

УДК 504.064.4

DOI [https://doi.org/10.15589/znpp2025.1\(499\).25](https://doi.org/10.15589/znpp2025.1(499).25)

THE USE OF VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS FOR MONITORING THE IMPACT OF MOTOR VEHICLES ON AIR QUALITY

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВПЛИВУ АВТОТРАНСПОРТУ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Mykola S. Halaktionov
nikolay@galaktionov.com
ORCID: 0009-0006-7949-5713
Viktor I. Bredun
ORCID: 0000-0002-8214-3878

М. С. Галактіонов,
аспірант
В. І. Бредун,
канд. техн. наук, доцент

National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава

Abstract. The purpose of the study is to develop and implement an air quality monitoring system in urban areas using video surveillance and recording to assess the impact of motor vehicles on atmospheric air. This approach enhances the accuracy of monitoring pollutant concentrations and optimizes traffic flows to reduce emissions of harmful substances. Air pollution from motor vehicles is one of the most pressing environmental issues in modern cities, especially in densely populated urban areas such as Kryvyi Rih. Therefore, the implementation of new monitoring systems is relevant for improving air quality and reducing environmental risks to public health.

The study employs a comprehensive approach that includes data collection through video surveillance, analysis of traffic intensity, classification of vehicles by type and fuel, and modeling pollutant dispersion considering meteorological conditions. The collected data were processed using machine learning methods to develop air quality models. Video surveillance allows for real-time analysis of traffic flow dynamics, identification of areas with high pollutant concentrations, and prompt response to changes in traffic intensity. Additionally, video analytics can accurately determine vehicle types, speeds, and movement directions, enabling a more accurate assessment of the impact of different categories of vehicles on air quality.

The study results showed that the proposed system enables the creation of detailed maps of daily and weekly traffic patterns, identification of areas with high pollutant concentrations, and optimization of traffic flows by redirecting vehicles to less congested areas. This contributes to the reduction of nitrogen dioxide (NO₂), carbon monoxide (CO), and particulate matter emissions in the most polluted areas. Moreover, the system has proven effective in organizing modern parking systems, reducing traffic congestion, and improving traffic management.

The scientific novelty of the study lies in the proposed approach to air quality monitoring using video surveillance data to assess the impact of traffic flows on atmospheric pollution. The application of machine learning methods for analyzing traffic data improves the accuracy of forecasting air quality changes depending on traffic intensity and meteorological conditions.

The practical significance of the study lies in the possibility of integrating the system into urban information platforms and environmental monitoring services, allowing for the prompt detection of air pollution norm exceedances and the implementation of effective management decisions. This also contributes to optimizing traffic flows, improving traffic management, and reducing environmental health risks.

Key words: air pollution; video surveillance; forecasting systems; motor vehicle emissions; monitoring; environmental impact; urban traffic.

Анотація. Метою дослідження є розробка та впровадження системи моніторингу якості повітря в міських умовах із використанням відеоспостереження та відеофіксації для оцінки впливу автотранспорту на атмосферне повітря. Це дозволяє підвищити точність контролю за концентраціями забруднювачів та оптимізувати транспортні потоки з метою зниження викидів шкідливих речовин. Забруднення повітря від автотранспорту є однією з найгостріших екологічних проблем сучасних міст, особливо в густонаселених урбанізованих територіях, таких як Кривий Ріг. Тому впровадження нових систем моніторингу є актуальним для покращення якості повітря та зниження екологічних ризиків для здоров'я населення.

У дослідженні використано комплексний підхід, що включає збір даних за допомогою відеоспостереження, аналіз інтенсивності руху транспорту, класифікацію транспортних засобів за типом і паливом, а також моделювання розповсюдження забруднень із урахуванням метеорологічних умов. Отримані дані оброблялися із застосуванням методів машинного навчання для побудови моделей якості повітря. Використання відеоспостереження дозволяє аналізувати динаміку транспортних потоків у реальному часі, виявляти зони з підвищеною концентрацією забруднювачів та оперативно реагувати на зміни в інтенсивності руху. Крім того, за допомогою відеоаналітики можна точно визначати типи транспортних засобів, їх швидкість і напрямок руху, що дозволяє оцінювати вплив різних категорій транспорту на якість повітря.

