} = 0,0085$$

4. Дотична сила тяги (на підйомі):

$$F_k = 98100 \cdot (0,02 + 0,05) + 0,0085 = 6867 \text{ Н}$$

Порівняння з рівною ділянкою ($i = 0$):

$$F_k = 98100 \cdot 0,02 = 1962 \text{ Н}$$

Розрахунки дотичної сили тяги, проведені для окремої ділянки траси М07, дозволили здійснити не лише технічну, але й екологічну оцінку впливу географічних умов на роботу транспортних засобів і відповідно — на довкілля. Особливу увагу було приділено ділянці з підйомом, де умови руху значно відрізняються від стандартних, що стало причиною детального аналізу змін у динаміці транспортного потоку та рівні споживання пального. У процесі обчислень було виявлено суттєве зростання тягового навантаження на автомобілі, що означає посилення роботи двигунів і, як наслідок, підвищення витрат пального, особливо при русі вгору.

Ці розрахунки надали можливість кількісно визначити масштаб цього зростання. На ухилах до 5% сила тяги збільшується майже втричі порівняно з умовами руху по рівній місцевості. Це значне зростання спричиняє інтенсивніше згоряння пального, що прямо корелює зі збільшенням об'ємів викидів шкідливих речовин, зокрема діоксиду вуглецю, оксидів азоту та інших сполук, характерних для вихлопів двигунів внутрішнього згоряння. Таким чином, сам по собі рельєф місцевості перетворюється на фактор, що підсилює техногенне навантаження на екосистему, навіть якщо інші умови (наприклад, трафік або погодні чинники) залишаються незмінними.

Практична цінність цих обчислень полягає в тому, що вони допомогли сформуванню об'єктивну картину взаємозв'язку між фізичними характеристиками дороги та рівнем екологічного навантаження. Якщо раніше оцінка впливу автотранспортної інфраструктури обмежувалася загальними статистичними показниками викидів або шуму, то проведені розрахунки дозволили перейти до локалізованого, цільового аналізу, який ураховує не лише експлуатаційні особливості, але й геометричну складність маршруту. Це важливо з точки зору не лише аналізу, але й планування природоохоронних заходів, оскільки в подальшому саме подібні ділянки потребують пріоритетного впровадження інженерних рішень, спрямованих на зниження навантаження на навколишнє середовище.

Окрім того, розрахунки сприяли глибшому розумінню того, як експлуатаційні параметри автотрас впливають на споживання ресурсів. У цьому випадку — пального, яке є джерелом не лише енергії, а й забруднення. Підвищена витрата палива на складних ділянках тягне за собою не лише економічні втрати, але й збільшення викидів, що посилює парниковий ефект і має довгострокові наслідки для клімату.

Загалом, проведені розрахунки стали важливою частиною комплексної оцінки впливу дорожньої інфраструктури на довкілля, надавши конкретні числові орієнтири, що підтверджують необхідність більш ретельного

урахування географічних і технічних умов при аналізі екологічної ситуації навколо транспортних коридорів.

3.4 Заходи з мінімізації впливу на довкілля

Автошляхи, зокрема траса М07, є важливою складовою транспортної мережі, проте їх експлуатація створює значний антропогенний тиск на довкілля. Для мінімізації цього впливу потрібно впроваджувати комплексний підхід, що включає технічні, організаційні, технологічні та природоохоронні заходи.

3.4.1 Технічні рішення

Одним із найефективніших способів зменшення шумового забруднення є встановлення спеціальних шумозахисних екранів уздовж ділянок, що проходять поблизу житлових зон або природоохоронних територій. Такі екрани можуть бути виготовлені з сучасних матеріалів, що не лише поглинають звукові хвилі, але й мають довший термін служби. Крім того, важливим напрямком є покращення якості дорожнього покриття. Використання модифікованих асфальтобетонних сумішей із додаванням полімерних матеріалів або гумової крихти зі зношених шин дозволяє зменшити знос покриття та утворення пилу, що, у свою чергу, знижує кількість твердих частинок у повітрі.

Для зменшення викидів забруднюючих речовин можна впроваджувати системи очищення поверхневого стоку, які затримують нафтопродукти, важкі метали та інші токсичні речовини, що потрапляють у водойми з дощовими водами. Такі системи можуть включати відстійники, фільтри з активованим вугіллям або біологічні методи очищення. Також варто розглянути можливість застосування пористих покриттів, які поглинають частину шуму та водночас

сприяють кращому дренажу, запобігаючи утворенню калюж із забрудненими стоками [24].

