

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем
Кафедра інформаційно-комунікаційних технологій та систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Марія СКУЛИШ

«___» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

**на тему: «Аналіз принципів використання технології Інтернету речей в
керуванні дорожнім рухом в рамках концепції “Smart City”»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТС-91

Лагода Анастасія Вікторівна _____

Керівник:

Доцент кафедри ІКТС, доцент,

Носков В'ячеслав Іванович _____

Рецензент:

Незалежний експерт з телекомунікацій, кандидат

технічних наук, Вахрушев Володимир Платонович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студенка _____

Київ – 2023

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра Інформаційно-комунікаційних технологій та систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

ВО завідувач кафедри

_____ Марія СКУЛИШ

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Лагоді Анастасії Вікторівні

1. Тема роботи «Аналіз принципів використання технології Інтернету речей в керуванні дорожнім рухом в рамках концепції «Smart City», керівник роботи Носков В'ячеслав Іванович, доцент, затверджені наказом по університету від 22 травня 2023 р. № 1884-с.

2. Термін подання студенткою роботи 10 червня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи: Інформаційні матеріали щодо технології Інтернету речей. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.

4. Зміст роботи

Обґрунтувати актуальність теми. Розглянути концепцію розумного міста (Smart City) та визначити найважливіші напрямки її розвитку. Розглянути основні складові Smart City та виконати аналіз його основних технологій та стандартів. Визначити та проаналізувати структуру послуг інтелектуальних транспортних систем (ІТС) як вагової складової Smart City. Виконати аналіз автоматизованих систем керування дорожнім рухом: методи отримання інформації про дорожній рух; автоматична ідентифікація транспортного засобу; модель завантаження мережі; «Розумні» світлофори; «Розумні парковки»; принцип вибору подорожей.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 1) Тема та цілі дипломної роботи; 2) Концептуальна схема Інтернету речей; 3) Загальна схема «Розумного міста»; 4) Функції Інтелектуальної транспортної системи (ІТС); 5) Користувацькі послуги ІТС; 6) Принцип роботи модулю ІТС «Інформація для подорожуючих»; 7) Імітаційна модель дослідження транспортних потоків; 8) Методи автоматичної ідентифікації автомобіля; 9) Алгоритм системи регулювання дорожнього трафіку; 10) Висновки по роботі

6. Дата видачі завдання: 10 квітня 2023 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Концепція «Smart City»: загальна схема та основні складові «Розумного міста»; найважливіші напрямки розвитку «Розумного міста»; технології та стандарти «Розумного міста»; платформи «Розумного міста»	15.04.2023	
2	Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) як складова концепції «Smart City»: визначення інтелектуальних транспортних систем; структура послуг ІТС; поширена концепція транспортної системи; розвиток ІТС в Україні	30.04.2023	
3	Інтелектуальна система керування дорожнім рухом: автоматизована система керування дорожнім рухом; методи отримання інформації про дорожній рух; автоматична ідентифікація транспортного засобу; модель завантаження мережі; «Розумні» світлофори; «Розумні парковки»; принцип вибору подорожей	25.05.2023	
4	Вступ, Висновки	02.06.2023	
5	Чистовий варіант дипломної роботи, плакати	10.06.2023	

Студентка

Анастасія ЛАГОДА

Керівник роботи

В'ячеслав НОСКОВ

РЕФЕРАТ

Робота містить 87 сторінок та 13 рисунків. Було використано 11 джерел.

Мета: Аналіз організаційно-технічних принципів керування дорожнім рухом за допомогою технології Інтернету речей.

Об'єкт дослідження: Система керування дорожнім рухом.

Предмет дослідження: Організаційно технічні принципи використання технології Інтернету речей для керування дорожнім рухом.

Дана дипломна робота присвячена аналізу принципів використання технології Інтернету речей (IoT) у керуванні дорожнім рухом в контексті концепції «Smart City». Робота розглядає актуальність даної теми, аналізує концепцію розумного міста та визначає найважливіші напрямки його розвитку. Також розглядаються основні складові «Smart City» і проводиться аналіз їх технологій та стандартів. Окремо вивчається структура послуг інтелектуальних транспортних систем (ІТС) як важливої складової «Smart City». Дипломна робота також зосереджується на аналізі автоматизованих систем керування дорожнім рухом, включаючи методи отримання інформації про дорожній рух, автоматичну ідентифікацію транспортних засобів, модель завантаження мережі, «розумні» світлофори, «розумні» парковки та принцип вибору подорожей.

Ключові слова: Інтернет речей, Розумне місто, пристрої, трафік, транспортні засоби, датчики.

ABSTRACT

The work contains 87 pages and 13 figures. 11 sources have been used.

Objective: To analyze the organizational and technical principles of traffic management using the Internet of Things technology.

Object of research: Traffic management system.

Subject of research: Organizational and technical principles of using the Internet of Things technology for traffic management.

This work is devoted to the analysis of the principles of using the Internet of Things (IoT) technology in traffic management in the context of the Smart City concept. The work considers the relevance of this topic, analyzes the concept of a smart city and identifies the most important areas of its development. The main components of the "Smart City" are also considered and their technologies and standards are analyzed. The structure of intelligent transportation systems (ITS) services as an important component of the Smart City is also studied separately. The thesis also focuses on the analysis of automated traffic management systems, including methods of obtaining traffic information, automatic vehicle identification, network load model, smart traffic lights, smart parking lots, and the principle of travel choice.

