

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту допустити:
Завідувач кафедри

_____ 20 р.
«__» _____

**«ВПЛИВ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ:
ІНСТРУМЕНТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МІСТ»**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти другого
(магістерського) рівня вищої освіти освітньо-
професійної програми
«Екологія та охорона навколишнього
середовища»

Алабаша Івана Васильовича

Науковий керівник:

Іванова В.В., к.е.н., доцент кафедри
раціонального природокористування та
охорони навколишнього середовища

Рецензент:

Данилова С.В., старший фахівець з
оцінювання (кліматично-екологічний
підрозділ) Міжнародної гуманітарної
організації

ІМРАСТ

Кваліфікаційна робота захищена

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____

«__» _____ 20__ р.

Київ – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	6
1.1. Забруднення навколишнього середовища різними видами транспорту.....	6
1.2. Шумове забруднення транспортом та його вплив на довкілля та здоров'я людини.....	15
1.3. Забруднення ґрунтового покриву та водних ресурсів в результаті експлуатації транспортних засобів	20
Висновки до розділу 1.....	24
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУ НА ЯКІСТЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	26
2.1. Аналіз забруднення автомобільним транспортом міського середовища..	26
2.2. Аналіз методів дослідження впливу транспорту на навколишнє середовище.....	31
2.3. Індикатори для оцінки сталості транспортної діяльності.....	36
Висновки до розділу 2.....	45
РОЗДІЛ 3 ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МІСТ В УМОВАХ РОБОТИ ТРАНСПОРТУ.....	46
3.1. Підвищення привабливості громадського транспорту як інструменту підвищення екологічної стійкості міст.....	46
3.2. Введення плати за паркування як метод заохочення використання альтернатив автомобільному транспорту.....	51
3.3. Зарубіжний досвід використання екологічно чистих видів транспорту....	58
Висновки до розділу 3.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

ВСТУП

Екологічний стан та фактори, які впливають на навколишнє середовище, набувають все більшого значення як ключові визначники якості та безпеки життя людей у ХХІ столітті, а також для майбутнього всього людства. Ця проблема набула великого значення у ХХ столітті, коли інтенсифікувалося розвиток вітчизняної промисловості та транспорту, а також значні недоліки у технологічних процесах виробництва призвели до забруднення атмосферного повітря, води та ґрунту. Щорічно у світі викидається понад 300 мільйонів тонн оксиду вуглецю, понад 45 мільйонів тонн різних складових вуглеводнів та близько 150 мільйонів тонн двоокису сірки.

В Україні створено сучасний транспортний комплекс, який успішно функціонує та розвивається. Він гарантує територіальну цілісність, сприяє промислового розвитку та забезпечує національну безпеку держави.

Згідно з інформацією Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення повітря вважається одним із головних чинників, що становлять ризик для здоров'я, пов'язаного з навколишнім середовищем. За оцінками ВООЗ, внаслідок забруднення атмосферного повітря в містах по всьому світу сталося 3,7 мільйона передчасних смертей. Присутність шкідливих речовин у повітрі призводить до збільшення частоти захворювань та важкості перебігу таких хвороб, як інсульт, серцеві захворювання, рак легень, а також гострі та хронічні респіраторні захворювання, включаючи астму.

Зменшення впливу наслідків забруднення повітря на здоров'я людей є важливим для збереження життів та зменшення економічних збитків, пов'язаних із передчасними смертями і хворобами працездатного населення країн. Змінити цю ситуацію можливо лише шляхом комплексного підходу до екологічних проблем.

Метою даного дослідження є вивчення та аналіз впливу транспортного руху на навколишнє середовище в містах та розробка ефективних інструментів для підвищення екологічної стійкості міського транспорту.

Об'єктом дослідження є система транспорту в містах та її взаємодія з навколишнім середовищем. Увага буде приділена різноманітним видам транспорту, включаючи автотранспорт, громадський транспорт.

Предметом дослідження є взаємодія транспортних систем з навколишнім середовищем, зокрема викиди забруднюючих речовин, вплив на атмосферу, водні ресурси та ґрунти, а також визначення ступеня відповідності існуючих методів та технологій нормам екологічної безпеки.

Завданнями дослідження є:

- виявити як забруднюється навколишнє середовище в процесі експлуатації різними видами транспорту;
- дослідити шумове забруднення транспортом та його вплив на довкілля та здоров'я людини;
- вивчити забруднення ґрунтового покриву та водних ресурсів в результаті роботи транспорту;
- проаналізувати забруднення транспортом міського середовища на прикладі м. Київ;
- проаналізувати методи дослідження впливу транспорту на навколишнє середовище;
- визначити індикатори для оцінки сталості транспортної діяльності;
- визначити чинники привабливості громадського транспорту як інструменту підвищення екологічної стійкості міст;
- виявити як введення плати за паркування впливає на розвиток альтернативного переміщення містом;
- проаналізувати зарубіжний досвід використання екологічно чистих видів транспорту.

Методи дослідження в роботі використані такі: пошуковий по наявній методичній та науковій літературі із аналізом знайденого матеріалу, порівняння, класифікація, проектування, моделювання, спостереження, Методи дослідження в роботі використані такі: пошуковий по наявній методичній та науковій літературі із аналізом знайденого матеріалу, порівняння, класифікація, проектування, теоретичне моделювання, з'ясування причинно-наслідкових зв'язків, спостереження, аналіз документації та результатів діяльності дослідників з проблеми проведеного дослідження та експертна оцінка і практичний експеримент.

Наукова новизна роботи полягає у наявності оригінального дослідницького матеріалу по напрямку проведеного дослідження. В роботі виявлено як введення плати за паркування заохочує людей вибирати альтернативні методи пересування містом.

Апробація результатів. Результати дослідження та основні положення кваліфікаційної роботи представлені в науковій конференції: X Міжнародна науково-практична конференція «ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ КРАЇН У СВІТОВИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ТА ПОЛІТИКО-ПРАВОВИЙ ПРОСТІР», 15 грудня 2023 р. м. Київ: МДУ.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1. Забруднення навколишнього середовища різними видами транспорту

Транспорт відіграє ключову роль у нашому повсякденному житті, забезпечуючи необхідний рух вантажів та пасажирів. Особливо важливою є роль автомобільного транспорту, який забезпечує перевезення як пасажирів, так і вантажів, за допомогою спеціалізованих автопідприємств та приватних перевізників. Автобусні маршрути охоплюють всі міста та практично всі сільські населені пункти України.

Пасажирський транспорт вимагає фінансової підтримки з державного бюджету, оскільки він є дотаційним. Невід'ємною перевагою транспорту є забезпечення доступу до освіти, роботи, послуг та інших благ сучасного життя.

Транспорт сприяє економічному розвитку та грає важливу роль у логістиці виробництва і розподілу. Однак важливо враховувати, що його вплив на навколишнє середовище включає різні види забруднення повітря і води, шум, виснаження невідновлюваних ресурсів та деградацію ландшафту. Також слід враховувати ефекти локального перегріву, які виникають внаслідок нагрівання доріг та тротуарів [1].

Питання транспорту та навколишнього середовища є парадоксальним, оскільки транспорт приносить значні соціально-економічні переваги, але водночас транспорт впливає на екологічні системи. З одного боку, транспортна діяльність підтримує зростаючі потреби в мобільності пасажирів і вантажів, а з іншого, транспортна діяльність пов'язана з впливом на навколишнє середовище, який може мати негативні наслідки. Крім того,

умови навколишнього середовища впливають на транспортні системи щодо умов експлуатації та вимог до інфраструктури, таких як будівництво та технічне обслуговування. Таким чином, транспорт і навколишнє середовище можна сприймати як систему, що має ретроактивний ефект.

На транспортний сектор, включно з усіма видами транспорту, припадає близько 25% глобальних викидів CO₂, при цьому ця частка становить близько 28% для країн з розвинутою економікою, таких як Сполучені Штати. Окрім цих викидів, існує унікальний вплив транспорту на навколишнє середовище, наприклад закупівля, переробка та розподіл викопного палива, а також шум, який випромінюють транспортні операції з транспортними засобами та терміналами [2].

Зростання пасажирської та вантажної мобільності розширило роль транспорту як джерела викидів забруднюючих речовин. Загальні викиди, як правило, є функцією коефіцієнта викидів кожного виду транспорту, а не рівня їх активності, що передбачає різні впливи на навколишнє середовище. Ці впливи поділяються на три категорії:

Безпосередні наслідки транспортної діяльності для навколишнього середовища, де причинно-наслідковий зв'язок загалом є чітким і добре зрозумілим. Наприклад, відомо, що шум і викиди чадного газу мають прямі шкідливі наслідки.

Вторинний (або третинний) вплив транспортної діяльності на екологічні системи. Вони часто мають вищі наслідки, ніж безпосередні впливи, але взаємозв'язки часто неправильно розуміють і їх складніше встановити. Наприклад, тверді частинки, які здебільшого є результатом неповного згоряння в двигуні внутрішнього згоряння, опосередковано пов'язані з проблемами дихання та серцево-судинної системи, оскільки вони, серед інших факторів, сприяють виникненню таких умов.

Адитивні, мультиплікативні або синергетичні наслідки транспортної діяльності. Вони розглядають різні наслідки прямого та непрямого впливу на екосистему, які часто непередбачувані. Зміна клімату зі складними причинами

та наслідками є сукупним впливом кількох природних та антропогенних факторів, у яких транспорт відіграє певну роль [3].

Складність впливу призвела до багатьох суперечок щодо екологічної політики, ролі транспорту та стратегій пом'якшення. Це ще більше ускладнюється тим фактом, що пріоритети між екологічними та економічними міркуваннями зміщуються в часі, що може мати вплив на державну політику. Транспортний сектор часто субсидується, насамперед через будівництво та підтримку дорожньої інфраструктури, яка, як правило, є вільною. Іноді громадські інтереси у видах транспорту, терміналах та інфраструктурі можуть суперечити екологічним проблемам. Якщо власник і регулятор є одним і тим же (різні гілки влади), то існує ризик того, що нормативні акти не будуть ефективно виконуватися.

Загальні витрати, пов'язані з транспортною діяльністю, зокрема збиток навколишньому середовищу, зазвичай не повністю покриваються постачальниками послуг і користувачами. Відсутність урахування реальних витрат на транспортування може пояснити кілька екологічних проблем. Тим не менш, існує складна ієрархія витрат, починаючи від внутрішніх (здебільшого операції), відповідності (дотримання нормативних актів), умовних (ризик такої події, як розлив нафти) до зовнішніх (прийнятих на себе суспільством). Наприклад, зовнішні витрати складають у середньому понад 30% оцінених витрат на володіння та експлуатацію автомобіля. Якщо екологічні витрати не включені в цю оцінку, використання автомобіля може вважатися субсидованим, а витрати накопичуються як забруднення навколишнього середовища [4].

Це потребує належної уваги, оскільки кількість транспортних засобів, особливо легкових, постійно зростає. Роль державного сектору є головоломкою, оскільки транспортна інфраструктура створена для підтримки мобільності. Тим не менш, це положення також субсидує транспорт і, як таке, призводить до додаткового впливу на навколишнє середовище.

Автомобільне транспортне засіб випускає понад 200 різних речовин у повітря, включаючи чадний газ, вуглекислий газ, оксиди азоту та сірки, альдегіди, свинець, кадмій і групу канцерогенних вуглеводнів, таких як бензопірен і бензоантроцен. Особливо велика кількість токсичних речовин викидається під час руху з невеликою швидкістю, на перехрестях та зупинках перед світлофором [5].

Наприклад, при низькій швидкості бензиновий двигун викидає в атмосферу 0,05% вуглеводів і 0,98% оксиду вуглецю від загального викиду. У той час, коли автомобіль рухається повільно, ці показники становлять вже 5,1% та 13,8% відповідно. При середньорічному пробігу 15 тисяч кілометрів автомобіль розглядається як засмічувач атмосфери, викидаючи значні обсяги кисню та вуглекислого газу, оксиду вуглецю, вуглецевих сполук і окисів азоту.

На планеті зараз експлуатується приблизно мільярд автомобілів. У середньому кожен з них, пройшовши 15 тисяч кілометрів за рік, споживає 2 тонни палива і близько 26-30 тонн повітря, включаючи 4,5 тонни кисню, що перевищує річні потреби людини в 50 разів. В результаті цього автомобіль викидає у повітря велику кількість шкідливих речовин, таких як чадний газ, діоксид азоту, незгорілі вуглеводні та тверді дрібнодисперсні частки [6].

Токсичні викиди внутрішнього згоряння включають гази та пари палива, що поступають у атмосферу з карбюратора і паливного бака. Основна частина шкідливих домішок потрапляє в атмосферу разом з відпрацьованими газами ВЗ. Приблизно 45% вуглеводнів від їх загального викиду стає частиною атмосферних викидів, які виникають з картерів, газів і пар палива. Кількість шкідливих речовин, які потрапляють у повітря під час викидів відпрацьованих газів, залежить від об'єму двигуна, якості пального та технічного стану автомобіля загалом. Наприклад, порушення регулювання карбюратора може призвести до збільшення викидів оксиду вуглецю в 4-5 разів [7].

Застосування етилованого бензину призводить до забруднення атмосферного повітря токсичними сполуками свинцю. Приблизно 70% свинцю, який додається до бензину з етиловою рідиною, потрапляє в

атмосферу у вигляді сполук разом із відпрацьованими газами двигуна. З цієї кількості, 30% осідає на землі відразу ж після вихлопу автомобіля, а 40% залишається у повітрі. Середня вантажівка, роблячи щорічний пробіг, забруднює атмосферне повітря приблизно на 2,5-3 кг свинцю.

Крім того, транспорт виступає як основний джерело викидів діоксиду вуглецю (CO_2) в результаті згорання пального. Це сприяє парниковому ефекту, яке проявляється у тому, що енергія сонячних променів, відбиваючись від поверхні Землі, утримується молекулами різних газів в атмосфері, що призводить до підвищення температури поверхні.

Два основні наслідки парникового ефекту, найбільш негативні для людства, включають збільшення посух та підйом рівня Світового океану. Посухи можуть відчутно вплинути на зернові райони, зокрема в Україні. Підйом рівня моря на 2-3 метри може призвести до затоплення населених територій, що стане глобальною катастрофою.

Шкідливі речовини, викидані транспортними засобами, потрапляють в повітря через вихлопні гази, випари з паливних систем і під час заправки паливом. Швидкість та режим руху автомобіля також впливають на викиди оксидів вуглецю. Наприклад, нерівномірне гальмування та прискорення може збільшити кількість оксидів вуглецю у вихлопних газах в 8 разів. Мінімальні викиди оксидів вуглецю спостерігаються при рівномірній швидкості автомобіля 60 км/год [8].

Таким чином, вміст шкідливих речовин у вихлопних газах залежить від ряду умов: режиму руху автотранспорту, рельєфу дороги, технічного стану авто та ін. Дизельні двигуни викидають дуже багато сажі, яка утворюється як продукт згорання палива. Ця сажа містить у собі канцерогенні речовини та мікроелементи, викид яких у атмосферу просто недопустимий. Вихлопні гази накопичуються у нижніх шарах атмосфери, тобто шкідливі речовини знаходяться в зоні дихання людини. Тому автомобільний транспорт варто віднести до категорії найнебезпечніших джерел забруднення повітря поблизу автомагістралей.

Морський транспорт, окрім автомобільного, також має значний вплив на якість довкілля. Звіт Європейського агентства з навколишнього середовища та Європейського агентства з безпеки на морі вказує, що судна становлять 13,5% всіх викидів парникових газів від транспорту в ЄС. Хоча цей показник менший, ніж у випадку автомобільного транспорту (71%) та авіації (14,4%), викиди діоксиду сірки (SO₂) від суден, що заходять в європейські порти, склали приблизно 1,63 мільйона тонн у 2021 році.