3.4.2 Організаційні заходи

Важливим елементом зменшення впливу автотранспорту є оптимізація руху. Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) дозволяє регулювати потоки транспорту, уникати заторів і знижувати час роботи двигунів на холостому ході, що суттєво зменшує викиди. На ділянках із підвищеним екологічним навантаженням, таких як круті підйоми або міські зони, можна встановлювати динамічні обмеження швидкості, які адаптуються до інтенсивності руху та погодних умов.

Систематичний моніторинг технічного стану транспортних засобів становить важливий елемент екологічної політики. Особливу увагу слід приділяти регулярним перевіркам рівня шкідливих викидів, перш за все для вантажного транспорту, що дозволить істотно знизити забруднення атмосферного повітря. Ефективним інструментом мотивації для перевізників може стати впровадження механізму екологічного штрафування за порушення норм викидів або використання невідповідного палива, що стимулюватиме оновлення автопарку та перехід на екологічніші технології.

3.4.3 Природоохоронні заходи

Для збереження біорізноманіття вздовж автотрас необхідно створювати екологічні коридори та переходи для тварин. Це особливо актуально для ділянок, що проходять через лісові масиви або місця міграції тварин. Такі переходи можуть бути у вигляді спеціальних мостів або тунелів, що дозволяють тваринам безпечно перетинати трасу без ризику зіткнення з автомобілями.

Відновлення ґрунтового покриву вздовж автомобільних магістралей становить важливий елемент екологічних заходів. Особливу ефективність демонструє метод фітореMediaції - біологічне очищення ґрунтів за допомогою спеціально відібраних рослинних видів. Такі рослини, як соняшник, тополя чи окремі види трав'янистих культур, здатні активно поглинати і накопичувати важкі метали та інші токсичні сполуки, що накопичуються в ґрунтах прилеглих до доріг територій.

Цей природний спосіб рекультивації дозволяє не лише знизити концентрацію небезпечних речовин, але й поступово відновити природний ґрунтовий мікробіоценоз. Вибір конкретних рослинних видів для фітореMediaції здійснюється з урахуванням типу забруднення, кліматичних умов та особливостей ґрунтів. Регулярний моніторинг ефективності такого очищення дозволяє корегувати склад фітоценозів та оптимізувати процес відновлення екосистем.

3.4.4 Використання альтернативних технологій

Одним із найперспективніших напрямків є перехід на екологічно чисті види транспорту. Впровадження електромобілів або гібридних автомобілів для громадського транспорту та вантажних перевезень може значно знизити викиди CO₂ та інших шкідливих речовин. Для цього необхідно розвивати інфраструктуру зарядних станцій уздовж трас, особливо на ключових маршрутах.

Також варто звернути увагу на альтернативні види палива, такі як стиснений природний газ (CNG) або біопаливо. Їх використання дозволяє зменшити залежність від нафтопродуктів і знизити рівень забруднення. Наприклад, біодизель, вироблений з рослинних олій, має нижчий вміст сірки і не утворює токсичних сполук при згорянні.

3.4.5 Інтеграція сучасних технологій

Сучасні автоматизовані системи моніторингу довкілля відкривають нові можливості для ефективного контролю стану навколишнього середовища вздовж автомобільних магістралей. Впровадження мережі високотехнологічних датчиків, включаючи газоаналізатори, шумоміри та аналізатори якості води, забезпечує безперервний збір даних про всі аспекти антропогенного впливу транспортної інфраструктури. Ці системи дозволяють у реальному часі відстежувати рівні забруднення повітря шкідливими речовинами, інтенсивність шумового навантаження та стан водних ресурсів у прилеглих до доріг територіях.

Інтеграція отриманих даних з потужними аналітичними системами на основі штучного інтелекту та машинного навчання значно підвищує ефективність екологічного контролю. Такі інтелектуальні системи здатні не лише фіксувати поточний стан довкілля, але й виявляти закономірності у розподілі забруднювачів, прогнозувати можливі зміни екологічної ситуації та ідентифікувати потенційні джерела підвищеного ризику. Завдяки цьому можна оперативно реагувати на виникаючі загрози, запобігаючи їхньому посиленню та розвитку більш серйозних наслідків [25].

