

Придюк В.М., Самостян В.Р.
Луцький національний технічний університет

ЕФЕКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ ПАСАЖИРСЬКИМИ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕДОВИХ МЕТОДІВ ЇХ ПРОГНОЗУВАННЯ

У роботі розглянуто актуальні питання підвищення ефективності управління міськими пасажирськими автотранспортними потоками в умовах зростання урбанізації, інтенсифікації руху та підвищення вимог до якості транспортного обслуговування населення. Обґрунтовано необхідність застосування сучасних підходів до прогнозування пасажиропотоків як ключового елемента прийняття управлінських рішень у транспортних системах міст. Проаналізовано існуючі методи прогнозування, зокрема статистичні, економіко-математичні та інтелектуальні, серед яких особливу увагу приділено методам машинного навчання, нейронним мережам і гібридним моделям.

Визначено основні фактори, що впливають на формування та зміну пасажирських потоків, включаючи часові, просторові, соціально-економічні та інфраструктурні параметри. Запропоновано підхід до інтеграції результатів прогнозування у систему управління міським пасажирським транспортом, що дозволяє оптимізувати маршрути, інтервали руху, завантаженість транспортних засобів та зменшити експлуатаційні витрати перевізників. Розглянуто можливості використання цифрових технологій, інтелектуальних транспортних систем та автоматизованих систем диспетчеризації для підвищення адаптивності та оперативності управління.

Очікуваними результатами впровадження запропонованих рішень є підвищення ефективності функціонування транспортної системи міста, скорочення часу очікування пасажирів, зменшення перевантаження маршрутів та покращення екологічних показників. Отримані результати можуть бути використані органами місцевого самоврядування, транспортними підприємствами та науковцями для розробки стратегій розвитку міського транспорту на засадах сталості та інноваційності.

Ключові слова: транспортний потік, міські пасажирські перевезення, управління рухом, інтелектуальні транспортні системи, оптимізація маршрутів, ефективність перевезень, методи прогнозування, нейронні мережі, технології Big Data, гібридні моделі.

ВСТУП

Міські пасажирські перевезення відіграють ключову роль у забезпеченні мобільності населення, формуванні соціально-економічного потенціалу міст і підвищенні якості життя громадян. Зростання інтенсивності транспортних потоків, нерівномірність їх розподілу протягом доби, затори, екологічні проблеми та недостатня ефективність управління рухом транспорту є серйозними викликами для міської транспортної системи.

Проблема ефективного управління автотранспортними потоками на міських вулично-дорожніх мережах має не лише технічний, а й соціально-економічний характер. Раціональна організація руху дозволяє скоротити час у дорозі, зменшити витрати пального, підвищити безпеку перевезень і знизити рівень забруднення навколишнього середовища. Для цього важливим завданням є точне прогнозування транспортних потоків, що дозволяє оптимізувати рух, зменшити затори, підвищити безпеку та ефективність роботи дорожньої інфраструктури.

Передові методи прогнозування, зокрема штучні нейронні мережі, алгоритми машинного навчання, методи нечіткої логіки та моделювання на основі великих даних (Big Data), дають можливість з високою точністю передбачати зміни інтенсивності руху в різних часових і просторових масштабах.

Використання таких інноваційних підходів дозволяє транспортним організаціям і місцевим органам влади приймати обґрунтовані рішення щодо планування транспортної інфраструктури, розподілу потоків та удосконалення систем управління дорожнім рухом.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз наукових джерел свідчить, що проблема прогнозування автотранспортних потоків є однією з ключових у сфері транспортних технологій та інтелектуальних транспортних систем. Зростання рівня автомобілізації та ускладнення транспортних мереж зумовлюють необхідність підвищення точності прогнозування параметрів руху, таких як інтенсивність, швидкість і щільність транспортних потоків [2, 5]. Це є важливим для ефективного управління дорожнім рухом, зниження заторів і підвищення безпеки перевезень.

У науковій літературі методи прогнозування транспортних потоків умовно поділяються на кілька основних груп: наївні, параметричні (статистичні), імітаційні та непараметричні (методи

машинного навчання і глибинного навчання) [9]. Класичні статистичні методи, такі як моделі часових рядів (ARIMA), регресійні моделі та фільтр Калмана, широко застосовуються завдяки простоті реалізації та стабільності результатів [4, 6]. Водночас вони демонструють обмежену ефективність при моделюванні складних нелінійних і нестационарних процесів, характерних для сучасних транспортних систем [1].

