

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ

Галактіонов М.С., Бредун В.І.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Першотравневий пр., 24, 36011, м. Полтава

nikolay@galaktionov.com

У великих промислових містах, таких як Кривий Ріг, проблема забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту стає дедалі актуальнішою. Інтенсивний рух транспортних засобів, зростання кількості автомобілів, значна частина яких не відповідає сучасним екологічним стандартам, суттєво погіршують екологічну ситуацію. Особливу тривогу викликає той факт, що в умовах високого промислового навантаження транспортні викиди накладаються на промислові, створюючи додаткові ризики для здоров'я населення. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС), що поєднують сучасні технології збору, обробки, аналізу та управління даними для підвищення ефективності роботи транспортної інфраструктури. У межах дослідження підкреслюється важливість інтеграції ІТС із системами екологічного моніторингу міського середовища. Такий підхід дозволяє в режимі реального часу отримувати дані про рівень забруднення повітря, аналізувати вплив транспортних потоків на екологічний стан і оперативно реагувати на критичні зміни. З огляду на специфіку Кривого Рогу, де спостерігається поєднання транспортних та інтенсивних промислових викидів, інтеграція ІТС та моніторингових систем є особливо актуальною. Запропонована в дослідженні система базується на застосуванні адаптивного регулювання дорожнього руху за допомогою інтелектуальних світлофорів, використанні платформ екологічного моніторингу та впровадженні прогнозних моделей для аналізу транспортних потоків. Одним із ключових елементів є інтеграція прогнозних моделей із системою «зелена хвиля», що дозволяє мінімізувати кількість зупинок і час простою транспорту на перехрестях. Це безпосередньо сприяє зниженню обсягів викидів шкідливих речовин у повітря. Окрім того, моделі враховують сезонні та добові коливання інтенсивності руху, що дає можливість гнучко керувати транспортними потоками, оптимізуючи їх розподіл у просторі та часі. Проведені розрахунки та моделювання підтверджують, що впровадження такої системи дозволяє зменшити екологічне навантаження на найбільш забруднені райони міста, сприяє ефективнішому використанню міської транспортної інфраструктури, зменшує затори й загалом підвищує якість життя мешканців. В умовах Кривого Рогу впровадження інтегрованої платформи управління транспортними потоками та екологічним моніторингом є важливим кроком у вирішенні актуальних проблем забруднення повітря, викликаних одночасною дією транспортних і промислових джерел викидів. *Ключові слова:* забруднення повітря, системи прогнозування, викиди автотранспорту, інтелектуальні транспортні системи, екологічний вплив, міський трафік.

Modeling and forecasting in intelligent transportation systems. Halaktionov M., Bredun V.

In large industrial cities such as Kryvyi Rih, the problem of air pollution caused by vehicle emissions is becoming increasingly urgent. Intensive traffic, the growing number of vehicles – many of which do not meet modern environmental standards – significantly worsens the ecological situation. Of particular concern is the fact that in conditions of high industrial load, transport emissions combine with industrial emissions, creating additional risks for public health. One of the promising approaches to address this issue is the implementation of Intelligent Transportation Systems (ITS), which integrate modern technologies for data collection, processing, analysis, and management to improve the efficiency of transportation infrastructure. This study emphasizes the importance of integrating ITS with urban environmental monitoring systems. Such an approach allows real-time data collection on air pollution levels, analyzes the impact of traffic flows on environmental conditions, and enables prompt response to critical changes. Given the specifics of Kryvyi Rih, where transport emissions are compounded by intensive industrial discharges, the integration of ITS and monitoring systems is particularly relevant. The proposed system is based on the application of adaptive traffic management through intelligent traffic signals, the use of environmental monitoring platforms, and the introduction of predictive models for traffic flow analysis. A key component is the integration of predictive models with a «green wave» system, which minimizes vehicle stops and idle time at intersections, directly contributing to a reduction in harmful emissions into the atmosphere. Additionally, the models take into account seasonal and daily fluctuations in traffic intensity, enabling flexible management of traffic flows and optimizing their distribution in time and space. Calculations and modeling results confirm that the implementation of such a system reduces environmental burdens in the most polluted areas, promotes more efficient use of urban transport infrastructure, decreases congestion, and generally improves residents' quality of life. Under the conditions of Kryvyi Rih, the implementation of an integrated platform for traffic flow management and environmental monitoring represents an important step toward solving urgent air pollution issues caused by the simultaneous influence of both transportation and industrial emission sources. *Key words:* air pollution, forecasting systems, vehicle emissions, intelligent transportation systems, environmental impact, urban traffic.