Незважаючи на те, що обсяг нафти, що транспортується морем, постійно зростає, води ЄС були свідками лише восьми аварійних розливів нафти від середніх і великих нафтових танкерів серед 62 таких подій у всьому світі за останнє десятиліття.

Судна також генерують великі обсяги відходів, що створює значне навантаження на морське середовище. Відсутність належних споруд для прийому судових відходів становить серйозну проблему для портів і власників суден.

Україна, з її розгалуженою річковою мережею, також відчуває вплив водного транспорту. Річкова навігація охоплює майже всі регіони країни і має потенціал для майбутнього зростання. Однак при експлуатації важливо враховувати екологічні аспекти та мінімізувати забруднення води нафтою, відходами харчування, сміттям тощо [9].

Авіація в Україні, яка стрімко розвивається, також має свої екологічні виклики, такі як застарілий парк літаків та технічні обмеження аеропортів. Це може призводити до порушень екологічного стану атмосфери, а також до загроз для навколишнього середовища через нафтові сховища в аеропортах.

Залізничний транспорт, який є провідним у транспортному комплексі, також має важливий внесок у забруднення навколишнього середовища через великі викиди та шумове забруднення.

Проте залізничний транспорт чинить менший вплив на забруднення навколишнього середовища. Це можна пояснити тим, що менше використовується палива на транспортну роботу; дедалі ширшим

застосуванням електричної тяги; меншим необхідним рівнем відчуженням земель для залізниці у порівнянні з автомобільними шляхами.

Робота залізничного транспорту супроводжується утворенням небезпечних відходів. Аналіз даних свідчить про те, що при перевезенні та перевантаженні вантажів з вагонів у навколишнє середовище потрапляє понад 3,3 млн т руди, 15 тис. т солей та 36 тис. т мінеральних добрив за рік. Понад 17% розгорнутої довжини залізничних ліній мають значний ступінь забруднення пильними вантажами [10].

Всесвітня енергетична рада повідомила, що приблизно 63% світового споживання нафти припадає на транспортний сектор і що заміщення іншими джерелами палива до 2025 року, як очікується, не перевищить 5%. В Європі, з її стандартами економії палива та правилами щодо зменшення викидів твердих частинок, очікується, що до 2030 року продажі електромобілів становитимуть від 27 до 41 % ринку. Спалювання нафти в транспортному секторі є основним джерелом викидів вуглекислого газу та оксидів азоту в усьому світі, що сприяє глобальному потеплінню. Це також призводить до викидів твердих частинок і незгорілих вуглеводнів. Оксиди азоту, що утворюються під час спалювання нафти, можуть призвести до утворення смогу та кислотних дощів [11].

Забруднюючі речовини, що викидаються транспортом, сприяють забрудненню атмосферного повітря і створюють значний тиск на навколишнє середовище і здоров'я людей і в Європі. Протягом останніх десятиліть значні політичні зусилля, хоча і з відмінностями для різних видів транспорту, були спрямовані на боротьбу із забрудненням повітря, пов'язаним з транспортною діяльністю, і призвели до певних помітних покращень.

Наприклад, Директива про якість атмосферного повітря встановлює ліміти або цільові значення для концентрацій забруднювачів у навколишньому повітрі, а Директива про НПВ встановлює зобов'язання щодо скорочення викидів для п'яти забруднювачів повітря (NO_x , SO_2 , НМЛОС, NH_3 і $\text{PM}_{2.5}$). Нещодавно Європейська Комісія запропонувала переглянути Директиву про якість атмосферного повітря, щоб тісніше узгодити стандарти якості повітря з

рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я, одночасно поставивши ЄС на траєкторію досягнення мети нульового забруднення до 2050 року.

Викиди від транспортного сектору додатково регулюються стандартами викидів транспортних засобів та вимогами до якості палива. Місцеві та регіональні плани управління якістю повітря, включаючи такі ініціативи, як створення зон з низьким рівнем викидів і плата за затори в містах, також діють у багатьох регіонах. Викиди оксидів та нітрогену від міжнародних морських перевезень регулюються Додатком VI до Конвенції МАРПОЛ Міжнародної морської організації. Вимоги щодо викидів оксидів азоту включені в законодавство ЄС Директивою про вміст сірки в деяких видах рідкого палива, в тому числі в судновому паливі [12].

Разом такі політики забезпечили прогрес у скороченні викидів багатьох забруднюючих речовин від транспортного сектору. У період з 1990 по 2021 рік (включаючи наслідки пандемії COVID-19) в ЄС-27 викиди оксидів азоту (NO_x) від транспорту скоротилися на 53%, оксидів сірки (SO_x) - на 83%, оксиду вуглецю (CO) - на 89%, метану (CH_4) та неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС) - на 64% і 89% відповідно. Водночас, у період з 2000 по 2021 рік транспортні викиди твердих частинок (включно з невихлопними викидами) з діаметром частинок 10 мкм/2,5 мкм або менше ($\text{PM}_{10/2,5}$) у ЄС-27 скоротилися на 47%/56% відповідно [13].

Початок пандемії COVID-19 вплинув на ці показники через значне скорочення обсягів перевезень протягом 2020 та 2021 років. Дійсно, ті ж самі скорочення, розраховані між 1990 (2000 для ТЧ) і 2019 роками, були значно нижчими для деяких забруднювачів: 42% для NO_x , 60% для SO_x , 87% для CO , 74% для CH_4 , 88% для НМЛОС, 39% для PM_{10} , 47% для $\text{PM}_{2,5}$.

Водночас, два забруднювачі повітря продемонстрували значне зростання за останні десятиліття. У період з 1990 по 2021 рік транспортні викиди аміаку (NH_3) зросли на 109% (136% у 1990-2019 роках), а закису азоту (N_2O) - на 28% (39% у 1990-2019 роках). Хоча внесок транспорту у викиди NH_3

обмежений порівняно з сільським господарством та іншими секторами, його вплив на якість повітря, особливо в межах міст, є дуже високим. N_2O , хоча і є потужним парниковим газом, але в даний час також є одним з найпотужніших парникових газів у світі.

Хоча викиди більшості забруднюючих речовин зменшилися з 1990 року, ситуація на різних видах транспорту є неоднорідною. Частково це відображає відмінності в суворості стандартів викидів.

Автомобільний транспорт значно скоротив викиди забруднюючих речовин, за винятком сполук NH_3 і N_2O . Їх нещодавнє збільшення в основному пов'язане з новими каталітичними системами для зменшення викидів NO_x . Що стосується ТЧ, то скорочення викидів є меншим через збільшення викидів, що не пов'язані з вихлопними газами, таких як гальма та стирання шин. Вони стануть більш актуальними з декарбонізацією сектору та збільшенням маси транспортних засобів за рахунок акумуляторів [14].

Скорочення викидів забруднюючих речовин, що спостерігається в авіації у 2021 році, здебільшого пов'язане з пандемією. Дійсно, якщо розраховувати за 2009-2019 роки, жоден із забруднювачів, про які повідомлялося, не зменшився в міжнародній авіації. Лише викиди CO та $НМЛОС$ показали б значне скорочення ($>20\%$) у внутрішній авіації. Це можна частково пояснити різницею в еволюції попиту та технологіях, що використовуються у внутрішній та міжнародній авіації. Важливо зазначити, що внутрішнє та міжнародне маркування як для авіації, так і для морських перевезень відноситься до країн-членів ЄС (тобто в межах кордонів країн-членів ЄС або перетинаючи їх).

Аналогічні міркування стосуються і морського сектору, особливо міжнародного судноплавства. Викиди CH_4 , CO , N_2O , NH_3 , $НМЛОС$, NO_x у 2019 році були на 11-57% вищими, ніж у 1990 році. У внутрішньому судноплавстві всі забруднюючі речовини зменшилися від 64% до 2% у 2019 році.

1.2. Шумове забруднення транспортом та його вплив на довкілля та здоров'я людей

У наш час шум став невід'ємною частиною життя. Він зустрічається майже скрізь і, на жаль, має великий, здебільшого негативний, вплив на людей та довкілля. Термін «шум» означає звук, який виходить за межі звукового комфорту. Шум має різну частоту, силу, висоту та тривалість. Часто це небажаний звук, який негативно впливає на працездатність людини, заважає сприйняттю інформації та впливає на якість відпочинку. З фізичної точки зору, шуму явище шуму створюється завдяки стисненню та розрідженню повітряних мас, а саме коливальні зміни атмосферного тиску. Слід зазначити, що шум може бути: постійним, непостійним, переривчастим, імпульсним тощо.

Транспортний шум є яскравою особливістю міського середовища. Він може виникати через неправильне міське планування, коли джерела з високим рівнем шуму (аеропорти, автомагістралі, промислові підприємства тощо) розташовуються в їх межах. З кожним роком вплив шуму від транспортних джерел на навколишнє середовище постійно зростає. У зв'язку зі збільшенням кількості транспортних засобів та підвищенням технічної оснащеності міського господарства обладнання, що призводить до взаємодії між містом і природним середовищем [15].

Інтенсивність звуку означає зміну звукового тиску в повітрі. Гучність залежить від частоти звуку. Людське вухо сприймає людське вухо сприймає діапазон частот від 16 до 20 Гц. Звук, який нижче цих значень, називається інфразвук, а вище - ультразвук.

Шум - це явище, яке негативно впливає на системи організму, сон, увагу тощо. Він часто є фактором, що підвищує дратівливість, тривожність і призводить до депресії. Постійні та значні рівні шуму впливають на слух людини, що може призвести до його погіршення або навіть втрати.

Небажані звуки послаблюють і відволікають, погіршують здатність нормально сприймати і відтворювати інформацію, знижують трудову активність і нормальний відпочинок, впливають на психічне здоров'я людини тощо.

Можна зробити висновок, що в містах найбільшим джерелом шуму є транспортний шум, на який припадає 80% усіх комунальних джерел шуму. Транспортний шум, спричинений дорожнім рухом, є найпоширенішим типом шуму в міських районах і як такий становить серйозну проблему.

Згідно з Таблицею 1.1., складеною за даними Міжнародного союзу залізниць (МСЗ), всі типи поїздів виробляють менше шуму, ніж вантажівки, автомобілі, літаки та інші види транспорту. Залізниця є найсприятливішим видом транспорту з точки зору шуму як фактору, що впливає на погіршення стану довкілля та здоров'я людей. Тому можна визначити, що залізниця має найнижчу частку шуму в міських районах серед інших видів транспорту [16].

Найпоширенішим джерелом транспортного шуму є транспортний засіб, зокрема автомобіль. У цьому випадку шум створюється агрегатами автомобіля, а саме двигуном, кузовом, аксесуарами, шинами тощо.

Таблиця 1.1

Середній рівень шуму, який виробляють транспортні засоби

Тип транспортного засобу	Середній рівень шуму, дБ
автомобіль	82
мотоцикл	90
вантажний автомобіль	103
літак	150
пасажирський потяг	65
вантажний потяг	60

На сьогоднішній день існує багато рішень як знизити рівень шуму автомобіля, наприклад, за рахунок поліпшення акустичних характеристик і

технічних рішень при проектуванні та виробництві транспортних засобів. Також рівень шуму можна знизити шляхом створення захисту в місці його виникнення. Слід зазначити, що до транспортних факторів, які впливають на рівень шуму включають:

- інтенсивність руху;
- швидкість транспортного потоку;
- склад транспортного потоку;
- експлуатаційний стан транспортного засобу;
- параметри вантажу тощо.

Що стосується факторів дорожньої мережі, які впливають на рівень шуму, то це можуть бути [17]:

- щільність транспортного потоку
- профіль дороги або вулиці
- наявність перехресть та їх параметри
- тип дорожнього покриття;
- кількість смуг руху та наявність розділювальних смуг;
- наявність зупинок громадського транспорту.

Природно-кліматичні фактори, що впливають на рівень шуму, поділяються на наступні:

- атмосферний тиск
- температура повітря
- швидкість вітру та інші його параметри
- кількість опадів тощо.

Довготривалий вплив шуму від транспорту негативно впливає на здоров'я. На основі даних, опублікованих у 2017 році відповідно до Директиви про шум у навколишньому середовищі, підраховано, що щонайменше 18 мільйонів людей відчувають сильне роздратування, а 5 мільйонів - сильне порушення сну через довготривалий вплив шуму від транспорту в ЄС. План дій ЄС щодо нульового забруднення має на меті зменшити частку людей, які

страждають від шуму від транспорту, на 30% порівняно з рівнем 2017 року до 2030 року. Досягнення цієї мети вимагатиме зменшення кількості людей, які відчувають сильне роздратування і страждають на порушення сну від транспортного шуму, на 5,4 мільйона і 1,5 мільйона відповідно [18].

Хронічний вплив шуму навколишнього середовища суттєво впливає на фізичне та психічне здоров'я і самопочуття. Він може призвести до роздратування, стресових реакцій і порушення сну, когнітивних порушень у дітей, а також мати негативний вплив на серцево-судинну та метаболічну системи.

Найсильніша база доказів щодо причинно-наслідкових зв'язків між шумом і здоров'ям була опублікована Європейським регіональним бюро ВООЗ у вигляді керівного документа «Керівництво з екологічного шуму для Європейського регіону». Ці настанови також включають рекомендації для різних типів транспортних джерел.

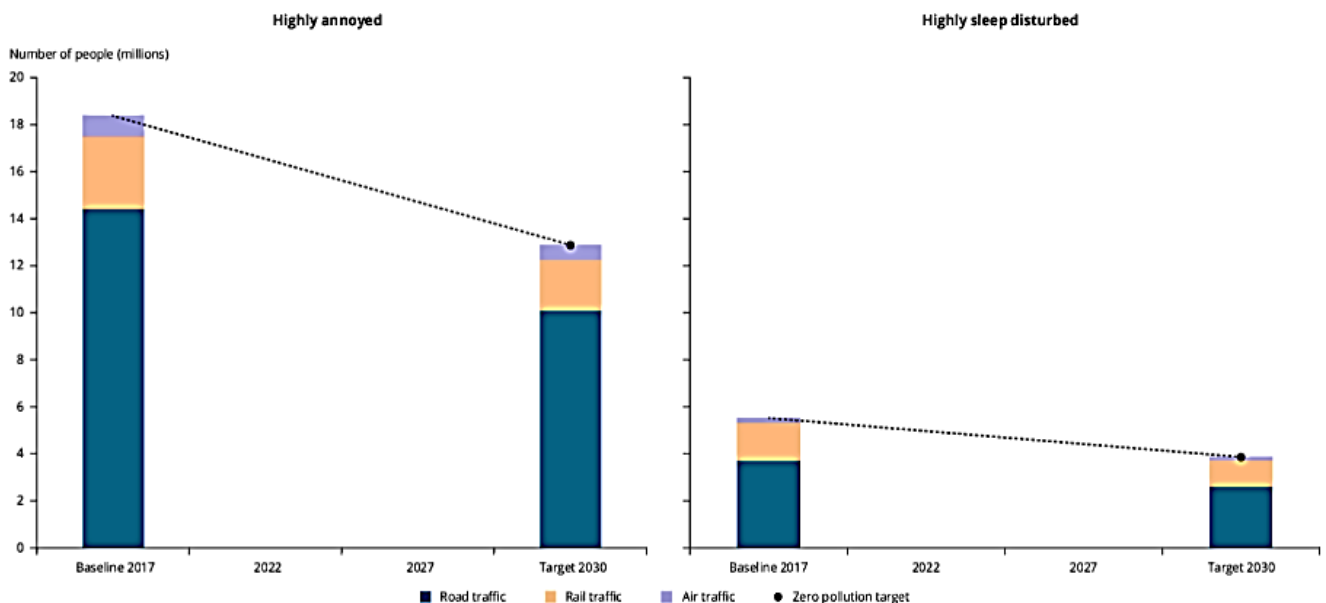


Рис. 1.1. Оціночна кількість людей, яких сильно дратує та порушує сон шум від автомобільного, залізничного та авіаційного руху, на основі порогових значень Директиви ЄС щодо шуму

Наприклад, ВООЗ рекомендує, щоб довготривалий вплив шуму від дорожнього руху не перевищував 53 дБ протягом дня-вечора-ночі та 45 дБ

вночі, щоб уникнути негативних наслідків для здоров'я. Рекомендовані значення для залізничного транспорту становлять 54 дБ вдень-вечір-ніч і 44 дБ вночі, а для літаків - 45 дБ вдень-вечір-ніч і 40 дБ вночі.

