

МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ НА ПРИКЛАДІ М. ЧЕРКАСИ

Яшук Л.Б.

Черкаський державний технологічний університет

бульв. Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси

l_yashchuk@ukr.net

Об'єктом дослідження є транспортна інфраструктура та атмосферне повітря міста Черкаси. За результатами аналізу моніторингу екологічних показників визначено рівень забруднення атмосфери та шумового навантаження залежно від особливостей міської транспортної інфраструктури та дана оцінка їх впливу на якість довкілля. Визначено, що на рівень забруднення атмосферного повітря суттєво впливають організація міського трафіку та якісний стан вуличної мережі. Досліджено щільність та територіальний розподіл транспортних потоків в межах обласного центра. Маршрутна сітка руху громадського транспорту в місті була сформована в 1990-х рр. під впливом відсутності регуляції зі сторони міських органів влади заради отримання максимальних прибутків при мінімальних витратах. Більшість маршрутів проходить через центральний район міста, що провокує забруднення атмосферного басейну та створює значний тиск на вулично-дорожню інфраструктуру.

Проаналізовано структуру автотранспортних засобів в транспортних потоках міста. Визначення концентрації забруднюючих речовин в зоні досліджуваних ділянок показало значне забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Найбільші перевищення отримані на вулицях з інтенсивним рухом автомобільного транспорту і довгим часом заборонного сигналу світлофору. Провідну роль в забрудненні довкілля відіграє легковий та пасажирський автотранспорт. На рівень забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами забруднення впливає кілька факторів, серед яких провідним є щільність транспортного руху. Для забудови в районі транспортних магістралей властиве стійке забруднення повітря в зоні до 100 м від проїзної частини вулиць. Занижені показники розсіювання вихлопних газів пов'язані із режимом роботи холостого ходу двигунів під час стояння на перехрестях. Аналіз акустичного впливу в умовах інтенсивних транспортних потоків на всіх дослідних ділянках свідчить про помірне шумове забруднення. Найбільш небезпечною частиною вулиць, яка потрапляє в зону постійного шуму є 50-ти метрова зона від дороги. На основі отриманих результатів запропоновані пріоритетні заходи для вирішення існуючих проблем та розробити управлінські заходи по їх втіленню. *Ключові слова:* моніторинг, атмосферне повітря, транспортна інфраструктура, шум, пасажирський транспорт, забруднення.

Monitoring of environmental indicators of the city transport network on the example of Cherkasy. Yashchuk L.

The object of the study is the transport infrastructure and atmospheric air of the city of Cherkasy. According to the results of the analysis of the monitoring of environmental indicators, the level of atmospheric pollution and noise load was determined depending on the characteristics of the urban transport infrastructure, and an assessment of their impact on the quality of the environment was given. It was determined that the level of atmospheric air pollution is significantly influenced by the organization of city traffic and the quality of the street network. The density and territorial distribution of traffic flows within the regional center were studied. The route network of public transport in the city was formed in the 1990s. under the influence of the lack of regulation by city authorities in order to obtain maximum profits at minimum costs. Most of the routes pass through the central area of the city, which causes pollution of the atmospheric basin and creates significant pressure on the street and road infrastructure.

The structure of motor vehicles in the traffic flows of the city was analyzed. Determining the concentration of pollutants in the area of the studied areas showed significant pollution of the atmospheric air by vehicle emissions. The largest excesses were obtained on streets with heavy traffic and a long time of prohibitory traffic lights. Car and passenger vehicles play a leading role in environmental pollution. The level of atmospheric air pollution by mobile sources of pollution is influenced by several factors, the leading one of which is the density of traffic. Persistent air pollution in the zone up to 100 m from the carriageway of the streets is typical for buildings in the area of transport highways. Understated indicators of the dispersion of exhaust gases are associated with the idling mode of the engines while standing at crossroads. The analysis of the acoustic impact in the conditions of intensive traffic flows at all experimental sites indicates moderate noise pollution. The analysis of the acoustic impact in the conditions of intensive traffic flows at all experimental sites indicates moderate noise pollution. The most dangerous part of the streets, which falls into the zone of constant noise, is the 50-meter zone from the road. On the basis of the obtained results, priority measures are proposed to solve the existing problems and to municipal management measures for their implementation. *Key words:* monitoring, atmospheric air, transport infrastructure, noise, passenger transport, pollution.

Постановка проблеми. Інтеграція України до країн ЄС потребує гармонізації вітчизняних екологічних норм із європейськими вимогами, серед яких важливе місце займає якість атмосферного повітря. В більшості українських міст рівень чистоти атмосферного повітря в значній мірі залежить від обсягів викидів пересувними джерелами забруднення. Зростання кількості автомобілів у населення

та складнощі в організації раціонального руху міського транспорту породжують проблему стійкого забруднення міського повітря вихлопними газами автотранспорту.

Актуальність дослідження. Якість атмосферного повітря займає особливе місце в забезпеченні екологічної безпеки території та здоров'я населення. Швидкі темпи урбанізації та супутнє зростання

автопарку в містах при застарілій вулично-дорожній мережі провокує його стале забруднення. Розбудова вітчизняної транспортної інфраструктури часто відбувається без урахування даних екологічного моніторингу. Сучасний екологічний моніторинг включає стандартні інструменти оцінки якості стану навколишнього середовища і дозволяє встановити якісний та кількісний склад забруднення. Діяльність регіональної влади по покращенню екологічної ситуації в містах часто визначається економічними можливостями, а розробка заходів по поліпшенню стану довкілля відіграє другорядну роль. Механізм зменшення забруднення шляхом упровадження необхідних адміністративних заходів на основі даних екологічного моніторингу майже відсутній.

