
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 504.064.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.7>

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ЯК МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АВТОТРАНСПОРТОМ

Галактіонов М.С., Бредун В.І.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Першотравневий проспект, 24, 36011, м. Полтава

nikolay@galaktionov.com

У статті досліджується проблема впливу автотранспорту на якість атмосферного повітря у міських умовах, зокрема в промислових регіонах, таких як Кривий Ріг. Автомобільний транспорт є одним із головних джерел забруднення, що обумовлює необхідність розробки нових підходів до управління транспортними потоками з метою мінімізації викидів шкідливих речовин. Висвітлено ключові аспекти проблеми, включаючи утворення заторів, неефективні режими роботи двигунів та недостатню інтеграцію екологічних критеріїв у системи регулювання руху.

Основна увага приділена розробці комплексної схеми управління якістю повітря, яка базується на інтеграції сучасних інструментів моніторингу, прогнозування та управління транспортними потоками. Система передбачає використання системи моніторингу забруднення повітря, погодних умов та характеристик дорожнього руху. Отримані дані аналізуються для розробки оперативних та стратегічних управлінських рішень, що спрямовані на зменшення екологічного навантаження.

У роботі наголошено на важливості впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS), які дозволяють оперативно регулювати дорожній рух та перенаправляти транспортні потоки залежно від рівня забруднення та трафіку. Серед інших заходів виділено розвиток інфраструктури для екологічно чистого транспорту, зокрема електромобілів і велосипедів, стимулювання використання альтернативних видів палива, покращення громадського транспорту та популяризацію «зелених зон» у містах.

Результати дослідження підкреслюють важливість переходу від традиційних методів оптимізації руху, які орієнтовані виключно на зменшення заторів і часу в дорозі, до більш збалансованого підходу, що враховує екологічні наслідки. Запропонована схема управління якістю повітря забезпечує комплексне вирішення екологічних та транспортних проблем і є адаптивною до умов великих міст із промисловим навантаженням. Її впровадження дозволить не лише зменшити рівень забруднення повітря, але й підвищити ефективність транспортної системи, поліпшити якість життя мешканців і сприяти сталому розвитку.

Таким чином, у статті визначено пріоритети для вдосконалення транспортної політики, що включають інтеграцію екологічних критеріїв, розвиток альтернативних видів транспорту, підвищення енергоефективності та застосування сучасних цифрових технологій для регулювання дорожнього руху. *Ключові слова:* забруднення повітря, оптимізація транспортних потоків, викиди автотранспорту, інтелектуальні транспортні системи, екологічний вплив, міський трафік.

Optimization of traffic flows as a method for reducing air pollution from vehicles. Halaktionov M., Bredun V.

This article examines the impact of vehicles on air quality in urban areas, particularly in industrial regions such as Kryvyi Rih. Vehicular transport is one of the main sources of pollution, necessitating the development of new approaches to traffic management aimed at minimizing emissions of harmful substances. Key aspects of the problem are highlighted, including traffic congestion, inefficient engine operating modes, and insufficient integration of environmental criteria into traffic regulation systems.

The main focus is on developing a comprehensive air quality management scheme based on the integration of modern tools for monitoring, forecasting, and traffic management. The system includes the use of air pollution monitoring systems, weather conditions, and traffic characteristics. The collected data is analyzed to develop operational and strategic management decisions aimed at reducing environmental burdens.

The study emphasizes the importance of implementing intelligent transportation systems (ITS) that allow for real-time regulation of traffic and redirection of flows depending on pollution levels and traffic density. Among other measures, the development of infrastructure for environmentally friendly transport, such as electric vehicles and bicycles, promotion of alternative fuel use, improvement of public transport, and the establishment of "green zones" in cities are highlighted.

The results of the study underline the need to transition from traditional methods of traffic optimization, which focus solely on reducing congestion and travel time, to a more balanced approach that considers environmental impacts. The proposed air quality management scheme provides a comprehensive solution to environmental and traffic challenges and is adaptable to the conditions of large industrial cities. Its implementation will not only reduce air pollution levels but also enhance the efficiency of the transport system, improve residents' quality of life, and contribute to sustainable development.