Результати дослідження показали, що запропонована система дозволяє створювати детальні карти добового та тижневого характеру руху транспорту, виявляти зони підвищених концентрацій забруднювачів та оптимізувати транспортні потоки шляхом перенаправлення руху на менш завантажені ділянки. Це сприяє зниженню викидів діоксиду азоту (NO_2), оксиду вуглецю (CO) та твердих часток у найбільш забруднених районах. Крім того, система виявилася ефективною для організації сучасних систем паркування, що зменшує затори та покращує організацію руху.

Наукова новизна дослідження полягає у запропонованому підході до моніторингу якості повітря із використанням даних відеоспостереження для оцінки впливу транспортних потоків на забруднення атмосфери. Застосування методів машинного навчання для аналізу транспортних даних підвищує точність прогнозування змін якості повітря залежно від інтенсивності руху та метеорологічних умов.

Практична значимість дослідження полягає у можливості інтеграції системи в міські інформаційні платформи та служби екологічного моніторингу, що дозволить оперативно виявляти перевищення допустимих норм забруднення повітря та приймати ефективні управлінські рішення. Це також сприяє оптимізації транспортних потоків, покращенню організації дорожнього руху та зниженню екологічних ризиків для здоров'я населення.

Ключові слова: забруднення повітря; відеоспостереження; системи прогнозування; викиди автотранспорту; моніторинг; екологічний вплив; міський трафік

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Кривий Ріг, як один з найбільших промислових центрів України, стикається з серйозною проблемою забруднення повітря, спричиненою як викидами металургійних підприємств, так і інтенсивним автомобільним рухом. Забруднення повітря, спричинене інтенсивним автомобільним рухом, є однією з найгостріших екологічних проблем сучасних міст. Високі концентрації шкідливих речовин у повітрі, таких як оксиди азоту, чадний газ та дрібні тверді частинки, негативно впливають на здоров'я населення, сприяючи розвитку респіраторних захворювань, алергій та серцево-судинних захворювань. Для вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати комплекс заходів, що включають в себе модернізацію транспортної системи, розвиток громадського транспорту, стимулювання використання електромобілів та велосипедів, а також впровадження сучасних систем моніторингу та прогнозування якості повітря. Тільки за умови комплексного підходу можна досягти значного покращення екологічної ситуації в містах і забезпечити здоров'я та благополуччя їх мешканців.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема забруднення повітря автомобільними викидами є предметом численних міжнародних досліджень. Вплив транспорту на якість повітря, особливо в густонаселених містах, визнається однією з найгостріших екологічних проблем сучасності. Дослідження спрямовані на пошук шляхів зменшення

негативного впливу автомобільного транспорту на довкілля [1–4].

Сучасні технології надають широкий спектр інструментів для вивчення впливу автотранспорту. Від систем геоінформаційного моніторингу до моделювання транспортних потоків – всі ці технології дозволяють отримати більш детальне уявлення про проблему та розробляти ефективні рішення [5–6].

Впровадження інтелектуальних транспортних систем є ключовим кроком у створенні міст майбутнього. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як датчики, системи GPS-навігації та штучний інтелект, можна оптимізувати рух транспорту, знизити рівень забруднення повітря та підвищити безпеку на дорогах. Це дозволить не тільки покращити якість життя мешканців міст, але й створити більш ефективну та стійку транспортну систему [7–8].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Незважаючи на наявність окремих систем моніторингу якості повітря в Україні, відсутність їхньої інтеграції та недостатня кількість даних про транспортні потоки, метеорологічні умови та викиди промислових підприємств, особливо в містах з розвинутою промисловістю, таких як Кривий Ріг, не дозволяє отримати повну картину стану атмосферного повітря та розробити ефективні стратегії його покращення. Автомобільний транспорт є одним з основних джерел забруднення повітря у великих містах, тому необхідно розробити комплексні заходи, які включають в себе не тільки модернізацію промислових підприємств,