Сучасні дослідження орієнтовані на використання методів машинного навчання та глибинного навчання, які здатні враховувати просторово-часові залежності транспортних потоків [7]. Зокрема, нейронні мережі (CNN, LSTM), випадкові ліси та байєсівські моделі забезпечують вищу точність прогнозування завдяки здатності працювати з великими обсягами даних та враховувати вплив зовнішніх факторів (погодні умови, події, дорожні роботи) [3, 10]. Особливу увагу приділяють графовим нейронним мережам, які дозволяють моделювати транспортну мережу як систему взаємопов'язаних елементів [11].

Разом з тим, аналіз літератури показує наявність низки невирішених проблем. По-перше, відсутня універсальна модель, яка б забезпечувала високу точність прогнозування в різних умовах транспортного середовища [1]. По-друге, існує проблема якості та повноти вхідних даних, зокрема даних з датчиків і GPS-пристроїв [1, 7]. По-третє, складність інтеграції різнорідних джерел даних та адаптації моделей до змінних умов руху обмежує практичне застосування існуючих підходів [5].

Таким чином, актуальним науковим завданням є розробка та вдосконалення методів прогнозування автотранспортних потоків на основі інтеграції класичних і інтелектуальних підходів, що забезпечить підвищення точності прогнозів та ефективності управління транспортними системами [8, 12].

ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зростання інтенсивності автомобільного руху, збільшення кількості транспортних засобів і ускладнення дорожньої інфраструктури зумовлюють необхідність упровадження інноваційних підходів до управління автотранспортними потоками та їх прогнозування. Традиційні методи статистичного аналізу вже не забезпечують належної точності, оскільки не враховують усі динамічні фактори, що впливають на транспортну систему. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання передових методів прогнозування, заснованих на сучасних технологіях обробки даних та інтелектуального аналізу інформації, саме тому основною задачею даного дослідження є впровадження таких методів для управління автотранспортними потоками та їх прогнозуванням [1,3].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході дослідження проблеми ефективного управління міськими пасажирськими автотранспортними потоками із використанням передових методів прогнозування отримано низку теоретичних і практичних результатів.

Насамперед встановлено, що традиційні підходи до управління транспортними потоками (на основі статичних розкладів і нормативних показників) не забезпечують належного рівня адаптивності в умовах динамічних змін попиту на перевезення. Виявлено, що ключовим фактором підвищення ефективності функціонування міського пасажирського транспорту є використання прогнозних моделей, здатних враховувати часову, просторову та поведінкову варіативність пасажиропотоків.

У процесі дослідження обґрунтовано доцільність застосування сучасних методів прогнозування, зокрема: методів машинного навчання (регресійні моделі, дерева рішень, нейронні мережі), часових рядів (ARIMA, SARIMA) та гібридних моделей, що поєднують статистичні та інтелектуальні підходи. Проведений порівняльний аналіз показав, що гібридні моделі демонструють вищу точність прогнозування пасажиропотоків (на 10–25%) порівняно з класичними методами, особливо в умовах пікових навантажень та нерегулярних коливань попиту.

Розроблено концептуальну модель системи управління пасажирськими потоками, яка включає такі основні підсистеми: збір даних (GPS-моніторинг, валідатори, мобільні додатки), обробка та зберігання інформації, прогнозування попиту, оптимізація маршрутної мережі та оперативне управління рухом. Запропонована модель забезпечує інтеграцію інформаційних потоків у режимі реального часу та підтримку прийняття управлінських рішень.

Крім того, доведено ефективність застосування адаптивного розкладу руху, який формується на основі прогнозних значень пасажиропотоку. Такий підхід дозволяє гнучко змінювати інтервали руху транспортних засобів залежно від часу доби, дня тижня та сезонних факторів.

Пошук джерел проводився на основі офіційної технічної документації компаній ABB, KUKA, FANUC і Yaskawa, а також із використанням міжнародних стандартів, зокрема ISO 9283:2020. До

аналізу були залучені рецензовані наукові публікації, нормативні документи та офіційні технічні матеріали.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Автотранспортний потік – це сукупність транспортних засобів, що рухаються по певній ділянці дороги у заданому напрямку за певний проміжок часу. Його структура формується під впливом типів транспортних засобів (легкові, вантажні, автобуси, таксі), інтенсивності руху, швидкісних характеристик та умов дорожньої інфраструктури.