Моніторинг атмосферного повітря розпочинається з вимірювань визначених забруднень на різних типах територій залежно від пріоритетного джерела забруднення (фон міста, дорожній рух). На жаль, екологічні нормативи та механізми визначення рівня забруднення довкілля не гарантують поліпшення стану довкілля. Дослідження, спрямовані на оцінку ефективних та економічно доцільних методів визначення рівня забруднення локальних міських територій є актуальним. Результати таких досліджень потрібні практиці, тому що дозволять пов'язувати стан довкілля із врахуванням наслідків прийнятих місцевою владою рішень.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Рівень забруднення атмосферного повітря автотранспортом в містах залежить не лише від джерел та обсягів викидів забруднюючих речовин. Особливості транспортної інфраструктури та просторова забудова локальних територій значною мірою можуть визначати атмосферні процеси та формування мікроклімату міського середовища. Стаціонарні пости спостережень не враховують ці фактори. Для оцінки якості атмосферного повітря, за умов відсутності чи неповноти даних, найкращим рішенням є використання розрахункових методів моніторингу, які дозволять врахувати визначальні фактори для формування та просторового поширення забруднення, обумовленого автомобільним транспортом. Визначення вулично-дорожніх ділянок дозволить змодельовувати ступінь та характер забруднення атмосферного басейну міського середовища на окремих територіях. Такі дані допоможуть міській владі розробити комплекс заходів для попередження погіршення екологічної обстановки транспортних перехресть і виникнення небезпеки для населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В наукових дослідженнях мінімізація наслідків забруднення повітря автотранспортом розглядається в декількох напрямках. В окремих дослідженнях [1, 2] аналізується рішучість населення платити за скорочення викидів парникових газів за рахунок податків на автомобілі. На основі отриманих даних

місцева влада може формувати екологічну політику з економічними обмеженнями для пересічних громадян у відношенні користування приватними автомобілями. Автори пропонують використовувати ринковий підхід у якості кількісної оцінки ефективності екологічної політики. Розуміння впливу міської транспортної інфраструктури на якість довкілля визначає ефективність використання екологічної оцінки під час формування політики муніципальної влади стосовно планування розбудови вулично-транспортної мережі [3]. В окремих дослідженнях відбувається аналіз різновидів автотранспорту з точки зору їх внеску у забруднення міського повітря. Зокрема, моделювання ширшого використання громадського транспорту показало його значний внесок у вирішенні міських заторів, економії пального та викидів парникових газів [4].

На основі даних екологічного моніторингу визначається рівень та спектр забруднюючих речовин в міському повітряному басейні без урахування особливостей транспортних потоків. В окремих дослідженнях по визначенню екологічних індикаторів у плануванні транспортних потоків в містах Іспанії. виявлено слабкі зв'язки між екологічними та транспортними службами місцевої влади та складність їх поєднання [5].

У роботі українських науковців [6] визначено завантаженість перехресть вулиць міста автомобільним транспортом, розраховано коефіцієнт концентрації чадного газу (CO) на окремих перехрестях автомагістралей, складено картосхему інтенсивності забруднення перехресть вулиць Львова викидами CO. Автори пропонують новий підхід до визначення рівня забруднення на міських транспортних потоках. Зокрема, вимірювати рівень забруднення повітря в межах забудованих територій, що прилягають до магістральних вулиць, а з метою поліпшення стану міського атмосферного басейну заборонити використання домішок тетраетилсвинцю в пальному. Проблема поліпшення якості міського атмосферного повітря можлива завдяки технічним рішенням. Для очищення вихлопних газів рухомої техніки пропонується використовувати метанол. Метанол є визнаним відновлюваним джерелом енергії. У контексті вуглецевої нейтральності автори оцінюють техніко-економічний аналіз застосування метанолу в двигунах внутрішнього згорання з різних аспектів, а також вплив спалювання метанолу в двигунах внутрішнього згорання на викиди [7].

Сучасні методи оцінювання стану навколишнього природного середовища, оцінки екологічного ризику та ризику для здоров'я населення, методи визначення антропогенного навантаження на стан передбачають застосування методів інтегральних та комплексних оцінок стану природних екосистем та екологічного ризику [8]. На основі методології оцінки ризику для здоров'я населення, проведено розрахунок забруднення для 28 автодоріг та 6 пере-

хресть м. Києва. В дослідженні структури, інтенсивності та особливостей руху транспортних потоків визначено рівень ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва. Сумарний неканцерогенний ризик (НІ) для умов хронічного впливу визначено в діапазоні від $4,04E-02$ до $5,43E+00$, що свідчить про можливість зростання частоти негативних реакцій з боку органів дихання в 1,5–5,4 рази [9].

Інтегроване управління забрудненням повітря та викидами вуглецю має вирішальне значення для збереження стабільності екосистеми та здоров'я населення. Аналіз впливу спрямованої екологічної політики влади на скорочення викидів вуглецю та якість повітря показує значну географічну неоднорідність у її реалізації. Ключовою мотивацією для формування політики скорочення викидів вуглецю та політики контролю якості повітря є економічна успішність країни. Цей фактор також безпосередньо впливає на захворюваність на респіраторні захворювання [10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Слід зазначити, що більшість наукових досліджень зосереджені виключно на вивченні екологічних наслідків від руху автотранспорту в межах міських екосистем. Недостатньо вивчені шляхи адаптації транспортної інфраструктури українських міст до вимог сучасного екологічного законодавства. Наукового обґрунтування потребує вивчення інтенсивності транспортних потоків та їх обмеження в умовах сучасної розбудови міського середовища. В умовах переходу до сталого розвитку суспільства більшої уваги необхідно приділяти використанню інструментів екологічного менеджменту муніципалітетів. Впровадження результатів екологічного моніторингу в розробку адміністративних заходів міської влади з метою поліпшення стану атмосферного

повітря та оптимізації транспортних потоків поки спостерігається лише в окремих містах України. Визначенню перспектив використання комплексу даних екологічного моніторингу у поєднанні з особливостями транспортної інфраструктури міст для підвищення ефективності управлінських рішень присвячена стаття.

Новизна. Розроблені управлінські заходи по зниженню рівня забруднення міського атмосферного басейну з використанням розрахункових методів екологічного моніторингу та особливостей транспортної мережі м. Черкаси.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Дослідження проводилися на основі опрацювання наукових, нормативних та методологічних літературних джерел за тематикою статті.

Виклад основного матеріалу. Вивчення впливу вуличної транспортної системи на формування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту в міському середовищі проводилось в м. Черкаси. Стан довкілля у місті загалом характеризується як стабільний. Забудова міських мікрорайонів, розміщення на березі водосховища та особливості територіального розташування промислового комплексу призводять до формування особливого метеорологічного режиму [11]. Низький потенціал до розсіювання шкідливих домішок в атмосфері через слабовітряну погоду та невелику кількість опадів спричиняє ризики забруднення атмосферного повітря над містом. Динаміка змін комплексного індексу забруднення атмосфери (ІЗА) по місту за останні 8 років свідчить про підвищений рівень забруднення міського атмосферного басейну. У 2023 році ІЗА в обласному центрі склав 6,54 (рис. 1).