Thus, the article identifies priorities for improving transport policy, including the integration of environmental criteria, the development of alternative transport modes, increased energy efficiency, and the application of modern digital technologies for traffic regulation. *Key words:* air pollution, traffic flow optimization, vehicle emissions, intelligent transportation systems, environmental impact, urban traffic.

Постановка проблеми. Автотранспорт є одним із основних джерел забруднення атмосферного повітря, особливо в міських умовах. В Україні, де частка автомобільних викидів становить близько 40% від загального обсягу забруднення атмосфери, ця проблема набуває особливої гостроти [1]. Важливо зазначити, що, на відміну від викидів стаціонарних джерел, які зосереджені в промислових районах, викиди від автотранспорту концентруються переважно у великих містах. У промислових центрах, таких як Кривий Ріг, сукупний негативний вплив від промислових підприємств та автомобільного транспорту призводить до надзвичайно високого рівня забруднення, що створює серйозні екологічні ризики для здоров'я мешканців та стану довкілля [2]. Постійне зростання кількості автомобілів на вулицях міст та утворення заторів лише погіршують ситуацію, оскільки призводять до збільшення часу роботи двигунів у неефективних, так званих перехідних режимах, що характеризуються підвищеною витратою палива та, відповідно, більшими викидами шкідливих речовин в атмосферу. Серед основних джерел забруднення, пов'язаних з експлуатацією автотранспорту, слід виділити вихлопні гази двигунів внутрішнього згоряння, випаровування палива, а також частинки пилу, що утворюються внаслідок зносу шин та дорожнього покриття [3].

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження впровадження заходів зі зменшення впливу автотранспорту на екологічну ситуацію зумовлена глобальною проблемою зміни клімату та забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я людей. В Україні, де викиди автотранспорту складають значну частину загального забруднення, ця проблема особливо гостра у великих містах, таких як Кривий Ріг, з їхнім промисловим навантаженням та специфічною транспортною інфраструктурою. Тому дослідження, спрямовані на зменшення цього впливу, є важливими для покращення екологічної ситуації, зміцнення енергетичної безпеки та досягнення цілей сталого розвитку [4].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження відповідають пріоритетним напрямкам розвитку безпечного, екологічно чистого та енергоефективного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій підтверджує високу актуальність проблеми якості атмосферного повітря та впливу на нього автотранспорту. Ця тема широко висвітлюється в багатьох наукових працях, що свідчить про її важливість для суспільства.

Існуючі дослідження охоплюють різні аспекти впливу автотранспорту на довкілля та здоров'я населення [5]. Зокрема, підкреслюється, що стрімка автомобілізація міст призводить до негативних наслідків, таких як ускладнення функціонування

дорожньої інфраструктури та посилення забруднення навколишнього середовища [6]. Важливим фактором впливу також визнається стан дорожньої інфраструктури, застарілість якої призводить до численних заторів у містах, що додатково погіршує екологічну ситуацію [7].

Значна увага приділяється вивченню систем моніторингу викидів транспортних засобів та пошуку шляхів вирішення проблем, пов'язаних з впливом автотранспорту на атмосферу [8]. Підкреслюється, що впровадження сучасних систем моніторингу дозволяє більш детально аналізувати викиди та своєчасно реагувати на зміни екологічної ситуації шляхом впровадження відповідних заходів.

Ряд джерел підтверджує, що автотранспорт є одним з найбільших чинників забруднення атмосферного повітря, особливо в мегаполісах [9].

Невирішені аспекти проблеми. Системи регулювання та оптимізації дорожнього руху історично були спрямовані насамперед на забезпечення безпечного, ефективного та комфортного пересування. Це означає, що основні зусилля концентрувалися на зменшенні заторів, збільшенні пропускної здатності доріг та скороченні часу перебування в дорозі. Однак, в умовах зростаючої екологічної кризи, такий однобічний підхід стає неприйнятним. Ігнорування екологічної складової призводить до того, що оптимізація руху, спрямована виключно на збільшення пропускної здатності, може супроводжуватися збільшенням викидів забруднюючих речовин, погіршенням якості повітря та негативним впливом на здоров'я населення. Тому інтеграція екологічних критеріїв у планування та управління дорожнім рухом є не просто бажаною, а життєво необхідною.

