

## Секція 7

### «Використання ШІ в сучасних фізичних дослідженнях»

УДК 656.13:504.062.4:711.4

#### **РОЛЬ ШІ У ПРОГНОЗУВАННІ ВПЛИВУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

С.С. Душкін

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
dushkin@khadi.kharkov.ua*

Сучасна концепція сталого розвитку міст (Smart City) базується на глибокій інтеграції інтелектуальних систем у всі сфери життєдіяльності, де транспортна інфраструктура відіграє ключову роль. Одним із найскладніших викликів для таких систем є динамічність зовнішнього середовища, зокрема метеорологічних факторів. Схема взаємодії «середовище – дорога – автомобіль» демонструє, що погодні умови (опаді, туман, температурні коливання) безпосередньо впливають на фізичний стан дорожнього покриття та технічні характеристики транспортних засобів [1].

Використання штучного інтелекту (ШІ) дозволяє перейти від пасивного реагування на погодні умови до проактивного прогнозування. ШІ здатний аналізувати масиви даних з датчиків моніторингу довкілля та сенсорних мереж у режимі реального часу, що є необхідною умовою для оптимізації транспортних потоків [2, 3].

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю підвищення енергоефективності транспорту та мінімізації негативного техногенного впливу на навколишнє середовище. Прогнозування метеорологічних ризиків за допомогою алгоритмів машинного навчання дозволяє не лише покращити безпеку дорожнього руху, а й суттєво знизити рівень шумового забруднення та викидів шкідливих речовин, забезпечуючи перехід до екологічно стійких міських екосистем.

Фундаментальною основою для впровадження ШІ у транспортні системи є розуміння фізичних процесів, що відбуваються під час руху за різних погодних умов. Метеорологічні чинники, такі як дощ, сніг або ожеледиця, кардинально змінюють коефіцієнт зчеплення шин із дорожнім покриттям. ШІ дозволяє не просто констатувати факт погіршення умов, а будувати прогнозні моделі на основі таких даних:

1. Динаміка опору руху – алгоритми машинного навчання можуть обробляти дані про щільність повітря, швидкість вітру та інтенсивність опадів для розрахунку додаткового опору, який долає автомобіль. Це дозволяє системі керування електромобілем (EV) заздалегідь коригувати стратегію витрат енергії акумулятора.

2. Оптимізація рекуперації – у стані ожеледиці чи сильного зволоження покриття, стандартні налаштування систем рекуперації енергії можуть призвести до блокування коліс або втрати курсової стійкості. ІІІ-моделі прогнозують стан покриття та адаптують інтенсивність рекуперативного гальмування, що забезпечує баланс між поверненням енергії та безпекою.

3. Стан дорожньої інфраструктури – фізичний стан дороги у поєднанні з метеорологічним впливом створює додаткові вібраційні навантаження. Інтелектуальний аналіз вібраційного відгуку підвіски автомобіля дозволяє ІІІ класифікувати тип покриття та надавати рекомендації щодо найбільш енергоефективного та безпечного швидкісного режиму.

Використання інтелектуальних транспортних систем (ITS) дозволяє мінімізувати кількість циклів розгону та гальмування у несприятливих умовах, що є ключовим фактором енергозбереження. Таким чином, ІІІ перетворює пасивну схему «середовище – дорога – автомобіль» на активну систему.

Другим критично важливим аспектом є використання ІІІ для мінімізації негативного впливу транспорту на довкілля, що особливо актуально в умовах зростання кількості автомобілів. У цьому контексті ІІІ виконує роль сполучної ланки між даними моніторингу та реальними діями з управління рухом:

- прогнозування розсіювання шкідливих речовин (ІІІ здатний аналізувати взаємозв'язок між метеорологічними факторами та концентрацією забруднюючих речовин);

- інтеграція з сучасними газоаналізаторами (використання інтелектуальних станцій), що дозволяє ІІІ створювати точну «екологічну карту» міста в реальному часі;

- динамічне регулювання «зелених хвиль» на основі прогнозів екологічного стану – ІІІ може адаптувати роботу світлофорних об'єктів (адаптивні системи управління) що зменшує час простою автомобілів у заторах, що є головним джерелом локальних викидів шкідливих речовин у містах;

- стимулювання екологічної поведінки: ІІІ може надавати водіям через інтерактивні знаки або мобільні додатки рекомендації щодо найбільш «чистих» маршрутів, інтегруючи інфраструктуру для електромобілів та стимулюючи використання екологічних видів палива.

Третій аспект дослідження стосується створення адаптивної дорожньої інфраструктури, де ІІІ виступає головним операційним центром. У межах концепції Smart City дороги перестають бути пасивним елементом і стають активним учасником руху [4]:

- прогностичне обслуговування інфраструктури – використовуючи дані про метеорологічне навантаження та інтенсивність руху, ІІІ може прогнозувати знос дорожнього покриття. Це дозволяє проводити ремонтні

роботи превентивно, уникаючи заторів, які спричиняють надлишкові викиди CO<sub>2</sub> та перевитрату енергії;

– V2I (Vehicle-to-Infrastructure) взаємодія – ІІІ забезпечує обмін даними між автомобілем та дорогою: у випадку раптової зміни погоди, система миттєво передає сигнал усім транспортним засобам у радіусі дії, автоматично коригуючи їхню швидкість для підтримки екологічного та безпечного темпу руху.

– зниження шумового та техногенного навантаження – завдяки інтелектуальному розподілу потоків, ІІІ мінімізує накопичення транспорту в «вузьких» місцях, що не лише покращує екологічну безпеку, а й знижує рівень шумового забруднення;

Отже, роль ІІІ полягає у трансформації класичної тріади «середовище – дорога – автомобіль» у єдину інтелектуальну екосистему. Таким чином, інтелектуальний моніторинг стає інструментом переходу міста до моделі сталого розвитку, сприяючи збереженню природних ресурсів та мінімізації техногенного впливу на мешканців: визначено, що інтеграція ІІІ в систему «середовище – дорога – автомобіль» є критично важливою для переходу до моделі сталого розвитку Smart City; аналіз показав, що ІІІ здатний ефективно прогнозувати зміну енергоспоживання транспортних засобів залежно від метеорологічних факторів, адаптуючи роботу систем рекуперації та режимів руху; встановлено, що використання інтелектуальних систем моніторингу дозволяє реалізувати проактивне управління транспортними потоками для зниження екологічного навантаження на міське середовище.

## Література

1. Душкін С.С. Нові підходи до сталого розвитку міст. Міжнар. наук.-техн. конф. «Сталий розвиток транспортних систем: наука і практика». Харків, ХНАДУ, 25-26 листопада **2024** р. С. 238-240.

2. Yusuf, O., Rasheed, A., & Lindseth, F. Leveraging Big Data and AI for Sustainable Urban Mobility Solutions. *Urban Science*. 2025. Vol. 9, No. 8. Art. 301. DOI: 10.3390/urbansci9080301.

3. Silva B. N., Khan M., Han K. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol. 38. P. 697–713. DOI: 10.1016/j.scs.2018.01.053.

4 Душкін С.С. Зелене дорожнє будівництво в контексті SMART-урбанізму. Матер. ІV міжнар. наук.-техн. конф. «Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації». Харків: ХНАДУ, 2025. С. 72-76.