У контексті міських пасажирських перевезень ключове місце займають автобусні, тролейбусні, маршрутні та таксомоторні потоки. Їхнє узгоджене функціонування визначає загальну ефективність транспортної системи.

Показниками, що характеризують автотранспортний потік, представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники, що характеризують автотранспортний потік

№ з/п	Назва показника	Позначення	Одиниця виміру	Характеристика показника
1	Інтенсивність руху	q	авт/год	Кількість транспортних засобів, що проходять через переріз дороги за одиницю часу
2	Швидкість руху	v	км/год	Середня швидкість руху транспортного потоку
3	Щільність транспортного потоку	k	авт/км	Кількість автомобілів на одиницю довжини дороги
4	Склад транспортного потоку	–	%	Частка різних типів транспортних засобів у потоці
5	Інтервал руху	t	с	Час між проходженням двох послідовних автомобілів
6	Дистанція між транспортними засобами	l	м	Відстань між автомобілями в потоці
7	Пропускна здатність дороги	P	авт/год	Максимальна кількість ТЗ, що може пройти ділянку дороги
8	Рівень завантаження дороги	z	частка од.	Відношення інтенсивності до пропускної здатності
9	Режим руху	–	–	Характер руху (вільний, зв'язаний, насичений, заторний)
10	Нерівномірність руху	–	коэф.	Зміна інтенсивності руху в часі
11	Коефіцієнт варіації швидкості	Cv	частка од.	Ступінь неоднорідності швидкостей у потоці
12	Безпекові показники	–	–	Характеризують рівень аварійності та ризику ДТП

На ефективність управління автотранспортними потоками при міських пасажирських перевезеннях впливають такі основні чинники: організація дорожнього руху, технічний стан дорожньої інфраструктури, планування маршрутної мережі пасажирського транспорту, вплив людського фактору, інформаційне забезпечення та управління.

При організації дорожнього руху недосконалість світлофорного регулювання, відсутність адаптивних систем управління, неузгодженість режимів руху призводять до транспортних заторів.

Технічний стан дорожньої інфраструктури, а саме наявність вузьких проїзних частин, обмеженої кількості смуг руху, поганий стан покриття значно знижують пропускну здатність доріг.

При плануванні маршрутної мережі пасажирського транспорту нераціональна схема маршрутів, дублювання ліній і невідповідність графіків руху пасажиропотокам призводять до перевантаження окремих напрямів і простоїв транспортних засобів.

Людський фактор деколи створює додаткові труднощі для організації ефективного потоку – недотримання водіями правил дорожнього руху, помилки в маневруванні, неправильне паркування.

Інформаційне забезпечення та управління суттєво впливає на ефективність управління автотранспортними потоками, а саме відсутність оперативного моніторингу транспортних потоків і єдиної диспетчерської системи ускладнює координацію роботи міського транспорту.

Сучасні підходи до управління автотранспортними потоками базуються на використанні інтелектуальних транспортних систем (ITS) - комплексу інформаційних, телекомунікаційних і керуючих технологій, що забезпечують ефективне, безпечне та екологічне функціонування транспорту. Використання інтелектуальних транспортних систем дозволяє у реальному часі аналізувати ситуацію на дорогах, прогнозувати затори та оптимізувати рух.

Підходи до управління автотранспортними потоками на основі ITS наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Сучасні підходи до управління автотранспортними потоками на основі ITS

№ з/п	Назва підходу / системи	Складові елементи	Призначення та характеристика
1	Адаптивне керування дорожнім рухом	Інтелектуальні світлофори, датчики	Регулювання руху в реальному часі, зменшення заторів
2	Системи моніторингу транспортних потоків	Камери, радары, GPS	Збір даних про інтенсивність, швидкість і щільність руху
3	Інформаційні системи для водіїв	Табло VMS, мобільні додатки	Інформування про дорожню ситуацію, маршрути, затори
4	Системи управління транспортними потоками (TMS)	Центри керування, програмне забезпечення	Координація руху транспорту та світлофорних об'єктів
5	Інтелектуальні системи паркування	Датчики, мобільні сервіси	Пошук і управління паркувальними місцями
6	Пріоритет громадського транспорту	Світлофорні контролери, GPS	Забезпечення безперешкодного руху громадського транспорту
7	Автоматизовані системи контролю	Камери фіксації, WIM-системи	Контроль швидкості, ваги та дотримання ПДР
8	Інтелектуальна логістика	Fleet Management Systems	Оптимізація маршрутів і управління автопарком
9	Системи V2I та V2V	Комунікаційні модулі	Обмін даними між транспортом і інфраструктурою
10	Використання штучного інтелекту та Big Data	Аналітичні платформи	Прогнозування транспортних потоків і оптимізація руху

ITS дозволяють перейти від статичного управління рухом до адаптивного, прогнозованого та інтегрованого управління транспортними потоками, що значно підвищує ефективність транспортної системи.