Постановка проблеми. Зростання кількості автомобілів у міських умовах створює серйозні виклики для міської інфраструктури та навколишнього середовища. З одного боку, це призводить до перевантаження дорожньої мережі, що спричиняє затори, підвищує рівень шумового забруднення та знижує загальну ефективність транспортної системи. З іншого боку, збільшення кількості автомобілів, особливо тих, що не відповідають сучасним екологічним стандартам, значно підвищує рівень забруднення атмосферного повітря. Це проявляється у зростанні концентрацій шкідливих речовин, таких як CO_2 , NO_2 , та тверді частки, які негативно впливають на здоров'я населення та екосистему.

Одним із перспективних варіантів вирішення проблеми забруднення повітря та перевантаження інфраструктури в містах є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Ці системи об'єднують передові технології збору, аналізу та управління даними, щоб оптимізувати рух транспорту, зменшити час у заторах і, відповідно, знизити рівень викидів забруднюючих речовин.

Актуальність дослідження. Зважаючи на глобальну загрозу зміни клімату та забруднення повітря, що шкодить здоров'ю, дослідження способів зменшення впливу автомобільного транспорту на екологію є надзвичайно важливим. В Україні, де автотранспорт є значним джерелом забруднення, особливо у великих промислових центрах, таких як Кривий Ріг з його унікальною транспортною інфраструктурою, це питання стоїть особливо гостро. Отже, вивчення шляхів мінімізації негативного впливу автотранспорту є ключовим для оздоровлення довкілля, зміцнення енергетичної незалежності та досягнення цілей сталого розвитку країни.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Ці дослідження узгоджуються з ключовими напрямками розвитку безпечного, екологічно чистого та енергоефективного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні міжнародні дослідження підкреслюють важливість впровадження ІТС. Дослідження підтверджують, що розвиток ІТС нерозривно пов'язаний із прогресом у галузі транспортної навігації. Завдяки сучасним навігаційним технологіям, таким як GPS, системи прогнозування трафіку та інтегровані платформи управління маршрутами, ІТС стають більш ефективними та точними [1-2].

Впровадження ІТС сприяє значному покращенню мобільності населення завдяки оптимізації транспортних потоків, зниженню часу у заторах та підвищенню ефективності використання дорожньої інфраструктури [3]. Системи інтелектуального управління також застосовуються для більш ефективного регулювання руху в місцях масового скупчення людей, таких як вокзали, аеропорти, стадіони та торгові центри. Вони допомагають оптимізувати

транспортні потоки, забезпечуючи швидке та безпечне пересування пішоходів і транспортних засобів [4-5].

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється питанню екологічності ІТС. Основна мета впровадження таких рішень – зменшення негативного впливу транспорту на навколишнє середовище [6].

Невирішені аспекти проблеми. Незважаючи на наявність сучасних систем для впровадження ІТС та моніторингу і прогнозування забруднення повітря, залишається низка невирішених проблем. Основною з них є відсутність реальної інтеграції між даними про транспортні потоки та показниками якості атмосферного повітря, особливо в містах із великим промисловим навантаженням і розвинутою транспортною мережею, таких як Кривий Ріг.

Відсутність такої інтеграції призводить до обмеженої ефективності існуючих екологічних програм і транспортних стратегій. Зокрема, дані про інтенсивність руху, типи транспортних засобів і маршрути не враховуються при розробці заходів з покращення якості повітря. Це ускладнює прийняття оперативних рішень, таких як зміна маршрутів або регулювання транспортних потоків у реальному часі для зменшення викидів в найбільш забруднених зонах. Крім того, без інтеграції з даними моніторингу повітря неможливо точно оцінити вплив транспортних заходів на екологію, що ускладнює планування ефективних довгострокових стратегій. У містах, де до проблем транспорту додається значне промислове навантаження, відсутність єдиної системи даних значно посилює складність управління екологічними ризиками.