Keywords: Internet of Things, Smart City, devices, traffic, vehicles, sensors.

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	10
1 КОНЦЕПЦІЯ “SMART CITY”.....	12
1.1 Найважливіші напрямки розвитку «Розумного міста».....	12
1.2 Загальна схема	18
1.3 Основні складові «Розумного міста»	19
1.4 Технології та стандарти «Розумного міста».....	22
1.5 Платформи «Розумних міст»	28
1.5.1 Бездротові платформи для розумних міст.....	28
1.5.2 Платформи з відкритим кодом для розвитку IoT	31
1.6 Висновки до розділу 1	32
2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК СКЛАДОВА КОНЦЕПЦІЇ «SMART CITY»	34
2.1 Інтелектуальні транспортні системи.....	34
2.2 Структура послуг ІТС	35
2.3 Поширена концепція транспортної системи	38
2.4 Розвиток ІТС в Україні	46
2.5 Висновки до розділу 2	54
3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ	56
3.1 Автоматизована система керування дорожнім рухом	56
3.2 Методи отримання інформації про дорожній рух	59
3.3 Автоматична ідентифікація транспортного засобу	62
3.4 Модель завантаження мережі.....	66
3.5 «Розумні» світлофори.....	72
3.6 «Розумні парковки»	76

					НТУУ.1884-с.09ТС-91.2023.ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лагода А.В.			Аналіз принципів використання технології Інтернету речей в керуванні дорожнім рухом в рамках концепції “Smart City”	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Носков В.І.					6	87
Реценз.		Вахрушев В.П.				НН ІТС		
Н. Контр.		Новіков В.І.						
Затверд.		Скулш М.А.						

3.7	Принцип вибору подорожей.....	81
3.8	Висновки з розділу 3	82
	ВИСНОВКИ.....	84
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87

					HTУУ.1884-с.09ТС-91.2023.ПЗ	
		№	Пі			7

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol address
MCE-T	Мультисервісна Система Електрозв'язку
QR	Quick Response code
RFID	Radio Frequency IDentification
IWF	Interworking function
Wi-Fi	Wireless Fidelity
LoRa	Long Range
PIN	Personal Identification Number
ITS	Information Technology System
VMS	Vehicle Management System
ABS	Anti-lock braking system
VICS	Vehicle Information and Communication System
GPS	Global Position System
АСУРП	Автоматизована система керування резервуарним парком
АСУ	Автоматизированная система управления
CMU	Configuration Management Unit
CAI	Computer-Aided Instruction
МПТ	Маршрутно пасажирський транспорт
IT	Інформаційні технології
ГІС	Геоінформаційні системи
X-Road	Open-source data exchange platform
СНД	Співдружність Незалежних Держав
ЄС	Європейський Союз
TEN-T	Trans-European Transport Network
ЄБРР	Європейський банк реконструкції та розвитку
КП	Комунальне підприємство

ВДМ	Високодiameterовий мультиплексор
ТТХ	Технічні характеристики
ОДР	Оптичні Дротові Розподільчі системи
КБД	Кодові бортові датчики
ПСЧ	Пункти зчитування
YOLO	You Only Look Once (Алгоритм комп'ютерного зору)

ВСТУП

Концепція Internet of Things (IoT) – одна з тих нових ідей, які здатні не тільки радикально змінити вигляд телекомунікаційної та інформаційної системи але й істотно вплинути на спосіб життя людей. Інтернет речей можна визначити як інформаційно-технологічну концепцію побудови інформаційних і комунікаційних інфраструктур на основі обчислювальної мережі, яка з'єднує речі (фізичні об'єкти), оснащені інформаційними технологіями для здійснення комунікаційного обміну один з одним і глобальною інформаційно-комунікаційною інфраструктурою або безпосередньо, або через інтегровані з ними інші пристрої, які мають адресу протоколу Інтернет (IP) без участі людини з метою збору, передачі, накопичення та обробки інформації. З кожним роком збільшується кількість пристроїв, підключених до мережі[1].

Впровадження IoT сприяє розвитку економіки і підвищенню рівня життя країни з мінімальними інвестиціями. Технології IoT несуть в собі величезний потенціал, який, на жаль, використовується не повною мірою. Концепція Smart city являє собою інтеграцію інформаційних та інформаційно-комунікаційних технологій, інтернету речей для управління міським господарством, включаючи міські інформаційні системи, системи управління транспортом, енергосистемами, міськими службами та іншими громадськими службами.[2] Ми бачимо наскільки ефективніше і вигідніше застосування IoT в нашому житті, а також в масштабі держав та країн, наскільки це допоможе оптимізувати всі процеси і отримувати вигоду, як в побутовому, так і в промисловому плані. Якщо IoT стане непомітною, але невід'ємною частиною життя суспільства, що не буде ускладнювати життєві процеси, то можна буде говорити про повне і успішне його впровадження. IoT прискорить та покращить розвиток Smart cities. Наразі в деяких містах ми спостерігаємо тільки початок цих процесів, але вже позитивно оцінюємо

нововведення в сфері транспорту, комунікацій, медицині та інших сферах життя, хоча на початкових етапах було багато скептицизму і недовіри.

IoT стане великим бізнес-майданчиком. Постачальники послуг за невелику оплату можуть продавати свої послуги і отримувати прибуток. Це може стати статтею доходу бюджету держави.