Керівні принципи ВООЗ щодо шуму в навколишньому середовищі для Європейського регіону розглядають довготривале роздратування і порушення сну через шум як критичні наслідки для здоров'я. Важливість розгляду як роздратування, так і порушень сну, про які люди повідомляють самі, як наслідків для здоров'я підтверджується даними, що вказують на їхню роль у причинно-наслідкових зв'язках серцево-судинних і метаболічних захворювань, спричинених шумом.

Директива END забезпечує основну законодавчу базу для уникнення та запобігання впливу шкідливих рівнів шуму на навколишнє середовище за допомогою звітності, картування шуму та планування дій. Вона визначає екологічний шум як «небажаний або шкідливий зовнішній звук, спричинений людською діяльністю, включаючи шум від транспортних засобів, дорожнього руху, залізничного руху, повітряного руху та від промислових об'єктів». Вона зобов'язує держави-члени ЄС оцінювати рівні шуму шляхом створення стратегічних карт шуму для всіх основних автомобільних доріг, залізниць, аеропортів і міських районів для рівнів, що перевищують певні порогові значення END (тобто 55 дБ в середньому для періодів день-вечір-ніч (L_{den}) і 50 дБ в середньому для нічних періодів (L_{night}))[19].

На основі цих результатів картографування шуму держави-члени повинні підготувати плани дій, що містять заходи, спрямовані на вирішення проблем шуму та його наслідків. ДЕС не встановлює граничних значень для шумового впливу і не передбачає заходів, які необхідно включити до планів дій. Нарешті, держави-члени зобов'язані вибирати і зберігати райони з гарною акустичною якістю навколишнього середовища, так звані «тихі райони», для захисту європейського звукового ландшафту.

1.3. Забруднення ґрунтового покриву та водних ресурсів в результаті експлуатації транспортних засобів

Поряд із шумовим забрудненням навколишнього середовища транспортними засобами серйозно забруднені ґрунти. Забруднення поверхні землі транспортними та дорожніми викидами накопичується поступово і може залишатися протягом тривалого часу після ліквідації дорожнього полотна. Це особливо актуально з огляду на кількість автотранспорту, що користується трасами, дорогами і магістралями. Для майбутніх поколінь, які, ймовірно, відмовляться від сучасних автомобілів, транспортне забруднення ґрунтів може стати серйозним і тривалим наслідком минулого.

Різні хімічні елементи, зокрема метали, що накопичуються у ґрунтах, можуть потрапляти в організми тварин і людей через харчовий ланцюг. Свинець, який є найпоширенішим і найтоксичнішим серед транспортних викидів, може надовго залишатися в ґрунті. Санітарна норма для вмісту свинцю у ґрунті становить 32 мг/кг. Високі концентрації цього металу можуть призводити до пригнічення рослинного світу та становити загрозу для тварин при вмісті 150 мг/кг у їжі.

Токсичні речовини, які потрапляють в атмосферу під час роботи двигунів транспортних засобів, а також з інших джерел, можуть забруднювати ґрунт та водойми через осадження та осідання. Наприклад, свинець, який потрапляє в атмосферу та осідає на поверхні землі, може поглиблювати проблеми забруднення ґрунту.

На початку ХХІ століття в Україні було зафіксовано близько 20 тис. тонн токсичних речовин у ґрунті поблизу аеропортів, з яких близько 13 тис. тонн припадає на вуглеводні та 1 тис. тонн – на важкі метали. Найбільш небезпечним і отруйним є свинець, який може потрапляти в ґрунт із викидів авіаційної техніки та інших джерел. Забруднення ґрунту свинцем залежить від напрямку вітру та якості повітря навколо аеропорту [21].

Середня концентрація свинцю в ґрунті, який не піддавався антропогенному забрудненню, становила приблизно 16 мг/кг. Однак у верхньому шарі ґрунту поблизу аеропорту концентрація свинцю може досягати від 60 до 550 мг/кг, що вказує на значне забруднення.

Частинки, що надходять з дорожнього покриття, його утримання або транспорту, потрапляють у ґрунт з водою, а ще більше забруднюючих речовин, що переносяться повітрям, розсіюються на різні відстані, також забруднюючи ґрунт. Елементами, що потребують особливої уваги в загальному забрудненні ґрунту, є: важкі метали (тісно пов'язані з рухом транспортних засобів поблизу дороги, а також з відстанню від дороги), хлорид натрію (NaCl), вуглеводні і пил.

Основними процесами, за допомогою яких транспортні засоби поширюють важкі метали (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni) у навколишнє середовище, є процеси згоряння, зношування автомобілів (шин, гальм, двигуна), витікання мастила та корозія. Певні компоненти автомобільних двигунів, шасі та трубопроводів містять марганець і мідь, а хром і нікель (що також надходять від згоряння мастил) використовуються для хромування. Свинець вивільняється при згорянні етилованого бензину, цинк утворюється з пилу від шин, мідь - при стиранні гальм та корозії радіаторів, а інші важкі метали мають змішане походження. Важкі метали також вивільняються внаслідок вивітрювання асфальту дорожнього покриття та корозії бар'єрів безпеки і дорожніх знаків [22]. Дослідження важких металів показали, що концентрації в ґрунті тісно пов'язані з інтенсивністю руху транспортних засобів поблизу дороги, а також з відстанню від дороги.

Керівні принципи щодо концентрації важких металів у рослинах і ґрунті розроблені в різних країнах і вказують на значні варіації. Природний вміст важких металів у ґрунті тісно пов'язаний зі складом материнської породи. Наприклад, середня концентрація свинцю в поверхневому шарі ґрунту світового масштабу оцінюється на 25 частин на мільйон (ppm), з верхньою межею 70 ppm. Середні значення загального вмісту цинку і міді в поверхневих

грунтах різних країн коливаються від 17 до 125 ppm і від 6 до 60 ppm, відповідно. Вміст нікелю в грунтах по всьому світу розташовується в широкому діапазоні від 1 до близько 200 ppm. Фоновий вміст кадмію в грунтах зазвичай не перевищує 0,5 ppm, в той час як середні значення нікелю у грунтах світу становлять близько 20 ppm [7].

У зв'язку зі значним негативним впливом важких металів на навколишнє середовище і/або здоров'я людини, проведено багато досліджень щодо забруднення важкими металами ґрунтів вздовж основних доріг. Такий аналіз важливий для визначення можливих ризиків та прийняття заходів з регулювання впливу важких металів на екосистему та забезпечення здоров'я громадян.

Забруднення виникають з різних джерел і процесів, таких як неповне згоряння палива, витік масла з двигунів і гідравлічних систем, паливні добавки, стирання доріг і шин, гальмівний пил, вимивання дорожнього покриття, корозія пристроїв керування дорожнім рухом. У випадку дорожніх солей забруднення виникає через безпосереднє внесення їх на дороги. Наприклад, велика кількість гумового і пластикового пилу формується внаслідок зносу шин і стає основним джерелом цинку. Поліциклічні ароматичні вуглеводні зустрічаються у викидах транспортних засобів і утворюються з матеріалів на основі дьогтю та бітуму, використовуваних в будівництві дорожнього покриття. Висока концентрація натрію та хлоридів, викликана використанням солі для боротьби з ожеледицею взимку, впливає на рухливість мікроелементів і може призвести до іонного дисбалансу в грунтах та рослинах.

Ґрунти, прилеглі до старих (>30 років) і більш інтенсивно використовуваних доріг, мають вищі концентрації мікроелементів, таких як свинець, цинк і хром, ніж ті, що прилягають до нових, менш використовуваних доріг. Придорожнє середовище характеризується трьома різними зонами забруднення: 0-2 м, де переважають стічні та бризкові води з дороги; 2 -10 м, де переважають бризки і частково впливають стічні води, залежно від нахилу

схилу; і 10-50 м, на які впливає переважно повітряний транспорт забруднювачів. На рухливість металів уздовж узбіччя сильно впливають рН ґрунту і вміст органічної речовини [23].

Ґрунти і рослини поблизу залізничних ліній також забруднені ПАУ і мікроелементами, включаючи кадмій, кобальт, хром, мідь, залізо, свинець, ртуть, молібден і цинк. Існує багато джерел ПАУ, які трапляються вздовж залізниць, наприклад, машинне мастило, паливні та трансформаторні масла, а також креозотна обробка деревини, яка зменшує розкладання залізничних шпал. Що стосується мікроелементів, то електровози, хоча і вважаються екологічно чистими, також можуть збільшувати концентрацію металів у навколишніх ґрунтах через стирання від коліс, рейок і пантографів. Високі концентрації хрому, міді, заліза, свинцю, ртуті та цинку в ґрунтах також були виявлені в очисних затоках і на залізничних під'їзних коліях.

Арсенат хрому міді (ССА), продукт, який використовувався як пестицид і консервант деревини (ATSDR, 2007), є джерелом миш'яку, який також поширений уздовж залізничних колій. Так само пентахлорфенол, який з 2017 року було додано до списку СОЗ, що підлягають ліквідації відповідно до Стокгольмської конвенції, використовувався як консервант деревини для залізничних шпал. Христодулатос та ін. відзначили потенційну здатність пентахлорфенолу до вимивання в ґрунти.

Стік з автомобільних доріг часто є лужним, що призводить до підвищення місцевого рівня рН ґрунту і, як наслідок, до локального зниження рухомості мікроелементів. У регіонах з кислими піщаними ґрунтами і високим рівнем ґрунтових вод мікроелементи є більш мобільними і становлять загрозу для ґрунтових вод через низхідну перколяцію, особливо в придорожніх зонах, де концентрація мікроелементів найвища.

Виробництво продуктів харчування на часто відбувається на ґрунтах у міських та приміських зонах, які стають об'єктом забруднення від автомобільних доріг. Ряд досліджень підтверджує, що вміст металів у рослинах зменшується зі збільшенням відстані від дороги, і це також

стосується сільськогосподарських ґрунтів поруч з дорогами. Забруднення ґрунтів уздовж доріг, що використовуються для виробництва продуктів харчування, може збільшити ризик потрапляння забруднюючих речовин у харчовий ланцюг і мати негативний вплив на біоту та наземне середовище [24].

Аеропорти, з своєю чергою, займають великі площі для сміття. Українські аеропорти, наприклад, володіли приблизно 122 тис. квадратних метрів землі, призначеної для твердих побутових відходів (ТПВ). Знешкодженням піддається лише близько 10% загальної кількості токсичних відходів. Тільки 3% від загальної площі полігону відведено під небезпечні в санітарному та протипожежному відношенні відходи, які повинні зберігатися у спеціальних місцях. Це може викликати проблеми з екологічною безпекою території аеропорту. Крім того, для задоволення потреб техніки та життя широко використовуються водні ресурси.

Висновки до розділу 1

Забруднюючі речовини, що викидаються транспортом, сприяють забрудненню атмосферного повітря і створюють значний тиск на навколишнє середовище і здоров'я людей і в Європі. Протягом останніх десятиліть значні політичні зусилля, хоча і з відмінностями для різних видів транспорту, були спрямовані на боротьбу із забрудненням повітря, пов'язаним з транспортною діяльністю, і призвели до певних помітних покращень.

Небажані звуки послаблюють і відволікають, погіршують здатність нормально сприймати і відтворювати інформацію, знижують трудову активність і нормальний відпочинок, впливають на психічне здоров'я людини тощо.

Можна зробити висновок, що в містах найбільшим джерелом шуму є транспортний шум, на який припадає 80% усіх комунальних джерел шуму.

Транспортний шум, спричинений дорожнім рухом, є найпоширенішим типом шуму в міських районах і як такий становить серйозну проблему.

Шкідливі речовини, які містяться в повітрі, потрапляють в атмосферу під час роботи двигунів літаків і наземного транспорту, баз авіаційної техніки, топків котлів та інших джерел. Ці речовини можуть спричинити серйозне забруднення ґрунту та водою шляхом осадження та осідання.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТУ НА ЯКІСТЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1. Аналіз забруднення автомобільним транспортом міського середовища

Екологічна ситуація сучасних міст стає все більш напруженою. Крім того, очевидною стає домінуюча роль дорожнього комплексу в забрудненні екосистем міста. Джерелами впливу автомобільної дороги на навколишнє природне середовище є: автомобільний транспорт, інженерні споруди дороги, окремі конструкції дорожніх споруд, об'єкти дорожньої інфраструктури.

За допомогою табл. 2.1 розглянемо викиди забруднювальних речовин від пересувних джерел у період з 2019 по 2021 роки [25]. Пріоритетними компонентами відпрацьованих газів є оксид вуглецю, вуглеводневі сполуки, оксиди азоту, альдегіди, тверді частинки. Ці викиди дуже негативно впливають на здоров'я людини.

Таблиця 2.1

Викиди забруднювальних речовин від пересувних джерел у період
з 2019 по 2021 роки

Назва забруднювача	2019	2020	2021
Діоксид сірки	830,3	601	575,7
Діоксид азоту	233,8	181,3	174
Оксид вуглецю	764,1	707,3	704,3
Неметанові леткі органічні сполуки	47,3	40,6	41,1
Аміак	18,8	17,6	17,6
тверді частинки	349,6	248,9	262,9
сажа	5,5	3,9	3,1
Метан	514,1	429,2	454,9

Порівняльна діаграма (рис. 2.1.) показує, що у період з 2019 по 2021 роки спостерігається тенденція зменшення викидів забруднюючих речовин, таких як діоксид сірки, діоксид азоту, діоксид вуглецю.