Для вирішення цієї проблеми необхідно створити інтегровану платформу, яка об'єднує інформацію про транспортні потоки, показники забруднення повітря та дані про діяльність промислових підприємств. Це дозволить не лише здійснювати більш точний аналіз впливу транспорту на якість повітря, але й забезпечить можливість оперативного реагування на екологічні виклики.

Наукова новизна. Важливим напрямком досліджень є створення нових інструментів для кращого управління транспортними потоками, прогнозування екологічних наслідків та розвитку сучасної транспортної інфраструктури.

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

Результати дослідження. Міські транспортні системи у великих містах стикаються зі значними викликами через застарілу систему управління дорожнім рухом, яка не відповідає сучасним вимогам ефективності та безпеки, а також через постійне зростання кількості транспортних засобів. Такі умови призводять до перевантаження транспортної

інфраструктури, частих заторів, збільшення часу на дорогу та підвищення рівня забруднення повітря [7].

Застарілі методи управління, які базуються на фіксованих графіках роботи світлофорів чи статичних маршрутних схемах, більше не відповідають реаліям сучасних мегаполісів, де транспортний потік постійно змінюється. Збільшення кількості автомобілів, у тому числі приватного транспорту, створює додатковий тиск на дорожню інфраструктуру, яка не завжди здатна ефективно реагувати на ці зміни.

Для вирішення цих проблем необхідно впроваджувати сучасні технології, такі як ІТС, які дозволяють динамічно регулювати транспортні потоки в залежності від реальної ситуації на дорогах. ІТС включають використання адаптивних світлофорів, систем моніторингу та прогнозування заторів, а також платформ для оптимізації маршрутів у реальному часі. Такі рішення не лише допомагають зменшити затори, але й сприяють зниженню викидів шкідливих речовин за рахунок скорочення часу простою транспорту [8].

Крім того, інтеграція транспортних систем з екологічним моніторингом та прогнозними моделями дозволяє враховувати вплив дорожнього руху на стан повітря та приймати відповідні заходи для його покращення. У поєднанні з розвитком громадського транспорту та стимулюванням використання екологічно чистих альтернатив, таких як електромобілі або велосипеди, це сприяє створенню більш сталого та комфортного міського середовища.

Інтелектуальні транспортні системи, засновані на даних про рівень забруднення атмосферного повітря, мають потенціал для ефективного перерозподілу транспортних потоків з метою зменшення екологічного навантаження. Завдяки інтеграції даних з екологічних моніторингових станцій та систем управління дорожнім рухом, такі ІТС можуть оперативно виявляти ділянки з підвищеним рівнем забруднення та спрямовувати транспортні потоки в альтернативні зони.

Наприклад, якщо на певній ділянці дороги спостерігається перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі, система може автоматично змінити налаштування світлофорів, обмежити рух вантажного транспорту або запропонувати альтернативні маршрути для автомобілістів. Такі рішення допоможуть не лише зменшити концентрацію шкідливих речовин у повітрі, але й уникнути перевантаження окремих ділянок транспортної мережі.

Крім того, використання ІТС у поєднанні з прогнозними моделями дозволяє передбачати зони можливого забруднення залежно від інтенсивності руху, погодних умов та особливостей міської забудови. Це дає змогу вчасно реагувати на потенційні проблеми та розробляти стратегії управління потоками ще до того, як ситуація стане критичною.

Такі інноваційні підходи сприяють створенню більш екологічно сталих міських середовищ, забезпечуючи баланс між потребами транспортної системи та збереженням якості повітря для здоров'я мешканців.

Застосування прогнозних моделей є важливим інструментом для підвищення ефективності організації систем моніторингу забруднення повітря та впровадження таких рішень, як система «зелена хвиля», особливо у промислових містах, таких як Кривий Ріг.