Інтернет речей проникає в самі різні пристрої і додатки, які можуть використовуватися у всіх галузях промисловості і таким чином з'єднає велику кількість пристроїв.

Застосування технологій IoT змінить вигляд багатьох індустрій і областей життєдіяльності як з урахуванням економічного складника, так і з точки зору споживчого досвіду. У низці областей людські трудовитрати і помилки будуть зведені до мінімуму[1].

1 КОНЦЕПЦІЯ “SMART CITY”

1.1 Найважливіші напрямки розвитку «Розумного міста»

На початку 1990-х років, у рамках ряду законодавчих ініціатив, була розроблена концепція "розумного міста", яка орієнтувалась на більш екологічні технології у будівництві житлових та офісних будинків. У сучасному розумінні, "розумне місто" охоплює поняття більшої екологічності та енергоефективності у кількох аспектах (рис.1.1):

- а) громадські послуги та поведінка споживачів;
- б) екологічна ефективність промислової продукції;
- в) стимули для споживачів;
- г) підтримка досліджень у царині інноваційного використання екологічно-орієнтованих технологій.



Рисунок 1.1 - Аспекти сучасного розуміння, "розумного міста"

Програми оновлення будівель на новій технологічній основі, модернізація міських транспортних систем, поліпшення систем енергопостачання та відходів - це лише кілька прикладів реалізації концепції

«розумного міста». Згідно з даними аналізу, щоб забезпечити значні економії енергії та зменшити викиди CO₂, достатньо простої заміни дахів та вікон у відповідності зі стандартами, але окупність таких заходів потрібно буде очікувати 25-30 років. Тому, щоб продовжувати забезпечувати зростання енергоефективності міських будівель, потрібно встановлювати сучасні системи обігріву, поліпшувати теплоізоляцію підлоги та зовнішніх стін, а також уникати будь-яких можливих втрат тепла. Варто зазначити, що концепція «розумного міста» не обмежується тільки енергоефективністю.

Одним з її компонентів розглядається озеленення міського простору, що підсилює екологічне спрямування модернізації міського господарства. Найактивніше концепція «розумного еко-міста» розвивається в країнах Північної Європи, де запропоновано велику кількість проектів: децентралізованого енергопостачання (Данія); електричного транспорту (Німеччина); «розумних» лічильників (Швеція); комбінованого виробництва тепла та електроенергії (Швеція і Данія); центрального опалення за допомогою природних джерел енергії (Данія); спалювання біомаси задля отримання електроенергії (Німеччина); отримання енергії з відходів (Швеція), гідрозберігання енергетичних ресурсів (Німеччина). Підвищений інтерес до концепції «розумного міста» спостерігається в США, де вперше у світовій практиці з'явилися будівлі «нульової енергії» (зовсім не потребують додаткової енергії на опалення, крім тієї, що виробляється на місці) та «плюсової енергії» (виробляють більше енергії за допомогою встановлених сонячних батарей, колекторів, рекуператорів, теплових pomp тощо, ніж самі потребують). Відповідні тенденції торкнулися і країн Східної Європи (Польща, Чехія). [3]

Крім того, планується надавати субсидії для використання сонячної енергії та розробляти пасивні будинки, які можуть бути призначені для житлових та нежитлових цілей. У Чехії активно розробляються проекти з управління відходами, включаючи їх утилізацію, переробку та прогнозування

накопичення. Також будуються невеликі гідроелектростанції та впроваджуються заходи для поліпшення енергоефективності будівель.

Якщо "пасивні будинки" та подібні конструкції можна розглядати як ексклюзивні зразки у містобудуванні, то на сьогодні деталі більш простого "зеленого" будівництва досить добре відпрацьовані. При спорудженні таких будинків використовуються місцеві матеріали, забезпечується подовжений термін експлуатації, знижуються витрати на утримання та створюється більш здорове середовище для праці та відпочинку. Основні складові "зеленого" будівництва включають покрівлю з природних матеріалів, використання низькотоксичних матеріалів для будівництва (наприклад, природний камінь, дерево, цегла), а також обов'язкове встановлення потрійних вікон та систем автоматичного обігріву і вентиляції.

В Китаї провели опитування мешканців перших "зелених" будинків, яке показало, що багато з них почувалися задоволеними і комфортно, але деякі висловили нарікання. Загалом власники таких будинків більш схильні до знаходження раціонального балансу між перевагами та недоліками екологічних технологій. Дослідження в Австралії підтвердили, що мешканці з вищим рівнем екологічної свідомості більш терпляче ставляться до певних незручностей "зелених" будинків, таких як природна вентиляція. Автори висновку вважають, що екологічно-орієнтоване будівництво має супроводжуватися формуванням "зеленої" свідомості мешканців.

Варто зауважити, що концепція "розумного міста", що базується на шести основних характеристиках, таких як (рис. 1.2) розумна економіка, мобільність, довкілля, люди, якість життя та самоврядування, тісно пов'язана з аспектами сталого розвитку.

