

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження застосування нейронних мереж для аналізу
завантаженості міського транспорту «розумного міста»

Виконав: студент VI курсу, групи СНм-61
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Козловський А.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Липак Г.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Никитюк В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Оробчук О. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» ___ травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Козловському Андрієві Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження застосування нейронних мереж для аналізу завантаженості міського транспорту «розумного міста»

Керівник роботи Липак Галина Ігорівна, к. соц. ком., доцент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» листопада 2024 року № 4/7-1139

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 травня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про використання нейронних мереж для аналізу завантаженості громадського транспорту

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Теоретичні основи аналізу завантаженості міського транспорту. 1.1 Концепція «розумного міста» та роль транспорту в його функціонуванні. 1.2 Методи збору та аналізу даних про завантаженість транспорту. 1.3 Огляд сучасних технологій прогнозування транспортних потоків. 1.4 Висновок до першого розділу. 2 Нейронні мережі в аналізі нейронних потоків. 2.1 Основи штучних нейронних мереж. 2.2 Актуальні архітектури нейронних мереж. 2.3 Роль безпеки при використанні нейронних мереж. 2.3.1 Атака отруєння даних. 2.3.2 Атака на основі штучних артефактів. 2.3.3 Атака вилучення моделі.

3. Проектування та опис розробленої транспортної мережі. 3.1 Аналіз існуючої транспортної інфраструктури м. Тернопіль. 3.2 Моделювання модернізації міської транспортної системи. 3.3 Перспективи подальшої модернізації та підтримки. 3.4 Висновок до третього розділу.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 4.1 Питання до охорони праці. 4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях. 4.3. Висновки до четвертого розділу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Актуальність дослідження. 4 Концепція «розумного міста». 5 Методи збору даних про транспорт. 6 Технології прогнозування трафіку. 7 Основи нейронних мереж. 8 Актуальні архітектури нейромереж. 9 Основні кіберзагрози для ШНМ. 10 Аналіз інфраструктури м. Тернопіль. 11 Моделювання ІТС. 12 Перспективи модернізації. 13 Висновки. 14 Завершальний слайд.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання 29 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	29.11.2024	Виконано
2.	Підбір наукових джерел про використання нейронних мереж для аналізу завантаженості громадського транспорту та їх опрацювання	02.12.2024-10.01.2025	Виконано
3.	Виконання дослідження згідно мети кваліфікаційної роботи	13.01.2025-14.03.2025	Виконано
4.	Оформлення розділу «Теоретичні основи аналізу завантаженості міського транспорту»	17.03.2025-28.03.2025	Виконано
5.	Оформлення розділу «Нейронні мережі в аналізі транспортних потоків»	31.03.2025-11.04.2025	Виконано
6.	Оформлення розділу «Проектування та опис розробленої транспортної мережі»	14.04.2025-25.04.2025	Виконано
7.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	28.04.2025-02.05.2025	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.04.2025-02.05.2025	Виконано
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	05.05.2025-09.05.2025	Виконано
10.	Нормоконтроль	12.05.2025-15.05.2025	Виконано
11.	Перевірка на плагіат	16.05.2025	Виконано
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	19.05.2025	Виконано
13.	Захист кваліфікаційної роботи	26.05.2025	

Студент

(підпис)

Козловський А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дослідження застосування нейронних мереж для аналізу завантаженості міського транспорту «розумного міста» // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Козловський Андрій Ігорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2025 // С. 64, рис. – 19, табл. – 3, кресл. – 0, додат. – 2, бібліогр. – 59.

Ключові слова: нейронні мережі, розумне місто, завантаженість транспорту, транспортні потоки, штучний інтелект, оптимізація маршрутів, прогнозування трафіку, міська мобільність.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню застосування нейронних мереж для аналізу завантаженості міського транспорту в умовах «розумного міста». У першому розділі розглянуто концепцію «розумного міста» та проаналізовано сучасні методи збору, обробки та прогнозування даних про транспортні потоки.

У другому розділі описано принципи функціонування штучних нейронних мереж та проаналізовано актуальні, розглянуто кіберзагрози, що виникають при їх застосуванні у транспортних системах.

У третьому розділі виконано аналіз транспортної інфраструктури м. Тернопіль, змодельовано структуру оптимізованої транспортної мережі та оцінено перспективи її розвитку.

У четвертому розділі досліджено питання охорони праці для працівників ІТС та засоби їх безпеки, підвищення стійкості підприємств приладо-будівної галузі у воєнний час.

Об'єкт дослідження — процеси збору, аналізу та прогнозування завантаженості міського транспорту. Предмет дослідження — методи застосування нейронних мереж для аналізу та оптимізації транспортних потоків у системах «розумного міста».

ANNOTATION

Study of Neural Network Applications for Analyzing Urban Transport Load in Smart City // The educational level «Master» qualification work // Kozlovskyi Andrii Ihorovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2025 // P. 64, fig. - 19, tables - 3, posters - 0, annexes - 2, ref. - 59.

Key words: neural networks, smart city, traffic congestion, traffic flows, artificial intelligence, route optimization, traffic forecasting, urban mobility.

Thesis is devoted to the study of the use of neural networks for analyzing urban transport congestion in a smart city.

The first chapter of the qualification work discusses the concept of a smart city and analyzes modern methods of collecting, processing and forecasting traffic data.

The second section describes the principles of functioning of artificial neural networks and analyzes the current ones, as well as cyber threats arising from their use in transport systems.

The third chapter of the qualification work analyzes the transport infrastructure of Ternopil, models the structure of the optimized transport network, and assesses the prospects for its development.

The fourth chapter examines the issues of labor protection for ITS workers and means of their safety, as well as increasing the resilience of drive and construction enterprises in wartime.

The object of research is the processes of collecting, analyzing and forecasting urban transport congestion. The subject of the study is the methods of using neural networks to analyze and optimize traffic flows in smart city systems.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

PM – розумне місто

ШІ – штучний інтелект

НШМ – нейронна штучна мережа

LPR (License plate recognition) – розпізнавання номерних знаків

ALPR (Automatic license plate recognition) – система автоматичного розпізнавання номерних знаків

ІТС – інтелектуальна транспортна система

CNN (Convolutional Neural Network) – згорткова нейронна мережа

RNN (Recurrent Neural Network) – рекурентна нейронна мережа

GAN (Generative adversarial Network) – генеративна змагальна мережа

LSTM (Long short-term memory) – довга короткочасна пам'ять

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	10
1.1 Концепція «розумного міста» та роль транспорту в його функціонуванні.....	10
1.2 Методи збору та аналізу даних про завантаженість транспорту	12
1.3 Огляд сучасних технологій прогнозування транспортних потоків	16
1.4 Висновок до першого розділу	19
2 НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В АНАЛІЗІ ТРАСПОРТНИХ ПОТОКІВ	21
2.1 Основи штучних нейронних мереж	21
2.2 Актуальні архітектури нейронних мереж.....	22
2.3 Роль безпеки при використанні нейронних мереж	28
2.3.1 Атака отруєння даних.....	28
2.3.2 Атака на основі штучних артефактів.....	31
2.3.3 Атака вилучення моделі	32
2.4 Висновок до другого розділу	33
3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ	35
3.1 Аналіз існуючої інфраструктури м. Тернопіль	35
3.2 Моделювання модернізації міської транспортної системи	40
3.3 Перспективи подальшої модернізації та підтримки	45
3.4 Висновок до третього розділу	46
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	48
4.1 Організація охорони праці для працівників ІТС.....	48
4.2 Засоби безпеки для працівників ІТС.....	50
4.3 Підвищення стійкості роботи підприємств приладо-будівної галузі у воєнний час.....	52
4.4 Висновок до четвертого розділу	55
ВИСНОВКИ	57

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	59
ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Актуальність теми. З розвитком концепції «розумного міста» зростає потреба у вдосконаленні систем управління міським транспортом. Оптимізація транспортних потоків є одним із ключових завдань сучасних мегаполісів, оскільки дозволяє підвищити ефективність перевезень, знизити затримки та покращити екологічну ситуацію. Традиційні методи аналізу завантаженості міського транспорту не завжди здатні забезпечити точні та оперативні результати, що ускладнює прийняття управлінських рішень. У цьому контексті особливої уваги заслуговує застосування нейронних мереж, які здатні аналізувати великі обсяги даних та прогнозувати транспортні потоки з високою точністю. Саме тому дослідження можливостей використання нейронних мереж для аналізу завантаженості міського транспорту є актуальним напрямом наукових досліджень.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є розробка та аналіз методів застосування нейронних мереж для оцінки та прогнозування завантаженості міського транспорту в умовах «розумного міста». Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Проаналізувати сучасні підходи до моніторингу та оцінки завантаженості транспортних систем;
- Дослідити існуючі методи аналізу транспортних потоків із використанням штучних нейронних мереж;
- Розробити модель нейронної мережі для прогнозування завантаженості транспорту;
- Провести експериментальні дослідження ефективності запропонованої моделі;
- Оцінити точність і продуктивність запропонованого підходу у порівнянні з традиційними методами.

Об’єкт дослідження – процеси збору, аналізу та прогнозування завантаженості міського транспорту.

Предмет дослідження – методи застосування нейронних мереж для аналізу та прогнозування завантаженості міського транспорту.

Наукова новизна одержаних результатів. У межах дослідження було розроблено та вдосконалено методику застосування нейронних мереж для оцінки завантаженості міського транспорту, що дозволяє підвищити точність прогнозування транспортних потоків.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована методика може бути використана в системах управління міським транспортом для підвищення ефективності його роботи, оптимізації маршрутів та зниження рівня заторів у містах.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати проведених досліджень обговорювались на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Міжнародні наукові дослідження: інтеграція науки та практики як механізм ефективного розвитку» (Інститут інноваційної освіти, м. Київ, 2025 р.) та на 3-й Міжнародній науково-практичній конференції «Innovative Solutions in Science: Balancing Theory and Practice» (European Open Science Space, м. Сан-Франциско, США, 2025 р.)

Публікації. Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у двох працях конференції (Див. додатки А і Б).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 54 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 72 сторінки, з них 64 сторінки основного тексту, який містить 19 рисунків та 3 таблиці.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Концепція «розумного міста» та роль транспорту в його функціонуванні

«Розумне місто» (PM) – це міська територія, яка використовує цифрові технології для збору даних і роботи/надання послуг. Дані можуть збиратися від громадян, пристроїв, будівель або камер. Застосування включають дорожній рух і транспортні системи, електростанції, комунальні послуги, мережі водопостачання, утилізацію відходів, охорону правопорядку, інформаційні системи, школи, бібліотеки, лікарні та інші громадські служби. Фундамент розумного міста побудований на інтеграції людей, технологій і процесів, які пов'язують і взаємодіють між секторами, такими як охорона здоров'я, транспорт, освіта, інфраструктура [1]. На рисунку 1.1 зображено основні елементи «розумного міста».



Рисунок 1.1 – Елементи «розумного міста»

«Розумні міста» характеризуються способами, за допомогою яких їхні місцеві органи влади здійснюють моніторинг, аналіз, планування і управління

містом. У РМ обмін даними поширюється на бізнес, громадян та інших третіх осіб, які можуть отримати вигоду від використання цих даних. Починаючи з 2021 року, трьома найбільшими джерелами витрат є візуальне спостереження, громадський транспорт та зовнішнє освітлення [1].

Транспортні перевезення зазнають значних змін, які впливають на міста, бізнес і суспільство. Поєднання соціально-економічних факторів та технологічного прогресу сприяє зростанню мобільності та змінює способи пересування людей.

Останніми роками розвиток цифрових технологій, соціальних мереж, бездротових комунікацій і хмарних технологій суттєво впливає на транспортну сферу. Споживачі все частіше звертаються до мобільних сервісів на основі попиту та активно користуються додатками для перевезень.

Глобальне дослідження компанії BAI Communications засвідчило, що транспорт відіграє ключову роль у формуванні розумних міст. 83% респондентів вважають інновації в транспорті критично важливими для розвитку розумного міста, а 45% переконані, що місто не може вважатися світовим без якісного цифрового зв'язку [2].

Екосистема мобільності наближається до цифрової трансформації, що дозволить користувачам та транспортним системам бути постійно підключеними не лише до Інтернету, а й один до одного.

Розглянемо тренди, що формують майбутнє мобільності. Вони включають в себе 5 цілей.

- **Спільна мобільність.** Спільне використання транспорту дозволяє людям отримувати короткочасний доступ до засобів пересування за потреби. Ця екосистема постійно розширюється і включає каршеринг, прокат велосипедів і самокатів, транспортні мережі та громадський транспорт.

- **Інтеграція цифрової інформації та оплати.** Використання цифрових сервісів допомагає подолати інформаційні бар'єри, робить багатомодальні подорожі зручнішими та оптимізує громадський транспорт. Інформація в режимі реального часу значно покращує прийняття рішень.

- Персоналізація перевезень. Користувачі оцінюють різні транспортні варіанти за вартістю, часом подорожі, зручністю та екологічністю. Транспортні оператори можуть пропонувати персоналізовані маршрути та тарифи.

- Автоматизація транспорту. Автоматизовані транспортні засоби відкривають нові можливості для громадського та приватного секторів, знижуючи витрати, покращуючи керування та оптимізуючи заряджання електротранспорту.

- Електрифікація транспорту. Електричні транспортні засоби допомагають скорочувати рівень викидів і знижувати негативний вплив транспорту на довкілля. Це особливо важливо для мегаполісів, які стикаються з проблемами забруднення повітря та перевантаженості доріг.

Оцифрування громадського транспорту, мобільні додатки, системи реального часу та автоматизоване управління маршрутами допомагають підвищити ефективність перевезень та забезпечити комфорт пасажирів [3].

Загалом, цифрові технології слугують «мультимодальним мультиплікатором», покращуючи можливості громадського транспорту та адаптуючи його до потреб майбутнього. Завдяки таким змінам міста отримають значно ефективнішу, екологічнішу та зручнішу транспортну інфраструктуру. Транспортна система є основою для нормального функціонування розумного міста. Вона впливає на якість життя мешканців, рівень забруднення довкілля та ефективність економічних процесів [4].

1.2 Методи збору та аналізу даних про завантаженість транспорту

Сьогодні ефективне управління дорожнім рухом є критично важливим завданням для транспортної мережі міста. Прийняття обґрунтованих рішень щодо зменшення заторів, підвищення безпеки та оптимізації мережі залежить від збору та аналізу даних про рух.

Лічильники та датчики слугують основою для збору даних про дорожній рух. Ці пристрої розміщуються вздовж доріг, мостів і перехресть, щоб реєструвати важливу інформацію, включаючи кількість транспортних засобів,

що проїжджають, їхню швидкість і класифікацію транспортних засобів. Існують різні типи датчиків, в тому числі індуктивні датчики, вбудовані в дорожнє покриття, інфрачервоні датчики та радарні датчики. Ці технології безперервно відстежують схеми дорожнього руху, надаючи безліч даних, які є основою для більш глибокого аналізу [5].