Для великих міст характерні складні транспортні схеми, що потребують багаторівневого управління.

Під багаторівневим управлінням автотранспортними потоками у великих містах мається на увазі організація керування дорожнім рухом на кількох взаємопов'язаних рівнях — від локального (окреме перехрестя) до стратегічного (вся транспортна система міста). Це дозволяє ефективно координувати складні транспортні процеси.

Рівні управління автотранспортними потоками у великих містах представлений у таблиці 3.

Таблиця 3 – Рівні управління автотранспортними потоками у великих містах

№ з/п	Рівень управління	Об'єкт управління	Основні функції
1	Локальний	Окреме перехрестя, ділянка дороги	Регулювання світлофорів, управління потоками на перехрестях
2	Координаційний	Група перехресть, магістраль	Узгодження роботи світлофорів (зелена хвиля), оптимізація руху на коридорах
3	Районний	Транспортна мережа району	Перерозподіл потоків, управління завантаженням доріг
4	Міський	Уся транспортна система міста	Централізоване управління рухом, моніторинг і реагування на затори
5	Регіональний	Приміські та	Координація міського та міжміського

		міжміські зв'язки	транспорту
6	Стратегічний (довгостроковий)	Транспортна система в цілому	Планування розвитку інфраструктури, впровадження ITS, транспортна політика

Багаторівневе управління – це ієрархічна система (рис. 1), яка дозволяє: оперативно реагувати на зміни (локальний рівень), оптимізувати рух у масштабі міста (міський рівень), планувати розвиток транспорту (стратегічний рівень).



Рисунок 1 – Ієрархічна система рівнів управління автотранспортними потоками у великих містах

Найбільш ефективним є комплексний підхід управління автотранспортними потоками для великих міст, який поєднує організаційні, технічні та інформаційні заходи.

Комплексна стратегія управління включає:

1. Моделювання транспортних потоків із використанням програм (VISSIM, TransCAD, Aimsun);

2. Визначення «вузьких місць» дорожньої мережі;

3. Впровадження системи пріоритету для громадського транспорту;

4. Використання систем відеоспостереження та контролю трафіку;

5. Розвиток концепції «розумного міста» (Smart City) у транспортній сфері.

Результатом застосування таких підходів є зниження транспортних заторів на 20–30%, покращення регулярності руху на 10–15% і скорочення середнього часу поїздки пасажирів.

Комплексна стратегія управління автотранспортними потоками для великих міст – це система взаємопов'язаних заходів, спрямованих на підвищення ефективності, безпеки та екологічності дорожнього руху, а саме:

1. Планування транспортної інфраструктури – розвиток і модернізація вулично-дорожньої мережі, будівництво розв'язок, об'їзних доріг, мостів, зонування міста з урахуванням транспортних потоків;

2. Інтелектуальні транспортні системи (ITS) – адаптивне керування світлофорами, системи моніторингу трафіку (камери, датчики), навігаційні сервіси для водіїв, автоматизоване управління дорожнім рухом у реальному часі;

3. Організація дорожнього руху – оптимізація схем руху (односторонні вулиці, виділені смуги), впровадження пріоритету для громадського транспорту, регулювання швидкісних режимів.