Наукова новизна. Розробка нових методів оптимізації транспортних потоків, прогнозування забруднення та модернізації транспортної інфраструктури.

Практична значущість. Можливість застосування результатів дослідження для розробки конкретних заходів та програм на місцевому та національному рівнях.

Результати дослідження. Система регулювання та оптимізації дорожнього руху є важливим елементом управління транспортною інфраструктурою в містах, зокрема й у Кривому Розі. Її основна мета – забезпечити максимально безпечне, швидке та комфортне пересування для водіїв і пасажирів. Традиційно такі системи зосереджені на вирішенні проблем заторів, покращенні пропускної здатності доріг, а також мінімізації часу, який витрачається на пересування [10].

Транспортні системи великих міст, включаючи Кривий Ріг, зазнають значних труднощів через застарілі методи управління дорожнім рухом, що не відповідають сучасним вимогам ефективності та безпеки, а також через постійне збільшення кількості транспортних засобів. Це призводить до перевантаження інфраструктури, частих заторів, збільшення тривало-

сті поїздок та погіршення якості повітря, що особливо відчутно для промислово розвиненого Кривого Рогу. Застарілі підходи, що базуються на статичних графіках роботи світлофорів або незмінних маршрутах, вже не здатні ефективно регулювати динамічні транспортні потоки великих міст. Збільшення кількості автомобілів, особливо приватних, створює додаткове навантаження на дорожню мережу Кривого Рогу, яка часто не встигає адаптуватися до цих змін.

В багатьох містах, у тому числі й в Кривому Розі, впроваджують сучасні технології, такі як інтелектуальні транспортні системи (ITS), автоматичне управління світлофорами, мобільні додатки для планування маршрутів тощо [11].

Проте під час проектування та реалізації подібних систем, екологічна складова нерідко відходить на другий план або зовсім не враховується. Це є суттєвою прогалиною, особливо в умовах сучасних викликів, пов'язаних із глобальною кліматичною кризою та дедалі більшою загазованістю повітря в містах, що є актуальним і для Кривого Рогу з його потужним промисловим комплексом. Міські транспортні мережі стають одним із головних джерел викидів парникових газів, оксидів азоту, дрібнодисперсних частинок (PM) та інших шкідливих речовин, які негативно впливають на здоров'я людей і стан навколишнього середовища, створюючи додаткове навантаження на екологію міста.

Зосереджуючись виключно на ефективності руху, транспортні системи, часто сприяють збільшенню інтенсивності трафіку. Наприклад, скорочення часу на дорогу або зменшення заторів зазвичай заохочує більше людей користуватися приватними автомобілями. Це, у свою чергу, призводить до збільшення загальної кількості транспортних засобів на дорогах і, як наслідок, до підвищення рівня викидів, що є проблемою для Кривого Рогу.

Крім того, у багатьох системах регулювання, в тому числі й у Кривому Розі, недостатньо уваги приділяється стимулюванню використання екологічно чистого транспорту. Інфраструктура для електромобілів, велосипедів чи громадського транспорту часто розвивається повільно або є недоступною для значної частини населення. В результаті домінування приватних автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння залишається переважаючою тенденцією, що посилює екологічні проблеми міста.

Таким чином, системи регулювання дорожнього руху, які не враховують екологічну складову, створюють ризик не лише поглиблення екологічних проблем, а й зниження якості життя мешканців міст. Щоб уникнути цього, необхідно змінити підхід до проектування таких систем, зробивши їх більш збалансованими та орієнтованими на сталий розвиток, що є особливо важливим для Кривого Рогу з його складним екологічним станом.