Відеоспостереження змінило спосіб збору та аналізу даних про дорожній рух. Камери, розташовані в ключових місцях, фіксують візуальні дані, які включають кількість транспортних засобів, зайнятість смуг руху і навіть типи транспортних засобів. Сучасні програмні засоби для аналізу потокового відеоматеріалу здатні автоматично обробляти ці кадри, усуваючи потребу в ручному зборі даних. Системи відеоспостереження пропонують можливості моніторингу в реальному часі, що дозволяє владі оперативно реагувати на інциденти та за потреби коригувати стратегії управління дорожнім рухом [5].

Поширення технології GPS і мобільних додатків забезпечило доступ до великої кількості даних про пересування транспортних засобів. Мобільні пристрої, оснащені функціями GPS та додатками на основі визначення місцезнаходження, генерують цінні дані про швидкість руху, вибір маршруту та час у дорозі. Анонімізуючи та агрегуючи ці дані, транспортні органи можуть отримати уявлення про затори на дорогах, виявити вузькі місця та розробити стратегії для зменшення затримок у русі [6].

Технології відстеження Bluetooth і Wi-Fi дозволяють органам влади відстежувати переміщення пристроїв, оснащених функціями Bluetooth або Wi-Fi, таких як смартфони і транспортні засоби з Bluetooth -системами. Ці системи можуть визначати унікальні ідентифікатори цих пристроїв, коли вони проїжджають повз, надаючи дані про час у дорозі, рівень заторів і транспортний потік. Відстеження за допомогою Bluetooth і Wi-Fi особливо корисне для розуміння динаміки руху в міському середовищі [6].

Системи розпізнавання номерних знаків (License plate recognition, LPR) використовуються для фіксування номерних знаків транспортних засобів. Камери LPR можуть бути розміщені на в'їздах і виїздах з автостоянок, пунктів оплати за проїзд, контрольованих пропускних пунктах [7]. Дані, зібрані за

допомогою систем LPR, є цінними для відстеження переміщення транспортних засобів, моніторингу використання парковок та підвищення безпеки в різних транспортних умовах.

Мобільні платформи збору даних передбачають оснащення транспортних засобів спеціалізованими датчиками та обладнанням для збору даних. Ці транспортні засоби перетинають дорожню мережу, збираючи дані про стан доріг, якість дорожнього покриття, дорожні знаки та транспортні потоки. Мобільні платформи збору даних дають комплексне уявлення про стан транспортної інфраструктури, що дозволяє органам влади визначати пріоритетність проектів з її обслуговування та покращення.

Системи автоматичного розпізнавання номерних знаків (Automatic number-plate recognition, ANPR), подібно до систем LPR, фіксують інформацію про номерні знаки, але з автоматизованим підходом. На рисунку 1.2 показано принцип роботи системи.

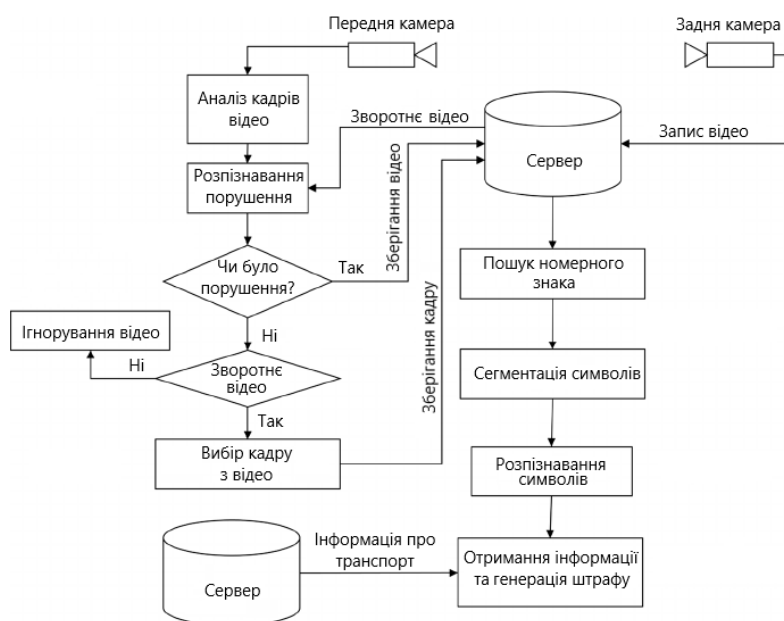


Рисунок 1.2 – Схема роботи ANPR

Камери ANPR часто використовуються для різних цілей, в тому числі для збору плати за проїзд, управління паркуванням та охорони правопорядку. Зібрані дані можуть допомогти у відстеженні руху транспортних засобів та забезпеченні дотримання правил [7].

Датчики дорожнього покриття вбудовуються в дорожнє покриття і призначені для моніторингу різних параметрів, таких як швидкість руху, вага транспортного засобу і температура дорожнього покриття. Ці дані є життєво важливими для оцінки стану доріг, планування технічного обслуговування та забезпечення безпеки дорожнього руху.

Дані стільникових мереж можуть дати уявлення про структуру дорожнього руху, відстежуючи рух мобільних пристроїв, підключених до веж стільникового зв'язку. Аналізуючи схеми переміщення пристроїв та їх підключення, влада може краще зрозуміти маршрути пересування, місця заторів та час пікових навантажень [8].

Краудсорсингові дані з навігаційних додатків і платформ соціальних мереж надають багато інформації про умови дорожнього руху та інциденти в реальному часі. Користувачі надають дані, повідомляючи про аварії, затори та перекриття доріг. Ці краудсорсингові дані є цінними для швидкого виявлення та реагування на інциденти, перенаправлення руху та покращення загальної обізнаності про ситуацію.

Машинне навчання та штучний інтелект (ШІ) все частіше використовуються для аналізу та отримання інформації з великих обсягів даних про дорожній рух. Ці технології можуть прогнозувати затори на дорогах, оптимізувати роботу світлофорів і виявляти закономірності, які допомагають удосконалити стратегії управління дорожнім рухом. Моделі машинного навчання також є важливими для прогнозування майбутніх умов руху на основі історичних даних і поточних даних.

Геоінформаційні системи (ГІС) відіграють вирішальну роль у просторовому аналізі даних про дорожній рух. Технологія ГІС дозволяє органам влади наносити на карту і візуалізувати дані, пов'язані з дорожнім рухом, такі як місця аварій, затори і транспортну інфраструктуру. Накладаючи кілька шарів інформації, ГІС допомагає ефективно планувати міське господарство [9].

Ефективний збір та аналіз даних про дорожній рух має фундаментальне значення для оптимізації транспортних потоків та покращення загальної якості життя громад. Поєднання передових технологій, аналізу даних і моніторингу дає

можливість транспортним органам і містобудівникам приймати рішення, що забезпечують безперебійність транспортних потоків і безпеку пересування для всіх учасників дорожнього руху. Оскільки технології продовжують розвиватися, збір та аналіз даних про дорожній рух залишатимуться важливими інструментами для формування майбутнього транспорту.

1.3 Огляд сучасних технологій прогнозування транспортних потоків

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) – це комплексна програма, яка має на меті надання транспортних послуг, дозволяючи користувачам бути краще поінформованими та ефективніше використовувати транспортні мережі.

Такі технології включають виклик екстрених служб у разі аварії, використання камер для здійснення нагляду за дотриманням норм дорожнього руху або знаків, які позначають зміну обмеження швидкості в залежності від умов [10].

Для цих систем було створено різні форми бездротових технологій зв'язку. Зв'язок на дециметрових та ультракоротких частотах широко використовується для зв'язку на короткі і довгі дистанції в ІТС.

Зв'язок на короткі відстані до 350 м може здійснюватися за допомогою протоколів IEEE 802.11, зокрема 802.11p (WAVE) або стандарту виділеного зв'язку на короткі відстані (DSRC) 802.11bd, який просувається Американським товариством інтелектуального транспорту і Міністерством транспорту США. Теоретично, діапазон цих протоколів може бути розширений за допомогою мобільних мереж ad hoc або mesh-мереж [11].

Для підвищення ефективності збору даних, у ІТС використовуються також так звані «плаваючі дані автомобілів» (floating car data, FCD). Вони включають в себе 4 методи.

У розвинених країнах велика частка автомобілів містить один або кілька мобільних телефонів. Оскільки вони постійно використовують мобільну мережу, їх місцезнаходження зберігається в системі. У середині 2000-х років були спроби використовувати мобільні телефони як анонімні датчики руху [12]. Коли

автомобіль рухається, змінюється і сигнал усіх мобільних телефонів, які знаходяться в салоні транспортного засобу. Шляхом вимірювання та аналізу мережевих даних за допомогою тріангуляції, зіставлення шаблонів або статистики стільникового сектору (в анонімному форматі), дані конвертуються у транспортний потік. Чим більше заторів, тим більше автомобілів, більше телефонів, а отже, і більше зондів.

Перевагою цього методу є те, що не потрібно будувати інфраструктуру вздовж дороги; використовується лише мережа мобільного зв'язку. Але на практиці метод тріангуляції не завжди є ефективним, зокрема в районах, де одні й ті ж вежі мобільного зв'язку обслуговують два або більше паралельних маршрутів (наприклад, автомагістраль з під'їзною дорогою, автомагістраль і приміська залізнична лінія, дві або більше паралельних вулиць, або вулиця, яка також є автобусною лінією) [12].

Методи повторної ідентифікації транспортних засобів вимагають використання наборів детекторів, встановлених уздовж дороги. На рисунку 1.2 наведено приклад такого приймача.



Рисунок 1.2 – Детектор повторної ідентифікації транспорту

У цьому методі унікальний серійний номер пристрою в транспортному засобі виявляється в одному місці, а потім знову виявляється (повторно ідентифікується) далі по дорозі. Час у дорозі та швидкість розраховуються

шляхом порівняння часу, в який конкретний пристрій було виявлено парами датчиків. Це можна зробити за допомогою MAC-адрес з Bluetooth, або за допомогою серійних номерів RFID (Radio Frequency Identification) з транспондерів електронного збору плати за проїзд [13].

Все більше транспортних засобів оснащуються бортовими системами супутникової навігації/GPS (супутникова навігація), які що автоматично передають даних про дорожній рух у мережу.

Смартфони з різними датчиками також можна застосовувати для вимірювання швидкості та щільності руху. Дані акселерометрів зі смартфонів відстежуються для визначення швидкості руху та маршруту руху. Аудіодані та GPS-мітки смартфонів дають змогу завантаженість дороги та можливі затори [14].

Технологія надає такі переваги над іншими методами вимірювання трафіку:

- менша вартість, ніж у датчиків або камер;
- більше покриття (потенційно включає всі місця та вулиці);
- швидше встановлюється та потребує менше обслуговування;
- працює за будь-яких погодних умов.

Індуктивні петлі можуть бути розміщені в дорожньому полотні для фіксування транспортних засобів, коли вони проходять через магнітне поле петлі. Найпростіші детектори просто рахують кількість транспорту за одиницю часу (зазвичай 60 секунд), які проїжджають через петлю, тоді як більш складні датчики оцінюють швидкість, довжину і клас транспортних засобів, а також відстань між ними. Петлі можуть бути розміщені на одній смузі або на кількох смугах, і вони працюють як з дуже повільними або зупиненими транспортними засобами, так і з транспортними засобами, що рухаються на високій швидкості [15].

Вимірювання транспортного потоку та автоматичне виявлення інцидентів по зображенню з відеокamer є ще одним методом. Оскільки системи відеоспостереження, які використовуються в автоматичному розпізнаванні номерних знаків, не вимагають встановлення будь-яких компонентів

безпосередньо в дорожнє покриття або дорожнє полотно, цей тип систем відомий як «неінтрузивний» метод виявлення руху.

Відео з камер подається на сервер, який аналізує зміну характеристик відеозображення при проїзді транспортних засобів. Камери зазвичай встановлюються на стовпах або конструкціях над проїжджою частиною або поруч з нею. Більшість систем вимагають певної початкової конфігурації, щоб «навчити» систему базовому фоновому зображенню. Зазвичай це передбачає введення відомих вимірів, таких як відстань між лініями смуг руху або висота камери над проїжджою частиною. Типовим результатом роботи системи відеоспостереження є швидкість руху транспортних засобів по смугах, їх кількість та заповненість смуг. Деякі системи надають додаткові дані, зокрема, про інтервал, швидкість руху, виявлення зупинених транспортних засобів і сигналізацію про неправильний рух транспортних засобів [15].

1.4 Висновок до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи досліджено теоретичні основи аналізу завантаженості міського транспорту в контексті концепції «розумного міста». Розкрито сутність «розумного міста» як інтегрованої системи, яка використовує цифрові технології для оптимізації міських процесів, зокрема транспортної інфраструктури. Особливу увагу приділено ролі транспорту у функціонуванні сучасних міст, де ефективне управління потоками є ключовим чинником зниження заторів, покращення екології та підвищення якості життя мешканців.

Проаналізовано сучасні методи збору та обробки даних про транспортні потоки, включаючи:

- датчики та IoT-пристрої (індуктивні петлі, GPS-трекінг, Bluetooth/Wi-Fi моніторинг);
- відеоаналітику (камери спостереження, системи розпізнавання номерних знаків);
- краудсорсингові джерела (мобільні додатки, соціальні мережі);

- машинне навчання для прогнозування заторів та оптимізації маршрутів.

Окреслено переваги інтелектуальних транспортних систем (ІТС), таких як адаптивне управління світлофорами, мультимодальна інтеграція та використання даних у реальному часі. Підкреслено, що цифрові технології, зокрема нейронні мережі, дозволяють трансформувати традиційні підходи до аналізу транспортних потоків, забезпечуючи високу точність прогнозів і оперативне реагування на зміни.

У цілому, дослідження підтверджує, що застосування нейронних мереж для аналізу завантаженості транспорту є перспективним напрямом для розвитку «розумних міст».

2 НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В АНАЛІЗІ ТРАСПОРТНИХ ПОТОКІВ

2.1 Основи штучних нейронних мереж

Штучні нейронні мережі (ШНМ) – це різновид моделей машинного навчання, побудованих за аналогією до біологічних нейронних що функціонують у мозку живих організмів.

Така мережа складається з елементів — штучних нейронів, які з'єднані між собою зв'язками, що моделюють біологічні синапси. Кожен нейрон отримує сигнали від попередніх вузлів, виконує їх математичну обробку, і передає результат на наступні рівні [16]. Сигналами вважаються числові значення, які модифікуються за допомогою функції активації — нелінійного перетворення, що застосовується до суми вхідних сигналів. Зв'язки між нейронами мають ваги, які відіграють ключову роль у навчанні мережі: вони підсилюють або послаблюють передані сигнали, залежно від накопиченого досвіду (даних навчання). На рисунку 2.1 можна побачити загальну модель нейронної мережі.