Використання передових технологій моніторингу дозволяє перейти від реактивного до проактивного підходу в управлінні екологічною безпекою транспортних магістралей. Можливість аналізувати великі масиви даних у реальному часі дає змогу не тільки оперативно виявляти порушення, але й оптимізувати природоохоронні заходи, розподіляючи ресурси максимально ефективно. Це особливо важливо для зон з підвищеним екологічним навантаженням, де традиційні методи контролю часто виявляються недостатньо ефективними.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаної кваліфікаційної роботи було всебічно проаналізовано вплив окремої ділянки автотранспортної магістралі на навколишнє середовище з урахуванням комплексного підходу до вивчення транспортної екології. Дослідження, проведене на прикладі траси М07, засвідчило, що навіть обмежена за протяжністю ділянка автошляху може виступати потужним джерелом багатofакторного антропогенного навантаження, яке охоплює атмосферу, ґрунти, водні ресурси та біоценози.

Проведений аналіз підтвердив, що основними чинниками негативного впливу автотрас є вихлопні викиди, шумове навантаження, вторинне пилове забруднення, знос дорожнього покриття і шин, а також потрапляння до ґрунтів і водотоків хімічних реагентів та нафтопродуктів. Важливо зазначити, що екологічне навантаження носить не лише безпосередній, але й кумулятивний характер, проявляючись у вигляді довгострокових змін у біотичних та абіотичних компонентах довкілля.

Важливою частиною дослідження стало визначення екологічних ризиків, які пов'язані з особливостями географічного розташування ділянки, її топографією, рівнем урбанізації прилеглих територій та технічним станом інфраструктури. Було встановлено, що у разі неадекватного проектування та експлуатації автошляхів існує висока ймовірність порушення екологічної рівноваги, включаючи деградацію ґрунтів, евтрофікацію водойм, зниження біорізноманіття та посилення шумового фону.

Результати моделювання екологічних параметрів на прикладі траси М07 показали значну просторову варіабельність рівнів забруднення, що потребує адаптивного підходу до моніторингу й управління екологічною безпекою. Запропоновані у роботі природоохоронні заходи включають використання шумозахисних екранів, біофільтраційних систем, екологічних переходів для тварин, модернізацію дорожнього полотна з екологічно безпечних матеріалів та впровадження інтелектуальних систем контролю.

Особливу увагу в дослідженні було приділено розрахунку дотичної сили тяги як ключового параметра, що визначає рух транспортного засобу. Розрахунки дозволили з'ясувати, що сила тяги безпосередньо пов'язана з параметрами дорожнього покриття, ухилом траси, швидкістю руху та масою транспортного засобу. Розрахунки дотичної сили тяги для транспортного засобу масою 10 000 кг на ухилі 5% показали зростання тягового навантаження майже втричі: з 1962 Н на рівній ділянці до 6867 Н на ділянці з ухилом. Це призводить до інтенсивнішого згорання пального, що спричиняє збільшення об'ємів викидів CO_2 , NO_x та інших токсичних речовин. Було виявлено, що на карпатських ділянках (Стрий – Івано-Франківськ) сила тяги зростає у 3,5 рази. Зростання дотичної сили тягне за собою збільшення витрати палива, а отже — викидів продуктів згорання, що чинять негативний вплив на атмосферу та прилеглі екосистеми.

На основі аналізу було встановлено, що при підвищенні навантаження на двигун — наприклад, при русі на ділянках із підйомом або нерівномірним покриттям — відбувається суттєве зростання обсягів викидів CO , NO_x та твердих частинок, а також посилюється шумовий тиск. Таким чином, динаміка дотичної сили тяги прямо впливає на інтенсивність техногенного навантаження на довкілля. Особливо це помітно у випадках перевантаженого вантажного транспорту або в умовах заторів, коли двигуни працюють в неефективному режимі.