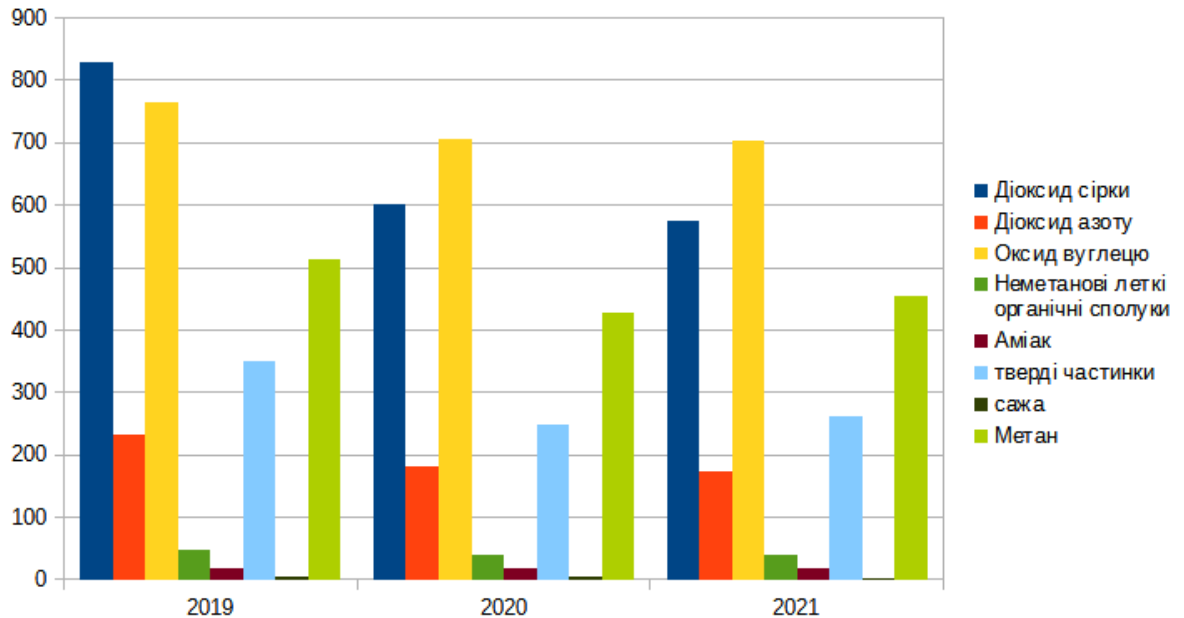


Рис. 2.1. Зміна кількості викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел за даними державної служби статистики, тис. тонн

Вивчаючи показники забруднення повітря в Київській області, можна зауважити невелике збільшення викидів забруднюючих речовин у повітря від рухомих джерел. У 2017 році обсяг викидів становив 9,27 тис. тонн, що є збільшенням на 103,2% порівняно з попереднім роком. За підсумками державних статистичних спостережень протягом останніх 5 років видно, що середня кількість викидів забруднюючих речовин від рухомих джерел в регіоні становить приблизно 68 000 тонн, що складає 88% від загального обсягу викидів забруднювачів у регіоні. [26].

Автомобільний транспорт є головним джерелом забруднення повітря в Київській області. Важливо відзначити, що при переході до ринкової економіки необхідність постійного збільшення автотранспорту призвела до зростання викидів від автомобілів на рівні 50-80%. Великий обсяг викидів від автотранспорту головним чином пов'язаний із збільшенням кількості

приватних транспортних засобів, експлуатацією застарілих автомобілів, що використовують паливо низької якості, та неякісним станом доріг.

Кількість та характер викидів вихлопних газів залежать від різних факторів, таких як тип та модель транспортного засобу, режим роботи двигуна, технічний стан, тривалість експлуатації, вид використовуваного палива і інші. Середній склад забруднюючих речовин у вихлопних газах автомобілів свідчить про те, що основною частиною викидів є вуглекислий газ.

Моніторинг якості повітря в місті Києві зосереджений на вивченні складу вихлопних газів, що випускаються автотранспортом. Упродовж 2019-2021 років Київським центром гідрометеорології було зібрано 5400 проб атмосферного повітря, які потім аналізувалися в лабораторії для моніторингу забруднення атмосферного повітря (ЛСЗА) при Центральному гідрометеорологічному офісі.

На першій станції (ПСЗ № 1) цей моніторинг визначив восьмий важковаговик, що включав кадмій, залізо, марганець, мідь, нікель, свинець, хром і цинк. Проби атмосферного повітря на вміст важких металів проаналізували в лабораторіях Центрального хімічного органу, зокрема в лабораторії моніторингу забруднення ґрунту і важких металів (ЛСЗГ) та лабораторіях фізичних методів. Ці дані надають важливу інформацію щодо стану якості повітря та рівня забруднення в місті.

Щодо індексу забруднення повітря (ІСА) у місті, він був оцінений як низький. Середня концентрація домішок, які були вивчені, не перевищувала максимально допустиму середньодобову концентрацію (ГДК*), за винятком діоксиду азоту (речовини класу небезпеки 3), середня концентрація якого становила 2.0 ГДК (див. Таблицю 2.1). Протягом року середньомісячні концентрації діоксиду азоту коливалися від 1,8 до 2,3 ГДК.

Середня концентрація інших домішок була наступною: зважені речовини - 0,9 ГДКс.д, діоксид сірки - 0,7 ГДК.д. Максимальні досягнуті концентрації були на рівні: діоксид азоту - 1,1 ГДКм.р. (виявлено у вересні на

PSZ № 2), завислі речовини - 0,4 ГДКм.р., діоксид сірки - 0,2 ГДКм.р. Ці дані вказують на те, що загальний рівень забруднення повітря у місті є на прийнятному рівні, за винятком деяких випадків перевищення для діоксиду азоту [27].

За ступенем хімічної небезпеки для живих організмів, забруднення атмосферного повітря займає одне з провідних місць. Це головним чином пов'язано з тим, що забруднюючі речовини атмосфери є найбільш розповсюдженими та потрапляють у різні середовища. Наприклад, атмосферні опади внесуть до 10% забруднення водних об'єктів та значно забруднюють ґрунт. Зазначимо, що людина споживає значно більше повітря і води, ніж їжі та води в день, а також протягом всього життя.

Таблиця 2.2

Концентрації найбільших забруднювачів атмосферного повітря в м. Київ
у період 2019-2021

Шкідливі речовини	CO, мг/м ³			NO ₂ , мг/м ³			Формальдегід, мг/м ³		
	Роки								
Місце проведення замірів	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
пр.Повітрянофлотський	2,3	3,1	2,9	0,027	0,18	0,047	0,02	0,038	0,016
пр.Перемоги	1,6	4,3	2,7	0,03	0,058	0,27	0,02	0,02	0,015
вул.Сакаганського	2,8	3,7	2,6	0,034	0,063	0,034	0,015	0,033	0,013
вул.Вокзальна	2,4	5,08	2,8	0,03	0,058	0,031	0,03	0,018	0,018
вул.Хрещатик	2,8	5,56	2,9	0,019	0,33	0,035	0,02	0,026	0,019
вул.Чорновола	2,9	3,9	7,8	0,036	0,078	0,32	0,037	0,039	0,014
вул.Жулянська	0,02	0,078	0,031	0,014	0,034	0,53	0,059	0,18	0,027
бул.Л.Українки	2,7	2,8	4,7	0,03	0,029	0,35	0,076	0,022	0,017
вул.Коперника	2,2	0,02	0,073	0,031	0,016	0,034	0,003	0,016	0,035
вул.Липківського	0,025	0,073	0,033	0,023	0,034	0,044	0,027	0,18	0,079

Аналіз даних у таблиці вказує на те, що середньорічні концентрації більшості речовин у повітрі в Києві у 2021 році залишилися на приблизно тому ж рівні, що і у 2019 році. Однак природа встановила значні захисні бар'єри для шкідливих речовин, що потрапляють в організм через шлунково-кишковий тракт, не надаючи однакового ефективного захисту легень. Забруднення повітря також супроводжується утворенням стійких аномалій забруднюючих речовин у ґрунтах, воді та рослинах.

Організми виявляють особливу чутливість до діоксиду сірки і сульфатної кислоти, що утворюються при контакті цього оксиду з атмосферною вологою. Двоокис сірки, який транспортується на великі відстані, може призводити до утворення кислотного дощу, хоча в останні роки в регіоні не зафіксовано таких опадів з кислотною реакцією. Канцерогенні сполуки, зокрема бензопірен та свинець, представляють особливу екологічну небезпеку. До 27% свинцю, що міститься в паливі, потрапляє в атмосферу через відпрацьовані гази. На даний момент не виявлено чіткої залежності між рівнем забруднення навколишнього середовища та рівнем захворюваності в регіоні за останні роки [28].

Система мобільності робить свій внесок у викиди забруднюючих речовин в атмосферу, і додаткову інформацію про її відносний внесок у загальну ситуацію в Європі можна знайти в інтерактивному переглядачі даних.

Серед пріоритетних заходів для поліпшення екологічного стану навколишнього середовища можна виділити наступні:

1. Впровадження обмежень швидкості автомобільного транспорту у містах на рівні від 50 до 60 км/год, що сприятиме зменшенню викидів шкідливих газів при оптимальних умовах руху.

2. Проектування об'їзних маршрутів для транзитного транспорту з метою відсунення від основних населених пунктів та зменшення впливу на якість повітря.

3. Створення дво- або тривірневих дорожніх розв'язок для зменшення кількості зупинок на світлофорах та покращення руху, що допоможе зменшити викиди газу.

4. Оснащення нових автомобілів ефективними системами та пристроями для зменшення викидів, такими як каталітична нейтралізація, пускові та нагрівальні машини, системи відновлення парів палива.

5. Збільшення кількості автотранспортних засобів, які працюють на газоподібному паливі, для зменшення використання традиційних видів пального.

6. Припинення виробництва та використання етилового бензину та палив, що можуть посилити негативний вплив двигунів внутрішнього згоряння на навколишнє середовище.

7. Розробка та впровадження нових типів двигунів внутрішнього згоряння з поліпшеними економічними показниками для зменшення споживання палива.

8. Розробка і впровадження нових, екологічно безпечних транспортних засобів, які використовують альтернативні джерела енергії для зменшення викидів шкідливих речовин [29].

Для зменшення викидів з мобільних джерел необхідно обмежити експлуатацію технічно застарілого парку, використання неякісного палива та покращення дорожніх умов. Сьогодні багато країн світу прийняли суворі екологічні вимоги в напрямку євроінтеграції, щодо викиду шкідливих речовин з транспортних засобів в атмосферу.

2.2. Методичний підхід до оцінки екологічної стійкості транспортної системи

Основними заходами з підвищення ефективності організації дорожнього руху є розділення транспортних і пішохідних потоків у просторі (будівництво дорожніх транспортних розв'язок, тунелів, підземних або надземних

пішохідних переходів) та розвиток дорожньої мережі. Завдяки реконструкції вулиць з регульованим рухом у магістральні вулиці безперервного руху підвищується стійкість транспортної системи до змін погодних і дорожніх умов [5]. Однак ці заходи є досить дорогими і потребують часу та ресурсів.

Автори низки досліджень вказують на великий потенціал впливу запровадження плати за паркування на зміну співвідношення видів транспорту. Так, дослідження, проведені на початку 1990-х років у найбільш несприятливому з транспортної точки зору регіоні США - Південній Каліфорнії, продемонстрували, що зростання вартості паркувальних місць є другим за значимістю фактором впливу на рішення відмовитися від особистого автомобіля на користь громадського транспорту, перевищуючи витрати на паливе та транспортні податки. Тому у роботі досліджено вплив запровадження плати за паркування на екологічну стійкість транспортної системи міста зі складними кліматичними умовами на основі імітаційного моделювання руху транспортних потоків по місту з використанням відомих методик [30].

Для дослідження міської транспортної системи використовували теорію систем, системний аналіз та імітаційне моделювання.

Дослідження, представлені в цій роботі, базуються на вихідних даних 2022-2023 років. Обмеження на перевезення та роботу підприємств суттєво вплинули на транспортну систему. У Києві трафік у центральній частині міста зменшився в середньому вдвічі у зв'язку із початком повномасштабного вторгнення. Це тимчасово призвело до значного скорочення викидів шкідливих речовин з вихлопними газами автомобілів і поліпшення екологічної стійкості. Також значно зменшилася кількість дорожньо-транспортних пригод. Завдяки обмежувальним заходам відбулося значне зменшення кількості поїздок на всіх видах транспорту.

В роботі оцінено зміну екологічної сталості транспортної системи при зміні частки поїздок автомобілем та громадським транспортом внаслідок запровадження плати за паркування особистого автомобіля в центрі міста та

зміни вартості паркування. Ці фактори впливають на ефективність управління дорожнім рухом, зміну параметрів транспортних потоків, а отже, і на екологічну ситуацію в містах.

Моделювання було проведено в комп'ютерній програмі PTV Visum. Макромодель міського транспорту включає 400 транспортних зон, 7744 вузли та 17 274 сегменти. Загальна довжина дорожньої мережі міста становить 2424 км, у тому числі 1200 км доріг, 381 світлофорний об'єкт, 48131 транспортний засіб у системі та 1 538 871 км загального пробігу транспортних засобів у межах моделювання.

Моделювання вартості паркування проводилося в два етапи. На першому етапі на основі емпіричних даних про існуючі платні парковки у місті були визначені характеристики паркувальних сесій: середня кількість парковок на добу на одне паркомісце, середній час паркування, розподіл часу паркування за часовими інтервалами, а також зміна характеристик паркувальних сесій при зміні вартості паркування від 10 до 20 гривень.

На другому етапі були визначені коефіцієнти, що характеризують додатковий опір на прилеглих ділянках для руху індивідуального транспорту. Додатковий опір враховує: середній час користування платним паркуванням, середній та медіанний дохід мешканців міста, вартість володіння особистим автомобілем, вартість користування платним паркуванням та ряд інших факторів. На основі сукупності цих факторів було визначено коефіцієнт, який характеризує приведення грошових витрат до часових.

Моделювання проводилося для оптимальних погодно-кліматичних та дорожніх умов з базовими (стандартними) налаштуваннями програми для міста Київ, з дотриманням вимог правил дорожнього руху для швидкісного режиму:

- Пропускна здатність смуги руху, авт/год-900;
- Максимальна швидкість на магістральних вулицях, км/год-60;
- Максимальна швидкість на магістральних вулицях, км/год-90.

– Період моделювання становив 3 години для ранкового часу та максимального навантаження на вулично-дорожню мережу.

Місто має наступні параметри:

- площа міста - 896 км²;
- площа забудови - 30 %;
- щільність населення - 3516,93 осіб/км²
- рівень автомобілізації - 407 автомобілів на 1000 жителів.

Екологічна стійкість є одним з часткових коефіцієнтів k_e інтегрального показника стійкості транспортної системи, що оцінюється коефіцієнтом K_i , [30], який визначався з урахуванням ступеня вагомості λ_i ($0 \leq \lambda_i \leq 1$; $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$) кожного фактору;

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \times \lambda_i, \quad (2.1)$$

де n - кількість критеріїв, що беруть участь в оцінці.

Де K_i -частковий коефіцієнт сталості,

λ_i -буде різним для різних транспортних систем муніципалітетів і може бути визначений експертним шляхом, виходячи з мети дослідження.

При оцінці екологічної сталості в роботі враховано екологічну ситуацію в цілому по місту та на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі. Оцінку екологічної ситуації на окремих ділянках доцільно проводити в місцях з великою кількістю пішоходів (пішохідні переходи, зупинки громадського транспорту). Для оцінки екологічної стійкості транспортної системи авторами запропоновано ввести коефіцієнт K_e , який визначається відносною зміною збитку, спричиненого шкідливими речовинами з відпрацьованими газами; рівняння (2.2):

$$K_e = \frac{D'_e}{D_e} = \frac{\sum_{i=1}^N G'_i \times K_i}{\sum_{i=1}^N G_i \times K_i} \quad (2.2)$$

де D'_e - екологічний збиток атмосферному повітрю,

G'_i - фактична маса i -тої шкідливої речовини, що надійшла в атмосферне повітря з відпрацьованими автомобільними газами за розглянутий період часу, відповідно, в існуючих умовах і після зміни функціонування транспортної системи.

Коефіцієнт екологічної стійкості показує, у скільки разів зменшується кількість викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів при проведенні комплексу заходів щодо зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище.

При оцінці екологічної ситуації за допомогою імітаційного моделювання було розраховано кількість викидів оксиду вуглецю (CO_2) та шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння автомобілів за їх типами: Оксид вуглецю CO ; Оксид азоту NO_x ; Вуглеводні CH ; Інші шкідливі речовини (NH_3 , Неметанові вуглеводні (NMHC), TЧ , SO_2 , CH_4 , N_2O , Бензол).