Прогнозні моделі дозволяють аналізувати дані про інтенсивність транспортних потоків, погодні умови, рівень забруднення повітря та інші фактори, щоб передбачати можливе перевищення концентрацій шкідливих речовин на певних ділянках дороги. Це особливо актуально для міст із високим промисловим навантаженням, де автомобільний транспорт та промислові підприємства створюють значне екологічне навантаження.

Інтеграція таких моделей із системою «зелена хвиля» – адаптивним регулюванням світлофорів для забезпечення безперервного руху транспорту, дозволяє значно зменшити час простою на світлофорах, а отже, знизити викиди шкідливих речовин від автотранспорту. Для Кривого Рогу це може стати ефективним рішенням, враховуючи значну кількість транспортних потоків та їхній вплив на атмосферне повітря у поєднанні з викидами від промислових підприємств.

Крім того, прогнозні моделі дозволяють оптимізувати маршрути громадського та вантажного транспорту, перенаправляючи їх у зони з меншим рівнем забруднення. Це забезпечить зниження екологічного навантаження в найбільш проблемних районах міста.

Завдяки прогнозним моделям і сучасним транспортним системам можна не лише зменшити рівень забруднення, але й підвищити загальну ефективність міської транспортної інфраструктури.

За допомогою прогнозних моделей можна ефективно прогнозувати добові та сезонні зміни рівня забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту, використовуючи дані про переміщення транспортних засобів у межах міста.

Ці моделі дозволяють аналізувати транспортні потоки в різні години доби, враховуючи пікові навантаження, такі як ранкові та вечірні години, а також зміни активності в різні пори року. Наприклад, у зимовий період може спостерігатися підвищення викидів у зв'язку з прогрівом двигунів автотранспорту, а у літній сезон зростає кількість автомобілів у зонах відпочинку чи туристичних місцях.

На основі таких даних система може прогнозувати рівень концентрації шкідливих речовин, таких як оксиди азоту (NOx), оксиду вуглецю (CO) і дрібнодисперсних часток (PM), у різних районах міста в залежності від добового часу та сезонного навантаження.

У містах із високою транспортною інтенсивністю, таких як Кривий Ріг, використання таких моделей дозволяє виявляти найбільш критичні часові періоди та місця підвищеного забруднення. Це дає можливість вчасно впроваджувати регулюючі заходи, наприклад, перенаправлення транспортних потоків, адаптацію світлофорів, обмеження руху важкого транспорту або стимулювання використання громадського транспорту в певні години.

Прогнозування добових і сезонних змін також допомагає краще інтегрувати транспортну систему з екологічним моніторингом, надаючи міській адміністрації інструменти для прийняття рішень щодо зменшення екологічного навантаження. Зокрема, це може включати створення «зелених коридорів» або зон з обмеженим рухом у періоди високого забруднення.

За даними фактичних досліджень, проведених в межах основних автомагістралей міста Кривого Рогу, побудовано прогнозні моделі добової інтенсивності руху та потужності викидів по оксидам вуглецю (CO) та діоксиду азоту (NO₂) від різних типів транспорту та відображені на графіках рисунок 1.

В ході дослідження встановлено, що пікові інтервали інтенсивності руху припадають на ранкові години (8:00–11:00) та вечірні години (15:00–18:00). Ця інформація має ключове значення для планування заходів із зменшення негативного впливу автотранспорту на атмосферне повітря. У ці періоди, коли навантаження на дорожню мережу є максимальним, відбувається значне збільшення концентрацій забруднюючих речовин, таких як оксиди вуглецю

(CO) і діоксид азоту (NO₂), що може суттєво впливати на здоров'я населення, особливо в густонаселених районах поблизу транспортних магістралей.