Крім того, результати моделювання продемонстрували зв'язок між зусиллям тяги, коефіцієнтом зчеплення шин і умовами метеорологічного характеру, які змінюють характер розподілу забруднюючих речовин у повітрі та воді. Саме ці чинники мають бути враховані при плануванні систем очищення, облаштуванні зливової каналізації та впровадженні шумопоглинаючих бар'єрів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Данилевич Я.Б., Денисов В.Я. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах. Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики». К.: ЦУЛ, 2005. 200 с.
- 2.. Забишний Я. О, Семчук Я. М., Долішній Б. В., Мельник В. М. Про дослідження параметрів транспортних потоків та їх вплив на довкілля. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування». ІФНТУНГ. 2016. №1(13). С. 146 - 152.
3. Слюсаренко О.І. Каталітичний нейтралізатор – як спосіб розв'язання екологічної проблеми автомобільних викидів. Наук.-техн. зб. Львів: ЛВІ. 2005, вип. 4. С. 54-56.
4. Рудзінський В.В. Новітні системи нейтралізації шкідливих викидів дизелів вантажних автомобілів. Автошляховик України. 2008. № 1. С. 8-9.
5. Гутаревич Ю.Ф., Д.В. Зеркалов, А.Г Говорун, А.О. Корпач. Екологія та автомобільний транспорт. К.: Арістей. 2008. 296 с.
6. Русіло П.О., Костюк В.В., Афонін В.М. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу. Науковий вісник НЛТУ України. 2008. Вип.18.3. С. 85-89.
7. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»: № 1264-ХІІ від 25.06.1991 // Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. Ст. 546. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 12.04.2025)
8. Закон України «Про охорону атмосферного повітря»: № 2707-ХІІ від 16.10.2001 // Відомості Верховної Ради України. 2002. № 2. Ст. 12. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 12.04.2025)
9. Закон України «Про екологічну експертизу»: № 45/95-ВР від 09.02.1995 // Відомості Верховної Ради України. 1995. № 13. Ст. 89. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/45/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 12.04.2025)

10. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» : № 2059-19 від 23.05.2017 // Відомості Верховної Ради України. 2017. № 25. Ст. 250. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 12.04.2025)

11. Наказ Міністерства охорони довкілля України «Про затвердження Порядку проведення оцінки впливу на довкілля»: № 177 від 05.04.2007. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/220185_710169 (дата звернення: 12.04.2025)

12. Скрильніков Д., Павелко А., Ністореску М., Іоніта А., Доба А. Оцінка впливу на довкілля дорожньої мережі. Львів: ДизАрт. 2019. 70 с.

13. Алексєєв О. П., Гурко А.Г. Технічні засоби управління рухом автотранспортних засобів. Проблеми пожежної безпеки. Харків. 1998. С. 29-34.

14. Поліщук В.П., Бакуліч О.О., Дзюба О.П., Єресов В.І, Красильнікова О.В, Лановий О.Т., Христенко О.В. Організація та регулювання дорожнього руху. Київ. 2014. 467 с.

15. Каськів В.І., Шапенко Є.М., Гульчак О.Д., Вознюк А.Б. Обґрунтування факторів впливу на безпеку руху. Дороги і мости. Київ. 2022. Вип. 23. С. 205-213.

16. Внукова Н. В. Вплив технічного стану двигунів внутрішнього згоряння на паливну економічність і екологічну безпеку. Вісник ХПІ: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ "ХПІ". 2011. № 53. С. 27-34.

17. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А. Г., Корпач А. О. Екологія автомобільного транспорту. Національна транспортна академія. К.: Основа. 2002. 312 с.

18. Бригадир І.В. Правове регулювання забезпечення екологічної безпеки в галузі автомобільного транспорту: дис. ... канд. юрид. наук: 12.00.06; Національна юридична академія України ім. Ярослава Мудрого. Х. 2008. 20 с.

19. Редзюк А.М. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку. К.: ДП «Державтотранс НДІ проект. 2005. 400 с.
20. Тищенко Г.В. Екологічне право. К.: ТП Пресс. 2003. 256 с.
21. Рябець К. А. Екологічне право України. К.: Центр учбової літератури. 2009. 438 с.
22. Shevchenko A. Some issues in determining the essence of the definition “adaptive living environment”. Abstracts of XXX International Scientific and Practical Conference. Prague, Czech Republic. Pp. 10-14. URL: <https://eu-conf.com/en/events/modern-information-technologies-in-education-and-science/>
(дата звернення: 12.04.2025)
23. Виговська І.А. Удосконалення методу управління транспортними потоками на мережі автомобільних доріг: дис.... канд. техн. наук: 05.22.01. Національний транспортний університет. Київ, 2024. 187 с.
24. Кужель В. П., Севостьянов С. М. Екологія та ресурсозбереження на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ. 2013. 105 с.
25. Полетаєва Л.М., Сафранов Т.А. Моніторинг навколишнього природного середовища. Одеса: ОДЕКУ. 2005. 171 с.