Під час моделювання на макрорівні не враховувався вплив різних видів транспорту на викиди окремих забруднюючих речовин. Це знизило достовірність оцінки, але підвищило доступність методу, оскільки не було потреби у великій кількості додаткової інформації для розрахунків. Кількість викидів шкідливих речовин під час макромоделювання розраховували за методикою Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA), яка враховує пробігові викиди при русі автомобілів та викиди в режимі холостого ходу. При цьому враховується склад транспортного потоку, види палива, рівень сервісу, клас дороги, швидкість руху, навантаження на дорожню мережу. Зміна кількості викидів шкідливих речовин під час моделювання корелювала з показником споживання палива автомобілями [31].

2.3 Індикатори для оцінки стійкості транспортної діяльності

Транспорт є пріоритетною сферою діяльності для сталого розвитку. Він відіграє значну роль в економіці завдяки своїй повсюдній присутності по всьому виробничому ланцюжку в усіх географічних масштабах. Однак, транспорт також вважається сектором з найшвидшим зростанням забруднення навколишнього середовища. Окрім виробництва енергії та промислової переробки, транспорт є основним джерелом забруднення повітря. Нинішній рівень забруднення повітря спричиняє серйозні наслідки для здоров'я населення розширеного Європейського Союзу, що призводить до 370 000 передчасних смертей щороку, збільшення кількості госпіталізацій, додаткових ліків і мільйонів втрачених робочих днів. Існує нагальна потреба у впровадженні адекватних політичних інструментів, які б допомогли б пом'якшити і контролювати негативні наслідки транспортної діяльності.

Індикатори можуть бути розглядатися як цінні політичні інструменти для вимірювання та оцінки сталості транспорту. Індикатори часто визначаються як кількісні показники, які можуть бути використані «для ілюстрації та простого пояснення складних явищ, включаючи тенденції та прогрес у часі».

Протягом останніх двох десятиліть вимірювання питань сталого розвитку за допомогою індикаторів широко використовується науковою спільнотою та політиками. Розробка індикаторів сталого розвитку вперше було порушене як питання політичного порядку денного на Конференції Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища та розвитку (ЮНСЕД), що відбулася в Ріо-де-Жанейро в 1992 році. На ній була прийнята політична декларація. Політична декларація ЮНСЕД «Порядок денний на XXI століття» закликала країни на національному рівні та міжнародні урядові та неурядові організації на міжнародному рівні розробити індикатори в контексті покращення інформації для прийняття рішень [32].

З того часу індикатори вважаються важливими інструментами для вимірювання різних аспектів сталого розвитку, включаючи питання, пов'язані з транспортом.

Інтеграція транспортних питань у набори індикаторів сталого розвитку та розробка специфічних транспортних індикаторів наразі спостерігається у багатьох міжнародних ініціативах. Ряд міжнародних організацій брали участь у розробці індикаторів, спрямованих на досягнення більш сталого транспорту на місцевому, регіональному та глобальному рівнях. Відмінності у місії та політичних пріоритетах різних організацій відповідно відображаються на у виборі індикаторів. Однак, тривимірна система індикаторів, що базується на економічному, екологічному та соціальному впливі, є загальним способом проведення аналізу транспортної діяльності на основі впливу на навколишнє середовище

Різні літературні джерела визначають індикатори як інструменти для «спрощення, вимірювання та передачі тенденцій та подій» або як «кількісні показники, які можуть ілюструвати та передавати складні явища, включаючи тенденції та прогрес у часі».

Індикатори відображають цінності та цілі суспільства і стають ключовими рушіями змін. Вони допомагають виміряти і зрозуміти напрямки прогресу. Інша література аналогічно визначає індикатори як статистичні дані, призначені для відстеження важливих тенденцій.

Літман [33] у своїй роботі про розробку індикаторів для комплексного та сталого транспортного планування зазначає, що «індикатори - це те, що ми вимірюємо, щоб оцінити прогрес у досягненні цілей і завдань». Вони можуть мати декілька функцій, таких як допомога у визначенні тенденцій, прогнозуванні проблем, оцінці варіантів, встановленні індикатори можуть виконувати кілька функцій, наприклад, допомагати визначати тенденції, прогнозувати проблеми, оцінювати варіанти, встановлювати цільові показники, а також оцінювати конкретну юрисдикцію або організацію .

В даний час, зі зростанням негативного впливу транспортної діяльності, особи, які приймають рішення, все більше усвідомлюють необхідність впровадження рішень, що сприяють досягненню сталості транспортних систем. Тому розробка індикаторів для вимірювання та оцінки транспортної діяльності може відігравати важливу роль у процесі прийняття рішень і формування політики.

Як зазначає Літман [33], показники, пов'язані з транспортною діяльністю, повинні бути збалансованими, відображати поєднання економічних, соціальних та екологічних цілей і можуть бути застосовані на декількох рівнях, таких як:

- Процес планування - для оцінки практики планування та інвестування
- Варіанти та стимули - для вивчення варіантів вибору споживачів та ринків
- Поведінка під час пересування - для оцінки володіння транспортними засобами, пересування транспортними засобами, розподілу видів транспорту і т.д.
- Фізичні впливи - для оцінки викидів забруднюючих речовин та аварійності, споживання землі тощо.
- Вплив на людей та навколишнє середовище - для вимірювання смертності, захворюваності, погіршення стану довкілля тощо.
- Економічні ефекти - для надання монетизованих оцінок економічних витрат, зниження продуктивності, вартості майна тощо.
- Цільові показники ефективності - для встановлення ступеня досягнення бажаних стандартів і цілей.

У сфері транспорту, як і в багатьох інших галузях, індикатори відіграють корисну роль у висвітленні проблем, визначенні тенденцій, сприянні встановленню пріоритетів, формулюванні політики та оцінці та моніторингу процесу, таким чином інформуючи громадськість та осіб, які приймають рішення.

Індикатори можуть відображати різні рівні аналізу, як показано в Таблиці 2.3. Наприклад, індикатори можуть відображати процес прийняття рішень (якість планування), реагування (схеми пересування), фізичний вплив (рівень викидів і аварійності), вплив на людей і навколишнє середовище (травми і смерть, екологічні збитки), а також економічний вплив (витрати суспільства через аварії і погіршення стану довкілля). Індекс сталості може включати показники, які відображають різні рівні аналізу, але важливо враховувати їх взаємозв'язок при оцінці, щоб уникнути подвійного обліку. Наприклад, зменшення кількості викидів на мильо пробігу автомобіля може зменшити викиди в навколишнє середовище та шкоду для здоров'я людей; може бути корисно відстежувати кожен з цих факторів, але було б неправильно складати їх так, ніби вони відображають різні типи впливів [34].

Таблиця 2.3

Індикатори сталості транспортної системи та їх рівень впливу

Зовнішні тенденції	Зміни в чисельності населення, доходах, економічній активності, політичному тиску тощо.
Процес прийняття рішень	Процес планування, цінова політика, залучення зацікавлених сторін тощо
Політика	Проектування та експлуатація об'єктів, транспортні послуги, ціни, інформація для користувачів тощо
Кумулятивний вплив	Зміни в забрудненні навколишнього середовища, рівні ризику дорожнього руху, загальній доступності, транспортних витратах тощо.
Вплив на НС та здоров'я людини	зміни в рівні забруднення, здоров'ї, дорожньотранспортному травматизмі та смертності, екологічній продуктивності тощо.
Економічний вплив	Майнові збитки, медичні витрати, втрата продуктивності, витрати на пом'якшення наслідків та компенсацію.
Оцінка ефективностей	Здатність досягати поставлених цілей

Ця таблиця показує, як індикатори можуть вимірювати різні рівні впливу, від процесу планування до поведінки під час подорожей, впливу на людей та навколишнє середовище, а також економічні ефекти.

Існує дискусія щодо того, чи слід вважати моторизовану мобільність (наприклад, річний пробіг транспортного засобу) індикатором сталого розвитку транспорту. Деякі експерти стверджують, що несталість складається з проблем, які можна виправити індивідуально, наприклад, шляхом підвищення паливної ефективності транспортних засобів, переходу на інші види палива та зниження рівня аварійності.

Інші дослідження стверджують, що високий рівень використання автотранспорту за своєю суттю є нестійким (наприклад, великий річний пробіг спричиняє значні економічні, соціальні та екологічні витрати, навіть якщо автомобіль працює на ядерній або сонячній енергії), і що сталий транспорт вимагає управління мобільністю (стратегії, які змінюють поведінку людей під час подорожей) для підвищення ефективності транспортної системи, а не лише ефективності транспортних засобів. Деякі дослідження вказують на те, що значна частина поточних поїздок автомобілем є результатом ринкових викривлень, які занижують вартість водіння і зменшують кількість варіантів пересування. Як наслідок, планування та ринкові викривлення, які підвищують мобільність, а також додаткові поїздки на автотранспорті, що виникають внаслідок цього, можна вважати несталими, а скорочення поїздок на автотранспорті - цілями сталого розвитку. Зменшення кількості поїздок автотранспортом, безумовно, можна вважати таким, що підвищує сталість, якщо воно є результатом ефективного планування та ринкових реформ, таких як ціноутворення, що більше базується на витратах, а також комплексне і нейтральне планування [35].

Вплив на людей (наприклад, споживчі витрати, затримки в русі та смертність) зазвичай можна виміряти на душу населення, але оскільки земля є обмеженим ресурсом, вплив на навколишнє середовище зазвичай слід вимірювати в цілому. Це означає, наприклад, що викиди забруднюючих

речовин на душу населення і споживання землі повинні зменшуватися у відповідь на зростання чисельності населення, щоб загальний вплив не перевищував екологічну ємність.

Таблиця 2.4

Категорії індикаторів та на які групи населення вони впливають

Категорія	Підкатегорія	Індикатор	Деталізація
Викиди забруднюючих речовин	Викиди	Загальні викиди від транспортних засобів	Тип викиду, спосіб та місце розташування автомобіля
	Викиди в повітря	Кількість днів впливу на рік	Демографічні групи
	Зміна клімату	Викиди пов'язані зі зміною клімату	Демографічні групи
Шумове забруднення	Шум дорожнього руху	Люди які піддаються впливу шуму вище 55 дБ	Демографічні групи
	Шум літаків	Люди які піддаються авіаційному шуму вище 55 дБ	Режим, місцезнаходження, географічна зона
Економічна продуктивність	Поїздка на роботу (час та гроші)	Доступ до місця працевлаштування	Режим, місцезнаходження, географічна зона
	Надійність транспортування	Витрати на затори	Режим, місцезнаходження, географічна зона
	Витрати на інфраструктуру	Витрати на дорогу, громадський транспорт, паркування	Режим, місцезнаходження, географічна зона
	Вартість доставки	Ефективність перевезень	Режим, місцезнаходження, географічна зона

Натхненне зростаючим інтересом науковців та політиків до питань транспортної сталості, дослідження індикаторів зосереджене на огляді існуючих ініціатив ЄС та інших міжнародних ініціатив щодо транспортних індикаторів, що призвели до створення набору індикаторів для вимірювання та оцінки транспортної діяльності.

Оцінювання сталості транспортної системи актуально проводити на основі методики Хосейна Хагшенаса та Манучехара Вазірі, оскільки вона всебічно характеризує транспортну систему враховуючи економічний, екологічний та соціальний показники сталого розвитку.

Під час аналізу стійкості міської транспортної системи необхідно створити комплексний індекс, що враховуватиме всі вищезазначені стійкого розвитку.

Для досягнення цієї мети слід виконати наступні етапи:

- збір статистичних даних;
- нормалізація даних за стандартним відхиленням;
- визначення економічних, екологічних та соціальних показників відповідними ваговими коефіцієнтами для кожного індикатора.

При оцінці стабільності міської транспортної системи потрібно розробити комплексний індекс, який враховуватиме всі три аспекти сталого розвитку. Для цього слід виконати наступні кроки:

- зібрати статистичну інформацію;
- нормалізувати дані за стандартним відхиленням;
- визначити економічні, екологічні та соціальні показники з відповідними ваговими коефіцієнтами для кожного показника.

$$I_{tc} = \frac{a_1Z_{11}+a_2Z_{11}+a_3Z_{13}}{a_1+a_2+a_3} \quad (2.3)$$

$$I_{te} = \frac{a_1Z_{11}+a_2Z_{22}+a_3Z_{23}}{a_4+a_5+a_6} \quad (2.4)$$

$$I_{ts} = \frac{a_1Z_{11}+a_2Z_{11}+a_3Z_{13}}{a_7+a_8+a_9} \quad (2.5)$$

де I_{tc} – економічний індикатор стійкості транспортної системи;

I_{te} – екологічний індикатор стійкості транспортної системи;

I_{ts} – соціальний індикатор стійкості транспортної системи.;

Z_{ij} – нормований показник j -ї компоненти i -го показника, a_{ij} = вагові коефіцієнти.

Отриманий індекс стійкого розвитку дозволяє робити висновки про стійкість транспортної системи на різних рівнях та масштабах. Вагові коефіцієнти враховують рівноцінність кожного індикатора та показника, хоча дослідник може вибрати інші значення коефіцієнтів у різних варіаціях.

Оцінка рівня стійкості транспортної системи базувалася на даних Світового банку (таблиця 2.5). Визначено п'ять міст з найвищим інтегральним показником стійкості транспортної системи: Токіо, Сеул, Відень, Барселона та Мельбурн. Більшість з них розташована в країнах-членах ОЕСР, за винятком Сеула, який відноситься до Східної Азії та Океанії [34].

Розглядаючи показники окремо за кожною складовою стійкого розвитку, найвищі результати) економічного, екологічного та соціального розвитку спостерігаються відповідно у Відні, Будапешті та Токіо. Найнижчі показники виявлені у Копенгагені, Мехіко та Делі.

Дослідження показало, що економічні показники, такі як непрямі витрати споживачів та операційні транспортні витрати в структурі ВВП, значно впливають на інтегральний показник стійкості транспортної системи міста. Для поліпшення цієї стійкості рекомендується впровадження заходів щодо зниження цих витрат, таких як оснащення громадського транспорту GPS-навігаторами та встановлення інформаційних таблиць з реальним станом доріг. Розширення мережі сполучень та оптимізація руху міського транспорту також можуть сприяти зменшенню часу очікування та часу в дорозі, поліпшуючи інтегральний індикатор стійкості [35].

Дійсно, загально визнано, що індикатори є цінними інструментами для вимірювання різних питань сталого розвитку.

Таблиця 2.5

Рівні стійкості транспортної системи за даними Світового банку

Місто	Економічний індикатор	Екологічний індикатор	Соціальний індикатор	Комплексний індикатор
Токіо	0.3556	0.2004	1,7470	1,4255
Барселона	0.2283	0.4013	-0,1499	0.4939
Мельбурн	0,5896	0,0405	-0,2150	0.4461
Рим	0.4882	0.1351	-0,4583	03159
Мілан	03915	0.0342	-0,1586	0.2946
Са Пауло	-0,0530	-0,1764	0,9346	0.2810
Гамбург	0,2033	02493	0,9346	01915
Париж	-0,4856	0.1847	0.4499	-0,0227
Будапешт	-0,481	0.5545	-0,4098	-0,1286
Гон-Конг	-0,4142	0.2162	0.7807	-0,1562
Варшава	0,9346	0.3258	-0,6220	0.3315
Пекин	-0,1692	40,3076	0,0895	-0,3374
Бангкок	-0,0262	-0,177	-0,4617	-0,4291
Мехіко	0,0772	A3017	13106	-0,4457
Стокгольм	-0,6671	-4,2725	0.5146	-0,5716
Делі	0,1264	0.1318	-1,5608	-0,5862
Копенгаген	~0,8488	0.3703	-0,3511	-0,5933

У контексті транспортної діяльності, оскільки транспорт є пріоритетною сферою діяльності сталого розвитку, індикатори слугують маркерами для спрощення, вимірювання та комунікації основних тенденцій та подій, пов'язаних з транспортом, зокрема, вони є корисними у формуванні політики та прийнятті рішень. розробці політики та прийнятті рішень.