Для підвищення точності прогнозування викидів доцільно використовувати дані, отримані з інтелектуальних транспортних систем, зокрема з камер відеоспостереження, датчиків руху, метеостанцій, постів екологічного моніторингу. Це дозволяє не лише відстежувати поточну ситуацію, а й ідентифікувати найбільш забруднені ділянки. Крім того, ефективним інструментом для аналізу та прогнозування розподілу забруднюючих речовин у атмосферному повітрі є математичні моделі дисперсії, такі як CALINE4, AERMOD, ADMS-Urban та ОНД-86. Їх використання дозволяє не лише оцінювати рівень забруднення, а й оптимізувати транспортні потоки в рамках інтелектуальних транспортних систем. Аналіз отриманих даних дає змогу регулювати рух у режимі реального часу, перенаправляючи транспортні потоки для зниження концентрації забруднюючих речовин у критичних зонах, що сприяє покращенню екологічної ситуації в місті.

Інтеграція отриманих даних з (ІТС) дозволяє автоматизувати процеси моніторингу, аналізу та управління транспортними потоками в реальному часі. Розуміння цих часових закономірностей дозволяє розробляти цілеспрямовані заходи для оптимізації руху транспорту, наприклад, шляхом впровадження адаптивного керування світлофорами, перенаправлення потоків у менш завантажені райони чи запровадження обмежень для вантажного транспорту в години пік. Крім того, ці дані є базою

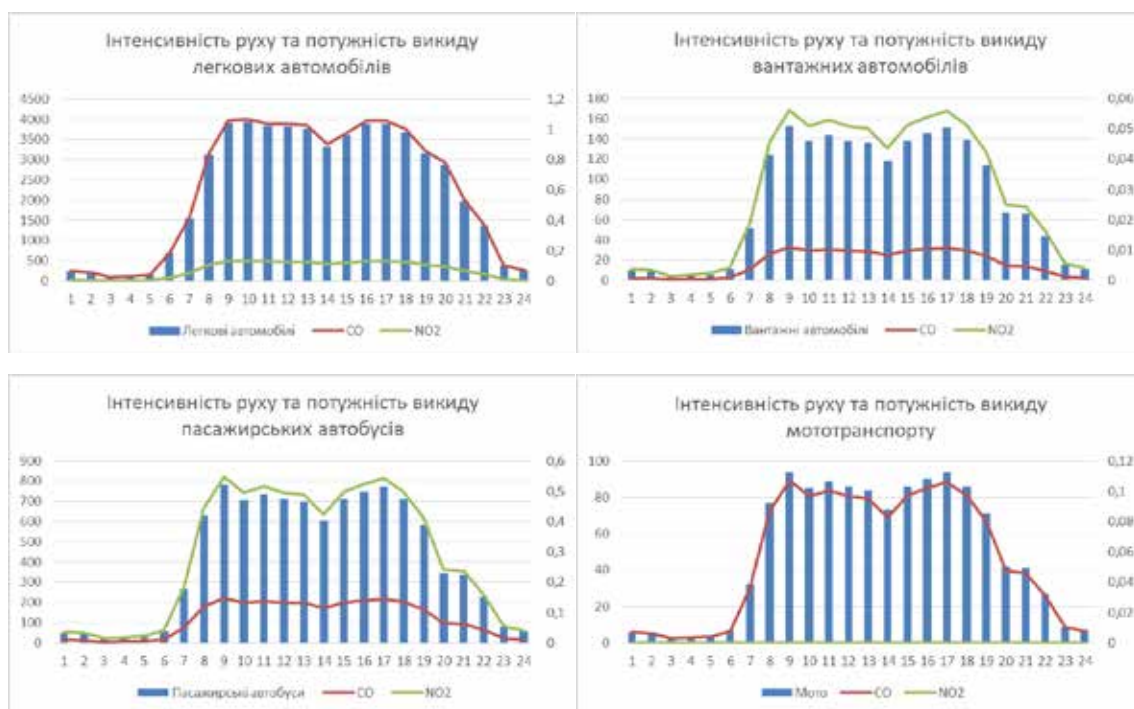


Рис. 1. Графіки добової інтенсивності руху та потужності викидів

для прогнозування і моделювання сценаріїв зниження викидів, що дозволяє мінімізувати екологічне навантаження у найбільш критичні періоди. Таким чином, врахування пікових інтервалів інтенсивності руху є важливим інструментом для підвищення ефективності заходів із покращення якості атмосферного повітря в місті.