Для обласного центру характерна наявність значного автомобільного парку (на 1000 населення припадає більше 200 автомобілів, не враховуючи транзитного транспорту). Протяжність міських доріг

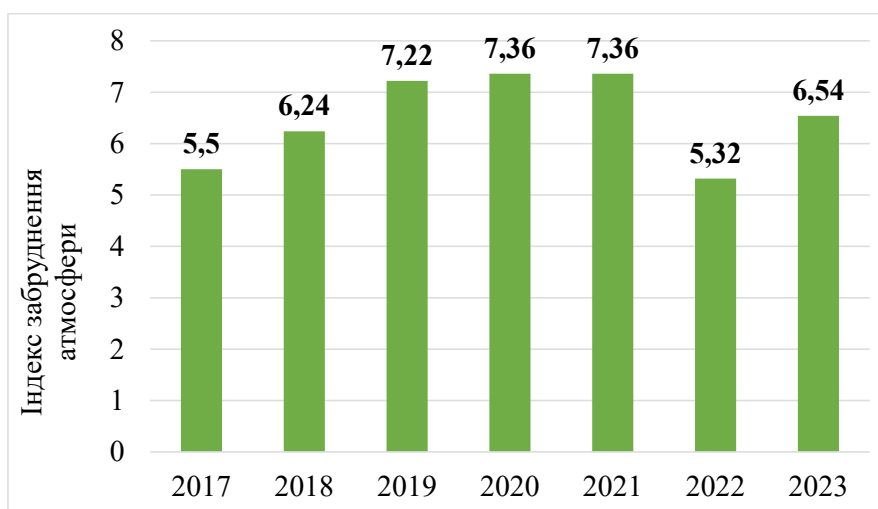


Рис. 1. Динаміка змін комплексного індексу забруднення атмосфери по м. Черкаси за 2017–2023 роки

із твердим покриттям становить 270,1 км. Через місто проходить національна автомобільна дорога Золотоноша Черкаси – Сміла – Умань (Н–16) та автотраса регіонального значення Канів – Кременчук. В Черкасах є кілька великих транспортних артерій: бульвар Шевченка, вулиці Благовісна, Чорновола та Смілянська (рис. 2).

Транспортне районування території міста характеризується наявністю 81 житлових, 8 промислових та 9 рекреаційно-відпочинкових транспортних районів. У місті встановлено 94 світлофорів. Одне стандартне перехрестя має 16 світлофорів: 8 транспортних на 24 лампи та 8 пішохідних на 16 ламп. У 2022–2023 рр. було проведено повну заміну світлофорів по бульвару Шевченка, вулицях Смілянська і Сумгайтська. Для забезпечення річного обсягу поїздок по місту потрібно: 78 тролейбусів, 74 автобуси великої місткості та 53 автобуси малої місткості. Насьогодні міський електричний транспорт обслуговує 26 маршрутів та налічує 97 одиниць тролейбусів, значна частка яких вичерпала терміни експлуатації.

Для визначення пріоритетних завдань по оптимізації транспортного руху було проведено комплексне дослідження завантаженості дорожньої мережі міста з урахуванням екологічних та санітарно-гігієнічних наслідків для довкілля та здоров'я черкащан. Дослідження проводили на 10-ти дослідних ділянках, які максимально охоплювали транспортну інфраструктуру м. Черкаси. При виборі ділянок було враховано наявність та відстань до забудови, характер руху (напрямок, кількість смуг, їх розділення), ширину проїжджої частини, діагональ перехрестя та рівень навантаження на дорожню мережу (табл. 1).

Для визначення максимального транспортного навантаження на обраних ділянках проводили спостереження протягом робочого тижня в години «пік»: з 8 до 11 та з 16 до 19 год. Інтенсивність руху автотранспорту визначали методом підрахунку різних типів автомобілів на 1 годину. Щільність транспортних потоків по дорожній мережі міста представлена на рисунку 3.

Найбільш завантаженими ділянками дорожньої мережі у місті є перехрестя в центральній частині міста на бульварі Шевченка, вулицях Смілянській, Надпільній. Під час спостережень спостерігали швидке утворення заторів в цих ділянках міської транспортної мережі, особливо в ранкові години-пік.

Для аналізу структури транспортного потоку враховували основні категорії транспортних засобів: легкові і вантажні автомобілі, автофургони, автобуси. В структурі автотранспортних засобів переважають легкові автомобілі – 72%. Автобуси складають 14%, автофургони – 10%, а на долю вантажівок припадає біля 4% (рис. 4).

Частка легкових автомобілів в структурі транспортних потоків є найбільшою на всіх ділянках, на яких проводилися дослідження і змінювалася від 579 до 1446 одиниць за годину у години пікового навантаження. Чисельність цієї категорії транспортних засобів в 10–20 разів більша за інші. Значна частка автофургонів в структурі автомобільних засобів зафіксована на ділянці 7,8. Вантажний транспорт рухається переважно по транспортних артеріях на вулицях проспект Хіміків, Надпільна, Сумгайтська (рис. 5).

Частка автобусів у перевезенні містян становить 80% всього громадського транспорту, що свід-