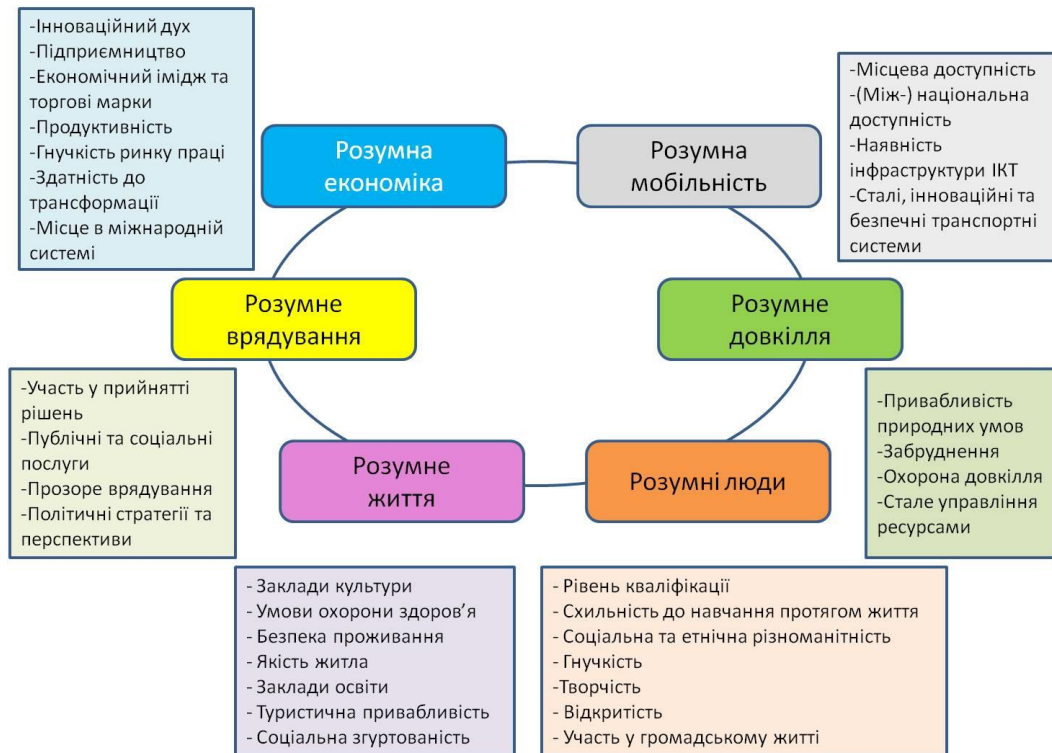


Рисунок 1.2 - Шість основних характеристиках "розумного міста"[4]

Поєднання всіх цих складових відіграє важливу роль у досягненні бажаного результату, тоді як ігнорування хоча б одного з них призводить до зниження ефективності роботи над іншими напрямками, що, в кінцевому підсумку, має місце в нашій країні.

Зокрема, економічний розвиток часто не враховує екологічні вимоги, особливо це стосується промислових міст сходу України, де впровадження таких вимог відбувається без належної стратегії. При оцінці якості життя в містах світу першочергово враховуються екологічні фактори, такі як наявність джерел відновлюваної енергії, енергоефективність будівель, стан транспортної інфраструктури та доступ до здорових (органічних) харчових продуктів. Економічні показники стають все більш важливими для мешканців міст Західної Європи та Північної Америки, але тільки в поєднанні з екологічними компонентами, що є суттю концепції "розумного міста". Українські міста, натомість, при оцінці їх рейтингу значно більше

акцентуються на показниках зайнятості, середньої заробітної плати, витрат населення та видатків міських бюджетів на розвиток міської інфраструктури.

Екологічні компоненти майже не беруться до уваги. Виникає відчуття, що українські міста «зупинилися» на моделі міст ХХ-го століття з акцентом на зонуванні територій під виключно швидке, адміністративно заплановане використання землі, що призводить до неконтрольованого розростання міст. При цьому фактично фіксується, що всі мешканці схожі один на одного і мають однакові потреби. У результаті такого прагнення до уніфікованих рішень унеможлиблюється сталий розвиток міст, оскільки це передбачає прийняття нових сучасних стандартів – від планування міської території до розміщення будинків та принципів озеленення. Як уже згадувалось, у межах концепції «розумного міста» європейськими країнами широко використовується ідеологія «пасивного будинку», що частково пояснюється реалізацією відповідної директиви щодо енергетичних показників у будівництві (Energy Performance of Buildings Directive), прийнятої країнами ЄС в грудні 2009 р. (передбачає наближення усіх нових будівель до енергетичної нейтральності, тобто будівництва як мінімум «пасивних» будівель).[5]

У м. Копенгаген (Данія) централізована система теплопостачання існує вже понад 30 років, а її модернізація передбачає лише зміну джерела отримання тепла. Якщо початково використовувалось вугілля, то на сьогодні відразу кілька джерел – природний газ, нафта і вугілля, а також спалювання відходів, деревини та соломи, отримання геотермальної енергії [3]. До незаперечних переваг централізованих систем належать:

- 1) вивід вибухонебезпечного технологічного обладнання із житлових будинків;
- 2) локалізація шкідливих викидів;
- 3) використання різних видів палива, включно зі сміттям і поновлювальними енергоресурсами;

- 4) можливість використання скидної теплової енергії промисловості та електростанцій;
- 5) економічна доцільність спільного виробництва теплової і електричної енергій;
- 6) вищий коефіцієнт корисної дії.[5]

Цікавим фактом є те, що в усьому світі ціна на газ для роздрібних споживачів перевищує ціну для оптових споживачів, але в Україні ситуація є зворотною. Це призводить до зростання кількості індивідуально опалюваних будинків, але необхідно врахувати, що втрати газу від централізованих котельні також значні через застаріле обладнання. Тим не менше, ефективніше і безпечніше було б модернізувати ці котельні, ніж впроваджувати індивідуальні системи опалення з ще більшими втратами газу. Більшість розвинених країн, зокрема Фінляндія, Данія, Норвегія, Австрія, вважають централізовану систему тепlopостачання своїм досягненням, тоді як ми свідомо відмовляємось від неї на користь менш стабільної децентралізованої альтернативи.