Висновки до розділу 2

Проаналізовано показники забруднення повітря в Київській області, відзначено невелике збільшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу від пересувних джерел. Обсяг викидів в 2017 році склав 9,27 тис. тонн, або 103,2% в порівнянні з попереднім роком. Державні статистичні спостереження за останні 5 років показали, що викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел в регіоні в середньому складають близько 68 000 тон, або 88% від загального обсягу викидів забруднювачів в регіоні. атмосфера

Аналіз даних у таблиці показує, що середньорічні концентрації більшості речовин у повітрі в Києві у 2021 рік не змінився порівнюючи з 2019 роком.

Оцінено рівень стійкості транспортної системи базувалася на даних Світового банку. Визначено п'ять міст з найвищим інтегральним показником стійкості транспортної системи: Токіо, Сеул, Відень, Барселона та Мельбурн. Більшість з них розташована в країнах-членах ОЕСР, за винятком Сеула, який відноситься до Східної Азії та Океанії.

РОЗДІЛ 3

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ МІСТ В УМОВАХ РОБОТИ ТРАНСПОРТУ

3.1. Підвищення привабливості громадського транспорту як інструмент підвищення екологічної стійкості міст

Громадський транспорт в сучасному світі відіграє важливу роль у задоволенні мобільних потреб населення та зменшенні впливу транспортних засобів на навколишнє середовище. Зростаюча міська популяція ставить перед собою завдання забезпечити ефективний та зручний громадський транспорт для всіх громадян.

Одним із ключових аспектів розвитку громадського транспорту є розширення мережі для забезпечення максимальної покритості та доступності. Ефективна мережа транспорту повинна бути добре зв'язаною та логічно впорядкованою, щоб забезпечити швидку та зручну пересадку між різними видами транспорту.

Створення нових ліній, розширення існуючих маршрутів та впровадження інтегрованих систем оплати можуть значно покращити доступність громадського транспорту для громадян. При цьому слід враховувати потреби різних соціальних груп та забезпечувати доступність для осіб з обмеженими можливостями.

Застосування новітніх технологій грає ключову роль у поліпшенні зручностей громадського транспорту. Розробка мобільних додатків для відстеження розкладів, купівлі квитків та отримання інформації про затримки допомагає пасажиром планувати свої поїздки більш ефективно.

Впровадження електронних платіжних систем та безконтактних технологій для квитків сприяє швидшим та безпечнішим посадкам пасажирів. Крім того, системи відеоспостереження та розумні транспортні платформи

можуть бути використані для покращення безпеки та моніторингу роботи системи громадського транспорту [36].

Розвиток громадського транспорту повинен також бути спрямованим на зменшення впливу на навколишнє середовище. Впровадження технологій з екологічною усталеністю, таких як електричні або гібридні транспортні засоби, сприяє зменшенню викидів газів у повітря.

Залучення сталі інновацій у дизайні транспортних маршрутів та інфраструктури може допомогти вирішити проблеми трафіку та зменшити час пересадок. Такі підходи не тільки забезпечують пасажирів більше зручностей, але і сприяють сталому розвитку міст.

Громадський транспорт великих міст є дієвим засобом переміщення, але умови перевезення пасажирів, які були визначені раніше у цьому звіті, призводять до зростання кількості мешканців, які вибирають власний автомобіль. З покращенням добробуту мешканців українських міст є ймовірність транспортної кризи. Змінити цю тенденцію можливо лише за умови створення комфортних умов для використання громадського транспорту [37].

Для підвищення ефективності громадського транспорту можна використовувати різні інструменти, такі як створення транспортної моделі міста. Це дозволить уникнути зайвих маршрутів, визначити оптимальний вид транспорту та інтервали руху. Також важливо розробити стратегію довгострокового розвитку транспортної системи міста.

Для впорядкування графіка руху міського транспорту важливо забезпечити таку організацію та стимулювання роботи водіїв, щоб їхні особисті інтереси не збігались із максимальною кількістю перевезених пасажирів протягом одного рейсу, як це часто трапляється наразі. Замість цього, пріоритетом повинно бути дотримання розкладу руху на маршруті. Для більш глибокої оптимізації роботи громадського транспорту потрібне комплексне системне планування всієї транспортної мережі міста.

Це можливо реалізувати за допомогою створення єдиного центру управління громадським транспортом (ЕЦУГТ) міста. Цей центр дозволить централізовано контролювати та координувати рух різних видів транспорту, розробляти оптимальні графіки руху та ефективно реагувати на зміни у попиті та умовах руху [38].

Функції Єдиного Центру Управління Громадським Транспортном (ЕЦУГТ) включають:

1. Система інформування в реальному часі: Введення системи, яка надає інформацію про поточний стан рухомого складу на маршруті у режимі реального часу. Це дозволяє пасажиром точно визначати час прибуття транспортного засобу та вибрати оптимальний маршрут.

2. Дотримання графіка руху: Забезпечення жорсткого дотримання встановленого графіка руху транспортних засобів. Це сприяє пунктуальності та регулярності громадського транспорту.

3. Ефективна система оплати проїзду: Запровадження ефективною та зручною системою оплати проїзду, наприклад, за принципом «єдиного квитка». Такий підхід спрощує процес оплати та робить його більш зручним для пасажирів.

Ці функції спрямовані на покращення якості обслуговування та ефективності громадського транспорту, робить його більш привабливим для користувачів та зменшення тиску на індивідуальний транспорт у місті.

Громадський транспорт, а особливо трамвай, є найбільш ефективним транспортом з точки зору використання простору. Пропускна здатність однієї смуги руху шириною 3,5 метра для різних видів транспорту становить: для трамвая — 22 тис. чол. / год., для автобуса — 9 тис. чол. / год. і для автомобіля тільки 2 тис. чол. / год.

Використання міського електротранспорту може значно покращити екологічну ситуацію у великих містах. Незважаючи на те, що виробництво електроенергії призводить до викидів у навколишнє середовище, великі електростанції зазвичай розташовані на безпечній відстані від густозаселених

міських районів. Електричний транспорт не викидає прямих шкідливих речовин у атмосферу, має менший рівень шуму і при цьому демонструє більший термін експлуатації.

До ефективних прикладів міського електротранспорту входять: трамваї, міські електрички, тролейбуси, електричні автобуси і системи громадського прокату електромобілів. Ці види транспорту є не лише більш екологічно чистими, а й сприяють зменшенню тиску на забруднення повітря та шумового забруднення у міському середовищі, що робить їх привабливим вибором для сталого розвитку міст.

Трамвайні і міські залізничні системи (міська електричка) функціонують у 388 містах по всьому світу. Найбільші системи розташовані в Празі (920 од.), Будапешті (612 од.) і Варшаві (526 од.). Сучасна тенденція спрямована на збільшення числа трамвайного сполучення [39].

З 2000 року було відкрито 78 нових трамвайних систем, зокрема в США (23), Франції (20), Іспанії (16) та Туреччині (8). Трамвайні системи є доцільним вибором для міст з великим пасажиропотоком, оскільки вони володіють високою пропускнуою спроможністю. У тих містах, де пасажиропотік не перевищує 5 тис. пасажирів на годину пік, рекомендується розглядати тролейбусні мережі або електричні автобуси на електротязі.

Тролейбуси, обслуговуючи міські маршрути, вважаються більш екологічно чистими, оскільки не мають викидів від двигунів. Електричні автобуси також показують значні досягнення, маючи пробіг на одній зарядці до 250 км. Досвід Лондона свідчить про зростання використання електричних автобусів на 81% з 2002 по 2013 рік. Міста, такі як Стокгольм і Сінгапур, здійснили успішні кроки у поліпшенні якості довкілля, впроваджуючи плату за в'їзд в центральні райони та зменшуючи автомобільний транспорт у центрі міста на 18% за один рік [40].

Автоматизовані системи управління дорожнім рухом грають важливу роль у підвищенні ефективності громадського транспорту та роблять його привабливішим порівняно з індивідуальним транспортом. Надання пріоритету

руху громадському транспорту збільшує продуктивність системи, дозволяючи перевозити більше пасажирів за короткий період.

Однією з вигід автоматизованих систем є підвищення середньої швидкості руху та скорочення часу обороту транспортного засобу. Це сприяє ефективнішому використанню транспортного парку, зменшенню викидів та покращанню екологічної стійкості міста. Додатковим ефективним засобом є виділення спеціальних смуг для громадського транспорту, що дозволяє прискорити рух автобусів та тролейбусів.

У містах з високим пасажиропотоком та обмеженими можливостями для підземного транспорту ефективним рішенням може бути впровадження систем автобусного транспорту (BRT), які дозволяють швидко та ефективно перевозити велику кількість пасажирів, зменшуючи тим самим потребу у індивідуальних транспортних засобах.

Розвиток громадського транспорту - це комплексний процес, який вимагає інтегрованих підходів та співпраці між урядовими органами, транспортними компаніями та громадськістю. Розширення мережі та підвищення зручностей є важливими кроками для створення ефективної та сталої системи громадського [41].

Підвищення привабливості громадського транспорту може призвести до зменшення використання особистих автомобілів для міських поїздок. Важливо не лише переглянути підхід до використання громадського транспорту, але й вибрати стійкі та екологічно безпечні варіанти міської інфраструктури.

Застосування міського електротранспорту може істотно покращити екологічну ситуацію у великих містах. Хоча виробництво електроенергії може призводити до викидів, великі електростанції зазвичай розташовані на безпечній відстані від густозаселених районів міста. Електричний транспорт не викидає прямих шкідливих речовин, має менший рівень шуму і більший термін експлуатації. Трамваї, міські електрички, тролейбуси, електричні

автобуси та системи громадського прокату електромобілів є ефективними прикладами міського електротранспорту.

Також важливо звернути увагу на стиснутий природний газ як альтернативне паливо для громадського транспорту. Він дозволяє значно зменшити викиди CO₂ та інших забруднюючих речовин порівняно з автобусами на дизельному паливі. Стиснутий природний газ також відзначається більш низькою ціною та відсутністю виділення твердих часток у порівнянні з дизельним паливом.

У країнах, таких як Італія, Хорватія, Німеччина, Польща, Китай, державні заходи сприяють розвитку автобусних маршрутів на стиснутому природному газі. Зменшення споживання нафтового палива та зростання кількості транспортних засобів, які працюють на природному газі, сприяють поліпшенню екологічної ситуації в містах [42].

Важливо розвивати не лише транспорт, але й джерела палива, приділяючи увагу поновлюваним джерелам енергії. Збільшення використання біопалива в міському транспорті може слугувати швидким рішенням для поліпшення екологічної стійкості наявного автопарку.

3.2. Введення плати за паркування як інструмент заохочення використання альтернатив автомобільному транспорту

У сучасних містах, де транспортний потік неперервно зростає, виникає необхідність в пошуку нових стратегій для поліпшення мобільності та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Однією з перспективних концепцій є впровадження платних паркувальних місць.

Платні парковки можуть ефективно регулювати використання автотранспорту в міському просторі. Введення вартісної системи для паркування сприяє зниженню автомобільного трафіку та зменшенню заторів. Також це може стимулювати використання інших видів транспорту та зелених ініціатив, таких як велосипедні шляхи та громадський транспорт.

При цьому важливо враховувати соціальну справедливість, щоб забезпечити доступність місць для паркування для всіх груп населення. Виручені кошти можуть бути спрямовані на розвиток інфраструктури громадського транспорту та відновлення громадських просторів [43].

Ефективність впровадження платних парковок може бути виміряна за допомогою різних показників, таких як зменшення заторів, покращення якості повітря та підвищення безпеки дорожнього руху. Однак, важливо враховувати, що ці заходи можуть зіткнутися з опозицією деяких груп населення та вимагати ефективного комунікаційного планування.

Транспортна система є складною та великою і включає декілька підсистем: міський пасажирський громадський транспорт, маршрутну мережу, вулично-дорожню мережу, світлофорне регулювання, в тому числі інтелектуальні транспортні системи, транспортні потоки легкових та вантажних автомобілів, автобусів, що належать окремим власникам, організаціям, таксомоторним компаніям. Вона має сукупність властивостей: організованість, цілісність, емерджентність, функціональність, структурованість, стійкість, надійність, живучість, адаптивність. Авторами проведено дослідження екологічної сталості однієї з підсистем міської транспортної системи - системи організації дорожнього руху.

Аналіз досліджень показав, що екологічна стійкість міської транспортної системи до змін погодно-кліматичних, транспортних та дорожніх умов експлуатації автомобілів повинна враховувати вплив великої кількості зовнішніх та внутрішніх факторів. До зовнішніх факторів належать соціально-демографічні, економічні та погодно-кліматичні групи факторів.

Економічна група факторів включає вартість проїзду в громадському транспорті; вартість володіння транспортним засобом, яка враховує витрати на паливо для транспортного засобу; електроенергію для електромобілів; плату за паркування; податки та витрати на страхування цивільної відповідальності власників транспортних засобів; витрати на технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів; штрафи за порушення правил

дорожнього руху. Погодно-кліматичні умови (температура повітря, кількість опадів тощо) та стан доріг впливають на ефективність управління дорожнім рухом [44], а, отже, і на сталість міської транспортної системи.

До основних внутрішніх факторів, що впливають на екологічну стійкість транспортної системи, належать:

- структура парку транспортних засобів за типами транспортних засобів, типами двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) та видами палива, що використовується
- середній вік (термін експлуатації) транспортних засобів
- технічний стан транспортних засобів
- умови організації дорожнього руху (складність);
- збалансованість транспортного попиту на поїздки особистим автотранспортом та транспортної пропозиції (пропускна спроможність доріг)
- баланс попиту на безкоштовне паркування та наявність парковок для пересування з робочою метою на постійній основі.

Припаркований автомобіль займає близько 8 м², коли стоїть, і приблизно стільки ж залишається на простір для маневру — це занадто багато в густонаселених міських районах, де земля коштує дорого. Більш того, припаркований у крайній правій смузі автомобіль заважає роботі громадського транспорту, велосипедисту і пішоходу — найбільш екологічно чистим видам транспорту.

Вище зазначене є причиною того, щоб створювати програми з управління паркувальним простором в містах. Парковка повинна використовуватися як інструмент управління попитом.

Дослідження, проведене в місті Валетте на Мальті, показало, що зменшення кількості паркувальних місць в центральній частині міста, а також впровадження системи оплати для нерезидентів (6,25 євро/день) дозволило скоротити кількість автомобілів, що в'їжджають в центр міста, на 7,4 %. Крім того, 10 % користувачів переходить від використання особистих автомобілів на громадський транспорт, велосипедне сполучення і пересування пішки [45].

Основна мета платного паркування - демотивувати використання автомобілів громадянами та стимулювати використання громадського транспорту, таксі, каршерінгу, пересування на велосипеді або пішки до центру міста.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що зі збільшенням площі та вартості платного паркування в центрі міста відбувається перерозподіл попиту за видами транспорту (збільшення частки поїздок на громадському транспорті та таксі і зменшення поїздок на автомобілях). В результаті зменшується нерівномірність руху в часі, збільшується частка часу, коли автомобілі рухаються з постійною швидкістю, зменшується кількість зупинок, розгонів і гальмувань. Зменшення часу простою автомобілів та нерівномірності руху зменшує кількість викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з ДВЗ. Це призводить до підвищення екологічної стійкості транспортної системи міста.