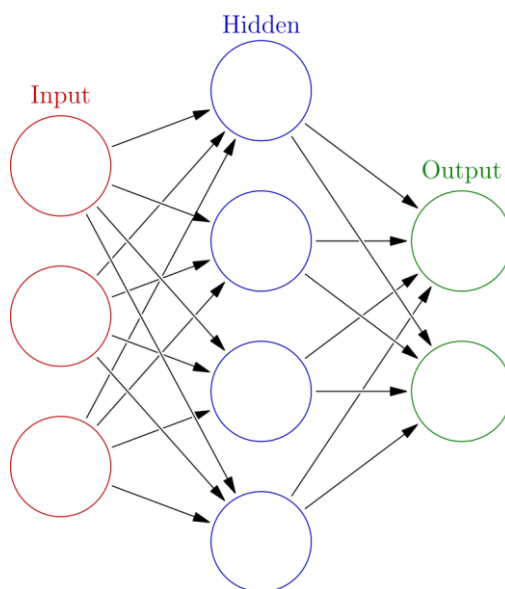


Рисунок 2.1 – Модель нейронної мережі

У типовій структурі нейронної мережі нейрони групуються в шари: вхідний, один або кілька прихованих, та вихідний. Кожен шар виконує певний

тип обчислень або трансформацій даних. Інформація передається послідовно від вхідного шару до вихідного, проходячи через проміжні обчислювальні рівні. Якщо модель включає два або більше прихованих шарів, її класифікують як глибоку нейронну мережу [17].

ШНМ застосовуються для прогнозного моделювання, адаптивного управління та інших застосувань, де їх можна навчити на основі набору даних. Вони також використовуються для вирішення проблем штучного інтелекту. Мережі можуть навчатися на досвіді і робити висновки зі складного і, здавалося б, не пов'язаного набору інформації.

Нейронні мережі зазвичай навчаються шляхом мінімізації емпіричного ризику. Цей метод базується на ідеї оптимізації параметрів мережі для мінімізації різниці, або емпіричного ризику, між прогнозованим виходом і фактичними цільовими значеннями в заданому наборі даних [18]. Для оцінки параметрів мережі зазвичай використовуються градієнтні методи, такі як зворотне поширення. На етапі навчання ШНМ навчаються на маркованих навчальних даних, ітеративно оновлюючи свої параметри для мінімізації визначеної функції втрат. Цей метод дозволяє мережі узагальнювати дані.

2.2 Актуальні архітектури нейронних мереж

Згорткова нейронна мережа (CNN) – це тип нейронної мережі прямого поширення, яка самостійно навчається інженерії функцій за допомогою оптимізації фільтрів (або ядер). Зникаючі градієнти та градієнти, що вибухають, які спостерігалися під час зворотного поширення в попередніх нейронних мережах, уникаються шляхом використання регуляризованих ваг для меншої кількості зв'язків. Наприклад, для кожного нейрона в повністю зв'язаному шарі потрібно 10 000 ваг для обробки зображення розміром 100×100 пікселів. Однак, застосовуючи ядра каскадної згортки (або крос-кореляції), для обробки плиток розміром 5×5 потрібно лише 25 нейронів [19]. Ознаки вищих шарів витягуються з ширших контекстних вікон, порівняно з ознаками нижчих шарів. Принцип дії мережі CNN показано на рисунку 2.2.

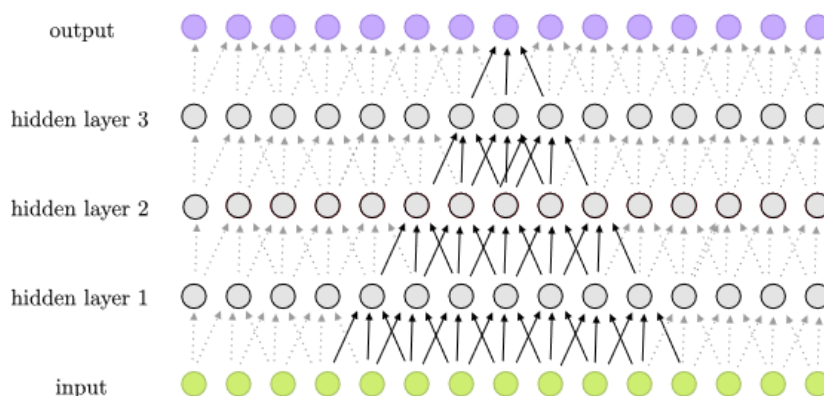


Рисунок 2.2 – Концепція згорткової мережі [19]

CNN складається з вхідного шару, прихованих шарів і вихідного шару. У такій нейромережі приховані шари включають один або декілька шарів, які виконують згортку. Зазвичай це шар, який виконує точковий добуток ядра згортки на вхідну матрицю шару. Цей добуток зазвичай є внутрішнім добутком Фробеніуса, а його активаційною функцією зазвичай є ReLU (Зрізаний лінійний вузол). Коли ядро згортки ковзає вздовж вхідної матриці шару, операція згортки генерує карту ознак, яка, в свою чергу, робить внесок у вхідні дані наступного шару [20]. Далі йдуть інші шари, такі як об'єднані шари, повністю з'єднані шари та шари нормалізації..

Рекурентна нейронна мережа (RNN) є різновидом штучних нейронних мереж, що відрізняється особливою організацією передачі інформації між шарами. На відміну від класичних нейронних мереж прямого поширення, де сигнал передається тільки в одному напрямку — від входу до виходу, рекурентна мережа має зворотні зв'язки, що дозволяють результатам попередніх обчислень впливати на подальші етапи обробки вхідних даних. Ключовою характеристикою RNN є наявність внутрішнього стану (пам'яті), який зберігається між обчисленнями та дозволяє враховувати контекст при обробці послідовних даних. Завдяки цій властивості рекурентні мережі ефективно застосовуються для вирішення завдань, пов'язаних із послідовностями змінних довжин, таких як розпізнавання мовлення, аналіз текстів, генерація мови, переклад, розпізнавання рукописного вводу тощо.

З формальної точки зору, термін «рекурентна нейронна мережа» використовується для опису моделей з нескінченною імпульсною характеристикою, на противагу згортковим нейронним мережам (CNN), які мають скінченну імпульсну характеристику та застосовуються для обробки просторових структур (наприклад, зображень).

У структурному плані рекурентні мережі реалізуються у вигляді графів з циклічними зв'язками. Якщо модель має скінченну імпульсну характеристику, вона може бути розгорнута у вигляді ациклічного графа й еквівалентно перетворена на мережу прямого поширення. Натомість мережі з нескінченною імпульсною характеристикою являють собою циклічні графи, в яких вихідні значення з попередніх моментів часу безпосередньо впливають на поточний вхід, що унеможливорює їхнє повне розгортання [21].

Таким чином, RNN моделює динамічні часові процеси, демонструючи здатність до збереження і врахування історії вхідних даних, що робить її потужним інструментом для обробки даних із часовою або логічною залежністю. На рисунку 2.3 продемонстровано загальну схему мережі.

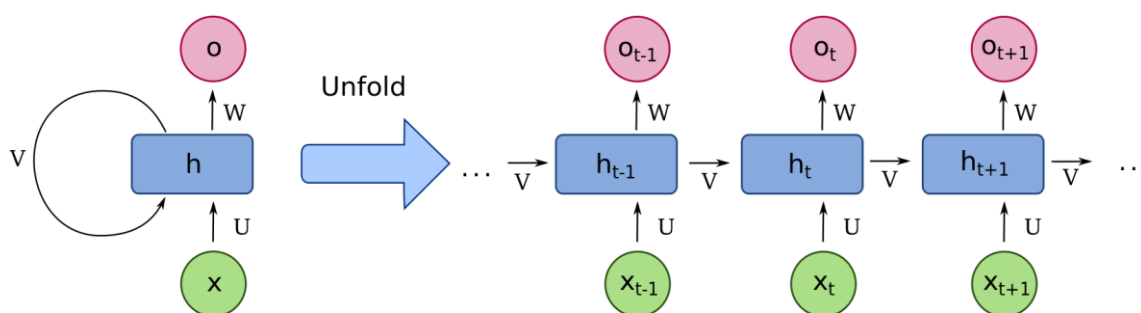


Рисунок 2.3 – Принцип роботи рекурентної нейромережі [21]

До архітектури як скінченної, так і нескінченної імпульсної нейронної мережі можуть бути додані додаткові внутрішні стани, що перебувають під прямим контролем мережі. Зазвичай ці стани реалізуються у вигляді керованих елементів пам'яті, які дозволяють зберігати контекст на довші інтервали часу. Крім того, у якості сховища для інформації можуть використовуватись інші

мережеві структури або графи з вбудованими механізмами часових затримок чи зворотного зв'язку. Такі керовані елементи називаються вентильними станами або вентильною пам'яттю (gated memory) і є основою більш складних архітектур, зокрема довгострокової короткочасної пам'яті (LSTM) та вентильних рекурентних блоків (Gated recurrent unit, GRU) [22].

У теоретичному аспекті рекурентні нейронні мережі є Тюрінг-повними, тобто здатні реалізовувати будь-який алгоритм за наявності відповідного часу й ресурсів. Це робить їх універсальними інструментами для моделювання послідовних процесів та обробки вхідних даних довільної складності.

Однак, із розвитком технологій глибокого навчання все більшої популярності набули архітектури трансформерного типу, які принципово відрізняються від RNN. Розроблена дослідниками компанії Google, трансформерна архітектура базується на механізмі багатоголової уваги (multi-head attention) та повністю відмовляється від використання рекурентних з'єднань. Завдяки цій особливості, трансформери демонструють вищу ефективність навчання порівняно з класичними рекурентними архітектурами, такими як LSTM, зокрема за рахунок можливості паралельної обробки вхідних послідовностей. Це дозволяє значно скоротити час навчання моделей при збереженні або навіть покращенні якості результатів.

У трансформерах текст спочатку представлено у вигляді лексем — мінімальних одиниць значення, які далі перетворюються на числові вектори шляхом вбудовування (embedding), що виконується через попередньо підготовлену таблицю відповідностей. Це дозволяє мережі працювати із семантичними та контекстуальними властивостями мовних одиниць у векторному просторі [23]. На кожному рівні кожна лексема потім контекстуалізується в межах контекстного вікна з іншими (незамаскованими) лексемами за допомогою паралельного багатоголового механізму уваги, що дозволяє посилити сигнал для ключових лексем і зменшити сигнал для менш важливих лексем.

Генеративна змагальна мережа (Generative Adversarial Network, GAN) — це клас моделей машинного навчання, що реалізує один із найефективніших

підходів до генеративного штучного інтелекту. Архітектура GAN складається з двох нейронних мереж — генератора та дискримінатора, які взаємодіють між собою у форматі змагального навчання, подібно до гри з нульовою сумою: покращення результату однієї з мереж неминуче означає погіршення результату для іншої. Метою генератора є створення нових зразків даних, подібних до тих, що містяться у навчальному наборі. Водночас дискримінатор намагається відрізнити синтезовані дані від справжніх. Поступово обидві моделі вдосконалюються: генератор навчається створювати дедалі більш реалістичні дані, а дискримінатор — краще їх розпізнавати. У процесі навчання мережі досягають оптимального балансу, при якому створені дані вже складно відрізнити від оригінальних [24]. На рисунку 2.4 зображено схему роботи GAN.

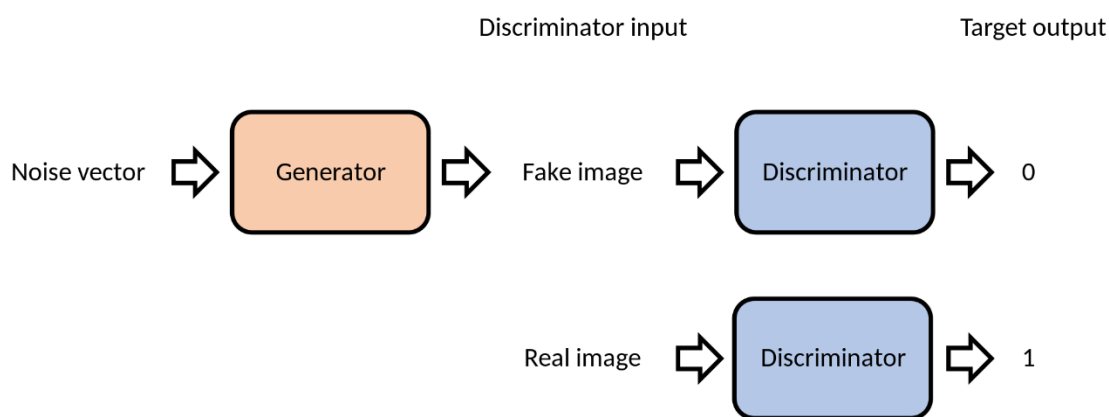


Рисунок 2.4 – Принцип роботи генеративної змагальної мережі [25]

GAN демонструють свою ефективність у завданнях синтезу зображень, створення відео, генерації аудіо, доповнення даних. Наприклад, GAN, натренований на великому наборі фотографій, здатен генерувати нові зображення, які виглядають візуально правдоподібно для людини, відтворюючи стилістичні та статистичні властивості вихідного набору. Хоча спочатку GAN були запропоновані як форма генеративної моделі для неконтрольованого навчання, вони також виявилися корисними для напівконтрольованого навчання, повністю контрольованого навчання, та навчання з підкріпленням [25].

Основна ідея GAN базується на «непрямому» навчанні через дискримінатор, іншу ШНМ, що може визначити, наскільки «реалістичним»

здається вхідний сигнал, який також динамічно оновлюється [26]. Тобто генератор навчається не мінімізувати відстань до певного зображення, а скоріше обдурити дискримінатор. Це дозволяє моделі навчатися без нагляду.

GAN подібні до мімікрії в еволюційній біології, з еволюційною гонкою озброєнь між обома мережами [27]. Генеративна мережа генерує кандидатів, а дискримінантна мережа їх оцінює. Конкурс працює в термінах розподілів даних. Зазвичай генеративна мережа вчиться відображати саме той розподіл даних, який її цікавить, тоді як дискримінативна мережа відрізняє кандидатів, створених генератором, від істинних значень. Мета навчання генеративної мережі — підвищити рівень помилок дискримінантної мережі (продукуючи нові кандидати, які, на думку дискримінанта, не є синтезованими (є частиною істинного розподілу даних)) [28].

Початковим етапом роботи є навчання дискримінатора на відомому наборі даних, який виконує роль еталонного джерела реалістичних зразків. Дискримінатор послідовно отримує вибірки з цього набору, поки не досягає достатньої точності у класифікації справжніх та синтетичних даних. Його завдання — розрізняти реальні приклади з навчальної вибірки та ті, що були згенеровані генератором. Генератор, у свою чергу, навчається через зворотній зв'язок, який він отримує в результаті спроб «обдурити» дискримінатор. На вхід генератора подаються рандомізовані вектори з так званого латентного простору — зазвичай багатовимірного простору, елементи якого вибираються з нормального чи рівномірного розподілу. Генератор перетворює ці вектори у синтетичні зразки (наприклад, зображення), які потім передаються на вхід дискримінатору.