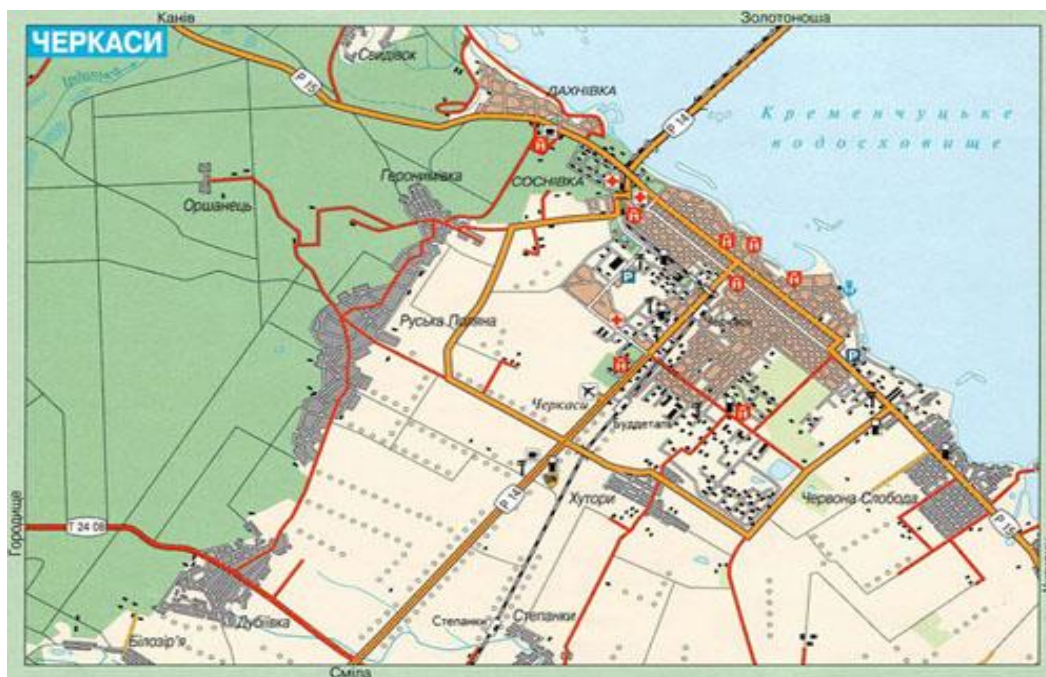


Рис. 2. Мапа автомобільних доріг м. Черкаси

Таблиця 1

Характеристика дослідних ділянок вулично-дорожньої мережі міста

Назва вулиці	Перехрестя (вулиця)	№ ділянки	Характер руху	Ширина дороги, м	Діагональ перехрестя, м	Відстань до забудови, м
Бульвар Шевченка	Смілянська	1	4-смугова, різнонаправлена	7	45	5
	Грушевського	2		7	45	7
	С. Бандери	3		7	47	6
Смілянська	Надпільна	4	4-смугова, різнонаправлена	12	13	11
	Проспект Перемоги	5		10	14	26
Чорновола	Благовісна	6	4-смугова, різнонаправлена	8	8	11
	Проспект Хіміків	7		10	14	30
Надпільна	Кобзарська	8	2-смугова, однонаправлена	8	10	9
	Пастерівська	9		8	11	8
Сумгайтська	Одеська	10	4-смугова, різнонаправлена	12	15	24

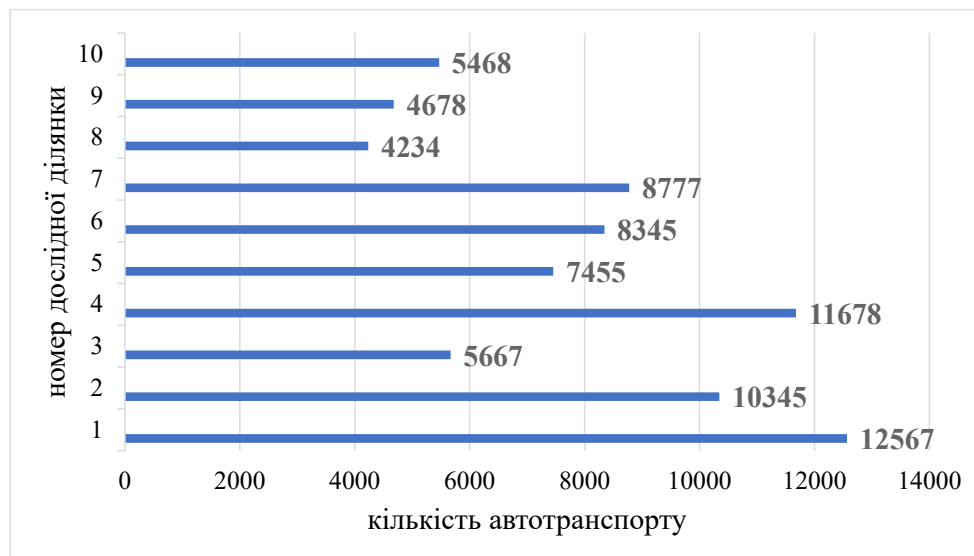


Рис. 3. Добова інтенсивність руху транспортних засобів на перехрестях за день (в одиницях)

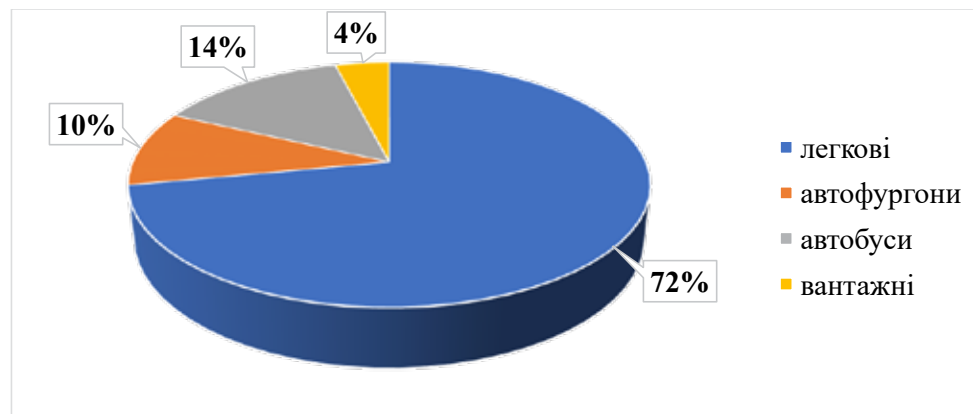


Рис. 4. Структура автотранспорту, що проходить по вулично-дорожній мережі м. Черкаси