Імітаційне моделювання дорожнього руху дозволяє оцінити зміну параметрів міської транспортної системи при зміні зовнішніх та внутрішніх умов, що впливають на систему. У таблиці 3.1 представлено зміну кількості транспортних кореспонденцій при введенні плати за паркування та розширенні зони платного паркування в місті. У таблиці 3.2 представлено зміну кількості транспортних кореспонденцій при введенні плати за паркування та розширенні зони платного паркування в центрі міста.

Зі зміною кількості кореспонденції змінюється структура транспортного попиту за видами транспорту та способами пересування містом (таблиця 3.3).

Із запровадженням зони платного паркування в межах історичного центру міста відбулося збільшення частки поїздок громадським транспортом на 3,9% і зменшення для автомобілів на 5,4%. Частка пішохідного руху зросла на 1,5% (таблиця 3.4).

Таблиця 3.1

Зміна кількості транспортних засобів при введенні плати за паркування та розширенні зони платного паркування в центрі міста

Індикатор	Немає плати за паркування	Введення плати за паркування (20 грн год)	Розширення зони плати за паркування
К-ть транспортних засобів і пішохідних зон до центру :	147,346	147,626	147,716
Автомобілем	74055	72816	72518
Громадським транспортом	49502	51280	51523
Велосипедом	655	695	710
Пішки	22632	22862	22998

Таблиця 3.2

Зміна кількості пересувних джерел із запровадженням платного паркування в історичному центрі міста (параметри в зоні покриття платного паркування)

Індикатор	Немає плати за паркування	Введення плати за паркування (20 грн год)	Відносна зміна (%)
К-ть транспортних засобів і пішохідних зон до центру :	24943	25288	1,4
Автомобілем	10159	9837	-12
Громадським транспортом	9434	10541	11,7
велосипедом	55	59	7,3
Пішки	5292	5751	8,7

Через особливості імітаційного моделювання підхід до зупинки громадського транспорту та поїздка громадським транспортом розглядалися як два незалежні рухи, тому загальна кількість транспортних засобів збільшилася. З розширенням зони платного паркування перерозподіл в абсолютному вираженні збільшився, але відносно значення дещо зменшилося. Це пов'язано з наявністю паркувальних місць за межами зони платного паркування і з тим, що водії можуть припаркувати свій автомобіль у сусідній зоні без оплати.

Таблиця 3.3

Зміна попиту за видами транспорту та способами пересування по місту із введенням плати за паркування

Індикатор	Частка попиту (%)		
	Немає плати за паркування	Введення плати за паркування (20 грн год)	Відносна зміна (%)
Автомобілем	50	49,1	48,5
Громадським транспортом	34,1	34,9	35
Велосипедом	0,5	0,6	0,6
Пішки	15,4	15,6	15,6

Значне зростання частки велосипедного руху (15%) для зони платного паркування в центральній частині міста було спричинене її дуже малим початковим значенням (Таблиця 3.5).

Зменшення кількості поїздок автомобілів призвело до збільшення середньої швидкості руху на 1,9% та зменшення середнього часу в дорозі на 2,25% в цілому по місту. Незначне зростання швидкості пояснюється ефектом високої бази та невеликою часткою транспортних засобів, які рухалися вулично-дорожньою мережею в зоні платного паркування, від загальної кількості транспортних засобів у транспортній системі міста.

Таблиця 3.4

Зміна попиту на транспортні засоби та способи пересування по місту із введенням плати за паркування

Індикатор	Частка попиту (%)		
	Немає плати за паркування	Введення плати за паркування (20 грн год)	Відносна зміна (%)
Автомобілем	40,6	35,2	5,4
Громадським транспортом	37,9	41,8	3,9
Велосипедом	0,2	0,2	0
Пішки	21,3	22,8	1,5

Таблиця 3.5

Зміна попиту на транспортні засоби та способи пересування по місту в порівнянні з початковими показниками

Індикатор	Частка попиту (%)		
	Немає плати за паркування	Введення плати за паркування (20 грн год)	Відносна зміна (%)
Автомобілем	40	36,4	-3,6
Громадським транспортом	36,4	39,3	2,9
Велосипедом	0,2	0,25	0,25
Пішки	23,6	24,4	0,8

Впровадження платного паркування призвело до зменшення транспортного попиту на поїздки на особистому транспорті, що спричинило зменшення заторів на дорогах та підвищення ефективності управління дорожнім рухом. Як наслідок, відбулося зменшення споживання палива та

викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з ДВЗ. Це відбулося завдяки двом факторам:

- Зменшилася інтенсивність руху автомобілів;
- Зменшилася нерівномірність руху автомобілів, кількість зупинок, розгонів і гальмувань (зменшилася частка часу, коли автомобілі рухалися в нестационарному режимі).

Поєднання цих заходів, вплив кожного з них окремо та у складі комплексу заходів можливе за допомогою імітаційного моделювання транспортних потоків та розрахунку коефіцієнту екологічної сталості міської транспортної системи. Вибір комплексу найбільш ефективних заходів дозволить зменшити негативний вплив автотранспорту на екологічну ситуацію в містах.

Моделювання дозволяє визначити максимальну кількість автомобілів у транспортній системі для підтримання екологічної сталості на граничному рівні. Ці результати можуть бути корисними муніципальній владі для формування стратегії комфортного та екологічно безпечного функціонування міста; визначення комплексу заходів для стимулювання використання екологічно чистих видів транспорту; моделювання заходів для їх розвитку; визначення демотивуючих та заборонних заходів для використання екологічно застарілих транспортних засобів [46].

3.3. Зарубіжний досвід використання екологічно чистих видів транспорту

Серед пріоритетних напрямків для України в рамках ЄС - є екологізація транспорту. Це передбачає скорочення викидів парникових газів у секторі на 90%, збільшення частки сталих видів транспорту, таких як залізниця та внутрішній водний транспорт, посилення стандартів викидів забруднюючих речовин для транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання, а також розвиток інфраструктури для електромобілів. ЄС передбачає

скорочення транспортних викидів на 90% до 2050 року, чому мають сприяти всі види транспорту (автомобільний, залізничний, водний та повітряний).

Зменшення викидів забруднюючих речовин від автотранспорту (особливо в містах з високим трафіком, портових містах та громадах з аеропортами) матиме позитивний вплив на життя людей, які проживають на таких територіях. Використання екологічно чистих видів транспорту матиме ефект покращення якості повітря і водночас задоволення потреб населення у мобільності [47].

Українським діячам слід розглянути можливість впровадження політики, що сприяє модернізації існуючого пасажирського автопарку. Важливо, щоб ця політика впроваджувалася у соціально прийнятний спосіб і пропонувала громадянам доступні альтернативи, такі як потужна система громадського транспорту. Слід також зосередитися на розробці інтегрованої стратегії, що поєднує автомобільний, залізничний та повітряний транспорт: в той час як різні рівні влади та управління повинні координуватися по вертикалі, декарбонізація транспортного сектору повинна розглядатися по горизонталі разом з декарбонізацією інших секторів.

Україна опублікувала два програмні документи, спрямовані на перехід транспортного сектору до низьковуглецевого майбутнього: Стратегію низьковуглецевого розвитку України до 2050 року [48] та Транспортну стратегію до 2030 року [49].

У той час як Стратегія низьковуглецевого розвитку встановлює широкі цілі, Транспортна стратегія перераховує конкретні заходи. Однак залишається незрозумілим, як ці заходи вписуються в ширшу міжгалузеву стратегію. Немає сенсу вирішувати проблеми окремо, оскільки різні заходи є взаємозалежними. Саме тому Україні варто розглянути можливість інтеграції окремих заходів транспортної політики в комплексну стратегічну структуру, що охоплює всі сектори економіки.

Якщо підходити до відновлення транспортної інфраструктури з точки зору довгострокових перспектив і з позицій «зеленого курсу», то виникає

низка питань. Зокрема, необхідно вирішити, чи важливо інвестувати в розвиток доріг і, відповідно, вантажоперевезень. Також необхідно оцінити доцільність інвестування у швидкісний залізничний транспорт замість розвитку авіаційної інфраструктури та внутрішніх авіаперевезень. Пріоритетними для розвитку мають стати найбільш «зелені» та енергоефективні види транспорту, такі як водний та залізничний. В обох випадках першочерговим викликом є зношеність інфраструктури, а для залізниці - ще й проблеми ефективного управління та впровадження анбандлінгу.

Питання індивідуального транспорту базується на пішохідному або автомобільному русі з використанням індивідуальних транспортних засобів, таких як велосипеди, мотоцикли або автомобілі. Багато європейських міст прагне обмежити використання автомобільного транспорту на користь велосипедного, пішохідного та громадського. Створення оптимальних пішохідних маршрутів означає, що необхідно вживати заходів, які полягають у частковому або повному закритті окремих вулиць або цілих районів міста для руху автотранспорту, а потім призначати їх тільки для пішохідного руху. За рівнем обмеження руху можна виділити три типи зон, а саме [50];

- Пішохідні зони, повністю закриті для легкових автомобілів та громадського транспорту (доступ відкритий лише для вантажних автомобілів у робочий час, автомобілів рятувальних служб та муніципальних автомобілів)
- Пішохідні зони з обмеженим доступом для легкових автомобілів та повним доступом для громадського транспорту
- Пішохідні зони з повною заборонаю в'їзду для легкових автомобілів, але з доступом для громадського транспорту.

Найвищий рівень безпеки та свободи пішохідного руху забезпечується повним обмеженням доступу автомобілів до визначених зон. Однак найпоширенішою практикою є застосування рішень, що забезпечують координацію та співіснування велосипедного, пішохідного та громадського транспорту в межах однієї конкретної зони. Це дає змогу максимізувати

вигоди від створення пішохідної зони з одночасним наданням пріоритету громадському транспорту. Також часто застосовуються рішення, що полягають у періодичному перекритті вулиць у періоди очікуваного збільшення пішохідного руху (наприклад, влітку, на державні свята, у святкові дні та у передсвяткові сезони). Описані вище пішохідні зони можуть бути важливим елементом міської транспортної системи за умови, що вони правильно розташовані і належним чином організовані. Важливо розумно пов'язати пішохідні зони з системою громадського транспорту (відстань між визначеною пішохідною зоною та зупинкою громадського транспорту або автостоянкою має бути менше 300 м).

Створення та організація пішохідної зони має обов'язково передбачати [51]:

- Обмеження або ліквідацію руху вантажного та легкового транспорту
- Обмеження або зменшення до мінімуму кількості точок зіткнення з іншими видами транспорту шляхом відповідного розташування об'єктів, що становлять інтерес для пішоходів (магазинів, офісів тощо).

Створення сприятливих екологічних умов (низький рівень забруднення повітря та шуму). Належне облаштування території (лавки, належне освітлення, ігрові майданчики для дітей). Мінімізація фізичних перешкод для руху пішоходів (відповідні бордюри, сходишки, менша кількість ділянок з великими нахилами землі).

Часткове або повне обмеження автомобільного руху в центральних частинах міст стає все більш поширеним явищем. Серед європейських прикладів міст, які застосовують такі рішення: Грац, Рим, Копенгаген, Відень і Варшава. Використання велосипеда для пересування в межах приміських зон також є прикладом індивідуальних транспортних рішень з точки зору сталого розвитку. Використання велосипеда стосується, зокрема, [52]:

- Використання велосипеда як непрямого засобу пересування, тобто засобу, що дозволяє дістатися до пересадочного вузла громадського транспорту (трамваїв, поїздів, автобусів, метро).

- Використання велосипеда як індивідуального засобу пересування на короткі відстані.

Добре функціонуюча велосипедна транспортна система повинна мати наступні характеристики:

- Прямолінійність, що забезпечує швидке та легке пересування містом.
- Безпека, завдяки зведенню до мінімуму точок зіткнення з автомобільним рухом.

- Згуртованість, завдяки з'єднанню всіх напрямків та забезпеченню зв'язку виїздів з міста з велосипедними доріжками.

- Комфорт, завдяки відповідним рішенням (щодо типу та геометрії покриття проїжджої частини тощо) стосовно доріг та їх належного обслуговування (наприклад, очищення від снігу взимку).

- Зрозумілість та привабливість, завдяки прив'язці велосипедної транспортної системи до міських функцій та потреб користувачів.

Серед рішень, які можуть покращити умови пересування містом на велосипеді, є :

- Відокремлення частини проїжджої частини для велодоріжок.
- Створення велосипедних маршрутів, незалежних від проїжджої частини. Дозвіл двостороннього велосипедного руху на вулицях з одностороннім рухом з обмеженням швидкості та інтенсивності руху.

- Створення вдосконалених ліній велосипедних зупинок на перехрестях зі світлофорами.

- Дозвіл пасажиром перевозити велосипеди в громадському транспорті.

- Адаптація транспортних розв'язок для зберігання велосипедів.

- Впровадження системи велопрокату.

Німецьке місто Фрайбург, в якому з 1976 року велосипедний рух збільшився вдвічі, є прикладом розробника велосипедної політики. Наразі велосипедний рух становить 20% від загального трафіку в місті, що стало можливим завдяки створенню мережі велосипедних маршрутів загальною

протяжністю 135 км та введенню обмеження швидкості до 30 км/год у центрі міста.

Страсбург - ще одне зразкове місто, яке закрило свій центр для автомобільного руху в рамках кампанії за те, щоб велосипед розглядався як основний вид транспорту, і таким чином збільшило велосипедний рух приблизно до 12% [53].

Барселона, Бремен, Амстердам, Копенгаген, Феррара, Грац та Единбург - міста, які використовують систему стимулів для заохочення мешканців користуватися велосипедами або громадським транспортом для поїздок у межах міста, водночас запроваджуючи заборони на використання автомобілів у центрі міста.

Наприклад, у місті Феррара проживає близько 132 000 мешканців, тоді як кількість велосипедів становить близько 100 000 (Таблиця 3.6.). Слід також зазначити, що описані заходи не мали негативного впливу на економічний розвиток цих міст або доступність до торгових центрів.

Таблиця 3.6

Відносна кількість осіб, які використовують велосипеди у країнах Європи,
від загальної кількості населення

Місто	Кількість осіб які використовують велосипеди (тис. осіб)	Пропорції (%)
Амстердам	1,013	25
Фрайбург	215	20
Феррара	131	21
Дублін	1,100	11
Кембридж	100	27
Копенгаген	1,400	32
Берн	127	15

Більшість європейських міст на 5-10% здійснюють велосипедом. За умови адекватної транспортної політики ця частка може збільшитися на 20-25% у містах з населенням від 50 000 до 500 000 мешканців. У польських містах з великою кількістю населення, таких як Варшава, Вроцлав, Краків або Познань, будівництво та відповідна промоція велосипедних маршрутів може призвести до збільшення частки велосипедних поїздок у місті на 10%. У менших містах ця частка має досягти 20-50% протягом 10 або 15 років після створення відповідної інфраструктури.

Потенційні вигоди, які міста можуть отримати в результаті впровадження вищеописаних рішень, включають наступне [54]:

- Економія простору (паркування та проїжджої частини) і, в свою чергу, зменшення витрат на будівництво нових міських доріг.
- Загальне покращення якості життя в агломерації (зменшення забруднення повітря, зниження рівня шуму).
- Пряме зменшення заторів у дорожньому русі за рахунок обмеження кількості автотранспорту в русі та покращення потоку транспортних засобів.

Незважаючи на те, що в містах існує багато альтернативних видів транспорту, включаючи пішохідний, велосипедний та громадський, все ще існують райони, де транспортні потреби можна задовольнити лише за допомогою приватних автомобілів.