Обидві нейронні мережі — генератор і дискримінатор — оптимізуються незалежно, із застосуванням алгоритму зворотного поширення помилки (backpropagation) та градієнтного спуску. Метою цього процесу є поступове покращення якості зразків, що генерує генератор, і підвищення точності класифікації з боку дискримінатора. У типових застосуваннях GAN для генерації зображень, генератор зазвичай реалізується як деконволюційна (зворотна згорткова) нейронна мережа, яка виконує поетапну реконструкцію просторових

структур із латентного простору. Натомість дискримінатор є згортковою нейронною мережею, що ефективно аналізує входні зразки та ідентифікує ознаки синтетичності на різних рівнях деталізації. [29].

2.3 Роль безпеки при використанні нейронних мереж

Сучасний етап цифровізації транспортної галузі характеризується інтенсивним впровадженням штучного інтелекту, зокрема оптимізації управління дорожнім рухом, підвищення безпеки перевезень та прогнозування транспортних потоків [30]. Однак інтеграція нейронних мереж у ІТС супроводжується зростанням ризиків, оскільки автономні алгоритми, що базуються на машинному навчанні, стають потенційними об'єктами атак. У разі втручання у їх роботу можливі серйозні наслідки: збої в логістиці, транспортні аварії або навіть загроза життю людей [31]. Розглянемо основні типи вразливостей нейронних штучних мереж.

2.3.1 Атака отруєння даних

Отруєння даних (Data Poisoning) – це вид кібернетичної атаки, коли зломисники маніпулюють або пошкоджують навчальні дані, що використовуються для розробки моделей ШІ та машинного навчання. Нейронні мережі, великі мовні моделі та моделі глибокого навчання значною мірою залежать від якості та цілісності навчальних даних, які в кінцевому підсумку визначають функції моделі. Ці навчальні дані можуть надходити з різних джерел, таких як мережа, державні бази даних і сторонні постачальники даних. Вводячи некоректні або упереджені дані (отруєні дані) в ці навчальні набори даних, зломисники можуть непомітно змінити поведінку моделі [32]. На рисунку 2.5 подано схему дії атаки.

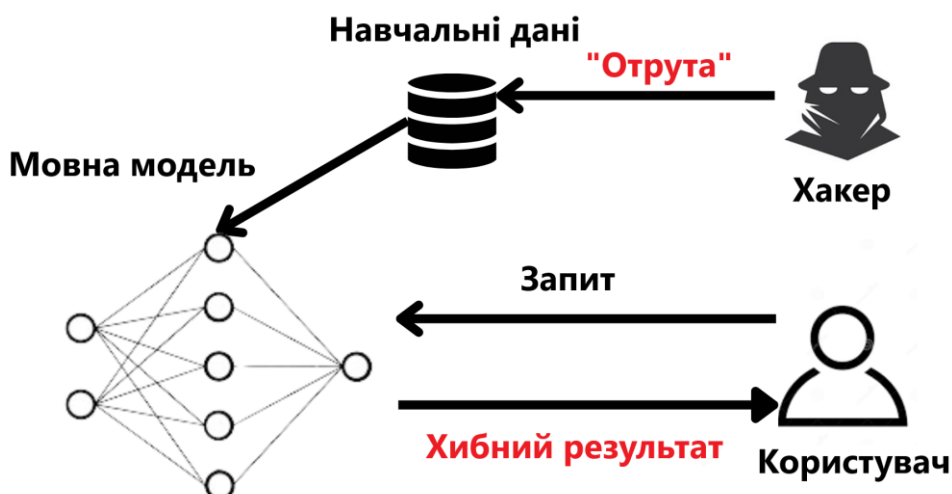


Рисунок 2.5 – Принцип дії атаки отруєння даних

Наприклад, маніпуляції з даними через отруєння можуть призвести до неправильної класифікації даних, що знижує ефективність і точність ШНМ і машинного навчання. Крім того, ці атаки можуть створювати серйозні ризики для кібербезпеки, особливо в таких галузях, як охорона здоров'я та автономні транспортні засоби. Атаки на отруєння даних можна розділити на дві категорії залежно від намірів: цілеспрямовані та нецілеспрямовані [33].

Цілеспрямовані атаки з отруєнням даних маніпулюють результатами роботи ШІ-моделей у певний спосіб. Наприклад, зловмисники можуть ввести отруєні дані в чат-бот, щоб змінити його відповіді. Аналогічно, в сценарії кібербезпеки зловмисник може ввести отруєні дані в модель, призначену для виявлення шкідливого програмного забезпечення, через що вона пропустить певні загрози. Цілеспрямовані атаки маніпулюють поведінкою моделі у вигідний для зловмисника спосіб, потенційно створюючи нові вразливості в системі [34].

Нецільові атаки зосереджені на погіршенні загальної стійкості моделі. Замість атаки на конкретні результати, метою є послаблення здатності моделі правильно обробляти дані. Наприклад, в автономних транспортних засобах нецільове отруєння даних може спричинити неправильну інтерпретацію системою вхідних даних від своїх датчиків, приймаючи знак «стоп» за знак «здати назад». Такі типи атак роблять моделі ШІ більш вразливими до ворожих атак, коли зловмисник намагається використати невеликі, часто непомітні недоліки в процесі прийняття рішень моделлю [35].

Атаки на ШІ можуть набувати різних форм, включаючи підміну міток, ін'єкцію даних, атаки з використанням прихованих каналів доступу до моделі (так званих «бекдорів») та атаки з використанням чистих міток. Кожен тип націлений на різні аспекти функціонування ШІ-моделі.

В атаках з підміною міток зломисники маніпулюють мітками в навчальних даних, замінюючи правильні мітки на неправильні. Коли компанії, що займаються розробкою штучного інтелекту, сканують онлайн-набори даних для навчання своїх НШМ, змінені зображення порушують процес навчання. Ця маніпуляція створює ризик того, що ШІ-моделі неправильно класифікують або поведуться [36].

Ін'єкція даних вводить сфабриковані точки даних у навчальний набір даних, часто для того, щоб спрямувати поведінку ШІ-моделі в певному напрямку. Поширеним прикладом є SQL-ін'єкція, коли зломисники додають «1=1» або «=» у поле введення. При включенні в SQL-запит ці шкідливі дані змінюють значення запиту, повертаючи всі записи замість одного. Аналогічно, в моделях машинного навчання ін'єкція даних може маніпулювати процесом прийняття рішень моделлю. Такі дії можуть викликати те, що модель неправильно класифікує або демонструє упередженість, підриваючи цілісність даних і загальну надійність моделі [37].

Атаки з використанням прихованого доступу небезпечні тим, що вносять тонкі маніпуляції, такі як нечутний фоновий шум в аудіо або непомітні водяні знаки на зображеннях. Це призводить до того, що система ШІ нормально функціонує за більшості умов. Однак, коли з'являється певний тригерний вхід, модель поводить себе так, як це вигідно зломиснику. Якщо модель має відкритий код, де доступ до навчальних даних і алгоритмів може бути менш обмеженим, такі атаки можуть бути особливо шкідливими.

В атаках з використанням чистих міток зломисники змінюють дані таким чином, що їх важко виявити. Ключова особливість полягає в тому, що невірні дані все одно виглядають правильно позначеними, що ускладнює їх виявлення традиційними методами перевірки даних. Ці атаки використовують складність сучасних нейронних мереж, які можуть не помітити невеликі, на перший погляд,

нешкідливі зміни. Атаки на чисті мітки є одними з найбільш непомітних, залишаючи моделі ШІ вразливими до викривлених результатів і погіршення функцій моделі [38].

2.3.2 Атака на основі штучних артефактів

Атака на основі штучних артефактів (Adversarial attack) – це зловмисне маніпулювання вхідними даними моделі машинного навчання з метою змусити її видати неправильні передбачення. Навчаючи модель на неточних або навмисно сфальсифікованих даних, можна негативно вплинути на її майбутню продуктивність. Аналогічно, вже навчена модель може бути пошкоджена даними. Навіть системи, які вже були комерціалізовані, можуть бути вразливими до цих атак.

Наприклад, просто розмістивши кілька наклейок на дорозі, можна обдурити безпілотний автомобіль, змусивши його обрати неправильну смугу і поїхати в протилежному напрямку [38]. Аналогічно, ледь помітні зміни можуть вплинути медичну аналітичну систему, класифікувавши доброякісну пухлину як злоякісну. Ці атаки використовують вразливості алгоритмів та часто можуть бути виконані непомітно для системи або користувача. На рисунку 2.6 наведено її схему дії.



Рисунок 2.6 – Принцип дії атаки на основі штучних артефактів

Існує два типи цих атак, кожен з яких має свої унікальні характеристики та методологію.

Перший тип – це атака, що впливає на класифікатор шляхом порушення роботи моделі для зміни її прогнозів.

Другий тип передбачає порушення безпеки моделі для введення шкідливих даних, які будуть класифіковані як коректні. Врешті, цілеспрямована атака передбачає здійснення конкретного вторгнення або порушення роботи, або створення загального хаосу.

Ці типи також можна поділити на «чорні скриньки» та «білі скриньки» залежно від їхнього функціонування. У випадку атаки на «білу скриньку» зломисник має доступ до параметрів моделі. У випадку атаки «чорного ящика» це не так [39].

Атаки ухилення є найпоширенішими. Вони передбачають модифікацію даних для того, щоб уникнути систем виявлення або бути класифікованими як легітимні. Ці атаки не передбачають впливу на дані, які використовуються для навчання моделі.

2.3.3 Атака вилучення моделі

В атаках вилучення моделі (Model extraction) зломисник використовує свою здатність взаємодіяти з моделлю для створення навчальних даних, які дозволяють йому відтворити її поведінку у власній моделі. Для не потрібно багато інформації: зломиснику не треба знати архітектуру моделі, її розмір або будь-які параметри, єдине, що йому потрібно – це доступ до моделі [39].

Як тільки хакер отримає модель-копію, він може завдати шкоди одним з двох способів.

Перший – створити на її основі свою модель, тим самим викравши інтелектуальну власність.

Другий – він може використовувати свою локальну версію моделі для створення більш складних атак, досліджуючи її на наявність потенційних вразливостей та методів їх експлуатації, знаючи, що такі атаки, швидше за все, будуть перенесені на модель-жертву [40]. У цьому другому випадку той факт, що зломисник розробляє ці методи зловживання вразливостями в автономному

режимі, означає, що їх неможливо виявити, поки вони не будуть готові до запуску проти цільової моделі. Принцип дії такої атаки зображено на рисунку 2.7.

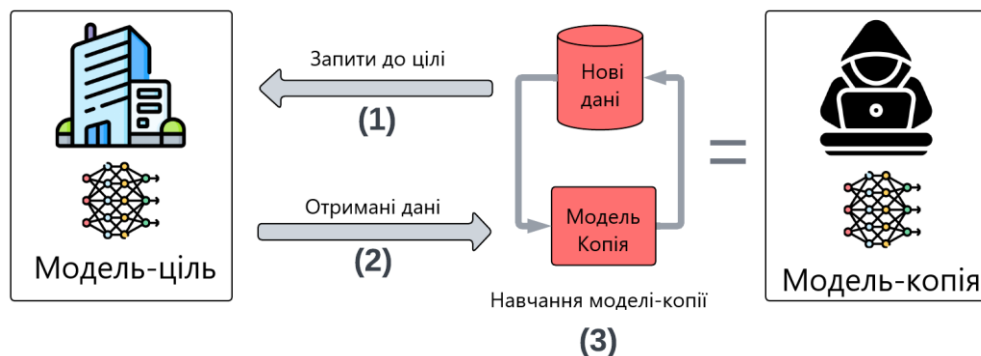


Рисунок 2.7 – Схема атаки вилучення моделі

Нейронні мережі відкривають нові можливості для розвитку інтелектуального транспорту, але їхня складність та динамічність зумовлюють високі ризики кіберзагроз [41]. Ефективний захист вимагає комбінації технічних (стійкі моделі, шифрування), організаційних (стандарти, аудит) та регуляторних заходів. Стратегічним пріоритетом має стати розробка національних політик кібербезпеки для критичної транспортної інфраструктури [42].

2.4 Висновок до другого розділу

У другому розділі проаналізовано можливості застосування штучних нейронних мереж для аналізу транспортних потоків у міських умовах. Надано короткий огляд принципів побудови НШМ, основних етапів їх навчання та структури моделей, що використовуються для роботи з даними, пов'язаними з дорожнім рухом.

Розглянуто сучасні архітектури нейронних мереж, зокрема згорткові, рекурентні, LSTM, трансформери та генеративні моделі, а також їхню ефективність у завданнях розпізнавання, прогнозування та оптимізації. Наведені приклади свідчать про доцільність їх використання для підвищення точності оцінки завантаженості транспортної мережі.

Окрему увагу приділено питанню безпеки при інтеграції нейромереж у транспортні системи. Розглянуто основні типи кібератак, які можуть вплинути на точність або стабільність роботи моделей, що базуються на машинному навчанні. Акцентовано на необхідності врахування ризиків, пов'язаних із маніпуляцією навчальними даними, штучними вхідними артефактами та спробами копіювання моделей.

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПИС РОЗРОБЛЕНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Аналіз існуючої інфраструктури м. Тернопіль

Місто Тернопіль, будучи адміністративним центром Тернопільської області, характеризується складною транспортною інфраструктурою, яка забезпечує перевезення як міського населення, так і транзитних пасажиропотоків. Аналіз транспортної мережі міста демонструє наявність чітко вираженої радіально-кільцевої структури з концентрацією основних транспортних потоків на центральних магістралях [43].

Основними транспортними артеріями міста є:

- проспект Злуки (довжина 4,2 км, 6 смуг руху)
- вулиця Руська (3,8 км, 4 смуги)
- проспект Степана Бандери (3,5 км, 4 смуги)
- Об'їзна дорога (7,1 км, 4 смуги)
- вулиця Тарнавського (2,9 км, 4 смуги)

Транспортна система міста функціонує в умовах значного навантаження, особливо в години пік (7:30-9:00 та 16:30-18:30), коли інтенсивність руху на центральних магістралях досягає 1200-1500 транспортних одиниць на годину. За даними моніторингу, середня швидкість руху в пікові години не перевищує 18-22 км/год [43].

Система громадського транспорту Тернополя включає:

- Автобусний транспорт 11 маршрутів)
- Тролейбусне сполучення (8 маршрутів)
- Маршрутні таксі (21 маршрут)

Розглянемо детально інфраструктуру міста. У міській мережі є 229 зупинок [43]. Їх розташування показано на рисунку 3.1.