Негативний вплив транспорту на довкілля зумовлює необхідність активізації природоохоронних

заходів та раціонального використання природних ресурсів як на рівні держави, так і на рівні громадськості. Ключовими завданнями у сфері екологічної безпеки транспорту є мінімізація забруднення атмосферного повітря, зменшення шумового та вібраційного впливу, а також запобігання іншим негативним екологічним наслідкам, що є важливими аспектами для покращення екологічної ситуації.

Організаційно-правові заходи передбачають розробку та впровадження ефективних механізмів екологічної політики, забезпечення дотримання природоохоронного законодавства та екологічних стандартів. Це включає встановлення норм і вимог до транспортних засобів, якості палива та мастильних матеріалів, технічного оснащення, а також забезпечення належного стану транспортної інфраструктури, що є важливим для міста.

Для зменшення негативного впливу автомобільного транспорту на якість повітря в Кривому Розі необхідно реалізувати комплекс заходів, спрямованих на покращення екологічної ситуації.

Покращення екологічної ситуації в містах потребує комплексного підходу, що поєднує інтеграцію транспортних систем з екологічним моніторингом та прогностичними моделями, розвиток громадського транспорту та стимулювання використання екологічно чистих альтернатив, таких як електромобілі та велосипеди. Така інтеграція дозволяє не тільки враховувати вплив транспорту на якість повітря, але й оперативно реагувати на зміни ситуації. Зокрема, інтелектуальні транспортні системи (ITS), використовуючи дані з екологічних моніторингових станцій, можуть ефективно перерозподіляти транспортні потоки, зменшуючи екологічне навантаження на найбільш забруднені ділянки.

За результатами дослідження розроблена схема управління якістю повітря (рисунок 1).

Запропонована схема являє собою комплексну систему управління, спрямовану на покращення якості повітря та оптимізацію дорожнього руху шляхом інтегрованого підходу до вирішення екологічних і транспортних проблем. Система базується на кількох ключових напрямках.

Першим і основоположним напрямком є моніторинг, який забезпечує постійний контроль за станом повітря та дорожньою ситуацією. Моніторинг охоплює вимірювання концентрацій забруднюючих речовин (NO_2 , CO_2 , PM тощо) для ідентифікації критичних зон забруднення, відстеження метеорологічних умов, що впливають на розсіювання забруднень, та оцінку параметрів дорожнього руху, таких як інтенсивність транспортного потоку, швидкість руху та склад транспортних засобів (легкові, вантажні, громадський транспорт). Для ефективного збору даних передбачено використання як стаціонарних постів спостереження, що забезпечують безперервний моніторинг, так і мобільних груп для оперативного збору даних у різних точках міста.