але й оптимізацію транспортних потоків, розвиток громадського транспорту та стимулювання використання екологічно чистих видів транспорту. Створення єдиної національної системи моніторингу якості повітря, яка б об'єднувала дані з різних джерел та забезпечувала їхню доступність для науковців, органів влади та громадськості, є необхідною умовою для ефективного управління якістю повітря та покращення екологічної ситуації в країні.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розробка системи моніторингу та прогнозування якості повітря в Кривому Розі, яка дозволить в реальному часі оцінювати вплив транспортних потоків на стан атмосферного повітря та розробляти ефективні стратегії для його покращення. Запропонована система передбачає інтеграцію даних з різних джерел, включаючи станції моніторингу якості повітря, системи GPS-навігації, метеорологічні дані та моделі викидів автотранспорту. На основі отриманих даних будуть розроблені прогностичні моделі, які дозволять передбачати зміни якості повітря в залежності від різних факторів, таких як погодні умови, інтенсивність руху транспорту та викиди промислових підприємств. Результати дослідження дозволять розробити рекомендації щодо оптимізації транспортних потоків, впровадження нових технологій та розробки політики в галузі охорони навколишнього середовища.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Впровадження інтелектуальних систем моніторингу якості повітря та інтеграція їх до інтелектуальних транспортних систем (ІТС) є критично важливим для ефективного оцінювання рівня забруднення в містах з інтенсивним рухом автотранспорту. Сучасні міста, зокрема Кривий Ріг, характеризуються розвиненою транспортною інфраструктурою та високою щільністю транспортних потоків, що значно впливає на якість атмосферного повітря. Викиди діоксиду азоту (NO_2), оксиду вуглецю (CO) та твердих часток від автотранспорту особливо зростають під час пікових годин руху, створюючи локальні зони підвищеного забруднення. Це може призводити до частого перевищення встановлених норм якості повітря, що становить значну загрозу для здоров'я населення та екологічного стану міського середовища.

Традиційні методи моніторингу часто не здатні забезпечити достатню оперативність та деталізацію даних про концентрації забруднювачів. Вони, як правило, мають обмежену кількість стаціонарних пунктів вимірювання, які не можуть охопити всі зони з високою інтенсивністю руху. У такому динамічному середовищі, як транспортна система великого міста, концентрації забруднювачів можуть значно змінюватися впродовж коротких проміжків часу та на різних відстанях від доріг. Це створює потребу

у впровадженні інтелектуальних систем моніторингу, які здатні забезпечити більш точний і комплексний контроль за станом атмосферного повітря.

Впровадження систем відеоспостереження на автомагістралях є важливим кроком до забезпечення безпеки дорожнього руху та збереження довкілля [9]. За допомогою камер відеоспостереження можна не тільки фіксувати порушення правил дорожнього руху, такі як перевищення швидкості та обгін у недозволених місцях, але й контролювати викиди шкідливих речовин транспортними засобами [10]. Це дозволяє своєчасно виявляти транспортні засоби з несправностями та вживати заходів для їх усунення. Крім того, дані, отримані з камер відеоспостереження, можуть бути використані для оптимізації транспортних потоків та розробки заходів щодо зниження забруднення повітря.

Впровадження систем відеоспостереження на дорогах відкриває нові можливості для автоматизації моніторингу транспортних потоків (рис. 1). Сучасні алгоритми відеоаналізу дозволяють не тільки підраховувати кількість транспортних засобів, але й визначати їх тип, швидкість, напрямок руху, вид палива що використовується, рік випуску. Для забезпечення високої точності розпізнавання необхідно використовувати високоякісні камери, встановлені в оптимальних місцях, та розробляти ефективні алгоритми обробки зображень.

