

УДК 004.932.74:519.816

**ДІАГРАМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
ЗАВАНТАЖЕНІСТЮ ПАРКІНГІВ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ**

Кононихін О.С., Кривко В.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Проблема неефективного управління паркувальним простором у сучасних мегаполісах призводить до значних економічних та екологічних втрат, включаючи збільшення часу пошуку паркомісця, надмірні викиди CO₂ та незбалансоване навантаження на інфраструктуру. Більшість існуючих рішень обмежуються пасивним моніторингом завантаженості. Ця робота описує комп'ютерну технологію, що реалізує проактивний підхід, заснований на прогнозуванні попиту та автоматизованому прийнятті рішень [1-2].

Мета роботи – зниження економічних втрат за рахунок розробки діаграми комп'ютерної технології управління завантаженістю паркінгів на основі прогнозного моделювання.

Розроблена комп'ютерна технологія являє собою п'ятикомпонентну інтегровану систему, що охоплює повний цикл обробки даних: від збору до надання кінцевих сервісів [3-4].

Компонент 1 - Конвеєр даних. На цьому рівні відбувається агрегація даних з різноманітних джерел.

Джерела даних включають фізичні сенсори (ультразвукові, магнітні), системи комп'ютерного зору (детекція завантаженості з відеокамер) та зовнішні API (погодні умови, календарні події, міські заходи).

Дані надходять через відмовостійкі протоколи (MQTT/HTTPS) до стримінгового модуля для обробки в реальному часі. Очищені та агреговані дані зберігаються у спеціалізованій базі даних часових рядів для подальшого аналізу та тренування моделей.

Компонент 2 - Прогнозна модель. Це ядро аналітичної підсистеми, відповідальне за прогнозування стохастичного попиту.

Агреговані часові ряди збагачуються контекстуальними даними (час доби, день тижня, погода, події).

Використовується архітектура рекурентної нейронної мережі типу LSTM (Long Short-Term Memory), яка здатна ефективно виявляти складні часові залежності. Модель навчається на історичних даних і генерує прогнози завантаженості для кожної паркувальної зони на визначені часові горизонти (наприклад, T+15, T+30, T+60 хвилин).

Компонент 3 - Ядро оптимізації . На основі отриманих прогнозів, система розв'язує дві ключові задачі оптимізації:

- динамічне ціноутворення - модель розраховує оптимальні тарифи, базуючись на прогнозованому попиті та заданій цільовій завантаженості (наприклад, 85%). Це дозволяє економічно регулювати попит, запобігаючи перевантаженню одних зон та стимулюючи використання інших;

- оптимальна навігація - система розраховує для користувача не просто найближче, а оптимальне паркомісце. Критерій оптимальності враховує комбінацію факторів: прогнозований час прибуття, прогнозована наявність місця на момент прибуття, вартість паркування (отримана з моделі ціноутворення) та час пішого переходу до кінцевої точки призначення.

Компонент 4 - Рівень надання сервісів. Система надає результати своєї роботи зовнішнім споживачам через стандартизований REST API. Ці API можуть бути інтегровані у мобільні додатки для водіїв, бортові комп'ютери автомобілів або міські інформаційні табло.

Компонент 5 - Модуль валідації. Для оцінки ефективності розробленої технології та калібрування моделей використовується платформа імітаційного мікромоделювання транспортних потоків. Модуль дозволяє симулювати поведінку тисяч агентів (водіїв), які реагують на динамічні ціни та навігаційні підказки системи.