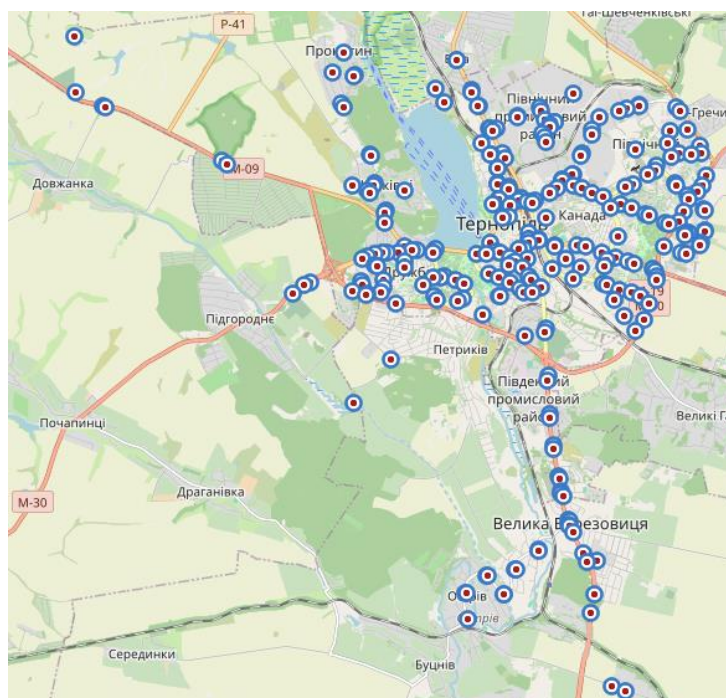


Рисунок 3.1 – Усі зупинки громадського транспорту м. Тернопіль

В місті налічується 11 маршрутів комунального автобуса. Їх зображено на рисунку 3.2.

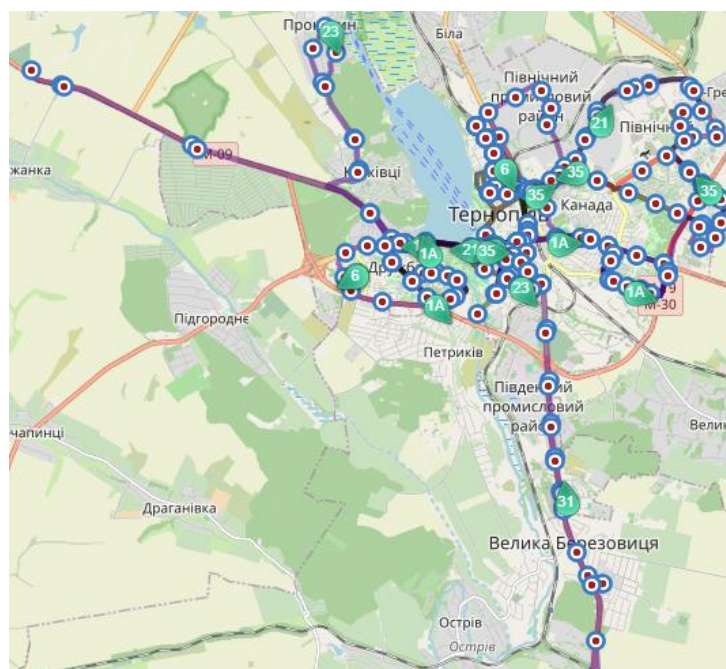


Рисунок 3.2 – Усі комунальні автобусні маршрути м. Тернопіль

Також, є ще 21 маршрут маршрутних таксі. Рисунок 3.3 демонструє їх.

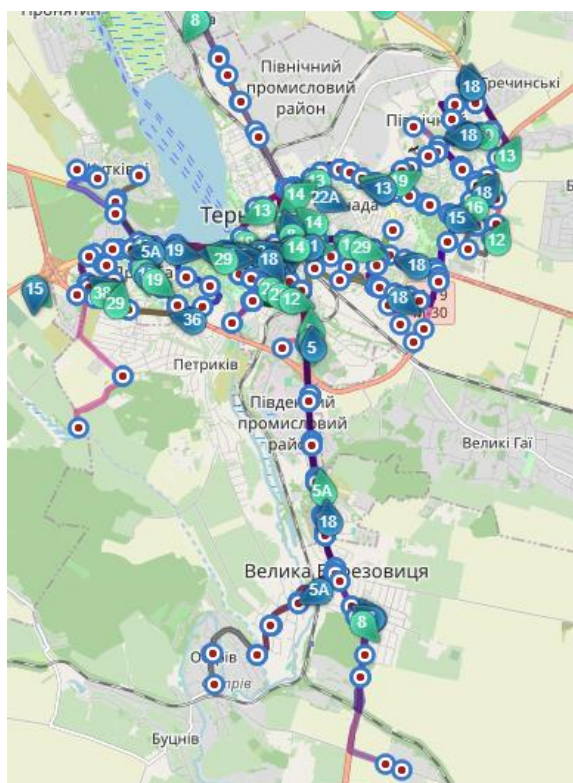


Рисунок 3.3 – Маршрутні таксі м. Тернополя

Окрім комунальних автобусів та маршрутних таксі, місто також має 8 тролейбусних маршрутів. Їх розміщення показано на рисунку 3.4.

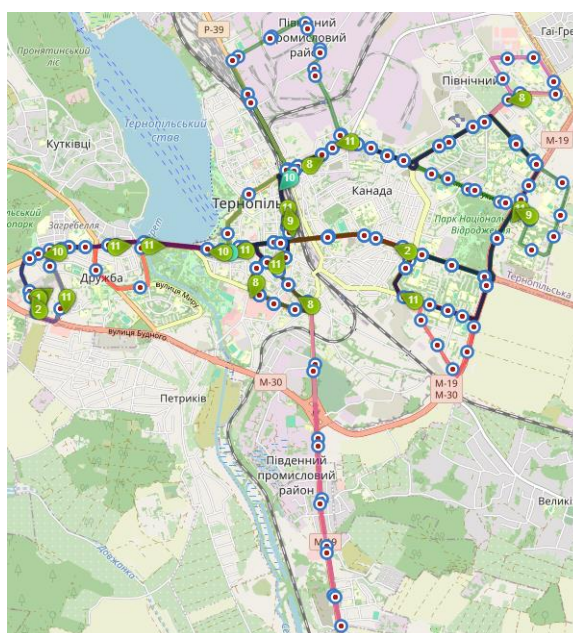


Рисунок 3.4 – Тролейбусні маршрути м. Тернопіль

Для розуміння актуальності стану транспортної мережі, слід розглянути її рухомий склад. Дані про нього подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рухомий склад міського транспорту м. Тернопіль

Автобуси		
Модель	Низькопідлоговість	Кількість
Ataman A092H6	Часткова	30
БАЗ-А079	Ні	20
Богдан А092	Ні	16
I-VAN А07А	Ні	6
ЛАЗ А191	Так	3
MAN А21	Так	15
Еталон А081	Ні	15
Богдан А09280	Так	12
Volvo 8700LE	Часткова	6
Molitusbus S91	Так	1
МАЗ-206	Так	20
МАЗ-226	Так	2
Всього	146	
Тролейбуси		
Модель	Низькопідлоговість	Кількість
Škoda 9Tr	Ні	1
Škoda 14Tr	Ні	16
Škoda 15Tr	Ні	28
Škoda 24Tr	Так	6
ЛАЗ Е183	Так	2
Всього	52	

Також на рисунку 3.5 подано візуалізацію даних про доступність рухомого складу для маломобільних категорій користувачів.



Рисунок 3.5 – Діаграми доступності міського транспорту

Важливим елементом транспортної інфраструктури є система електронних платежів «Файна картка», яка дозволяє отримувати детальну статистику пасажиропотоків з точністю до окремих маршрутів і часових інтервалів [43].

Сучасна технічна база міста включає:

- GPS-моніторинг 100% тролейбусного парку;
- 78% автобусів міських маршрутів;
- 23 адаптивні світлофорні об'єкти;
- 5 інтелектуальних транспортних розв'язок.

Для дослідження транспортних потоків у місті доступні такі джерела даних:

- Відкриті геопросторові дані;
- API мобільних додатків;
- Дані GPS-трекерів громадського транспорту;
- Статистика електронних квитків;
- Дані дорожніх камер спостереження.

Специфіка транспортної системи Тернополя:

- Чітко виражена централізація потоків (до 68% транспорту проходить через центр);

- Обмежена пропускна спроможність історичного ядра міста;
- Наявність «вузьких місць» у транспортній мережі;
- Висока частка транзитного транспорту (до 25% від загального потоку);
- Застарілість рухомого складу, його невідповідність сучасним стандартам доступності.

Таким чином, Тернопіль представляє ідеальний полігон для впровадження інтелектуальних систем управління транспортом через:

- Оптимальні розміри міста (площа 86 км², населення 225 тис.);
- Наявність сучасної цифрової інфраструктури;
- Доступність детальних транспортних даних;
- Чітко виражені транспортні проблеми, що потребують вирішення.

Зазначені фактори дозволяють ефективно застосовувати методи машинного навчання для аналізу та оптимізації транспортних потоків міста.

3.2 Моделювання модернізації міської транспортної системи

Моделювання модернізації транспортної системи Тернополя спрямоване на розробку інтелектуальних рішень для оптимізації руху, зниження заторів та підвищення ефективності громадського транспорту [44].

Першим етапом є впровадження системи сенсорів для збору даних. Враховуючи те, що найбільший рівень концентрації зупинок та транспортних маршрутів припадає на центральну частину міста, цей процес слід почати саме тут [45].

Розміщення системи в центрі дозволить створити полігон для випробувань системи, при менших витратах, завдяки невеликій площі контролю. Центральна частина міста Тернопіль з'єднана з іншими частинами міста 3 магістралями:

- Вулиця Руська з заходу (одночасно є центральною вулицею)
- Проспект Степана Бандери зі сходу
- Вулиця Микулинецька з півдня

Відповідно, на цих трьох ключових перехрестях слід встановити детектори повторної ідентифікації. Їх розміщення показано на рисунку 3.6.

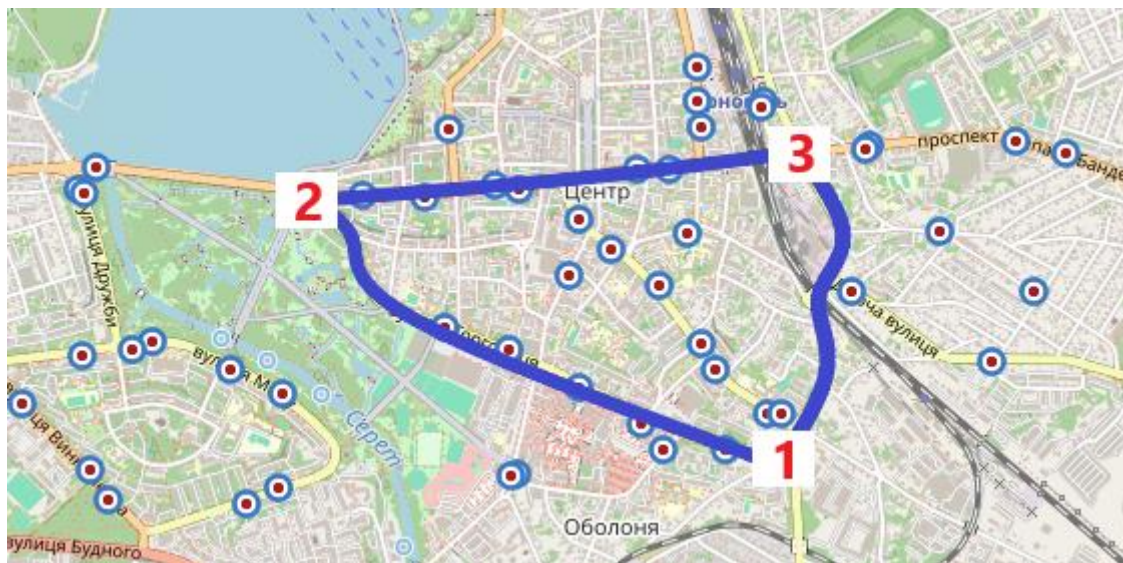


Рисунок 3.6 – Місця встановлення детекторів повторної ідентифікації

Їх робота дозволить фіксувати усі транспортні засоби, та розділяти їх на ті, які залишаються у центральній зоні, та ті, що проїжджають транзитом. Це дасть змогу при потребі визначити альтернативні маршрути, для уникнення заторів.

Також слід повністю оснастити рухомий склад GPS-трекерами для точного визначення його місцезнаходження. Відповідно, на всіх зупинках потрібно встановити інтерактивні дисплеї для відображення часу прибуття [46].

Далі треба провести пересинхронізацію світлофорів, для того, щоб час очікування відповідав конкретному місцю. Після повного впровадження системи, їх можна буде вмикати і вимикати автоматично на основі ситуації в реальному часі. Для цього потрібно встановити індуктивні петлі на ключових перехрестях вулиць. На кожне перехрестя потрібно по 2 петлі, для обох сторін руху [47]. На рисунку 3.7 можна побачити місця встановлення індуктивних петель.

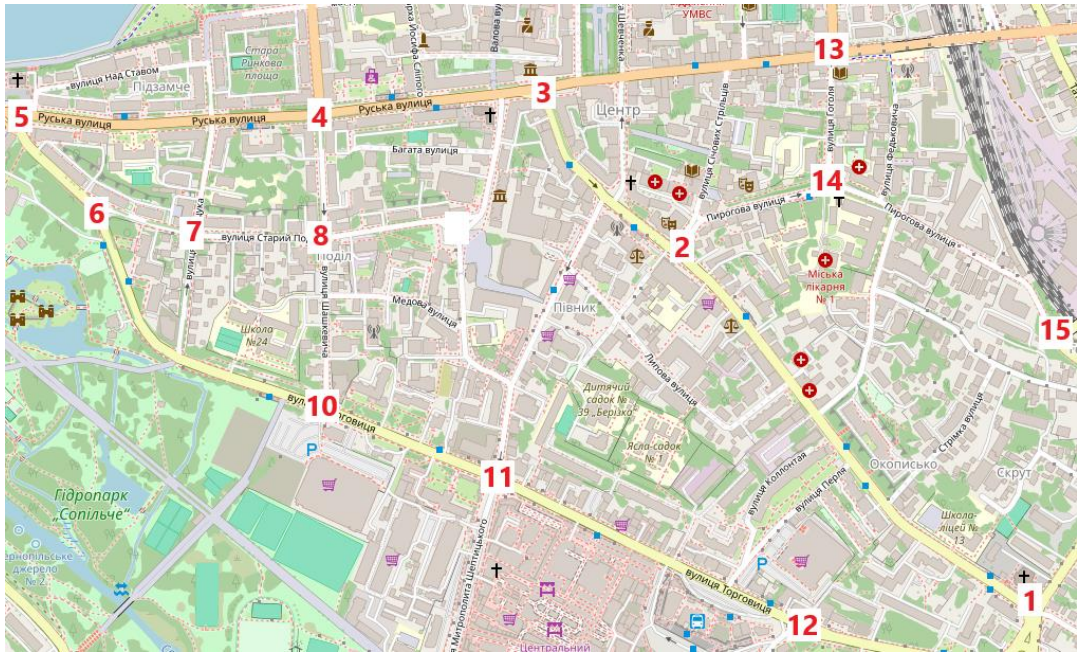


Рисунок 3.7 – Місця встановлення індуктивних петель

Додатково слід під'єднати камери відеоспостереження до системи, додавши нові у місця їх відсутності. У таблиці 3.2 подано типи сенсорів та їх кількість.