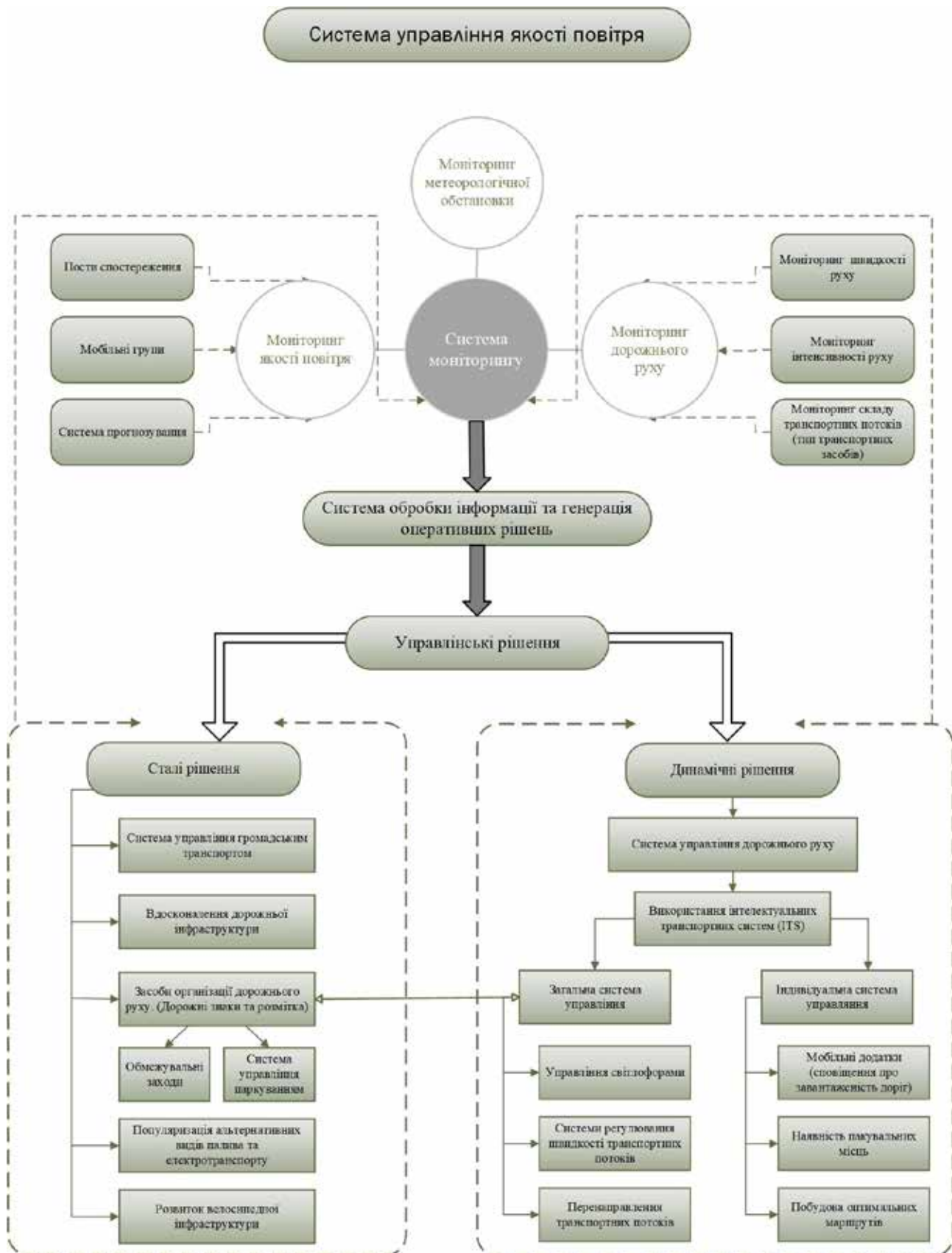


Рис. 1

Важливим елементом системи моніторингу є використання технологій прогнозування, що дозволяють аналізувати та передбачати зміни якості повітря та трафіку.

На основі зібраних даних функціонує система обробки інформації, яка аналізує отримані результати для розробки управлінських рішень. Система генерує як оперативні рішення для адаптивного управління дорожнім рухом та контролю для мінімізації рівня забруднення в режимі реального часу, так і сталі рішення для формування довгострокових стратегій, що стосуються розвитку інфраструктури та зміни транспортної політики. Оперативні рішення включають динамічне регулювання руху та перенаправлення транспортних потоків у відповідь на зміни дорожньої ситуації або рівня забруднення.

Оптимізація дорожньої інфраструктури є ще одним важливим напрямом системи. Для покращення дорожнього руху передбачено використання таких інструментів, як управління громадським транспортом для підвищення ефективності його використання, впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) для автоматизованого регулювання світлофорів та контролю швидкості, оптимізація системи управління паркуванням для раціонального розподілу паркувальних місць, а також організація дорожнього руху за допомогою дорожніх знаків, розмітки та обмежень швидкості.

Окремим та важливим аспектом є екологічна складова, яка передбачає популяризацію альтернативних видів транспорту, таких як електромобілі та велосипеди, шляхом стимулювання їх використання та розвитку відповідної інфраструктури, зокрема створення безпечних умов для велосипедистів. Також передбачено впровадження обмежувальних заходів, таких як створення «зелених зон» та обмеження руху для транспортних засобів із високими викидами.

Загалом, схема являє собою комплексну багаторівневу систему управління, що інтегрує інстру-

менти моніторингу, прогнозування, аналізу та впровадження рішень для досягнення головної мети – зниження негативного впливу транспорту на якість повітря, підвищення ефективності міського руху та забезпечення сталого розвитку транспортної інфраструктури.