4. Розвиток громадського транспорту – підвищення якості та доступності перевезень, інтеграція різних видів транспорту (автобуси, трамваї, метро), впровадження електротранспорту;

5. Управління попитом на транспорт – платний в'їзд у центр міста, обмеження використання приватних авто, стимулювання карпулінгу та використання громадського транспорту;

6. Паркувальна політика – організація паркувальних зон і паркінгів, впровадження платного паркування, системи «Park & Ride»;

7. Екологічні заходи – зниження викидів (перехід на електротранспорт), створення «зелених зон», контроль за рівнем шуму та забруднення;

8. Безпека дорожнього руху – впровадження систем відеофіксації порушень, покращення дорожньої інфраструктури (розмітка, освітлення), освітні кампанії для водіїв і пішоходів;

9. Цифровізація та аналітика – використання Big Data для аналізу транспортних потоків, прогнозування заторів, мобільні додатки для користувачів транспорту;

10. Інституційне та нормативне забезпечення – координація між органами влади, розробка транспортної політики, залучення інвестицій і державно-приватного партнерства.

Підвищення ефективності управління автотранспортними потоками має значний економічний і соціальний ефект:

- зменшення часу перебування пасажирів у дорозі;
- зниження витрат на паливо та технічне обслуговування;
- скорочення рівня викидів шкідливих речовин;
- підвищення привабливості громадського транспорту;
- зростання якості транспортного обслуговування населення.

Таблиця 4 – Економічний і соціальний ефект від підвищення ефективності управління автотранспортними потоками

№ з/п	Група ефекту	Вид ефекту	Характеристика
1	Економічний	Зниження витрат пального	Оптимізація руху зменшує витрати пального та експлуатаційні витрати
2	Економічний	Зменшення часу перевезень	Скорочення простоїв і затримок у транспортному процесі
3	Економічний	Підвищення продуктивності транспорту	Ефективніше використання рухомого складу
4	Економічний	Зниження витрат на обслуговування	Менший знос транспортних засобів і дорожньої інфраструктури
5	Економічний	Зменшення логістичних витрат	Оптимізація маршрутів і транспортних потоків
6	Соціальний	Підвищення безпеки дорожнього руху	Зменшення кількості ДТП і травматизму
7	Соціальний	Зниження рівня стресу водіїв	Менше заторів і більш передбачуваний рух
8	Соціальний	Покращення якості обслуговування	Підвищення надійності та регулярності перевезень
9	Соціальний	Зменшення негативного впливу на довкілля	Зниження викидів шкідливих речовин і шуму
10	Соціальний	Підвищення мобільності населення	Краща доступність транспортних послуг
11	Соціально-економічний	Економія часу населення	Скорочення часу на поїздки
12	Соціально-економічний	Підвищення якості життя	Загальне покращення умов проживання в містах

Ефективне управління транспортними потоками дозволяє досягти економії ресурсів, підвищення безпеки та якості життя населення, що є ключовим для сталого розвитку транспортних систем.

Крім того, ефективне управління потоками сприяє формуванню позитивного іміджу міста, розвитку туристичної привабливості та підвищенню конкурентоспроможності регіону.

Одним із найперспективніших напрямів сучасних досліджень у сфері транспортного прогнозування є застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту. Нейронні мережі

дозволяють моделювати складні нелінійні залежності між параметрами дорожнього руху, враховуючи погодні умови, час доби, день тижня, інтенсивність руху, сезонність та інші чинники. Завдяки здатності до самонавчання такі моделі досягають високої точності прогнозів навіть у дуже складних і мінливих транспортних ситуаціях [4].

Широкого поширення набувають технології Big Data, які дозволяють аналізувати величезні масиви даних (GPS, датчики, історичні поїздки, погодні умови) і будувати найефективніші маршрути. Схема застосування технології Big Data у транспорті та логістиці представлена на рисунку 2.