Таблиця 3.2 – Потреба у сенсорах для системи

Тип сенсора	Кількість	Призначення
Повторна ідентифікація (RFID)	6	Ідентифікація транспорту, що в'їжджає в зону та покидає її
Індуктивні петлі	30	Визначення типу транспорту
Камери відеоспостереження	120-300	Аналіз трафіку, порушень і ДТП
GPS-трекери транспорту	200	Визначення місцезнаходження громадського транспорту

Доцільно також обговорити структуру нейронної мережі, що займатиметься аналізом зібраних даних. Враховуючи той факт, що система отримуватиме інформацію у різному форматі, то варто зробити її комбінацією 4 модулів, кожен з яких відповідатиме за обробку конкретного типу даних [48]. Цю структуру подано на рисунку 3.8.

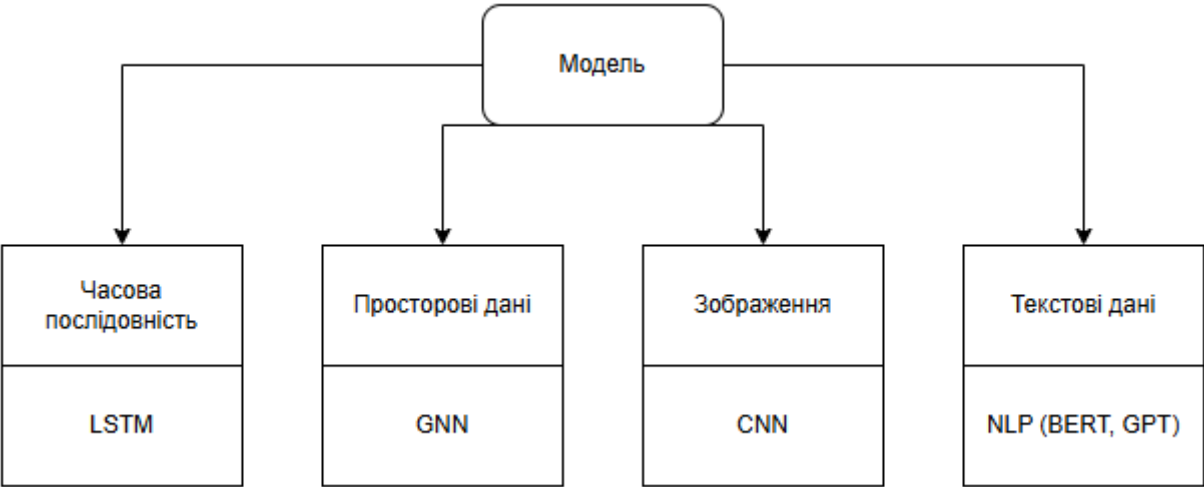


Рисунок 3.8 – Схема комбінації нейронних мереж

Для реалізації цієї системи знадобиться широкий спектр інструментів, який подано у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Необхідні програмні засоби для реалізації НШМ

Компонент	Технології
Машинне навчання	TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn
Обробка даних	Apache Kafka, Apache Spark
Бази даних	PostgreSQL
Геодані	OpenStreetMaps, Google Maps API
Хмарна інфраструктура	Microsoft Azure, Google Cloud

Розглянемо деталі архітектури. Прогнозування пасажиропотоку включатиме LSTM та GNN (Graph Neural Network). Перша НШМ аналізуватиме часові залежності, а друга – зв’язки між зупинками громадського транспорту.

Вхідні дані:

- Історичні дані про кількість пасажирів (по годинах/днях);
- Дані з сенсорів повторної ідентифікації;
- Дані з індуктивних петель;
- Дані GPS з транспортних засобів;

- Погодні умови, події у місті.

Вихід:

- Прогноз завантаження на маршрутах

Для оптимізацією маршрутів застосовуватиметься навчання з підкріпленням (Reinforcement learning). У цьому підході система навчається на основі «винагород» (менше затримок – вища оцінка) [49]. Завдяки цьому система вибиратиме оптимальні рішення (як приклад: відправити додатковий автобус чи змінити маршрут).

Вхідні дані:

- Поточний стан транспорту;
- Прогноз пасажиропотоку;
- Інформація про трафік.

Вихід:

- Оптимальні інтервали руху, зміни маршрутів у реальному часі.

Для аналізу затримок використовуватиметься трансформер.

Вхідні дані:

- Дані з датчиків транспорту;
- повідомлення водіїв;
- Дані про ДТП, ремонти доріг.

Вихід:

- Ідентифікація причин затримок;
- Рекомендації щодо їх усунення.

Для обробки зовнішніх даних застосовуватиметься обробка природньої мови (Natural Language processing, NLP) [50]. Буде проводитись аналіз текстових скарг та аудіоповідомлень.

Вхідні дані:

- Відгуки пасажирів (соцмережі, дзвінки);
- Відео з камер спостереження (щільність на зупинках).

Вихід:

- Виявлення проблемних маршрутів;
- Автоматичні відповіді пасажирам (чат-боти).

3.3 Перспективи подальшої модернізації та підтримки

Після успішного впровадження системи в центральній частині міста та аналізу результатів використання, можна буде перейти до наступного етапу – масштабування на все місто. Завдяки наявності початкової структури, цей процес не потребуватиме значних змін, а лише збільшення кількості сенсорів та обчислювальних потужностей [51].

З метою підвищення точності прогнозів ШНМ може бути доповнена додатковими типами даних:

- Відеопотоки з камер спостереження всередині громадського транспорту (аналіз наповненості, порушень);
- Інформація з паркувальних майданчиків для оптимізації трафіку;
- Краудсорсингові платформи (Waze, Google Maps, Bolt, Uklon, Uber), що забезпечують зворотний зв'язок від користувачів;
- Дані про погоду.

У результаті — модель отримає можливості прогнозування з урахуванням множини факторів, що покращить адаптивність до умов міського середовища.

Для ефективної взаємодії ІТС з іншими цифровими сервісами міста доцільним є об'єднання систем в єдину міську цифрову. Це дозволить забезпечити:

- Єдиний доступ до всіх послуг міста;
- Візуалізацію завантаженості транспорту в реальному часі для користувачів;
- Автоматизоване інформування диспетчерських служб про перевищення навантаження;
- Масштабування обчислювальної інфраструктури.

На ранньому етапі впровадження, система базуватиметься на серверному середовищі з GPU-підтримкою. У перспективі слід перейти до хмарної реалізації моделі [52]. Це надасть такі переваги:

- Масштабованість за кількістю вузлів та обсягом даних;
- Можливість надання API для сторонніх розробників;

- Провайдери, такі, як AWS, Microsoft Azure, Google Cloud пропонують спеціалізовані сервіси (SageMaker, Vertex AI, Azure ML) для розгортання моделей.

Одним з критичних аспектів експлуатації транспортної нейронної мережі при її масштабуванні є захист від кібератак. Для цього слід проводити такі дії:

- Систему варто доповнити засобами виявлення аномалій у потоках даних;
- Запровадити цифрові підписи для автентифікації та перевірку достовірності джерел даних;
- Регулярна перевірка системи на вразливості архітектури моделі.

Окрім технічних заходів, варто розробити протоколи резервування та відновлення у разі пошкодження або виходу з ладу системних вузлів [53].

Таким чином, реалізація моделі у Тернополі є лише першим кроком на шляху до повноцінної цифрової трансформації транспортної системи міста. Важливо також відзначити, що розроблену модель можна масштабувати не лише в межах одного населеного пункту, а й інтегрувати у вищий рівень — «розумного регіону» [53]. У такій архітектурі система кожного міста стає частиною регіонального транспортного хабу, забезпечуючи обмін даними між населеними пунктами, синхронізацію графіків приміського транспорту, автоматичне перенаправлення транзитних потоків та оперативне реагування на надзвичайні ситуації. Це відкриває нові можливості для співробітництва, планування інфраструктури та підвищення мобільності у межах всього регіону [59].

3.4 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано проектування, моделювання та концептуальне впровадження інтелектуальної транспортної системи для міста Тернопіль із застосуванням штучного інтелекту. Було проведено аналіз базової інфраструктури, визначено її переваги та слабкі місця.

Виконано моделювання модернізації транспортної мережі м. Тернополя, визначено потребу у технічних засобах, ключові джерела даних, розроблено архітектуру нейронної мережі,

Розглянуто перспективи подальшої модернізації, з врахуванням критичних аспектів: розширенні джерел даних, переході до хмарної обчислювальної платформи, забезпеченні безпеки.

Підкреслено, що запропоновану модель можна не лише адаптувати до різних міст, а й масштабувати у рамках «розумного регіону», де транспортні мережі кількох населених пунктів працюють у єдиній інтелектуальній системі. Це створює умови для формування регіональних транспортних хабів, узгодження приміських перевезень та оперативного реагування на кризові ситуації.

Відповідно, розділ 3 демонструє бачення переходу до сучасної міської мобільності, де штучний інтелект не лише аналізує, а й активно керує трафіком на основі даних у реальному часі, забезпечуючи сталу та безпечну транспортну екосистему.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація охорони праці для працівників ІТС

Тема кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» дослідженню застосування нейронних мереж для аналізу завантаженості міського транспорту в умовах «розумного міста». Тому доцільно розглянути питання охорони праці працівників, які займаються встановленням, налаштуванням, технічним обслуговуванням та експлуатацією елементів інтелектуальної транспортної системи (ІТС): сенсорів, камер відеоспостереження, мережевого обладнання, електронних табло, серверів тощо.

Діяльність з обслуговування ІТС передбачає виконання робіт на висоті (монтаж камер, антен), в умовах впливу електричного струму, вуличного середовища, а також в середовищі з підвищеними вимогами до точності та безпеки. Тому забезпечення здорових і безпечних умов праці для таких працівників є важливим елементом ефективного функціонування системи [54].

Згідно з Законом України «Про охорону праці» (№ 2694-ХІІ від 14.10.1992, в редакції зі змінами), роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці умови праці, що відповідають вимогам безпеки, гігієни праці, а також забезпечити виконання працівниками вимог нормативно-правових актів з охорони праці [55].

Для організацій, що експлуатують ІТС, важливим є виконання вимог таких нормативно-правових актів, а саме:

- НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про навчання з питань охорони праці»;
- ДБН В.2.5-23:2010 «Електроустановки»;
- ДСТУ EN 50110-1:2014 «Експлуатація електроустановок».

Обслуговування обладнання ІТС передбачає такі категорії робіт:

- електромонтажні роботи на об'єктах транспортної інфраструктури;

- роботи на висоті (монтаж камер, світлофорів, сенсорів);
- налаштування та обслуговування серверного обладнання, систем відеоспостереження;
- роботи на проїжджій частині (прокладка кабелів, встановлення інфраструктури).

Кожен вид робіт повинен бути регламентований інструкціями з охорони праці, погодженими відповідно до Положення про розробку інструкцій з охорони праці (НПАОП 0.00-4.15-98) [55].

Працівники повинні проходити інструктажі (вступний, первинний, повторний), навчання з питань охорони праці та електробезпеки, а також медичні огляди відповідно до наказу МОЗ № 246 від 21.05.2007 «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій».

Усі працівники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту (каска, діелектричні рукавички, жилети зі світловідбиваючими елементами тощо) відповідно до наказу Держгірпромнагляду № 53 від 24.03.2008 «Про затвердження Положення про порядок забезпечення працівників ЗІЗ» (НПАОП 0.00-4.01-08).

Обладнання, яке встановлюється в межах транспортної мережі, повинно відповідати вимогам електробезпеки. Роботи з підключення до електромережі можуть виконуватись тільки особами, які мають відповідну групу допуску з електробезпеки згідно з вимогами ПБЕЕС (Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів) [56].

Окрему увагу слід приділяти роботам у зоні проїзної частини. Роботодавець зобов'язаний забезпечити організацію безпечного робочого місця, розміщення попереджувальних знаків, дорожніх конусів, сигнального освітлення згідно з ДСТУ 4100:2021 та вимогами Правил дорожнього руху.

Також повинна бути передбачена система аварійного реагування у разі електротравм, падіння з висоти, опіків тощо. Повинна бути організована аптечка на об'єкті, а персонал навчений наданню першої долікарської допомоги.

У разі виникнення нещасного випадку, розслідування проводиться відповідно до Постанови КМУ № 337 від 17.04.2019 «Про затвердження Порядку

розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві».

Організація охорони праці в інтелектуальних транспортних системах потребує комплексного підходу, врахування особливостей динамічного середовища, високого рівня відповідальності працівників, а також впровадження сучасних методів дистанційного моніторингу стану обладнання, які можуть знизити ризики для персоналу [55].

Таким чином, ефективне функціонування транспортної мережі з ІШ неможливе без чіткого дотримання вимог охорони праці, створення безпечних умов для працівників, які обслуговують інфраструктуру, і належного нормативного супроводу.

4.2 Засоби безпеки для працівників ІТС

У межах реалізації інтелектуальних транспортних систем (ІТС), що базуються на застосуванні штучного інтелекту та нейронних мереж, значну роль відіграють серверні комплекси, диспетчерські центри, пункти відеоспостереження, дата-центри й апаратні вузли. Забезпечення охорони праці для працівників, які експлуатують, обслуговують або адмініструють ці системи, є обов'язковою умовою стабільної й безпечної роботи інфраструктури «розумного міста» [55].

Згідно з Законом України «Про охорону праці» (№ 2694-ХІІ), роботодавець зобов'язаний забезпечити відповідні умови праці, зокрема, у приміщеннях, де розміщується високотехнологічне обладнання, таке як сервери, маршрутизатори, системи відеоаналітики, електроживлення та охолодження.

Приміщення серверних і центрів моніторингу характеризуються підвищеними вимогами до:

- температурного режиму (відповідно до ДБН В.2.5-28:2006 — температура 18–27°C, вологість 40–60%);
- наявності активного охолодження та вентиляції;
- електробезпеки (робота з системами напругою 220В і вище);

- радіаційного фону та електромагнітного випромінювання;
- постійного контакту з моніторами, джерелами шуму, вібрації, пилу.

Працівники, які адмініструють або обслуговують це обладнання, входять до категорій персоналу з обмеженим доступом і підвищеною відповідальністю, тому охорона праці має враховувати чинники інтенсивного когнітивного навантаження, стресу, ризику ураження струмом або теплового впливу від серверів [56].

Згідно з НПАОП 0.00-4.12-05 (наказ Держнаглядохоронпраці №15), усі працівники повинні пройти:

- вступний інструктаж,
- первинний інструктаж на робочому місці,
- повторний інструктаж (не рідше ніж раз на 6 місяців),
- спеціальне навчання з електробезпеки — особи, які працюють із системами резервного живлення або акумуляторними станціями, мають мати II або III групу з електробезпеки.

У приміщеннях серверних і диспетчерських мають бути дотримані:

- санітарні вимоги до мікроклімату — згідно з ДСанПіН 3.3.6.042-99;
- нормативи освітлення — не менше 300 лк для моніторів згідно з ДСТУ EN 12464-1:2012;
- рівень шуму — не більше 50 дБ у серверних, згідно з ДСТУ ГОСТ 12.1.003-83.