Таким чином, прогнозні моделі є ключовим компонентом у розробці комплексного підходу до управління транспортними потоками та збереження якості повітря, особливо у містах із складною екологічною ситуацією, враховуючи як добові, так і сезонні аспекти транспортної активності.

Інтелектуальні транспортні системи здатні розпізнавати тип транспортних засобів, їхню модель, марку, рік випуску, тип палива та відповідність екологічним стандартам, таким як Євро-4, Євро-5, Євро-6 чи навіть перспективний стандарт Євро-7 [9]. Така деталізація даних дозволяє проводити більш точні прогнози щодо рівня забруднення та оцінювати вплив автотранспорту в межах автодоріг.

Завдяки інтеграції даних про екологічні стандарти, ІТС можуть враховувати відмінності у викидах для різних транспортних засобів залежно від їхнього класу. Наприклад, автомобілі, що відповідають стандарту Євро-6, мають значно нижчі рівні викидів оксидів азоту (NOx) та дрібнодисперсних часток (PM) у порівнянні з транспортом, який відповідає лише стандарту Євро-3 або Євро-4. Це особливо важливо для міст із високою транспортною інтенсивністю, таких як Кривий Ріг, де транспорт є суттєвим джерелом забруднення повітря.

ІТС також дозволяють визначати зони з підвищеним рівнем забруднення, де можна обмежити рух транспорту, що не відповідає сучасним екологічним стандартам. Наприклад, у зонах з найбільшим трафіком або поблизу житлових масивів можна вводити спеціальні режими руху для автомобілів із низькими екологічними класами, стимулюючи перехід до використання електромобілів або транспортних засобів із меншими викидами.

Додатково, розпізнавання екологічних стандартів допомагає створювати прогностичні моделі, які враховують зміну складу автопарку міста з часом, а також вплив нових технологій і екологічних регуляцій на якість повітря. Це стає основою для планування довгострокових стратегій щодо поліпшення екологічного стану міста, враховуючи як місцеві, так і глобальні тенденції.

Таким чином, інтеграція можливостей розпізнавання типу транспорту, екологічних стандартів і технічних характеристик в ІТС є важливим етапом у створенні комплексного підходу до управління транспортними потоками та зменшення їхнього впливу на навколишнє середовище.

На основі даних про рівні забруднення, отриманих за допомогою ІТС, можна здійснювати довгострокове планування та розробляти ефективні заходи

для поліпшення стану навколишнього середовища та розвитку міської інфраструктури.

Такі дані дозволяють проводити детальний аналіз просторового та часового розподілу забруднень, визначати найбільш критичні зони та періоди, коли рівень шкідливих речовин у повітрі перевищує нормативні значення. Це є основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо впровадження локальних або загальноміських екологічних ініціатив.

Зокрема, на основі отриманих даних можна:

- Розробляти заходи для зменшення викидів у критичних зонах, наприклад, впроваджувати обмеження для руху транспорту, що не відповідає сучасним екологічним стандартам, або створювати «зелені зони» з обмеженням доступу для приватних автомобілів;

- Оптимізувати транспортну інфраструктуру шляхом перенаправлення транспортних потоків, модернізації дорожньої мережі або впровадження адаптивних світлофорів для зниження заторів;

- Планувати розвиток громадського транспорту, надаючи пріоритет екологічно чистим рішенням, таким як електробуси або велодоріжки, що сприяє зменшенню кількості приватних автомобілів на дорогах;

- Розробляти довгострокові стратегії з озеленення міста, оскільки збільшення кількості зелених насаджень може сприяти зниженню рівня забруднення та покращенню мікроклімату в густонаселених районах.

Для промислових міст, таких як Кривий Ріг, інтеграція даних про забруднення в процес довгострокового планування дозволяє не лише зменшити вплив автотранспорту на навколишнє середовище, але й створити умови для підвищення якості життя населення. Завдяки такому підходу місто може рухатися до сталого розвитку, забезпечуючи баланс між економічним зростанням, екологічною безпекою та соціальними потребами.