Далі слід зосередитись на наукових дослідженнях у цій сфері для здешевлення наявних технологій та їх адаптації до місцевих природнокліматичних умов. Після цього можливе широке впровадження нових технологічних рішень у міську інфраструктуру. Для досягнення очікуваних результатів, всі компоненти "розумного міста" мають бути тісно пов'язані між собою, і це вимагає економічних стимулів та законодавчих рішень. Реалізація концепції "розумного міста" у Львові потребує значних зусиль та витрат, тому варто розглянути фінансово-інвестиційні можливості міста та порівняти їх з очікуваними витратами та окупністю проектів для більш детального вивчення доцільності їх проведення.

1.2 Загальна схема

Архітектура IoT складається з чотирьох функціональних рівнів.(рис.1.3) Найнижчий рівень (рівень сенсорів і сенсорних пристроїв) складається з об'єктів, інтегрованих із сенсорами (датчиками), які забезпечують збір і обробку інформації в реальному масштабі часу. Наступний рівень (шлюзів і мереж) складається з конвергентної мережевої інфраструктури, яка створюється шляхом інтеграції різномірних мереж у єдину мережеву платформу. Сервісний рівень містить певний набір послуг, які автоматизують низку технологічних і господарських операцій. Четвертий рівень архітектури IoT включає різні типи додатків для відповідних промислових секторів і сфер діяльності[1].



Рисунок 1.3 - Функціональні рівні архітектури IoT[1]

1.3 Основні складові «Розумного міста»

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ-Т) у своїй Рекомендації У.2060 надає еталонну модель IoT. Ця модель відрізняється від більшості інших еталонних та архітектурних моделей, що описані в літературі, оскільки вона детально визначає фізичні компоненти екосистеми IoT. Це має свою користь, оскільки таке уточнення зосереджує увагу на елементах екосистеми IoT, які потрібно з'єднувати, інтегрувати, керувати та забезпечувати додатком. Детальна специфікація екосистеми описує вимоги до можливостей IoT.

Один з важливих аспектів, на якому наголошує ця модель, полягає в тому, що IoT насправді не є мережею фізичних об'єктів. Це скоріше мережа пристроїв, які фізично зв'язані між собою, разом з прикладними платформами, такими як комп'ютери, планшети і смартфони, які взаємодіють з цими пристроями. Тому огляд моделі МСЕ-Т доцільно розпочати з визначення самого поняття пристроїв (рис.1.4):

Мережа зв'язку (Communication Network) - інфраструктурна мережа, що з'єднує пристрої та додатки, така як мережа на основі стека протоколів IP або Інтернет.

Річ (Thing) - предмет фізичного світу (фізичні речі) або інформаційного світу (віртуальні речі), який може бути ідентифікований та інтегрований в мережі зв'язку. Пристрій (Device) - елемент обладнання, який володіє обов'язковими можливостями зв'язку та додатковими можливостями вимірювання, спрацьовування, а також введення, зберігання і обробки даних.

Пристрій переносу даних (Data-carrying Device) - пристрій переносу даних підключається до фізичної речі і непрямим чином з'єднує цю фізичну річ з мережами зв'язку. Прикладами можуть служити активні мітки RFID.

Пристрій збору даних (Data-capturing Device) - під пристроєм збору даних розуміється пристрій, що зчитує / записуючий пристрій, що має можливість взаємодії з фізичними речами. Взаємодія може здійснюватися

непрямим чином за допомогою пристроїв перенесення даних або безпосередньо за допомогою носіїв даних, підключених до фізичних речей.

Носій даних (Data Carrier) - безбатарейний об'єкт перенесення даних, підключений до фізичної речі і має можливість надавати інформацію придатному для цього пристрою збору даних. Ця категорія включає штрихкоди і QR-коди, наклеєні на фізичні речі.

Сенсорний пристрій (Sensing Device) - пристрій, який може виявляти або вимірювати інформацію, що відноситься до навколишнього середовища, і перетворювати її в цифрові електричні сигнали.

Виконавчий пристрій (Actuating Device) - пристрій, який може перетворювати цифрові електричні сигнали, що надходять від інформаційних мереж, в дії. Пристрій загального призначення (General Device) – пристрій загального призначення володіє вбудованими можливостями обробки і зв'язку і може обмінюватися даними з мережами зв'язку з використанням дротових або бездротових технологій. Пристрої загального призначення включають обладнання та прилади, які стосуються різних галузей застосування IoT, наприклад, верстати, побутові електроприлади і смартфони.

Шлюз (Gateway) - елемент IoT, що з'єднує пристрої з мережами зв'язку. Він виконує необхідну трансляцію між протоколами, що використовуються в мережах зв'язку і в пристроях. Унікальним аспектом IoT, в порівнянні з іншими мережевими системами, очевидно є наявність безлічі фізичних речей і пристроїв, відмінних від обчислювальних пристроїв і пристроїв обробки даних[3].