Сучасні системи моніторингу забруднення повітря можуть працювати за принципом виявлення порушень правил дорожнього руху в реальному часі [11], забезпечуючи високоточний аналіз викидів від автотранспорту. Однією з ключових особливостей таких систем є можливість визначення типу транспортного засобу, який є джерелом забруднення. За допомогою відеоаналітики та технологій машинного зору системи здатні розпізнавати різні категорії транспортних засобів, включаючи легкові автомобілі, вантажівки, автобуси та мотоцикли. Це дозволяє більш точно враховувати специфіку викидів, оскільки кожна категорія транспорту має свої унікальні емісійні характеристики [12]. Вантажні автомобілі з дизельними двигунами часто виділяють більше оксиду азоту та твердих часток, ніж легкові автомобілі на бензині.

Крім того, інтелектуальні системи моніторингу можуть визначати вид палива, яке використовується транспортним засобом (бензин, дизель, газ або електрика) на основі баз даних про реєстрацію транспортних засобів. Це дозволяє враховувати різницю у викидах, оскільки, наприклад, транспорт на газу виділяє менше CO і NO_2 , а електромобілі взагалі не мають викидів на місцевому рівні. Такий підхід допомагає краще розуміти структуру забруднень у міському середовищі та прогнозувати вплив зміни паливної структури на якість повітря.

Важливим аспектом є також визначення року випуску автомобіля, що дозволяє враховувати

екологічний стандарт транспортного засобу Євро-1-7 [13]. Нові моделі автомобілів зазвичай відповідають суворішим нормам викидів, тоді як старі автомобілі можуть значно більше забруднювати повітря. Збір такої інформації допомагає краще оцінювати вплив різних вікових груп транспорту на довкілля та розробляти ефективніші стратегії екологічного регулювання.

Для ефективного моніторингу та прогнозування забруднення повітря необхідно враховувати різноманітні фактори, включаючи швидкість руху транспортних засобів. Швидкість руху транспортних засобів є одним з ключових факторів, що впливають на рівень і склад викидів шкідливих речовин [14]. На низьких швидкостях, характерних для заторів, двигуни працюють в неефективному режимі, що призводить до збільшення викидів оксиду вуглецю та оксидів азоту. Завдяки використанню систем автоматичного зчитування швидкості, в поєднанні з даними про тип палива, рік випуску автомобіля та метеорологічними умовами, можна створити детальні моделі розповсюдження забруднень і розробити ефективні заходи для зниження їхнього рівня.

Завдяки можливості отримувати дані в режимі реального часу, інтелектуальні системи моніторингу дозволяють оперативно виявляти порушення норм якості повітря та приймати відповідні управлінські рішення. Наприклад, при фіксації підвищених рівнів забруднення атмосферного повітря на окремих

ділянках дороги можна своєчасно вжити заходів для перенаправлення транспортних потоків, введення обмежень швидкості або тимчасової заборони на в'їзд для вантажного транспорту.

Аналіз даних відеоспостереження дозволяє створити детальні карти руху транспорту, які відображають не тільки загальну інтенсивність руху, але й його динаміку протягом доби та тижня. Ця інформація є незамінною для планування міського розвитку, оптимізації роботи громадського транспорту та розробки заходів щодо зниження забруднення повітря. Завдяки аналізу траєкторій руху транспортних засобів можна виявити «вузькі місця» в транспортній системі, розробити ефективні маршрути для громадського транспорту та оптимізувати роботу світлофорів. Крім того, дані про транспортні потоки можуть бути використані для оцінки ефективності різних заходів, спрямованих на зниження завантаженості доріг, таких як введення обмежень в'їзду в центр міста або розвиток велосипедної інфраструктури.

Це особливо важливо для міських середовищ з інтенсивним рухом, таких як Кривий Ріг, де локальні концентрації забруднень можуть значно варіюватися в залежності від трафіку та погодних умов.