Висновки. Для забезпечення сталого розвитку міської інфраструктури та підвищення якості повітря у промислових містах, таких як Кривий Ріг, необхідна інтеграція інтелектуальних транспортних систем (ІТС) із системами екологічного моніторингу. Проведені дослідження та прогнозовані моделі підтвердили, що пікові періоди інтенсивності руху припадають на ранкові години (8:00–11:00) та вечірні години (15:00–18:00), що супроводжується підвищенням концентрацій забруднюючих речовин, таких як оксид вуглецю (CO) і діоксид азоту (NO₂).

Запропонована система інтегрує ІТС із прогнозними моделями та екологічними даними, що забезпечує як оперативне реагування на екологічні виклики, так і довгострокове планування. Це дозволяє адаптивно керувати світлофорами за принципом «зеленої хвилі» для оптимізації транспортних потоків і перенаправляти рух у менш завантажені зони.

Крім того, система прогнозує критичні зони забруднення, що дає змогу своєчасно впроваджувати регулюючі заходи.

ІТС із функцією аналізу типу транспорту, його екологічних характеристик і відповідності стандартам, таким як Євро-6, дозволяють проводити точніший моніторинг впливу транспорту на довкілля. Це дає можливість знизити кількість шкідливих викидів, особливо у зонах із високою транспортною завантаженістю, та забезпечити

оптимальне використання міської дорожньої інфраструктури.

Впровадження такої системи сприятиме комплексному підходу до управління транспортною мережею міста, забезпечуючи баланс між економічною ефективністю, екологічною безпекою та покращенням якості життя мешканців.

Конфлікт інтересів Під час проведення дослідження щодо змісту статті конфлікту інтересів сторін не спостерігалось.

Література

1. Катерна О. К. Формування концепції інтелектуального управління на транспорті. Електронне наукове фахове видання з економічних наук «Modern Economics». 2018. № 9. С. 30–42. URL: [https://doi.org/10.31521/modecon.V9\(2018\)-04](https://doi.org/10.31521/modecon.V9(2018)-04).
2. Soltus A., Rud M. Prospects for the application of the global high-speed, low latency broadband satellite internet in the field of road transport. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2021. No. 4(35). P. 254–264. URL: [https://doi.org/10.32515/2664-262x.2021.4\(35\).254-264](https://doi.org/10.32515/2664-262x.2021.4(35).254-264).
3. Sankar P., Joel M. R., Husain A. J. Design and Implementation of Intelligent Traffic-Management System for Smart Cities using Roaming Agent and Deep Neural Network (RAD2N). International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2023. Vol. 11, no. 10s. P. 81–88. URL: <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10s.7598>.
4. Черевніченко О., Валацкене А. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ (НА ПРИКЛАДІ М. КИЄВА). Містобудування та територіальне планування. 2022. № 80. С. 416–450. URL: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.416-450>.
5. Zamri M. A., Hamzah N. The Implementation of Intelligent Traffic Management System in Solving Traffic Congestion: A Survey of Federal Route 3214. Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2319, no. 1. P. 012032. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2319/1/012032>.
6. Tomaszewska E. J. Barriers related to the implementation of intelligent transport systems in cities – the Polish local government's perspective. Engineering Management in Production and Services. 2021. Vol. 13, no. 4. P. 131–147. URL: <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0036>.
7. Stepanchuk O., Reizen E., Bieliatynskyi A. Моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст. Proceedings of National Aviation University. 2014. С. 10–29.
8. Самчук Г. О., Копитков Д. М. Методичні рекомендації до організації самостійної роботи та проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Інтелектуальні транспортні системи» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання спеціальності 275», Транспортні технології (за видами)). Харків : Харк. нац. акад. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекет, 2023.
9. Широкун К. Від «Євро-0» до «Євро-6»: Які стандарти викидів авто діють в Україні. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/vid-evro-0-evro-6-ki-standarti-vikidiv-avto-1715631306.html>.