Рисунок 1.4 - Модель MCE-T[3]

Також існує еталонна модель, розроблена Всесвітнім форумом IoT. Цей форум щорічно збирає представників бізнесу, урядових структур та академічної спільноти, маючи на меті сприяти розвитку та впровадженню IoT на ринку. У жовтні 2014 року Комітет з архітектури Всесвітнього форуму IoT, до складу якого входять лідери промисловості, такі як IBM, Intel і Cisco, опублікував еталонну модель IoT. Ця модель є загальною структурою, створеною для прискорення розгортання IoT у галузі.

Модель призначена для стимулювання співпраці та сприяння створенню повторюваних моделей впровадження. Ця еталонна модель є цінним доповненням до MCE-T. Документи MCE-T акцентують увагу на рівнях пристрою та шлюзу, надаючи загальні описи верхніх рівнів. Наприклад, в Рекомендації Y.2060 опис рівня додатку обмежується лише однією фразою. Рекомендації серії Y.206x приділяють найбільшу увагу визначенню концепції, спрямованої на розробку стандартів взаємодії з пристроями IoT.

Документальний опис моделі IWF, опублікований Cisco, вказує, що розроблена модель відрізняється наступними характеристиками:

- спрощує: допомагає розбити складні системи на частини так, щоб кожна з цих частин стала більш зрозумілою;
- прояснює: надає додаткові відомості для точної ідентифікації рівнів IoT і вироблення загальної термінології;
- ідентифікує: ідентифікує аспекти, в яких ті чи інші типи обробки оптимізовані в різних частинах системи;
- стандартизує: є першим кроком до того, щоб постачальники могли створювати продукти IoT, здатні взаємодіяти один з одним;
- організовує: робить IoT реальним і доступним, а не просто абстрактною концепцією.[3]

1.4 Технології та стандарти «Розумного міста»

Концепція "розумного міста" різниться від міста до міста та від країни до країни, залежно від рівня розвитку, готовності до змін і реформ, наявних ресурсів та потреб жителів міста. З метою задоволення прагнень та потреб громадян, містобудівники ідеально мають працювати над розвитком всієї міської екосистеми, яка складається з чотирьох стовпів: інституційної, фізичної, соціальної та економічної інфраструктури. Це може бути довгостроковою метою, і міста можуть поетапно розширювати таку комплексну інфраструктуру, додаючи "розумні" компоненти. Основний акцент у "розумному місті" зроблений на сталому та інклюзивному розвитку, а ідея полягає в тому, щоб розглянути компактні зони та створити масштабовану репліку. Основні складові інфраструктури в розумному місті включають:

- достатнє водопостачання;
- забезпечене постачання електроенергії;
- санітарії, включаючи поводження з твердими відходами;
- ефективна міська мобільність і громадський транспорт;

- доступне житло, особливо для бідних;
- надійне підключення до ІТ та його цифро вість;
- належне управління, особливо електронне урядування та участь громадян;
- стає середовище, здоров'я та освіта;
- безпеки та безпеки громадян, зокрема жінок, дітей та людей похилого віку.

Отже, метою "розумного міста" є поліпшення якості життя людей за допомогою розвитку територій та використання технологій, що дають розумні результати. Застосування цих технологій дозволить містам використовувати дані та інформацію для поліпшення інфраструктури та послуг, а розвиток існуючих та нових районів сприятиме покращенню життєздатності всього міста. В результаті комплексного розвитку підвищиться якість життя мешканців, створяться нові робочі місця та підвищаться доходи, зокрема для бідних і знедолених, що сприятиме створенню інклюзивних міст.

Як відомо, люди з різних сфер діяльності беруть участь у створенні «розумних міст», зокрема ІТ-спеціалісти, громадські активісти, підприємці та вчені, які працюють у партнерстві з урядом та один з одним. Це сприяє розвитку креативної культури в місті та запобігає зупинці реформ. На рівні міських індустрій, використовуючи інноваційні технічні рішення, можна інтегрувати економіку міста у природну ресурсну екосистему. Таким чином, економіка «розумного міста» базується на передових знаннях, прагне до циклічності, екологічності та постійного технологічного удосконалення. Окрім того, для технічного забезпечення «розумного міста» світова практика рекомендує використання 8 ключових технологій, які дозволяють перетворити місто на «розумне місто». Такі як:

- Інтернет речей в інфраструктурі міста,
- Цифровий двійник

- Цифрова копія послуг та міських об'єктів в Інтернеті
- Геоінформаційні технології,
- «Розумні» вуличні камери,
- Сховища відкритих даних,
- «Розумна енергія»,
- «Розумні будинки»,
- Середовище безпечного інтернет-обміну даними між інформаційними системами.

По-перше, ми маємо Інтернет речей - це широкий спектр наших предметів, які мають вбудовані датчики, програмне забезпечення та інші технології для з'єднання та обміну даними з іншими пристроями та системами через Інтернет. Декілька прикладів застосування Інтернету речей включають датчики, які встановлені в будинках для контролю їх стану, "розумні" ліфти та датчики, розташовані в контейнерах для сміття, які контролюють рівень заповнення.