Працівники, які мають доступ до систем диспетчерського керування або даних з відеоаналітики, можуть перебувати під емоційним навантаженням. Згідно з Наказом МОЗ № 246 (21.05.2007), такі працівники підлягають щорічним медичним оглядам, а також мають бути ознайомлені з політикою конфіденційності, що визначає межі дозволеної дії [56].

Згідно з Правилами пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2004), приміщення з комп'ютерним обладнанням:

- обладнуються автоматичними установками пожежогасіння (газове або порошкове);

- мають бути забезпечені вогнегасниками (вуглекислотними або порошковими) із маркуванням В/С;

- допускається зберігання лише обмеженої кількості кабелів, у герметичних лотках;

- матеріали внутрішньої обробки мають бути з негорючих речовин.

Працівники повинні бути забезпечені:

- діелектричними рукавичками та килимками при роботі з ДБЖ;
- антистатичними браслетами при обслуговуванні відкритих плат;
- захисним одягом з негорючих матеріалів;
- окулярами (при роботі з лазерними компонентами, зварюванням);
- захистом органів слуху (якщо рівень шуму перевищує 60 дБ).

Забезпечення ЗІЗ здійснюється відповідно до НПАОП 0.00-4.01-08 — Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, взуттям та іншими ЗІЗ.

У випадках короткого замикання, перегріву серверів, виходу з ладу систем охолодження, збоїв енергоживлення, пожежі в кабельних лініях, необхідно діяти згідно з планом евакуації, а також забезпечити безпечне знеструмлення обладнання. Всі працівники мають пройти тренування з надання домедичної допомоги й евакуації [56].

Аварійні випадки розслідуються згідно з Постановою КМУ № 337 від 17.04.2019, а усі події фіксуються в журналі обліку нещасних випадків.

Охорона праці персоналу, що обслуговує інтелектуальні транспортні системи у частині серверних і моніторингових компонентів, є критично важливою умовою стабільної роботи ІТС. Врахування чинного законодавства, адаптація міжнародних стандартів та впровадження сучасних протоколів безпеки дозволяють значно знизити ризики, пов'язані з впливом електромагнітних, температурних, техногенних та психофізичних факторів.

4.3 Підвищення стійкості роботи підприємств приладо-будівної галузі у воєнний час

У сучасних умовах воєнного стану в Україні надзвичайно важливо забезпечити безперервність функціонування критично важливих виробництв, зокрема підприємств приладо-будівної галузі. Ці підприємства виготовляють вузли та механізми, які використовуються у бронетехніці, дронах, артилерії, авіації, енергетиці та промисловості, а отже, мають подвійне – економічне й оборонне – значення [57].

Стійкість таких підприємств визначається здатністю протистояти зовнішнім загрозам, включаючи прямі руйнування від бойових дій, кіберзагрози, перебої в енергопостачанні та логістичні обмеження. У цьому контексті питання охорони праці, техногенної безпеки та захисту персоналу набувають першочергового значення.

Основним документом, який регулює сферу охорони праці, є Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ, який передбачає обов'язок роботодавця забезпечувати безпечні та здорові умови праці, а також вживати заходів для захисту працівників у разі надзвичайних ситуацій (НС) [57].

Крім того, діють:

- Кодекс цивільного захисту України (Закон № 5403-VI від 02.10.2012) – визначає заходи щодо захисту працівників і виробничих об'єктів у надзвичайних ситуаціях воєнного і техногенного характеру;
- Постанова КМУ № 337 від 17.04.2019 – щодо розслідування нещасних випадків;
- Наказ МВС № 579 від 05.10.2020 – «Про затвердження Порядку планування заходів цивільного захисту».

Основні ризики, що впливають на стійкість та безпеку праці на підприємствах приладо-будування:

- ракетні та авіаційні удари по інфраструктурі;
- тимчасова окупація або бойові дії в зоні розташування;
- перебої з енергозабезпеченням, водою, інтернетом;
- аварії на виробництві через неякісну експлуатацію в умовах стресу;
- психоемоційна нестабільність працівників, викликана страхом, мобілізацією, втратою житла тощо.

Для підвищення стійкості та безпеки підприємства слід провести відповідні заходи. Серед них:

- розроблення плану дій у надзвичайних ситуаціях, затвердженого керівником підприємства (відповідно до ст. 20 Кодексу цивільного захисту України);
- створення комісії з НС, відповідальної за координацію евакуації, оповіщення, дій у разі повітряної тривоги, надзвичайних техногенних ситуацій;
- забезпечення інструктажів для всіх категорій персоналу щодо дій при бомбардуванні, артилерійському обстрілі, евакуації та укритті;
- визначення відповідальних за цивільний захист згідно з Наказом ДСНС № 111 від 23.02.2017.

До технічних заходів можна віднести:

- встановлення резервних джерел живлення (дизель-генератори, ІБП);
- організація захищених приміщень з пожежною сигналізацією, вентиляцією та сейфовим зберіганням критичних даних;
- переоснащення частини цехів у резервні майданчики, які можуть працювати автономно;
- організація зон укриття відповідно до норм ДБН В.2.2-5:2023 «Укриття цивільного захисту» (обладнані вентиляцією, освітленням, аптечками, ЗІЗ, засобами зв'язку, запасом води та їжі не менш як на 2 доби).

Для психологічної підтримки працівників треба вжити таких заходів:

- введення гнучких режимів праці;
- забезпечення психологічної підтримки, консультацій, створення «гарячої лінії» або можливості звернення до фахівця;
- підтримка працівників, які мобілізовані: збереження робочого місця, компенсаційні пакети, комунікація з родинами.

Згідно з НПАОП 0.00-4.01-08 працівникам у зонах підвищеного ризику надаються:

- каски, протигази, респіратори, засоби медичної допомоги;
- жилети з ідентифікаторами для оперативного обліку евакуйованих;
- комплекти «тривожної валізи» для ключового технічного персоналу;

- засоби зв'язку (радіостанції, супутникові телефони).

У разі прямої загрози бойових дій або ударів по об'єкту, підприємство може перейти в режим екстреної евакуації з тимчасовим відключенням обладнання [58]. Однак, відповідно до стандарту ДСТУ EN ISO 22301:2021, рекомендовано заздалегідь підготувати:

- резервні плани виробництва на інших майданчиках;
- ротацію персоналу, що забезпечує мінімально допустимий рівень роботи.

Підвищення стійкості підприємств приладо-будівної галузі в умовах воєнного стану вимагає впровадження системного підходу до безпеки праці, цивільного захисту, управління ризиками та забезпечення резервної готовності. Інтеграція норм охорони праці, заходів протидії надзвичайним ситуаціям і управління безперервністю дозволить зберегти працездатність виробництва навіть за найскладніших умов, зберігаючи життя працівників і виконання критично важливих оборонних функцій.

4.4 Висновок до четвертого розділу

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи було досліджено основні питання охорони праці, пов'язані з впровадженням інтелектуальних транспортних систем і забезпеченням безпеки працівників у сучасних умовах.

Проаналізовано вимоги безпеки для працівників, які займаються встановленням та обслуговуванням елементів ІТС — пристроїв, камер, електричного обладнання. Зазначено необхідність дотримання вимог законодавства, інструктажів, використання засобів індивідуального захисту та забезпечення безпечних умов при виконанні робіт на висоті та поблизу проїзної частини.

Розглянуто безпеку працівників, які працюють у серверних приміщеннях і диспетчерських центрах. Подано вимоги до мікроклімату, освітлення, пожежної безпеки та психофізіологічного стану персоналу, а також заходи для захисту від електричних і інформаційних загроз.

Запропоновано дії для забезпечення безперервності роботи підприємств приладо-будівної галузі у воєнний час. Показано важливість резервного живлення, укриттів, планів евакуації, цифрового дублювання та підтримки працівників у надзвичайних ситуаціях.

Узагальнено, що охорона праці є важливою умовою стабільної роботи підприємств і систем штучного інтелекту в транспорті. Дотримання вимог безпеки дозволяє зберегти життя працівників, зменшити ризики і забезпечити ефективне функціонування транспортної інфраструктури навіть в умовах кризи.

ВИСНОВКИ

Сучасні міста стикаються із зростаючими викликами в управлінні транспортними потоками, спричиненими урбанізацією, зростанням мобільності населення та необхідністю ефективного використання інфраструктури. У цьому контексті інтеграція штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, відкриває нові можливості для аналізу, прогнозування й оптимізації завантаженості міського транспорту. Швидка урбанізація вимагає інноваційних підходів до збору, обробки та інтерпретації даних, що дозволяють оперативно приймати рішення.

У першому розділі розкрито теоретичні засади аналізу завантаженості міського транспорту, розглянуто роль транспорту в цифровій екосистемі «розумного міста», а також класифіковано сучасні методи збору та обробки транспортних даних. Описано принципи функціонування ІТС та технології, що використовуються для моніторингу та прогнозування трафіку.

У другому розділі зосереджено увагу на архітектурах штучних нейронних мереж, зокрема CNN, RNN, LSTM, ST-GCN та трансформерах, які мають високу ефективність у прогнозуванні часових і просторових залежностей. Особливу увагу приділено питанням безпеки — проаналізовано типи кібератак на моделі ШІ, такі як отруєння даних, adversarial атаки, вилучення моделей, та запропоновано заходи захисту.

У третьому розділі реалізовано моделювання модернізації транспортної системи м. Тернопіль з урахуванням її реальної інфраструктури, маршрутної мережі та завантаженості основних магістралей. Запропоновано нейронну модель типу ST-GCN для прогнозування трафіку на основі даних із сенсорів, GPS, камер та зовнішніх джерел. Наведено перелік необхідних типів сенсорів, визначено їх кількість і функціональне призначення. Показано можливість інтеграції моделі в єдину цифрову платформу міста, а також розглянуто потенціал масштабування до рівня «розумного регіону». Розглянуто перспективи подальшого розвитку: розширення джерел даних, хмарна реалізація моделей, інтеграція з іншими міськими сервісами, підвищення рівня

кібербезпеки та автоматизація регулювання трафіку в реальному часі. Запропоновано механізми моніторингу ефективності та динамічного оновлення моделі.

Загалом, результати дослідження підтверджують доцільність і перспективність використання нейронних мереж для аналізу міського транспорту. Запропонований підхід здатен суттєво покращити якість управління дорожнім рухом, знизити затори, підвищити безпеку та ефективність перевезень, що відповідає цілям сталого розвитку міст і цифрової трансформації транспортної інфраструктури.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» проаналізовано питання забезпечення безпечних умов праці для працівників, які обслуговують інтелектуальні транспортні системи. Визначено основні вимоги до охорони праці при роботі з електрообладнанням, системами моніторингу та серверними установками. Окрему увагу приділено заходам підвищення стійкості роботи підприємств приладо-будівної галузі у воєнний час, зокрема щодо евакуації, резервного живлення та збереження безперервності виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Bubelíny O., Kubina M. Impact of the concept Smart City on public transport. *Transportation Research Procedia*. 2021. T. 55. C. 1361–1367.
2. Pike K. The Continuous Connectivity Research Report. *Electrical Comms Data*. 2022.
3. Ribeiro P., Dias G., Pereira P. Transport Systems and Mobility for Smart Cities. Centre for Territory Environment and Construction. 2021.
4. Mehbub Anwar A. H. M., Toasin Md Oakil A. Smart Transportation Systems in Smart Cities: Practices, Challenges, and Opportunities for Saudi Cities. *Smart Cities*. 2023. C. 315–337.
5. Overview of emerging road traffic data collection methods / S. Mihalinaс та ін. *International Conference on Road and Rail Infrastructure*. 2021.
6. Del Serrone G., Cantisani G., Peluso P. Speed data collection methods: a review. *Transportation Research Procedia*. 2023. T. 69. C. 512–519.
7. Automatic number plate recognition (ANPR) in smart cities: A systematic review on technological advancements and application cases / J. Tang та ін. *Cities*. 2022. T. 129.
8. Ranyal E., Sadhu A., Jain K. Road Condition Monitoring Using Smart Sensing and Artificial Intelligence: A Review. *Sensors*. 2022.
9. Ye Z., Wei Y., Yang S. IoT-enhanced smart road infrastructure systems for comprehensive real-time monitoring. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2024. T. 4. C. 235–249.
10. Arena F., Pau G., Severino A. A Review on IEEE 802.11p for Intelligent Transportation Systems. *Wireless Technologies Applied to Connected and Automated Vehicles*. 2020.
11. Wi-Fi 7 In Depth: Your guide to mastering Wi-Fi 7, the 802.11be protocol, and their deployment / J. Henry та ін. Addison-Wesley Professional, 2025.
12. Assessment of floating car data quality for emission estimation / Z. Purkrábková та ін. *Transportation Research Procedia*. 2024. T. 78. C. 619–626.

13. A Review of Wi-Fi-Based Traffic Detection Technology in the Field of Intelligent Transportation Systems / Y. Lin та ін. *Buildings*. 2022.
14. Artificial Intelligence Enabled Traffic Monitoring System / V. Mandal та ін. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2020.
15. Rezaei M., Azarmi M. Traffic-Net: 3D Traffic Monitoring Using a Single Camera. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021.
16. Yang Z. *Comprehensive Biomedical Physics* / Yang., 2022. – 162 c.
17. Maurer H. *Cognitive Science: Integrative Synchronization Mechanisms in Cognitive Neuroarchitectures of Modern Connectionism* / Harald Maurer., 2022. – 400 c.
18. Lawrence W. J. *Neural Networks: A Pathway To Deep Learning, Machine Intelligence, and Machine Learning* / William J. Lawrence., 2023. – 159 c.
19. Munir A. *Accelerators for Convolutional Neural Networks* / A. Munir, J. Kong, M. A. Qureshi. – 2023: IEEE, 304.
20. *Neural Networks Made Simple: Basics and Applications of Neural Networks with Extra Chapter: ChatGPT and Language Processing (AI Made Simple)*, 2023. – 117 c.
21. Tesfaye K. *Recurrent Neural Network: Artificial and Natural Neural Networks* / Kassahun Tesfaye. – Kassahun Tesfaye: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 56 c.
22. Goodfellow I. *Deep Learning* / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville., 2023. – 804 c.
23. Drori I. *The Science of Deep Learning* / Iddo Drori., 2022. – 360 c.
24. Silaparasetty M. K. *Beginning with Deep Learning Using TensorFlow: A Beginners Guide to TensorFlow and Keras for Practicing Deep Learning Principles and Applications* / Mohan Kumar Silaparasetty., 2022. – 286 c.
25. *Spatial Transformer Networks* / M.Jaderberg, K. Simonyan, A. Zisserman, K. Kavukcuoglu. – 2020.
26. Hansheng R. *Time-Series Anomaly Detection Service at Microsoft* | *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* / Ren Hansheng. // 1. – 2020.