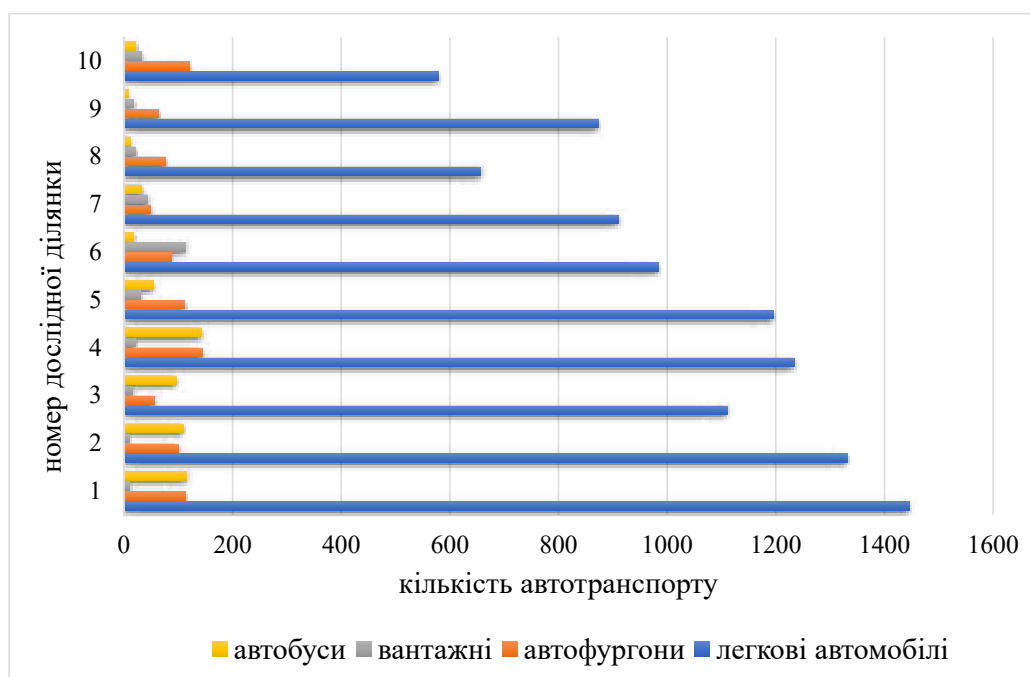


Рис. 5. Чисельність різних категорій автотранспорту в міському транспортному потоці за годину

чить про вагомий внесок цих транспортних засобів в забруднення атмосферного повітря. Пасажирська транспортна система міста Черкаси налічує 17 радіальних автобусних маршрутів, що сполучають околиці міста з центральним кільцем та 8 хордових, які сполучають між собою райони міста. Загалом містом курсує 182 автобуси [13]. Маршрутна сітка руху громадського транспорту в місті була сформована в 1990-х рр. за відсутності регуляції зі сторони міських органів влади з метою отримання максимальних прибутків при мінімальних витратах. Наслідком є її нерациональність: більшість маршрутів автобусів проходить через центральні вулиці (Шевченко, Смілянська), деякі з них дублюються тролейбусами.

Для визначення внеску транспортної мережі міських агломерацій у забруднення атмосферного басейну використовували розрахункові методи екологічного моніторингу [14]. Визначення питомої емісії забруднюючих речовин проводили за методикою [15] за 7-ми речовинами: CO , NO_x , SO_2 , вуглеводні (C_nH_m), сажа, формальдегід, бенз(а)пірен. Для визначення рівня хімічного забруднення атмосферного повітря на дослідних ділянках використовували методику розрахунку викидів автотранспорту в районі регульованого перехрестя ОНД-86. Інтенсивність забруднення i -ою забруднюючою речовиною M_{p_i} в зоні перехрестя при заборонному сигналі світлофора визначали за основною формулою методики:

$$M_{p_i} = \frac{P}{40} \cdot \sum_{n=1}^{N_C} \sum_{k=1}^{N_{gr}} (M_{p_{i,k}} \cdot G_{k,n}), \quad (1)$$

де P (хв) – тривалість дії заборонного сигналу світлофора (включаючи жовтий колір);

N_C – кількість циклів дії заборонного сигналу світлофора за 20-хвилинний період часу;

N_{gr} – кількість груп автомобілів;

$M_{p_{i,k}}$ – питомий викид i -ої забруднюючої речовини автомобілями, k -ої групи, що знаходяться в «черзі» при заборонному сигналі світлофора;

$G_{k,n}$ – кількість автомобілів k -ої групи, що знаходяться в «черзі» в зоні перехрестя в кінці n -го циклу заборонного сигналу світлофора.

Компонентний склад сумарних викидів шкідливих речовин в залежності від кількості та типу автомобілів на перехрестях визначали за допомогою усереднених питомих викидів двигунів транспортних засобів (г/хв), що враховують режим руху автомобілів в районі перетину перехрестя (гальмування, холостий хід, розгін) [16].

Для визначення ступеню забруднення повітря розрахована на дослідних ділянках концентрація поллютантів порівнювалась з їх ГДК. Результати розрахунків показані у табл. 2.

На всіх дослідних ділянках відмічається значне забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Викиди поллютантів по кожній з ділянок корелюються з активністю автотранспортного потоку на них і довгим часом заборонного сигналу світлофора. Зокрема, перехрестя вул. Чорновола – проспект Хіміків характеризується середньою інтенсивністю транспортного потоку, але має більші значення викидів забруднюючих речовин через значну тривалість заборонного сигналу світлофора.

Найбільший вплив на концентрацію шкідливих викидів в повітрі на перехрестях з урахуванням коефіцієнту токсичності транспортних засобів мають

Таблиця 2

**Розрахункова концентрація забруднюючих речовин в зоні досліджуваних перехресть
та значення ГДК для речовин**

№	Ранг за рівнем забруднення	Викид забруднюючої речовини, мг/м ³						
		CO	NO _x (NO ₂)	C _n H _m	Сажа	SO ₂	CH ₂ O	Бенз(а)-пірен
1	II	33,82	1,18	7,22	1,47	0,32	0,52	2,16 · 10 ⁻⁶
2	V	16,76	0,60	3,58	0,75	0,17	0,25	1,1 · 10 ⁻⁵
3	X	7,0	0,25	1,21	0,22	0,06	0,04	1,04 · 10 ⁻⁶
4	I	38,20	1,37	8,56	1,69	0,35	0,84	2,35 · 10 ⁻⁶
5	VI	9,74	0,31	1,90	0,37	0,09	0,11	5,68 · 10 ⁻⁶
6	III	23,03	0,79	4,81	0,97	0,23	0,34	1,4 · 10 ⁻⁶
7	IV	19,60	0,70	4,18	0,87	0,20	0,31	1,2 · 10 ⁻⁵
8	IX	7,21	0,25	1,27	0,24	0,06	0,05	1,05 · 10 ⁻⁶
9	VII	7,31	0,28	1,32	0,25	0,07	0,15	1,31 · 10 ⁻⁶
10	VIII	7,3	0,26	1,27	0,25	0,07	0,1	1,05 · 10 ⁻⁶
ГДК		5	0,2	1	0,15	0,5	0,035	0,1 · 10 ⁻⁶

автобуси з бензиновим та дизельним двигуном. Це властиво для всіх груп шкідливих викидів. На обсяги викидів NO₂ суттєвий вплив мають автобуси та вантажівки з дизельним двигуном [17]. Викиди сажі та оксидів сірки в придорожнє повітря транспортних магістралей пов'язані з роботою дизельних двигунів більшості вантажного транспорту, автофургонів та автобусів.