По-друге, ми маємо цифрове місто - його віртуальний двійник. Це цифрова репліка або модель фізичного об'єкта або послуги міста. Створення цифрової копії дозволяє ефективно моделювати розвиток міських територій, функціонування комунальних систем, транспорту, безпеки, а також впливу клімату та екології на місто. Ця віртуальна модель надає можливість управляти всіма системами відповідно до стратегії розвитку міста, передбачати наслідки запропонованих змін. Вона є потужним інструментом для пошуку оптимальних рішень у міському плануванні. Деякі знамениті приклади міст, які широко представлені або відображені в Інтернеті, включають Сінгапур, Стокгольм, Антверпен, Гельсінкі та Бостон. Наприклад, Стокгольм використовує свою платформу OpenCities Planner для потокової передачі інформаційних моделей територій, які містять великий обсяг даних для швидкого та зручного обміну інформацією. Завдяки симуляціям, віртуальний двійник може прогнозувати та візуалізувати різні

сценарії поведінки великої кількості людей під час масових міських заходів. Це дозволяє оптимізувати організацію входів та виходів в областях з найбільшим потоком людей, забезпечуючи більшу безпеку.

Третім компонентом є геоінформаційні системи. Це системи, які збирають, зберігають, аналізують та візуалізують просторові (географічні) дані та пов'язану з ними інформацію про фізичні об'єкти. Склад такої системи може включати бази даних дистанційного зондування Землі, просторові бази даних, редактори графіки (растр та вектор), а також різні інструменти просторового аналізу даних. Геоінформаційні системи застосовуються в різних галузях, таких як картографія, геологія, метеорологія, землеустрій, екологія, міське планування, транспорт, економіка, оборона та інші.

Широке використання комп'ютерних та інформаційних технологій у військовій діяльності, зокрема в контексті війни Росії в Україні, надає нові можливості для управління військами. Автоматизація процесів управління з використанням навігаційної інформації дозволяє скоротити час, необхідний для координації та синхронізації дій військ у умовах швидко змінюючоїся обстановки, високої динаміки бойових дій та застосування високоточної зброї. Крім автоматизації процесів управління військами, впровадження геоінформаційних систем (ГІС) у процес управління надає органам прийняття рішень візуальну, просторову та додаткову інформацію про місцевість та розташовані на ній об'єкти за допомогою засобів відображення на різних пристроях.

Четвертим компонентом є «інтелектуальні» вуличні камери. Це пристрої, призначені для контролю за порядком, виявлення вуличних злочинів та технічного обслуговування доріг. Шляхом виявлення вибоїн, пошкоджень дорожнього покриття та неточностей у вуличній розмітці, ці "розумні" камери можна розглядати як інструменти для аналізу точності доріг. Вони відіграють важливу роль у процесі перетворення міста на "розумне місто" або "місто майбутнього".

П'ятим компонентом є сховища відкритих даних. Усі учасники складної екосистеми обмінюються інформацією та поєднують її з контекстуальними даними, які оцінюються в режимі реального часу. Цей процес дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення. Однак, важливою передумовою є забезпечення відкритості та захищеності даних, що неможливо фальсифікувати або приховати від громадян. Вже було зроблено кроки в напрямі створення банків або сховищ відкритих даних в багатьох країнах. Для галузі освіти, наприклад, сформовано 366 відкритих баз даних, які постійно оновлюються. Завдяки фільтрам можна відбирати необхідні файли, які вільно завантажуються у форматах xls, dat, csv та інших. Крім того, метадані дозволяють працювати з даними. Аналізуючи їх, можна отримати користь як для себе, так і для всієї країни – більше прибутку і більше надходжень до бюджету.

Шостий компонент полягає в концепції "розумної" енергії. Це означає використання інтелектуального енергетичного ланцюга, який повністю базується на відновлюваних джерелах енергії, таких як сонячна та вітрова енергія. Ця система передає децентралізовану, екологічно чисту та стійку енергію в міські території за допомогою інтелектуальної цифрової інфраструктури. Україна особливо потребує розвитку цього компонента, оскільки до конфлікту на Сході країни не було належної уваги до програм, дорожніх карт, а також джерел фінансування для впровадження принципів Індустрії 4.0. Держава має активно впливати на розвиток цифровізації промислових підприємств в інноваційній сфері, науково-технологічному розвитку, освіті та науці. Для цього необхідна співпраця між підприємствами, центральними органами виконавчої влади, регіональними та місцевими органами самоврядування.

Сьомий компонент охарактеризовується як "розумні" будівлі, які використовують автоматичні процедури для створення інтелектуального середовища. Ці будівлі включають автоматичне освітлення, технологічне обладнання, сенсорну сантехніку, системи контролю доступу, цифрові

вивіски, системи навігації та безпеки. Використання високотехнологічних рішень у будівлях може знизити споживання ресурсів, покращити енергоефективність, спростити технічне обслуговування та зменшити експлуатаційні витрати.

Один із інноваційних прикладів "розумних" будівель - це The Edge в Амстердамі. Згідно з даними Bloomberg, The Edge вважається найбільш розумною та екологічною будівлею у світі, з отриманням найвищого рейтингу екологічності - 98,4%. Усередині будівлі встановлено близько 28 000 датчиків, а кожен відвідувач може підключитись до них за допомогою мобільного додатку. Смарт-пристрої надають відвідувачам інструкції щодо навігації в будівлі, щоб кожна особа оптимально досягла своєї цілі в потрібний час.

Восьмий компонент описує середовище безпечного обміну даними в інтернеті між інформаційними системами. Це національна система обміну даними, яка управляється національними структурами і дозволяє зв'язувати всі існуючі системи. Один із прикладів такої системи - естонський X-Road, який є основою електронної інфраструктури в Естонії. Він забезпечує зв'язок та гармонійне функціонування між різними національними та приватними інформаційними системами електронних послуг.