Висновок. Запропонована схема управління якістю повітря та оптимізації дорожнього руху є комплексною системою, яка поєднує моніторинг, прогнозування, аналіз даних та впровадження рішень. Її ключова мета – зменшення негативного впливу транспорту на екологічну ситуацію, особливо в умовах промислово навантажених міст, таких як Кривий Ріг.

Основні напрями системи включають:

- Постійний моніторинг якості повітря, метеорологічних умов та параметрів дорожнього руху;
- Використання сучасних інструментів для аналізу та прогнозування, що дозволяють ідентифікувати критичні зони забруднення та розробляти ефективні рішення;
- Інтеграцію екологічних критеріїв у процес планування транспортної інфраструктури;
- Оптимізацію дорожньої мережі з акцентом на розвиток громадського та екологічно чистого транспорту.

Впровадження таких систем дозволяє не лише знизити рівень забруднення атмосферного повітря, але й підвищити ефективність міського руху, покращити якість життя мешканців та сприяти сталому розвитку. Особливо важливо, що система враховує специфічні потреби промислових регіонів, де концентрація забруднень є найбільшою.

Для досягнення максимального ефекту необхідно забезпечити активну співпрацю між органами місцевого самоврядування, науковими установами та громадськістю, а також реалізувати відповідні організаційно-правові та технічні заходи. Це сприятиме створенню екологічно безпечного та комфортного середовища для життя.

Література

1. Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні – Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України – офіційний сайт. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/natsionalni-dopovidi-pro-stan-navkolyshnogo-prirodno-goseredovysshha-v-ukrayini/>.
2. Галактіонов М., Ганошенко О. Аналіз стану атмосферного повітря у місті Кривий Ріг та вклад автотранспорту у забруднення міста. ACADEMIC JOURNAL series: industrial machine building, civil engineering. 2022. Vol. 1, no. 58. P. 149–154.
3. Vehicle emissions and urban air quality: 60 years of progress / T. J. Wallington et al. Atmosphere. 2022. Vol. 13, no. 5. P. 650. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13050650>.
4. 17 Цілей сталого розвитку | Global Compact. Global Compact. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsili-stijkogo-rozvytku/>.
5. Zhang K., Batterman S. Air pollution and health risks due to vehicle traffic. Science of the total environment. 2013. Vol. 450–451. P. 307–316. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>.
6. Abdel Wahed Ahmed M. M., Abd El Monem N. Sustainable and green transportation for better quality of life case study greater Cairo – Egypt. HBRC journal. 2020. Vol. 16, no. 1. P. 17–37. URL: <https://doi.org/10.1080/16874048.2020.1719340>.
7. Son J., Park M., Park B. B. The effect of age, gender and roadway environment on the acceptance and effectiveness of Advanced Driver Assistance Systems. Transportation research part F: traffic psychology and behaviour. 2015. Vol. 31. P. 12–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.03.009>.

8. Status of atmospheric air pollution in Ukraine prior to the full-scale russian invasion. Part 1: ground-level content of pollutants / M. V. Savenets et al. Ukrainian hydrometeorological journal. 2023. No. 31. P. 69–87. URL: <https://doi.org/10.31481/uhmj.31.2023.05>.
9. Mobile monitoring of air pollution in cities: the case of Hamilton, Ontario, Canada / J. Wallace et al. Journal of environmental monitoring. 2009. Vol. 11, no. 5. P. 998. URL: <https://doi.org/10.1039/b818477a> (date of access: 15.01.2025).
10. Кривенчук Ю., Бойків М., Бойків Р. Інформаційна система автоматичного регулювання алгоритму роботи світлофора. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2023. Vol. 329, no. 6. P. 199–203. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-329-6-199-203>.
11. Kliuiev S. A., Sihonin A. E., Tsymbal S. V. Development of intelligent transport systems. Journal of Mechanical Engineering and Transport. 2024. Vol. 18, no. 2. P. 80–86. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-80-86>