Головним чинником збільшення чи зменшення інтенсивності викидів у повітря є категорії автотранспорту та час заборонного сигналу світлофору (чим довше сигнал, тим більший час роботи автомобіля в режимі холостого ходу). Зменшення сигналу на 30% може сприяти зниженню концентрації шкідливих речовин (CO, NO₂, CH та SO₂) у декілька разів.

Розрахунок розсіювання чадного газу, як основного складового вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння, проводили з використанням моделі розсіювання Гауса на основі методики ОНД-86 та за допомогою «Gaussian Dispersion Model Calculator». В основу розрахунку було покладено Гауссову модель розподілу в атмосфері забруднюючих речовин, що надходять від автотранспорту. Результати розсіювання оксиду карбону (ГДК_{сд}=3мг/м³) в залежності від відстані до дорожнього полотна представлені на рис. 6.

Для забудови в районі транспортних магістралей міста, які характеризуються найбільш інтенсивним транспортним рухом (дослідні ділянки 1,4), власне стійке забруднення повітря в зоні до 100 м від

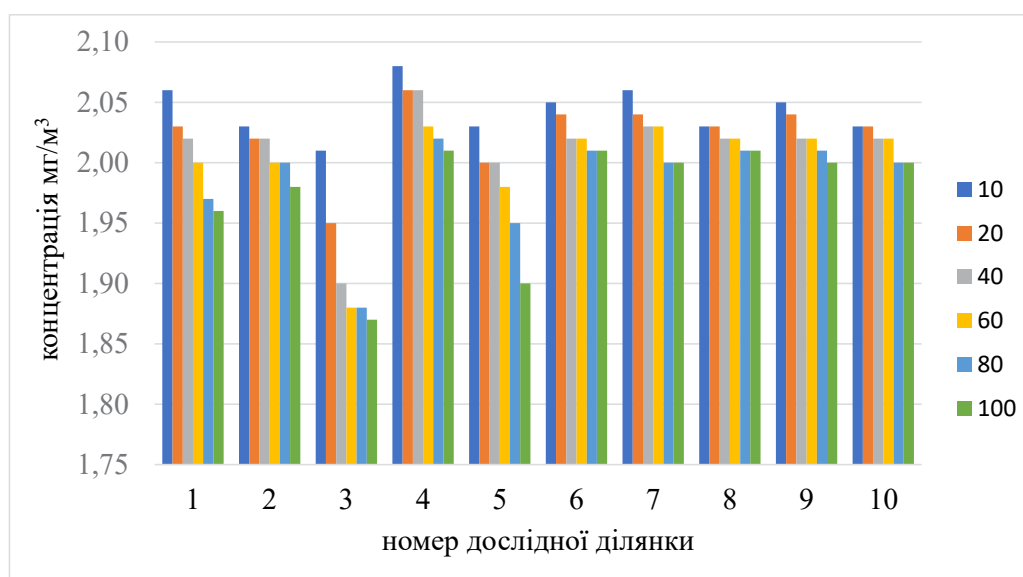


Рис. 6. Розсіювання чадного газу в межах дослідних ділянок залежно від відстані до дорожнього полотна (в метрах)

проїзної частини вулиць. Отже, рівень забруднення повітря в зонах впливу міських вулиць прямо пропорційний щільності транспортних потоків та швидкості руху автомобілей. Занижені показники розсіювання вихлопних газів пов'язані із режимом роботи холостого ходу двигунів під час стояння на перехрестях, а також із малими швидкостями вітру і штілями, які характерні для міста Черкаси.

Розрахунок акустичних рівнів ділянок за інтервал в двадцять чотири години було розділено на чотири основні періоди доби: ранок, обід, вечір та ніч. На всіх ділянках в кожен період спостережень було обрано по три точки та проведено відповідні заміри постійного (фонового), непостійного еквівалентного та імпульсного шуму, а також мінімальні та макси-

мальні акустичні рівні. За результатами дослідження було оцінено шумове навантаження кожної з дослідних ділянок. Вимірювання рівнів звуку проводилося шумоміром Октава 101-А. Результати акустичного стану дослідних ділянок представлені у табл. 3.

Еквівалентний (за енергією) рівень в звуку $L_{A_{екв}}$, дБА визначали за формулою 2.

$$L_{A_{екв}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{Ai}} \right], \quad (2)$$

Результати розрахунків представлені на рис. 7.

Аналіз результатів вимірювань та порівняння їх з нормативними вимогами, показало, що найбільш значні перевищення шумового навантаження відмічені на транспортних артеріях міста: бульвар