Крім того, системи відеоспостереження є невід'ємним елементом організації сучасних систем паркування. У містах з високою щільністю транспортних потоків, таких як Кривий Ріг, хаотичне паркування часто стає причиною заторів та збільшення забруднення повітря. За допомогою відеокамер

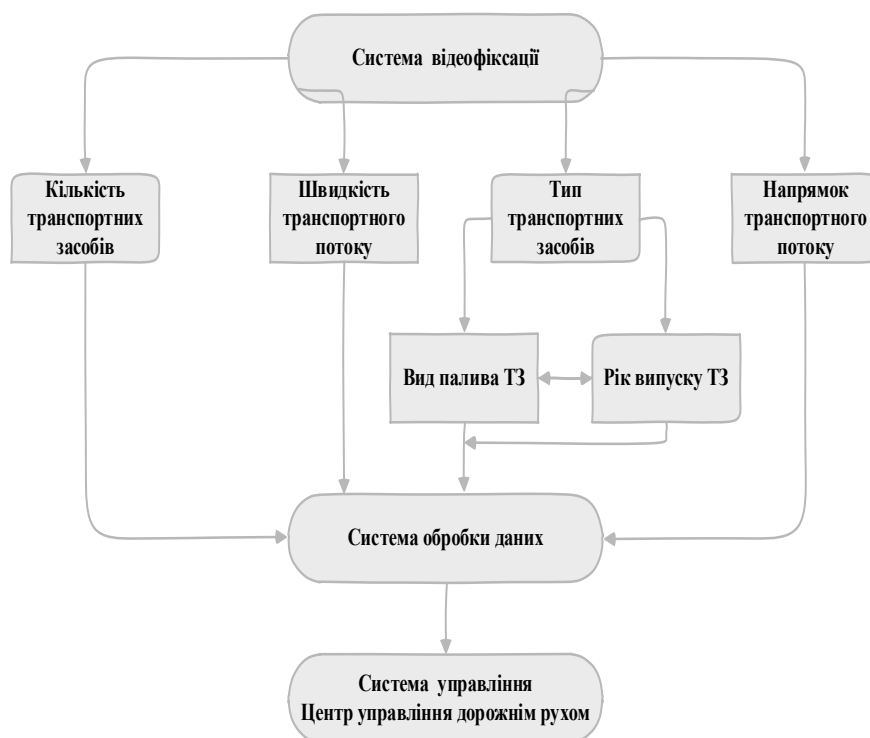


Рис. 1. Автоматизація моніторингу транспортних потоків

можна ефективно контролювати дотримання правил паркування, своєчасно виявляти неправильно припарковані транспортні засоби та вживати відповідних заходів для усунення перешкод на дорогах.

Інтеграція систем відеоспостереження з міськими інформаційними платформами дозволяє створити «розумні» паркувальні зони, які в режимі реального часу інформують водіїв про наявність вільних місць. Це знижує час, витрачений на пошук паркувального місця, що, своєю чергою, зменшує кількість транспортних засобів у русі та знижує обсяги викидів забруднюючих речовин.

Крім того, системи відеофіксації можуть бути інтегровані з міськими інформаційними платформами та мобільними додатками, що дозволить оперативно інформувати населення про поточний стан якості повітря та надавати рекомендації щодо уникнення забруднених зон. Це сприятиме підвищенню екологічної обізнаності мешканців та допоможе мінімізувати вплив забруднення повітря на здоров'я населення.

Таким чином, використання інтелектуальних систем моніторингу, які включають компоненти відеоспостереження та відеофіксації, дозволяє значно підвищити точність оцінки рівня забруднення повітря від автотранспорту. Це створює передумови для розробки ефективніших заходів екологічного контролю та управління транспортними потоками, спрямованих на зменшення викидів та покращення якості повітря в містах. Водночас оптимізація систем паркування та контроль за дотриманням правил дорожнього руху дозволяють покращити організацію руху, знизити затори та підвищити безпеку на дорогах.

ВИСНОВКИ

Таким чином, впровадження інтелектуальних систем моніторингу якості повітря, зокрема з використанням відеоспостереження та відеофіксації, є важливим кроком до ефективного контролю за впливом автотранспорту на стан атмосферного повітря в міських умовах. Використання інноваційних рішень дозволяє отримувати дані в режимі реального часу, детально аналізувати інтенсивність транспортних потоків, визначати типи транспортних засобів, їх швидкість та напрямок руху. Це забезпечує можливість оперативного виявлення порушень норм якості повітря та прийняття відповідних управлінських рішень для зниження рівня забруднення.