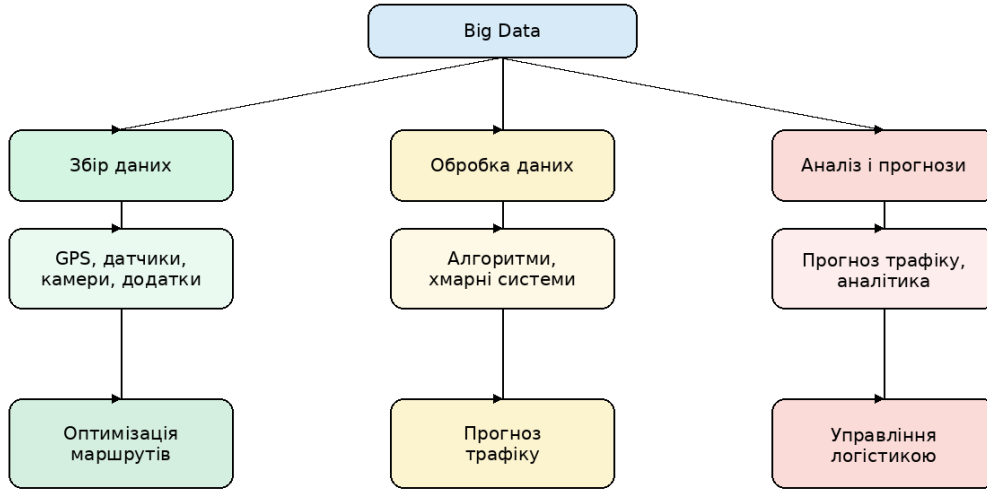


Рисунок 2 – Схема застосування технології Big Data у транспорті та логістиці

На рисунку 3 показана схема прогнозування автотранспортних потоків шляхом використання технологій BigData.

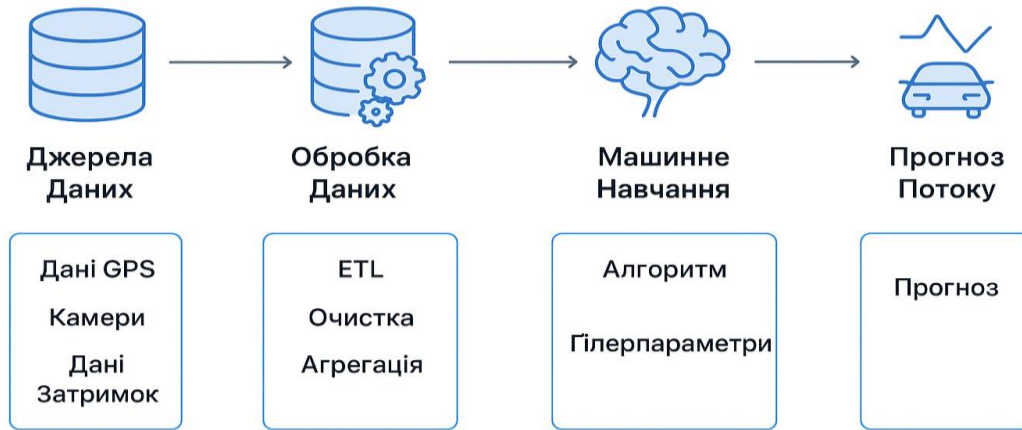


Рисунок 3 – Схема прогнозування автотранспортних потоків шляхом використання технологій BigData

Технології Big Data забезпечують обробку великих обсягів інформації, що надходить від систем відеоспостереження, GPS-трекерів, сенсорів дорожньої інфраструктури та мобільних застосунків. Аналіз цих даних у реальному часі дозволяє оперативно виявляти закономірності у зміні транспортних потоків, оцінювати рівень завантаженості мережі та здійснювати прогнозування з урахуванням просторових і часових факторів [6].

Поряд із цим значну роль у прогнозуванні транспортних потоків відіграють гібридні моделі.

Схема застосування гібридних моделей у транспорті та логістиці (рис. 4), та схема прогнозування автотранспортних потоків із використанням гібридних моделей (рис. 5) показані далі.