На жаль, поїздки на легкових автомобілях з дизельним двигуном нерозривно пов'язані зі збільшенням викидів токсичних компонентів вихлопних газів, що призводить до забруднення навколишнього середовища. Електромобілі пропонують можливість зменшити негативний вплив двигунів внутрішнього згорання, не обмежуючи при цьому важливу роль автомобілів. Електромобілі є практичним вирішенням проблеми впливу на навколишнє середовище, але загальне усвідомлення такої концепції все ще обмежене. Значного прогресу можна досягти завдяки переосмисленню поняття мобільності, зокрема, шляхом впровадження електромобілів. Для цього міста повинні перехопити ініціативу, щоб електромобілі не залишалися важко

доступним ринком, а стали реальною альтернативою транспортним засобам з двигуном внутрішнього згорання.

Висновки до розділу 3

Застосування міського електротранспорту може істотно покращити екологічну ситуацію у великих містах. Хоча виробництво електроенергії може призводити до викидів, великі електростанції зазвичай розташовані на безпечній відстані від густозаселених районів міста. Електричний транспорт не викидає прямих шкідливих речовин, має менший рівень шуму і більший термін експлуатації. Трамваї, міські електрички, тролейбуси, електричні автобуси та системи громадського прокату електромобілів є ефективними прикладами міського електротранспорту.

Впровадження платного паркування призвело до зменшення транспортного попиту на поїздки на особистому транспорті, що спричинило зменшення заторів на дорогах та підвищення ефективності управління дорожнім рухом. Як наслідок, відбулося зменшення споживання палива та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з ДВЗ.

Створення та організація пішохідної зони має обов'язково передбачати :
Обмеження або ліквідацію руху вантажного та легкового транспорту,
Обмеження або зменшення до мінімуму кількості точок зіткнення з іншими видами транспорту шляхом відповідного розташування об'єктів, що становлять інтерес для пішоходів (магазинів, офісів тощо).

ВИСНОВКИ

Автомобільний транспорт забруднює атмосферу трьома способами: емісією шкідливих речовин з відпрацьованими газами, проривом газів у картер двигуна й емісією шкідливих речовин у результаті випару палива в паливних баках, карбюраторах, а також у результаті витоків палива. Головним з них є перший спосіб, на частку якого приходиться близько $2/3$ шкідливих викидів автомобілів в атмосферу. Склад відпрацьованих газів залежить від роду застосованих палив, присадок і масел, режимів роботи двигуна, його технічного стану, умов руху автомобіля. Транспортні засоби щорічно викидають в атмосферу до 35 тис т шкідливих речовин (окису карбону понад 28 тис т, оксиду нітрогену понад 2 тис т., вуглеводнів понад 4 тис т.).

Вплив транспорту на навколишнє середовище є значущою проблемою сучасності, і вирішення цього питання вимагає комплексного підходу та застосування ефективних інструментів для підвищення екологічної стійкості міст. Зокрема, важливо розвивати та впроваджувати екологічно чисті види транспорту, сприяти використанню громадського транспорту та активно впроваджувати ініціативи зі зменшення викидів та забруднення повітря.

Для досягнення цілей сталого розвитку та покращення якості навколишнього середовища, важливо спільно працювати громадськості, владі, транспортним компаніям та іншим зацікавленим сторонам. Лише за умови спільних зусиль можна створити ефективні стратегії та програми, спрямовані на зменшення впливу транспорту на екосистеми міст та покращення якості життя громадян.

В роботі проведено аналіз методів оцінки сталості транспортної системи. При оцінці екологічної ситуації за допомогою імітаційного моделювання було розраховано кількість викидів оксиду вуглецю (CO_2) та шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння автомобілів за їх типами: Оксид вуглецю CO ; Оксид азоту NO_x ;

Вуглеводні СН; Інші шкідливі речовини (NH₃, Неметанові вуглеводні (NMHC), ТЧ, SO₂, CH₄, N₃O, Бензол).

Під час моделювання на макорівні не враховувався вплив різних видів транспорту на викиди окремих забруднюючих речовин. Це знизило достовірність оцінки, але підвищило доступність методу, оскільки не було потреби у великій кількості додаткової інформації для розрахунків. Кількість викидів шкідливих речовин під час макромоделювання розраховували за методикою Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA), яка враховує пробігові викиди при русі автомобілів та викиди в режимі холостого ходу. При цьому враховується склад транспортного потоку, види палива, рівень сервісу, клас дороги, швидкість руху, навантаження на дорожню мережу.

Встановлено, що громадський транспорт великих міст є дієвим засобом переміщення, але умови перевезення пасажирів, які були визначені раніше у цьому звіті, призводять до зростання кількості мешканців, які вибирають власний автомобіль. З покращенням добробуту мешканців українських міст є ймовірність транспортної кризи. Змінити цю тенденцію можливо лише за умови створення комфортних умов для використання громадського транспорту.

Для підвищення ефективності громадського транспорту можна використовувати різні інструменти, такі як створення транспортної моделі міста. Це дозволить уникнути зайвих маршрутів, визначити оптимальний вид транспорту та інтервали руху. Також важливо розробити стратегію довгострокового розвитку транспортної системи міста.

Виявлено, що впровадження платного паркування призвело до зменшення транспортного попиту на поїздки на особистому транспорті, що спричинило зменшення заторів на дорогах та підвищення ефективності управління дорожнім рухом. Як наслідок, відбулося зменшення споживання палива та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з ДВЗ. Це відбулося завдяки двом факторам:

- Зменшилася інтенсивність руху автомобілів;
- Зменшилася нерівномірність руху автомобілів, кількість зупинок, розгонів і гальмувань (зменшилася частка часу, коли автомобілі рухалися в нестационарному режимі).

Європейський досвід показує, що питання індивідуального транспорту базується на пішохідному або автомобільному русі з використанням індивідуальних транспортних засобів, таких як велосипеди, мотоцикли або автомобілі. Багато європейських міст прагне обмежити використання автомобільного транспорту на користь велосипедного, пішохідного та громадського. Створення оптимальних пішохідних маршрутів означає, що необхідно вживати заходів, які полягають у частковому або повному закритті окремих вулиць або цілих районів міста для руху автотранспорту, а потім призначати їх тільки для пішохідного руху. За рівнем обмеження руху можна виділити три типи зон, а саме:

- Пішохідні зони, повністю закриті для легкових автомобілів та громадського транспорту (доступ відкритий лише для вантажних автомобілів у робочий час, автомобілів рятувальних служб та муніципальних автомобілів).
- Пішохідні зони з обмеженим доступом для легкових автомобілів та повним доступом для громадського транспорту.
- Пішохідні зони з повною заборонаю в'їзду для легкових автомобілів, але з доступом для громадського транспорту.

Розвиток сталої транспортної системи вимагає комплексних заходів та спільних зусиль уряду, громадськості та бізнесу для забезпечення екологічної стійкості міст і збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yelda S. Urban Transportation and the Environment Issues. Alternatives and Policy Analysis : SprengerIndia, 2015. 158 p.
2. Босак П. В., Лук'янчук Н. Г., Попович В. В. Чинники впливу залізничного транспорту на екологічну безпеку довкілля. *Екологічні науки*. 2022. № 3(42) С. 205–210. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.34>.
3. Босак П. В., Попович В. В. *Еколого-техногенна безпека залізничного транспорту України. Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: зб. наук. праць Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Львів. ЛДУ БЖД, 2022. С. 50–53.*
4. Вовк О. Б., Чернобай Ю. М. Становлення та перспективи досліджень екології антропогенізованих ґрунтів. Наукові записки державного природознавчого музею, 2006. № 22. С. 79–92.
5. Волощинська С. С. Важкі метали в ґрунтах урбоєкосистеми м. Ковеля. *Біологічні системи*, № 4 (2). 2012. С. 145–148.
6. Геник Я. В., Дида А. П., Марутяк С.Б. Зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів лісопаркових і паркових насаджень міст внаслідок рекреаційних навантажень. *Науковий вісник НЛУ Україн*. 2014. № 21.10. С. 66–71.
7. Голубець М. А. Вступ до геосоціосистемології. Львів : Поллі, 2005. 199 с.
8. Зінченко Т. Є. Ретроспективний аналіз та оцінка сучасного стану використання і охорони земель. *Ефективна економіка*, 2012. № 7. URL: <http://www.m.nauka.com.ua/?op=1&j= efektyvna-ekonomika &s=eng& z=1271>.
9. Кирильчук А. А., Бонішко О. С. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум : навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. 354 с.

10. Некос А.Н Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. №1-2. Харків, 2012.
11. Транспортна екологія. За заг. ред. С. В. Бойченка. Київ: НАУ, 2017. 507 с
12. Хилько М. І. Екологічна безпека України : навчальний посібник. Київ, 2017. 266 с.
13. Yelda S. Urban Transportation and the Environment Issues. *Alternatives and Policy Analysis* : SprengerIndia, 2015. 158 p.
14. ДСТУ EN 15610:2015 Залізничний транспорт. Шум. Вимірювання шорсткості рейок відносно появи шуму від кочення (EN 15610:2009, IDT)
15. Бойко О. В. Сталий розвиток транспортної системи України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип.23.18.
16. Haghshenas H. Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology*. 2012. №45.
17. The Sustainable Urban Transport Project (SUTP) [URL]: <http://www.sutp.org/en/about-us.html>
18. Bertsch L, Simons DG, Snellen M. Aircraft Noise: The Major Sources, Modelling Capabilities, and Reduction Possibilities. *German Aerospace Center & Delft Technical University*. 2015. Pp.22-30.
19. Goldenbeld C, Levelt PBM, Heidstra J. Psychological perspectives on changing driver attitude and behaviour. In: *Recherche - Transports – Sécurité*. 2020. pp. 65-81.
20. Bergström, P.; Malefors, C.; Strid, I.; Hanssen, O.J.; Eriksson, M. Sustainability Assessment of Food Redistribution Initiatives in Sweden. *Resources* 2020. P. 27
21. Cottrill, C.D.; Derrible, S. Leveraging big data for the development of transport sustainability indicators. *J. Urban Technol.* 2015. Pp. 45–64.
22. The World Bank. CO2 Emissions from Transport (% of Total Fuel Combustion).URL: <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0037712>

23. EEA core set of indicators: Guide. EEA Technical Report, Copenhagen.
24. Gilbert R. and Tanguay H. Sustainable Transportation Performance Indicators Project: Brief Review of Some Relevant Worldwide Activity and Development of an Initial Long List of Indicators. 2018. P. 103.
25. Розробка індикаторів для комплексного та сталого транспортного планування, Інститут транспортної політики Вікторії. URL: <https://www.vtpi.org/>
26. Т. Літман, Д. Бервелл. Проблеми сталого транспорту. *Міжнародний журнал глобальних екологічних проблем*. Том 6, № 4, с. 331-347 URL: https://www.vtpi.org/sus_iss.pdf
27. Некос А.Н Людина та довкілля. Проблеми неоекології. №1-2. Харків, 2012.
28. Данилевич Я. Б. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах. *«Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики»*. К. : ЦУЛ, 2015.
29. Гречин Б. Д. Екологістика як перспективний напрямок розвитку підприємства : закордонний досвід. *Сталий розвиток економіки*. 2013. №4, с. 213-219.
30. Маценко О. М. Оцінка економічного збитку, обумовленого порушенням екосистемної функції води, та шляхи його зниження. *Механізм регулювання економіки*. 2020. № 4. С. 41–46.
31. Правдін Н.В., Негрей В.Я., Подкопаєв В.А. Взаємодія різних видів транспорту. М.: Транспорт. 2015. 208с.
32. Бойко О. В. Сталий розвиток транспортної системи України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип.23.
33. Haghshenas H. Urban sustainable transportation indicators for global comparison. *Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology*. 2012. №45.

34. The Sustainable Urban Transport Project (SUTP) URL: <http://www.sutp.org/en/about-us.html>
35. Лоза В.Г. Способи захисту навколишнього середовища на транспорті України. URL : <http://stp.diit.edu.ua/article/download/14393/12208>
36. Потапенко В.Г. Стратегічні пріоритети безпечного розвитку України на засадах «зеленої економіки» : монографія. К. : НІСД, 2012. 360 с.
37. Краснова Ю. Правове регулювання екологічно небезпечної діяльності на транспорті URL: <http://vuzlib.com/content/view/1171/34/>
38. Про основи національної безпеки України: Закон України від 19 червня 2003 р. № 964-IV URL: <http://zakon4.rada.gov.ua>
39. Понікаров В.Д. Удосконалення системи інтегрованого моніторингу природного середовища регіонів України. *Науковий журнал «Бізнес Інформ»*. № 6. 2014. С. 193–197.
40. Антонюк У.В. Правове забезпечення екологічної безпеки у діяльності залізничного транспорту : автореф. дис... канд. юрид. наук : 12.00.06. К., 2009. 20 с.
41. Антонюк У.В. Сучасний стан і перспективи забезпечення екологічної безпеки у сфері транспорту в Україні. URL : <http://www.apdp.in.ua/v64/37.pdf>
42. Калимбет М. В., Зеленько Ю. В. Щодо концепції впровадження екологічно чистих та ресурсозберігаючих технологій експлуатації залізничного транспорту. Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств: тези 7-ї Міжн. наук-практ. конф., Дніпро, 30 листопада 2018 р. С. 62–63.
43. Good practice guide on noise exposure and potential health effects. European Environment Agency Technical report No 11. 2010 Copenhagen, 2010. 37 p.
44. Makarova I., Khabibullin R., Mavrin V., Belyaev E. Simulation modeling in improving pedestrians' safety at non-signalized crosswalks. *TRANSPORT PROBLEMS*. 2016. Vol. 11. Issue 4. P. 139–150.

45. Умрихіна Л. М. Роль і значення забруднення атмосферного повітря, метеорологічних факторів та соціально-побутових умов у формування показників захворюваності дитячого населення м. Києва ДУ ІГМЕ. 2018. № 89. С. 74–79.

46. Погонишева І. А. Вплив шуму на психофізіологічні параметри і працездатність організму людини [Погонишева і. А. та ін.]. Вісник НВГТУ. 2015. №1. С. 27–35.

47. Коршунов А. Ю. Про нормування шумового забруднення навколишнього середовища в умовах мегаполісу. Молодіжний науковотехнічний вісник. 2014. № 11. С. 26.

48. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/pom-yakshennya-zminy-klimatu/strategiya-nyzkovugletseвого-rozvytku-ukrayiny-do-2050-roku/>

49. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р.: із змін., внес. Розпорядженням № 321-р від 07.04.2021. Законодавство України: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p>

50. Забишний Я. О. Методи досліджень руху автотранспорту в межах урбоєкосистем. Енергоощадність. Збалансоване природокористування, м. Львів, 21–23 вересня 2016 р. Л.: Національний університет «Львівська політехніка», 2015 р. С. 27.

51. Забишний Я. О. , Я. М. Семчук. Аналіз автотранспортного забруднення довкілля та його вплив на соціальну складову. Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016 р. С. 254.

52. Внукова Н. В. Вплив технічного стану двигунів внутрішнього згоряння на паливну економічність і екологічну безпеку. Вісник Нац. техн. унту «ХШ». Харків: НТУ «ХШ». 2016. № 53. С. 27–34.

53. Семчук Я. М. Вплив автомобільного транспорту на довкілля міських агломерацій. Проблеми екологічної безпеки. Кременчук: Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, 2016. С. 57–58.

54. Stafoggia M., Cesaroni G., Peters A. Long-term exposure to ambient air pollution and incidence of cerebrovascular events: results from 11 European cohorts within the ESCAPE project. *Environ Health Perspect*, 2014. vol. 122. № 9. pp. 919–925. doi: 10.1289. ehp. 1307301.