Системи відеоспостереження також відіграють ключову роль в організації сучасних систем паркування, сприяючи оптимізації дорожнього руху та зменшенню заторів, що, своєю чергою, позитивно впливає на якість повітря. Крім того, дані відеоспостереження дозволяють створювати детальні карти добового та тижневого характеру руху транспорту, що сприяє ефективному плануванню міського розвитку та оптимізації роботи громадського транспорту.

Отже, інтеграція відеоспостереження з іншими компонентами екологічного моніторингу створює передумови для розробки ефективніших заходів екологічного контролю та управління транспортними потоками. Це дозволяє не лише підвищити точність оцінки рівня забруднення повітря, але й сприяє покращенню якості життя мешканців міст завдяки зниженню екологічних ризиків.

REFERENCES

- [1] Wang, J., Wu, Q., Liu, J., Yang, H., Yin, M., Chen, S., & Huang, Q. (2019). Vehicle emission and atmospheric pollution in China: problems, progress, and prospects. *PeerJ*, 7, Article e6932. doi:10.7717/peerj.6932
- [2] Heidari, A., Sheikh-Azadi, A., Hasan-Zadeh, A., & Kazemzadeh, Y. (2024). Optimization of carbon emission in an integrated machine-piece scheduling and vehicle routing problem and its solution using MOPSO and NSGAII metaheuristic algorithms. *Scientific Reports*, 14(1). doi:10.1038/s41598-024-77217-9
- [3] Cheng, F., & Jia, S. (2024). Improved GA-LNS Algorithm for Solving Vehicle Path Problems Considering Carbon Emissions. *Applied Sciences*, 14(21), 9956. doi:10.3390/app14219956
- [4] Kharytonova, N. (2023). Rozrakhunkovyy metod otsinky vplyvu transportnykh zasobiv na povitryane seredovyshche. [Calculation method for assessment the impact of vehicles on the air environment]. *Dorogi i mosti*, 2023(27), 289–295. doi:10.36100/dorogimosti2023.27.289
- [5] He, Z., Ye, G., Jiang, H., & Fu, Y. (2020). Vehicle Emission Detection in Data-Driven Methods. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–13. doi:10.1155/2020/4875310
- [6] Hassouna, F. M. A., & Al-Sahili, K. (2020). Environmental Impact Assessment of the Transportation Sector and Hybrid Vehicle Implications in Palestine. *Sustainability*, 12(19), 7878. doi:10.3390/su12197878
- [7] Rosca, C.-M., Stancu, A., Neculaiu, C.-F., & Gortoescu, I.-A. (2024). Designing and Implementing a Public Urban Transport Scheduling System Based on Artificial Intelligence for Smart Cities. *Applied Sciences*, 14(19), 8861. doi:10.3390/app14198861
- [8] Alanazi, F., & Alenezi, M. (2024). A framework for integrating intelligent transportation systems with smart city infrastructure. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(5), 3558. doi:10.24294/jipd.v8i5.3558
- [9] Fu, L., Zhang, Q., & Tian, S. (2024). Real-time video surveillance on highways using combination of extended Kalman Filter and deep reinforcement learning. *Heliyon*, Article e26467. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e26467
- [10] Kuchuk, N., Mikhal, O., Shiman, A., & Naumenko, M. (2022). Dynamichna videofiksatsiia transportnykh zasobiv dlia systemy monitorynhu dorozhnoho rukhu u mehapolisi [Dynamic video recording of vehicles for a traffic monitoring system in a metropolis]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Zbirnyk naukovykh prats*, 2(68), 55–58. doi:10.26906/sunz.2022.2.055