Таблиця 3

Фонові, максимальні та мінімальні значення шуму досліджуваних територій

№ ділянки	Період доби Точка	Ранок 07:00–08:00	Обід 13:00–04:00	Вечір 19:00–20:00	Ніч 21:00–22:00
		Фонове значення постійного шуму (min/max), дБА			
1	1	31(9/61)	26(5/69)	11(2/44)	10(2/41)
	2	14(6/32)	13(6/29)	8(1/25)	7(1/22)
	3	12(7/39)	11(4/41)	8(3/27)	6(2/21)
2	1	20(9/54)	18(7/57)	13(4/57)	16(4/46)
	2	25(7/57)	24(7/57)	14(4/51)	13(4/57)
	3	14(5/41)	19(5/50)	5(1/22)	9(4/32)
3	1	25(14/61)	26(8/54)	28(11/56)	14(9/47)
	2	8(3/31)	6(3/27)	7(4/25)	4(3/20)
	3	14(5/48)	11(4/45)	14(3/25)	8(4/30)
4	1	9(5/37)	12(6/42)	10(4/36)	5(4/26)
	2	22(9/49)	28(12/52)	24(10/42)	13(2/26)
	3	19(9/38)	24(11/44)	19(8/38)	8(4/23)
5	1	13(5/41)	15(6/45)	12(5/40)	7(3/34)
	2	20(6/45)	22(7/48)	21(6/44)	11(5/36)
	3	11(4/29)	13(5/31)	10(4/27)	6(4/21)
6	1	13(4/46)	14(5/43)	20(5/49)	7(4/23)
	2	31(15/70)	30(12/68)	23(8/71)	18(12/59)
	3	6(4/27)	5(3/26)	5(4/29)	3(1/21)
7	1	27(15/63)	24(13/61)	26(11/59)	11(5/42)
	2	13(7/27)	15(5/32)	19(5/34)	5(3/20)
	3	13(9/38)	16(5/35)	11(4/31)	5(3/27)
8	1	14(6/31)	17(6/40)	10(4/38)	5(3/35)
	2	21(8/46)	25(8/51)	15(8/34)	9(3/38)
	3	10(4/31)	15(7/33)	10(3/32)	5(3/19)
9	1	13(4/46)	14(5/43)	20(5/49)	7(4/23)
	2	33(16/72)	35(12/78)	22(10/72)	8(10/55)
	3	7(5/28)	8(4/27)	5(4/25)	3(2/20)
10	1	17(10/65)	14(11/64)	16(11/59)	9(5/45)
	2	13(8/28)	16(4/42)	21(5/38)	5(2/22)
	3	15(9/33)	16(7/37)	12(4/29)	4(3/26)

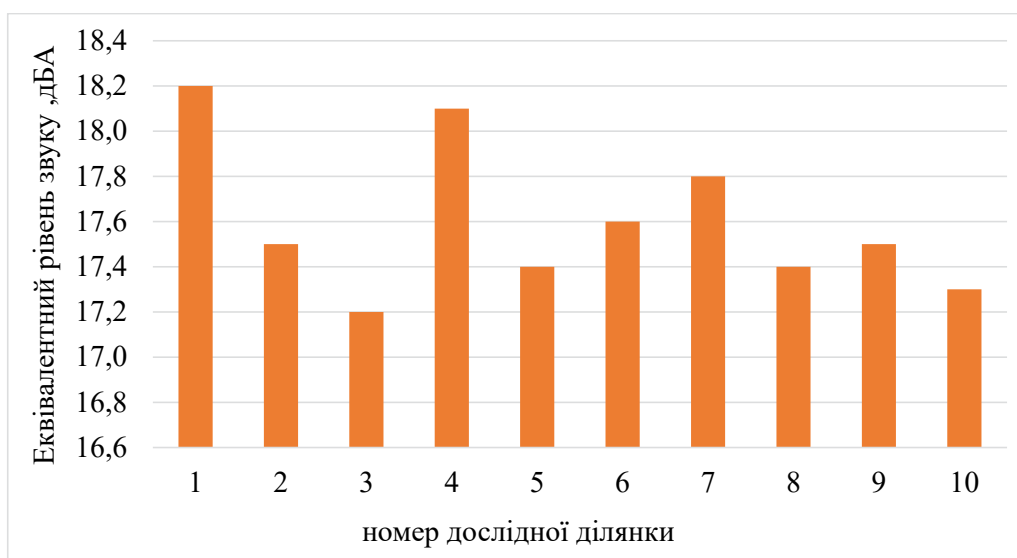


Рис. 7. Еквівалентні рівні звуку на дослідних ділянках (дБА)

Шевченка Смілянська, Надпільна, Проспект Хіміків. Найвищі рівні шуму спостерігаються в ранковий та обідній період – відрізок часу із найвищою інтенсивністю руху автотранспорту.

Для розробки управлінських заходів по поліпшенню транспортної інфраструктури міста та зменшенню її тиску на довкілля та здоров'я містян на основі системного підходу були визначені найбільш проблемні ділянки вулично-дорожньої мережі м Черкаси (табл. 4). За розрахованою концентрацією емісійних газів перші місця в рейтингу займають вулиці з інтенсивним транспортним потоком громадського транспорту і щільною забудовою (дослідні ділянки 1, 4). Історичними особливостями міської забудови є забудова висотними будинками території вздовж вулично-дорожньої мережі. Це зумовлює затримання акустичних шумів для внутрішніх буди-

вель, але не сприяє швидкому розсіюванню забруднень. Інтенсивний транспортний трафік в умовах щільного розміщення світлофорів свідчить про нерациональну та застарілу експлуатацію міської дорожньої мережі м. Черкаси.

Додатковим чинником антропогенного навантаження на атмосферний басейн є побудова автобусних маршрутів з дублюванням руху електротранспорту [18, 19].

Мінімізація негативного екологічного впливу на атмосферне повітря міста Черкаси через застарілу та неефективну експлуатацію транспортної інфраструктури повинна забезпечуватися широким комплексом взаємопов'язаних заходів (табл. 5).

З метою ефективної модернізації вулично-дорожньої мережі та покращення якості атмосферного повітря м. Черкаси муніципальною владою було

Таблиця 4

Результати комплексного аналізу навантаження на вулично-дорожню мережу м. Черкаси

№ ділянки	Транспортне навантаження				Емісія поллютантів				Акустичне забруднення			
	дуже високе	високе	середнє	низьке	дуже високе	високе	середнє	низьке	дуже високе	високе	середнє	низьке
1	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-
2	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
3	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+
4	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
5	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
6	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
7	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
8	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
9	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
10	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+

прийнято рішення про утворення спільного департаменту дорожньо-транспортної інфраструктури та екології Черкаської міської ради. Поєднання дорожніх та екологічних служб є свідченням розуміння необхідності комплексного підходу із застосуванням екологічного моніторингу до вирішення міських проблем

Головні висновки. На основі досліджень визначенні найбільш завантажені ділянки транспортної мережі м. Черкаси. Аналіз структури трафіку на міських автотрасах показав, що найбільшу його частку складають легкові автомобілі, друге місце складають автобуси. Маршрутна сітка руху громадського транспорту в місті була сформована в 1990-х рр. за відсутності регуляції зі сторони міської влади з метою отримання максимальних прибутків при мінімальних витратах. Більшість маршрутів проходить через центральний район міста, що провокує забруднення атмосферного басейну та створює значний тиск на вулично-дорожню інфраструктуру.