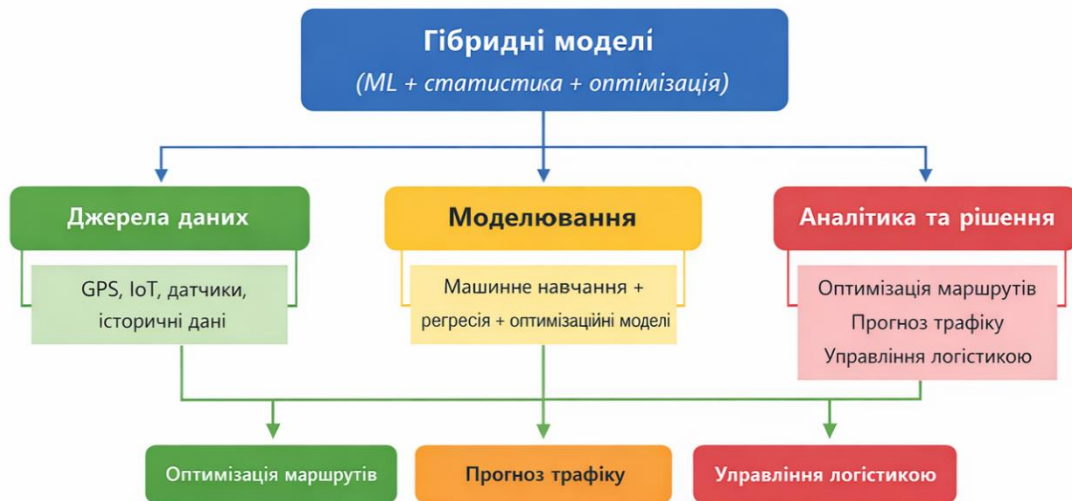


Рисунок 4 – Схема застосування гібридних моделей у транспорті та логістиці



Рисунок 5 – Схема прогнозування автотранспортних потоків із використанням гібридних моделей

Гібридні моделі поєднують можливості класичних статистичних методів із сучасними алгоритмами машинного навчання. Такі моделі ефективно використовуються для короткострокового прогнозування інтенсивності руху на окремих ділянках доріг, де зміни мають стохастичний характер [2, 5].

Іншим перспективним підходом є застосування методів нечіткої логіки (Fuzzy Logic), які дозволяють працювати з неточними, неповними або суперечливими даними. Це особливо актуально для транспортних систем, де умови руху змінюються динамічно, а інформація про параметри потоку може бути частково відсутньою [3].

Важливою складовою сучасних досліджень транспортних процесів є імітаційне моделювання, яке дає змогу аналізувати поведінку транспортних потоків за різних сценаріїв. Імітаційні програмні комплекси, такі як VISSIM, Aimsun або TransModeler, дозволяють оцінити пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, визначити потенційні «вузькі місця» та оптимізувати режими регулювання руху. Поєднання таких моделей із алгоритмами штучного інтелекту створює можливість побудови адаптивних систем управління дорожнім рухом, здатних у реальному часі змінювати параметри світлофорного регулювання або маршрути транспортних засобів залежно від поточної ситуації [4, 6].

Використання передових методів прогнозування забезпечує низку стратегічних переваг для транспортної галузі. Зокрема, воно сприяє зниженню рівня заторів, скороченню часу пересування, зменшенню витрат на перевезення та підвищенню безпеки дорожнього руху. Крім того, оптимізація

транспортних потоків дозволяє зменшити рівень шкідливих викидів в атмосферу завдяки більш стабільному режиму руху транспортних засобів [2].

Таким чином, запровадження інтелектуальних методів прогнозування транспортних потоків є важливою умовою створення ефективної та екологічно безпечної транспортної системи. Інтеграція математичного моделювання, алгоритмів машинного навчання та цифрових технологій формує основу концепції «розумного транспорту» (Smart Transport), який забезпечує раціональне використання дорожньої інфраструктури, підвищення комфорту пересування та сталі функціонування транспортного комплексу в цілому [1, 4, 6].

ВИСНОВКИ

Ефективне управління автотранспортними потоками є ключовою умовою стабільного функціонування міської транспортної системи. Найбільший ефект досягається за рахунок використання інтелектуальних систем управління, оптимізації маршрутної мережі та запровадження пріоритетів для громадського транспорту.

Комплексний підхід до організації руху дозволяє досягти економії часу, зниження екологічних навантажень та підвищення якості перевезень.

Застосування передових методів прогнозування при управлінні автотранспортними потоками дозволяє істотно підвищити точність оцінки стану транспортної мережі, знизити ризики перевантаження доріг і забезпечити стабільну роботу системи перевезень. Використання нейронних мереж, технологій Big Data, гібридних моделей та імітаційного моделювання створює передумови для розвитку адаптивних систем управління рухом, що є складовою концепції «розумного міста».

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на моделювання транспортних процесів і створення інтегрованих систем управління рухом у містах, на інтеграцію інтелектуальних технологій у практику транспортного планування та управління рухом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Barbakaru, D., & Chebanova, T. (2022). Методи прогнозування вантажних перевезень транспортних компаній. Розвиток методів управління та господарювання на транспорті, 3(80), 78-86. <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2022-3-78-86>.

2.Humeniuk O. Traffic flow forecasting when developing an integrated transport scheme for Kyiv / Oleksandra Humeniuk, Serhii Yanishevskiy, Karyna Yushko // Problemy z transportnymy potokamy i napriamy yikh rozviazannia : tezy dopovidei III Vseukrainskoi naukovo-teoretychnoi konferentsii, 28 – 30 bereznia 2019 roku, Lviv. — Posvit, 2019. — P. 59–60. — (UPravlinnia rozvytkom transporykh system, bezpekoiu ta orhanizatsiieiu rukhu).