- [11] Bytiak, O. (2022). Automatic Recording of Traffic Rules Violations in Foreign Countries: Theoretical and Practical Aspects. *Problems of Legality*, (159), 28–47. <https://doi.org/10.21564/2414-990X.159.267579>
- [12] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. (n.d.). Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- [13] Adam, V. M. (2018). Problemy ta perspektyvy zakonodavchoho vprovadzhennia ekolohichnykh standartiv «Yevro» v Ukraini [Problems and prospects of legislative implementation of "Euro" environmental standards in Ukraine]. *Pravovi novely*, (6), 48–51. Retrieved from http://legalnovels.in.ua/journal/6_2018/9.pdf
- [14] Tatarchenko, H., Demin, N., & Tarasiuk, V. (2021). Model zabrudnennya oksydami azotu prymahistral'nykh terytoriy mista [Model of nitrogen oxide pollution of the city mains]. *Urban Development and Spatial Planning*, (78), 478–492. 815x.2021.78.478-492doi:10.32347/2076

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Wang, J., Wu, Q., Liu, J., Yang, H., Yin, M., Chen, S., & Huang, Q. (2019). Vehicle emission and atmospheric pollution in China: problems, progress, and prospects. *PeerJ*, 7, Article e6932. doi:10.7717/peerj.6932
- [2] Heidari, A., Sheikh-Azadi, A., Hasan-Zadeh, A., & Kazemzadeh, Y. (2024). Optimization of carbon emission in an integrated machine-piece scheduling and vehicle routing problem and its solution using MOPSO and NSGAII metaheuristic algorithms. *Scientific Reports*, 14(1). doi:10.1038/s41598-024-77217-9
- [3] Cheng, F., & Jia, S. (2024). Improved GA-LNS Algorithm for Solving Vehicle Path Problems Considering Carbon Emissions. *Applied Sciences*, 14(21), 9956. doi:10.3390/app14219956
- [4] Харитонов Н. М. (2023). Розрахунковий метод оцінки впливу транспортних засобів на повітряне середовище. *Збірник наукових праць «Дороги і мости»*, 2023(27), 289–295. doi:10.36100/dorogimosti2023.27.289
- [5] He, Z., Ye, G., Jiang, H., & Fu, Y. (2020). Vehicle Emission Detection in Data-Driven Methods. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–13. doi:10.1155/2020/4875310
- [6] Hassouna, F. M. A., & Al-Sahili, K. (2020). Environmental Impact Assessment of the Transportation Sector and Hybrid Vehicle Implications in Palestine. *Sustainability*, 12(19), 7878. doi:10.3390/su12197878
- [7] Rosca, C.-M., Stancu, A., Neculaiu, C.-F., & Gortoescu, I.-A. (2024). Designing and Implementing a Public Urban Transport Scheduling System Based on Artificial Intelligence for Smart Cities. *Applied Sciences*, 14(19), 8861. doi:10.3390/app14198861
- [8] Alanazi, F., & Alenezi, M. (2024). A framework for integrating intelligent transportation systems with smart city infrastructure. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(5), 3558. doi:10.24294/jipd.v8i5.3558
- [9] Fu, L., Zhang, Q., & Tian, S. (2024). Real-time video surveillance on highways using combination of extended Kalman Filter and deep reinforcement learning. *Heliyon*, Article e26467. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e26467
- [10] Kuchuk, N., Mikhal, O., Shyman, A., & Naumenko, M. (2022). Динамічна відеофіксація транспортних засобів для системи моніторингу дорожнього руху у мегаполісі. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 2, 55–58. doi:10.26906/sunz.2022.2.055
- [11] Битяк, О. (2022). Автоматична фіксація порушень Правил дорожнього руху в зарубіжних країнах: теоретичний та практичний аспекти. *Проблеми законності*, (159), 28–47. <https://doi.org/10.21564/2414-990X.159.267579>
- [12] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. (б. д.). European Environment Agency's home page. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- [13] Адам В. М. (2018). Проблеми та перспективи законодавчого впровадження екологічних стандартів «Євро» в Україні. *Правові новели*, (6), 48–51. URL: http://legalnovels.in.ua/journal/6_2018/9.pdf
- [14] Татарченко, Г., Дьомін, М., & Тарасюк, В. (2021). Модель забруднення оксидами азоту примігстральних територій міста. *Містобудування та територіальне планування*, (78), 478–492. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.478-492>

© Галактіонов М. С., Бредун В. І.

Дата надходження статті до редакції: 20.02.2025

Дата затвердження статті до друку: 05.03.2025