Визначення концентрації забруднюючих речовин в зоні досліджуваних ділянок показало значне забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту. Найбільші перевищення отримані

на вулицях з інтенсивним рухом автомобільного транспорту і довгим часом заборонного сигналу світлофору. Покращення екологічного стану перехресть може бути досягнуто завдяки оптимізації транспортних потоків із застосуванням інтелектуальних транспортних систем. Для усунення екологічної проблеми загазованості перехресть необхідно зменшувати інтенсивність транспортних потоків через транспортні розв'язки та проведення транспортної реформи громадського транспорту.

Використання розрахункових методів екологічного моніторингу може бути використано на стадії проведення екологічного аудиту стану міської дорожньо-транспортної системи і не потребує додаткового фінансування. Це дає можливість ідентифікувати існуючі проблеми, визначити пріоритетність вирішення та розробити управлінські заходи по їх втіленню.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати досліджень будуть корисними для працівників фахових відділів міської виконавчої влади при вирішенні конкретних практичних проблем по поліпшенню атмосферного повітря.

Таблиця 5

Управлінські рішення на основі комплексного аналізу міського транспортного руху

Визначення проблем	Екологічні наслідки	Заходи по зменшенню негативного тиску
Недоцільно щільне використання світлофорів на автомагістралях	Збільшення обсягів емісійних газів під час холостого ходу у заторах на перехрестях в центральній частині міста	Зміна циклограм світлофорів на проблемних ділянках. Продовження часу зеленого світла по Хрещатику в напрямку центру, для розвантаження трафіку у центральному районі у вечірній час. На перехресті вулиць з найбільшою щільністю транспортного потоку подовжити "зелений" для зменшення час очікування перетину та попередження утворення заторів.
Значна кількість автобусів в структурі громадського транспорту	Значні викиди сполук сірки та сажі при роботі дизельних двигунів	Заохочення власників автопарку, що займаються міськими перевезеннями, переходити на сучасні моделі міського транспорту з використанням більш екологічно чистих видів пального; включення в Положення про конкурс приватних автоперевізників та договори з ними екологічних вимог.
Нераціональна побудова автобусних маршрутів	Підвищений негативний тиск на атмосферне повітря в центральній частині міста; Високе шумове забруднення	розробка та впровадження транспортної реформи в місті, яка б враховувала особливості транспортної мережі міста та відповідала б сучасним вимогам ЄС до організації міських перевезень Встановлення інтелектуальної системи моніторингу дорожнього руху громадського транспорту
Рух вантажних автомобілів по автомагістралях міста	Збільшення щільності транспортного потоку на міських дорогах; Навантаження та дорожнє полотно із прискореною його руйнацією; Додаткове акустичне навантаження	Розробка проекту та виділення коштів на побудову об'їзної дороги для вантажного транспорту, зокрема з проспекту Хіміків відразу за межі міста

Література

1. Zahedi S., Batista-Foguet J. M., van Wunnik L. Exploring the public's willingness to reduce air pollution and greenhouse gas emissions from private road transport in Catalonia. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 646. P. 850-861. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.361>
2. Niek Mouter. Standard transport appraisal methods. *Advances in Transport Policy and Planning*. Academic Press. 2021. Vol. 7. P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2021.02.001>
3. Hugh Thomas, André Cabrera Serrenho Using different transport modes: An opportunity to reduce UK passenger transport emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2024. Vol.126. 103989. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103989>.
4. AlKheder S. Promoting public transport as a strategy to reduce GHG emissions from private vehicles in Kuwait. *Environmental Challenges*. 2021. Vol. 3. P. 100075. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100075>.
5. Soria-Lara, J. A., Bertolini, L., & te Brömmelstroet, M. Environmental impact assessment in urban transport planning: Exploring process-related barriers in Spanish practice. *Environmental Impact Assessment Review*. 2015. Vol. 50, 95-104. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.001>
6. Петровська М. Морквич В. Аналіз впливу автотранспорту на забруднення атмосферного повітря перехресть вулиць Львова монооксидом карбону. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*, 2014. Вип. 47, 217-223. Режим доступу: https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2015/02/visnyk-47_2014.pdf
7. Zhi Tian, Yang Wang, Xudong Zhen, Zengbin Liu The effect of methanol production and application in internal combustion engines on emissions in the context of carbon neutrality: A review. *Fuel*. 2022. Vol. 320, 123902. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123902>.
8. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Артем'єв С.Р. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія. Харків, НУГЗУ, 2015. 419 с.
9. Ананьєва О. В. Оцінка ризику для здоров'я населення, обумовленого викидами автомобільного транспорту, на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва Довкілля та здоров'я. 2017. № 82 (2), 44-49 с. <https://doi.org/10.32402/dovkil2017.02.044>
10. Qianwen Li, Tingyu Qian, Hui Wang, Longhao Bai, Environmental forcing and policy synergy: A multidimensional approach in the governance of air pollution and carbon emission. *Environmental Research*. 2024. Vol. 261, 119747. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119747>.
11. Боярин М.В., Нетробчук І.М., Савчук Л.А. Аналіз впливу автотранспорту на стан атмосфери міських ландшафтів (на прикладі м. Луцьк). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2016. С. 54-58.
12. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2023 році. Управління екології та природних ресурсів ЧОДА. 2024. 227 с. URL: <https://ck-oda.gov.ua/ekologiya/>
13. Офіційний портал Черкаської міської ради, міського голови, виконавчого комітету. URL: <https://chmr.gov.ua/ua/>
14. Ящук Л.Б. Можливості розрахункових методів моніторингу при визначенні екологічної доцільності в організації міських транспортних потоків. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2022. Т. 27. № 1. С. 47-54. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2022.259092>
15. ДСТУ 4277:2004. Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі. На заміну ГОСТ 17.2.2.03-87 ; чинний від 2004-07-01. Вид. офіц. Київ, 2024. – 12 с.
16. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств (ОНД-86)., *Госкомгідромет*, 1987. 68 с.
17. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. К.: НАУ, 2017. 507 с.
18. Корольчук І.Є., Пидоченко О.П., Біліченко В.В. Вдосконалення маршрутної мережі пасажирських перевезень та аналіз її результатів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. матеріалів VIII Міжнар. наук.-практич. конф: ВНТУ, 19-21 жовт. 2015 р. Вінниця. С. 113-115.
19. Бойко В.В. Удосконалення логістичної системи управління муніципальним транспортом. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2020. Т 25. № 1. С. 19-26. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.1.2020.193005>.