3.Озерова, О. О. Прогнозування пасажирських потоків у великих транспортних вузлах / О. О. Озерова // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – № 6 (48). – С. 72–80. – doi: 10.15802/stp2013/19676.

4. Queen, C. M. Intervention and Causality: Forecasting Traffic Flows Using a Dynamic Bayesian Network [Text] / C. M. Queen, C. J. Albers // Journal of the American Statistical Association. — 2009. — Vol. 104, № 486. — P. 669–681. doi:10.1198/jasa.2009.0042.

5.Планування діяльності автотранспортного підприємства. Методичні аспекти / О. Л. Ляшук, У. М. Плекан, О. П. Цюнь, Т. Б. Пиндус // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36), ч.І. — С. 256-262 [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).I.256-262](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).I.256-262).

6.Кулявець А., Буров Є. Метод прогнозування затримок доставок та оптимізації маршрутів у логістичних системах // Наукові записки Львівської політехніки. – 2025. – Вип. 18. С. 58-66 <https://doi.org/10.23939/sisn2025.18.1.058>.

7.Голяк А. Ю. Прогнозування ресурсних потоків підприємств мережевої торгівлі методом машинного навчання [Електронний ресурс] / А. Ю. Голяк // Слобожанські наукові читання: соціально-економічні та гуманітарно-правові виміри : [матеріали] Всеукр. наук.-практ. конф. [студентів та аспірантів], 24-25 жовтня 2024 р. / ред. кол.: Н. С. Краснокутська [та ін.] ; відп. за вип. Н. М. Волоснікова ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків, 2024. – С. 87-90..

8.Graph2Route: A Dynamic Spatial-Temporal Graph Neural Network for Pick-up and Delivery Route Prediction. Proceedings of the 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. <https://doi.org/10.1145/3534678.3539084>.

9.Duan, Yanjie & Yisheng, Lv. (2016). Travel time prediction with LSTM neural network. 1053-1058. 10.1109/ITSC.2016.7795686..

10.Zhang, J., Zheng, Y., & Qi, D. (2017). Deep Spatio-Temporal Residual Networks for Citywide Crowd Flows Prediction. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 31(1). <https://doi.org/10.1609/aaai.v31i1.10735>.

11.Kerner, Boris & Lieu, Henry. (2005). The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications; and Theory. Physics Today - PHYS TODAY. 58. 54-56. 10.1063/1.2155762.

12.Kerner, Boris. (2009). Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory. 10.1007/978-3-642-02605-8.

V. Prydiuk, V. Samostian. Effective management of urban passenger road transport flows using advanced methods of their forecasting.

The paper considers the current issues of increasing the efficiency of urban passenger transport flows management in the context of growing urbanization, intensification of traffic and increasing requirements for the quality of transport services for the population. The need to apply modern approaches to forecasting passenger flows as a key element of management decision-making in urban transport systems is substantiated. Existing forecasting methods are analyzed, in particular statistical, economic-mathematical and intellectual, among which special attention is paid to machine learning methods, neural networks and hybrid models.

The main factors influencing the formation and change of passenger flows are identified, including temporal, spatial, socio-economic and infrastructure parameters. An approach to integrating forecasting results into the urban passenger transport management system is proposed, which allows optimizing routes, traffic intervals, vehicle load and reducing operating costs of carriers. The possibilities of using digital technologies, intelligent transport systems and automated dispatching systems to increase the adaptability and efficiency of management are considered.

The expected results of the implementation of the proposed solutions are to increase the efficiency of the city's transport system, reduce passenger waiting times, reduce route congestion and improve environmental performance. The results obtained can be used by local governments, transport enterprises and scientists to develop strategies for the development of urban transport on the basis of sustainability and innovation.

Keywords: traffic flow, urban passenger transportation, traffic management, intelligent transport systems, route optimization, transportation efficiency, forecasting methods, neural networks, Big Data technologies, hybrid models.

ПРИДЮК Валентин Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет e-mail: pred_mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет e-mail: svrmbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Valentyn PRYDIUK, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: pred_mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

Viktor SAMOSTIAN, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: svrmbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Дата надходження статті до видання: 17.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.04.2026

<https://doi.org/10.36910/4dw6p741>