27. Howard J. Deep Learning for Coders with Fastai and PyTorch: AI Applications Without a PhD / J. Howard, S. Gugger., 2020. – 621 с.
28. Chollet F. Deep Learning with Python, Second Edition 2nd Edition / Francois Chollet., 2021. – 401 с.
29. Salem F. Recurrent Neural Networks: From Simple to Gated Architectures / Fathi Salem., 2022. – 260 с.
30. Липак Г., Липак Т., Кунанець Н. Проектування інформаційної системи на основі машинного навчання для збереження та класифікації артефактів документальної спадщини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. Т. 334 № 4 (2024). С. 176-182.
31. Багрій Р. І., Липак Т. А., Липак Г. І. Методи штучного інтелекту в збереженні об'єктів культурної спадщини // Наукові тренди постіндустріального суспільства: збірник наукових праць з матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, м. Івано-Франківськ, 26 квітня, 2024 р. / Міжнародний центр наукових досліджень. — Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2024. — 288 с.
32. Wang F., Wang X., Ban X. Data Poisoning Attacks in Intelligent Transportation Systems: A Survey. Cryptography and Security. 2025.
33. Data Poisoning in Deep Learning: A Survey / P. Zhao та ін. Cryptography and Security. 2025.
34. A Comprehensive Survey on Poisoning Attacks and Countermeasures in Machine Learning / Z. Tian та ін. ACM Computing Surveys. 2022. Т. 55. С. 1–35.
35. Dynamic Adversarial Attacks on Autonomous Driving Systems / A. Chahe та ін. Computer Vision and Pattern Recognition. 2023.
36. Guo W., Tondi B., Barni M. An Overview of Backdoor Attacks Against Deep Neural Networks and Possible Defences. Cryptography and Security. 2021.
37. Ibrahim A. D. M., Hussain M., Hong J.-E. Deep learning adversarial attacks and defenses in autonomous vehicles: a systematic literature review from a safety perspective. Artificial Intelligence Review. 2024. Т. 58.
38. Model Extraction Attacks Revisited / J. Liang та ін. Cryptography and Security. 2023.

39. A Practical Trigger-Free Backdoor Attack on Neural Networks / J. Wang та ін. *Cryptography and Security*. 2024.
40. A realistic model extraction attack against graph neural networks / F. Guan та ін. *Knowledge-Based Systems*. 2024. Т. 300.
41. Secure information system for Chinese Image medicine knowledge consolidation / H. Lypak та ін. *Proceedings of the 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2024*. 2024. Т. 3896. С. 509–519.
42. An Information System Project Using Augmented Reality for a Small Local History Museum / H. Lypak та ін. *IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. 2023.
43. Транспорт Тернополя. URL: <https://detransport.com.ua/> (дата звернення: 30.04.2025).
44. Cenani İnce E. Mapping the Path to Sustainable Urban Mobility: A Bibliometric Analysis of Global Trends and Innovations in Transportation Research. *Sustainability*. 2025. Т. 17.
45. Gheorghe C., Soica A. Revolutionizing Urban Mobility: A Systematic Review of AI, IoT, and Predictive Analytics in Adaptive Traffic Control Systems for Road Networks. *Electronics*. 2025. Т. 14.
46. Chen G., Wan Zhang J. Intelligent transportation systems: Machine learning approaches for urban mobility in smart cities. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Т. 107.
47. A review of Urban Air Mobility-enabled Intelligent Transportation Systems: Mechanisms, applications and challenges / L. Wang та ін. *Journal of Systems Architecture*. 2023. Т. 141.
48. Мацелюх Ю., Литвин В. Аналіз пасажирських перевезень та вплив громадського транспорту на скорочення викидів вуглецю в розумному місті. *СУЧАСНИЙ СТАН НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ТЕХНОЛОГІЙ В ПРОМИСЛОВОСТІ*. 2024. Т. 27: 109-127.

49. Nurullah Adahi Şahin S., Turgay S., Torkul O. Cloud-Based Intelligent Transportation System: Reference Model. *Advances in Computer, Signals and Systems*. 2022. T. 6.

50. Li M., Molla A., Xiaoxia Duan S. Artificial intelligence affordances for urban mobility. *Industrial Management & Data Systems*. 2025. T. 125.

51. Bahamazava K. AI-Driven Scenarios for Urban Mobility: Quantifying the Role of ODE Models and Scenario Planning in Reducing Traffic Congestion. *General Economics*. 2024.

52. F. Percassi, M. Vallati, Automated Planning for Urban Traffic Control with LLM-Generated Configurations, In *Proceedings of the 38th International Conference of the Florida AI Research Society (FLAIRS-25)*, 2025.

53. M. Cardellini, C. Dodaro, M. Maratea, M. Vallati, Optimising Dynamic Traffic Distribution for Urban Networks with Answer Set Programming, In *Proceedings of The 40th International Conference on Logic Programming (ICLP-24)*, 2024.

54. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В. С. Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

55. Про охорону праці : Постанова Верховної Ради України від 14.10.1992, станом на 19.12.2024.

56. Про затвердження правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів : Наказ міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998, № 4 : станом на 01.01.2025.

57. Про правовий режим воєнного стану : Постанова Верховної Ради України від 12.05.2015, № 28 : станом на 09.01.2025.

58. Кодекс цивільного захисту України : Постанова Верховної Ради України від 02.10.2012, № 6 : станом на 19.12.2024.

59. S. Lupenko, O. Orobchuk, I. Kateryniuk, R. Kozak, H. Lypak. Secure information system for Chinese Image medicine knowledge consolidation. *Proceedings of the 4th International Workshop on Information Technologies:*

Theoretical and Applied Problems 2024 (ITTAP 2024), Ternopil, Ukraine and Opole, Poland, October 23-25, 2024, CEUR Workshop Proceedings, Vol-3896. pp. 509-519.

ДОДАТКИ

Тези конференції

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Науково-навчальний центр прикладної інформатики

ІНСТИТУТ ІННОВАЦІЙНОЇ ОСВІТИ

МІЖНАРОДНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ІНТЕГРАЦІЯ НАУКИ ТА ПРАКТИКИ ЯК МЕХАНІЗМ ЕФЕКТИВНОГО РОЗВИТКУ

МАТЕРІАЛИ

VI Міжнародної науково-практичної конференції

29–30 квітня 2025 р.
м. Київ



Київ – Запоріжжя
Інститут інноваційної освіти
2025

Козловський А.І.,

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

науковий керівник: **Лушак Г.І.,**

кандидат наук із соціальних комунікацій, доцент кафедри комп'ютерних наук
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

АНАЛІЗ РИЗИКІВ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ “РОЗУМНОГО МІСТА”

В поточних умовах урбанізації та, відповідно, зростання навантаження на транспортну інфраструктуру міста, впровадження інтелектуальних систем управління громадським транспортом має критичне значення. Актуальним інструментом у цьому процесі є нейронні мережі, здатні прогнозувати потоки транспорту, оптимізувати маршрути в режимі реального часу. У деяких містах уже функціонують пілотні системи прогнозування трафіку з використанням штучного інтелекту. Наприклад, у Сінгапурі та Барселоні впроваджено системи, які збирають інформацію з камер, GPS та мобільних додатків для оптимізації маршрутів громадського транспорту [1]. Такі рішення показують ефективність, проте вимагають постійного вдосконалення моделей, а також контролю з боку людських операторів.

Однак, впровадження таких систем має не лише переваги, а й низку потенційних ризиків, які слід ретельно аналізувати.

1. Технологічні ризики

- Помилкові прогнози через неякісні дані. Якщо вхідні дані будуть неповними, застарілими чи некоректними, алгоритм може зробити хибні висновки, що призведе до неправильного розподілу транспортних потоків [2].
- Нестабільність результатів. Нейронні мережі схильні до перенавчання та втрати точності при зміні середовища, наприклад, при різких змінах погодних умов чи нештатних ситуаціях.
- Обмежена пояснюваність. Моделі є "чорними скриньками", і іноді важко пояснити, чому система прийняла те чи інше рішення [2].

2. Кібербезпека

- Загроза зовнішнього втручання. Хакерські атаки можуть змінити параметри нейронної мережі, викликаючи дестабілізацію транспортної системи.
- Витік персональних даних. Використання GPS, мобільних додатків і камер може спричинити витоки приватної інформації громадян.

3. Соціальні та етичні ризики

- Нерівномірність доступу до “розумного” транспорту. Ризик виникнення цифрової нерівності між різними районами міста.
 - Непередбачувана реакція громадян. Водії та пасажери можуть змінювати поведінку у відповідь на рекомендації системи, що ускладнює прогнозування.
4. Правові ризики
- Відсутність законодавчого регулювання. У багатьох країнах поки що немає чітких норм щодо відповідальності за рішення, прийняті ШІ-системами.
 - Складність сертифікації та стандартизації. Відсутність єдиних стандартів для нейронних мереж у сфері транспорту.

Було проведено SWOT-аналіз, щоб розподілити чинники за 4 категоріями: сильні сторони (Strengths), слабкі сторони (Weaknesses), можливості (Opportunities), загрози (Threats). Отримані результати показано у таблиці 1.

Таблиця 1 – SWOT-аналіз застосуванні нейронних мереж у сфері громадського транспорту

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
Висока точність прогнозування	Потреба у великих обсягах якісних даних
Здатність обробляти великі масиви даних у реальному часі	Складність верифікації рішень
Автоматизація управління потоками	Низька інтерпретованість
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
Інтеграція з іншими ІТ-системами міста	Хакерські атаки
Масштабованість	Збої через помилки у навчанні
Можливість використання для стратегічного планування	Юридичні колізії

Висновки: Застосування нейронних мереж у транспортній інфраструктурі “розумного міста” може значно підвищити ефективність її функціонування, знизити затори та забруднення повітря. Проте перед широкомасштабним впровадженням слід провести глибокий аналіз ризиків, встановити правові рамки, забезпечити кіберзахист і прозорість рішень. Розробка етичних стандартів та аудит систем штучного інтелекту мають стати обов’язковими компонентами інноваційної транспортної політики.

Список використаних джерел

1. Akhtar M., Moridpour S. A Review of Traffic Congestion Prediction Using Artificial Intelligence. Journal of Advanced Transportation. 2021.

2. Analysing Urban Traffic Patterns with Neural Networks and COVID-19 Response Data / L. Svabova та ін. Applied Sciences. 2024. Т. 14. С. 54–62.

Тези конференції

eoss-conf.com



ISSUE
№33

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS



3rd INTERNATIONAL
SCIENTIFIC
AND PRACTICAL
CONFERENCE

**INNOVATIVE SOLUTIONS
IN SCIENCE:
BALANCING THEORY
AND PRACTICE**

APRIL 28-30, 2025, SAN FRANCISCO, USA



ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ТРАНСПОРТУ В РОЗУМНИХ МІСТАХ

Козловський Андрій

здобувач вищої освіти магістерського рівня

Кафедра комп'ютерних наук

Тернопільський національний технічний університет

імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Концепція "розумного міста" (Smart City) є актуальним шляхом покращення ефективності роботи міської інфраструктури. Одним з її головних елементів є удосконалення системи управління міським транспортом. Ключовим викликом є оперативна та точна оцінка завантаженості транспортних мереж для оптимізації маршрутів, зменшення заторів та покращення мобільності населення. В цьому контексті особливу роль відіграють методи машинного навчання, які дозволяють обробляти великі обсяги даних та робити високоточні прогнози. Розглянемо основні методи машинного навчання для аналізу даних транспорту.

1. Лінійна регресія

Лінійна регресія є базовим методом прогнозування числових показників завантаженості на основі одного або декількох вхідних параметрів (час доби, погода, дорожні події тощо). Її переваги — простота реалізації та інтерпретації результатів. Проте вона має обмежену здатність моделювати складні нелінійні залежності, що часто зустрічаються у даних [1].

2. Підтримуючі вектори (Support Vector Machines, SVM)

Метод підтримуючих векторів ефективний для задач регресії та класифікації, де потрібно знайти оптимальну гіперплощину для поділу даних. SVM добре працює на невеликих і середніх наборах даних, але вимагає ретельного підбору параметрів і може бути обчислювально затратним для великих систем [1].

3. Дерева рішень та ансамблі (Random Forest, Gradient Boosting)

Дерева рішень і ансамблеві методи демонструють високу точність у задачах прогнозування. Вони можуть враховувати складні взаємозв'язки між факторами та мають хорошу стійкість до шуму в даних. Random Forest є більш інтерпретованим, в той час як Gradient Boosting забезпечує вищу точність ціною збільшеної складності моделі [2].



4. Штучні нейронні мережі (Artificial Neural Networks, ANN)

Нейронні мережі, особливо глибокі (Deep Neural Networks), чудово справляються з великими обсягами даних і складними залежностями. Вони здатні самостійно виявляти важливі особливості в даних без необхідності їх явної інженерії. Основним недоліком є потреба у великих обчислювальних ресурсах і складність налаштування архітектури мережі.

5. Рекурентні нейронні мережі (RNN) та довготривала короткочасна пам'ять (LSTM)

Для аналізу послідовних даних (наприклад, трафік у різні години) особливо ефективними є RNN та їх варіації, такі як LSTM. Ці мережі враховують залежності у часових рядах, що дозволяє будувати точні короткострокові прогнози завантаженості. Водночас вони потребують складного навчання і великої кількості даних для стабільної роботи [3].

Порівнюємо ці методи. Результати наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів машинного навчання

Метод	Точність прогнозу	Стійкість до шуму	Обчислювальна складність	Пояснюваність результатів
Лінійна регресія	Середня	Низька	Низька	Висока
SVM	Середня	Середня	Висока	Середня
Random Forest/ Gradient Boosting	Висока	Висока	Середня	Середня
ANN	Дуже висока	Висока	Дуже висока	Низька
RNN/LTSM	Дуже висока	Висока	Дуже висока	Низька

*дані сформовано [3]

Висновки: методи машинного навчання відкривають нові можливості для прогнозування та аналізу транспортних потоків у розумних містах. Вибір конкретного методу залежить від розміру та якості даних, вимог до точності прогнозу, доступних обчислювальних ресурсів та потреби в інтерпретації результатів. Якщо брати конкретний метод, то найефективнішими є ансамблі дерев, нейронні мережі та LSTM, адже вони є найбільш точними, хоч і вимагають більших обчислювальних потужностей. Перспективним напрямом також є комбінування цих моделей (гібридний підхід) для досягнення кращого балансу між точністю, стійкістю та ефективністю обчислень. З подальшим розвитком технологій машинного навчання, ці рішення будуть ставати ще більш інтегрованими у повсякденне життя мешканців міст.

Список використаних джерел

1. Patel K. AI-Based Traffic Congestion Prediction for Smart Cities Using Artificial Neural Networks. Journal of Information Systems Engineering & Management. 2023. C. 138–146.



2. Bawaneh M., Simon V. Machine Learning-Based Anomaly Detection in Smart City Traffic: Performance Comparison and Insights. Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. 2025. C. 309–318.
3. Deep Learning for Predicting City-Wide Traffic Congestion in Smart Cities / S. Jana та ін. International Journal of Intelligent systems and Applications in Engineering. 2024. T. 12. C. 71–83.