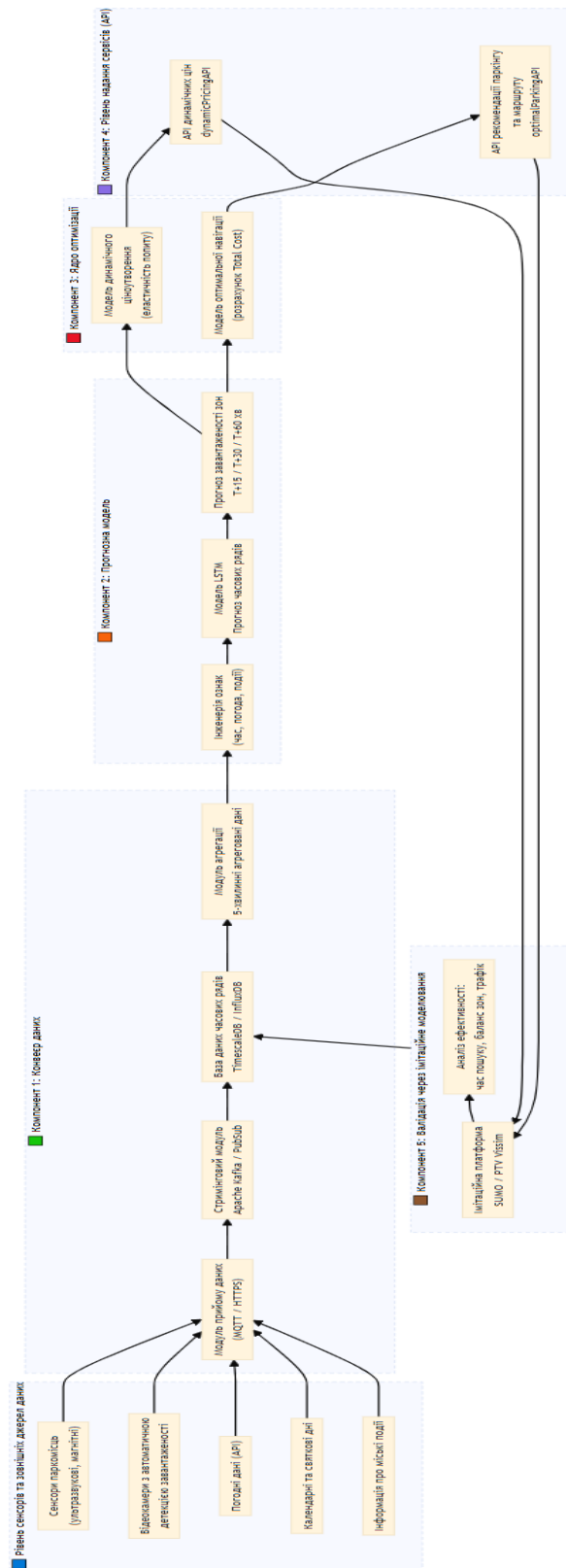


Рисунок 1- Діаграма комп’ютерної технології управління завантаженістю паркінгів на основі прогнозного моделювання

Це дає змогу оцінити сукупний вплив системи на ключові метрики: середній час пошуку паркомісця, збалансованість завантаження зон та

загальну завантаженість дорожньої мережі. Дані симуляції також використовуються для зворотного зв'язку та донавчання прогнозних моделей.

Запропонована комп'ютерна технологія створює комплексну екосистему для інтелектуального управління паркінгом. На відміну від реактивних систем, вона використовує прогнозні моделі для проактивного впливу на попит та пропозицію. Інтеграція LSTM-прогнозування з подвійним ядром оптимізації (ціни та навігація) дозволяє не лише інформувати водіїв, але й активно керувати транспортною поведінкою, що відкриває перспективи для значного покращення міської мобільності.

Література:

1. Smart Parking Systems: Reviewing the Literature, Architecture, and Ways Forward / M. A. Al-Absi, A. A. Al-Absi, J. Lee // Sensors [Електронний ресурс]. – 2022. – Vol. 22, № 21. – Art. 8115. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/21/8115> (дата звернення: 10.11.2025).
2. Smart Parking System with Dynamic Pricing using IoT / S. Kumar, R. Singh, A. Sharma [et al.] // 2024 5th International Conference on Signal Processing and Communication (ICC) [Електронний ресурс] : proceedings. – IEEE, 2024. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10714686> (дата звернення: 16.11.2025).
3. Кононихін О.С., Сухомлінов В.К., Корольов В.М. Багатокритеріальна модель вибору обладнання системи GPS-моніторингу будівельно-дорожньої техніки // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2023. No 13(27) 2023. С. 774-783
4. Кононихін О.С., Прачик В.А., Щепетільников С.Ю. Модель вибору мережевого обладнання логістичного підприємства в умовах інтервальної інформації // «Наука і техніка сьогодні» (Серія «Техніка»): журнал. 2024. No 1(29) 2024. С. 718-726