У контексті взаємодії та взаємної сумісності перелічених технологій, "розумне місто" розглядається як цілісний організм, який забезпечує комфортні умови життя та максимальну безпеку для мешканців та відвідувачів. Із цієї причини, у епоху швидкого розвитку цифрового суспільства, були випробувані два підходи: інформаційно-центричний та клієнто-орієнтований. Ці підходи стали основою розробки та впровадження практичних рішень і стандартів для "розумних міст". Однак, на певному етапі розвитку міст, цифрові можливості, які вважаються галузевими рішеннями сьогодні, можуть вичерпатися. Цей етап настає для кожного міста індивідуально. На сьогоднішній день, прикладом таких технологій є

інформаційне моделювання в будівництві та інтелектуальні транспортні системи.

1.5 Платформи «Розумних міст»

1.5.1 Бездротові платформи для розумних міст

В різних містах були опробовані різні моделі для створення, інтеграції та експлуатації міської бездротової мережі. Одна з таких моделей передбачала, що місто володіє та керує мережею. Інші моделі включали різні комбінації партнерства у створенні, володінні та експлуатації бездротової мережі, такі як міська мережа, керована приватними партнерами, державно-приватне партнерство з містом як основним орендарем, державна/приватна некомерційна організація у партнерстві з постачальниками послуг бездротової мережі. Разом з цими моделями міста експериментували з різними стратегіями ціноутворення. Окрім цього, можна відзначити додаткові можливі моделі платформ для міської бездротової мережі:

- Постачальник послуг бездротової мережі створює та надає послугу та є власником платформи.
- Громадяни отримують доступ до бездротової мережі та послуг через неї за передплату.
- Компанії сплачують абонентську плату провайдеру платформи.
- Постачальники смарт-послуг платять передплату в різних розмірах залежно від їх використання.

У даній моделі комерційний постачальник послуг надає платформу. Місто має можливість отримати безкоштовний доступ до міських службовців та департаментів або сплатити певну плату. Місто співпрацює з постачальниками компонентів/доповнень, особливо з постачальниками обладнання та програмного забезпечення, а також з інтеграторами для розбудови бездротової мережі.

Великі постачальники обладнання, наприклад, CISCO, спільно зі своїми партнерами можуть забезпечити експертні знання, навчання та сертифікацію. Міський відділ ІТ відповідає за підтримку мережі, а міські аутсорсингові компанії (у формі контрактів, оренди, ліцензій) керують платформою та надають їй підтримку приватним установам.

В цій моделі платформу надає приватна установа, а місто виступає спонсором платформи.

В іншій моделі місто передає управління бездротовою мережею (через контракти) тій самій приватній компанії або іншій компанії. Також можуть бути розглянуті різні комбінації зазначених вище моделей, зокрема щодо фінансування початкового налаштування. Місто може використовувати різні моделі для побудови та експлуатації платформи, укладати контракти на різні етапи з комерційними постачальниками. Аналогічні до попередніх моделей проблеми можуть виникнути й у цьому варіанті використання платформи.

Якщо місто має невелике населення і низький попит на бездротову мережу, інвестори можуть бути не зацікавлені через відсутність прибутковості. Виникають сумніви щодо переваг бездротової мережі в цілому, зокрема стосовно значення участі муніципалітету.

Основними проблемами є висока вартість, низький попит, обмежені користувачами переваги та недостатні приватні інвестиції. Ці платформи не залучають громадян належним чином.

Одним із важливих аспектів побудови розумного міста є сприяння співпраці з громадянами на кожному етапі, починаючи від планування бездротової мережі до її експлуатації. Використовується термін "розумне місто" для підкреслення важливості людського фактору у побудові та використанні бездротової мережі. Розумність в цьому контексті полягає в активній участі громадян. Згадані платформи пропонують бездротову мережу для цифрового міста, але без достатньої участі громадян важко назвати його справжнім розумним містом. У даному документі розглядається платформа з нижчою вартістю, бездротова мережа, що відповідає попиту та принесе як

прямі, так і непрямі вигоди для міста, та яка сприятиме залученню приватних інвестицій.

Додатковою вимогою є залучення громадян та інших зацікавлених сторін, таких як бізнес, постачальники інтелектуальних послуг та інші. Перед тим, як запропонувати нашу платформу, ми хочемо навести приклади успішних спільних бездротових проектів.

Такі проекти успішно реалізувалися там, де муніципальні моделі провалились. При аналізі впроваджень бездротового зв'язку в громаді, було виявлено наступні ключові фактори успіху:

- нижча вартість,
- точні прогнози попиту,
- є доволі чіткі цілі та продумані реальні вигоди, що орієнтуються на потреби громади,
- не дуже великий запуск, початкова пілотна реалізація та подальше розширення платформи відбувались на основі врахування потреб громади.
- Громада яка бере участь у налаштуванні та обслуговуванні мережі.

Отже, зараз, ми можемо представити нашу платформу, яка має на меті підтримувати розумне місто, об'єднуючи користувачів, бізнес, інтелектуальні послуги та постачальників смарт-послуг та функцій міста. Одночасно, ми дотримуємось певних обмежень: наше бездротове рішення повинно бути бюджетним з точки зору встановлення та обслуговування, масштабним для покриття всього міста, законним, своєчасно розробленим та простим у використанні, експлуатації та модернізації. ми можемо представити нашу платформу.

1.5.2 Платформи з відкритим кодом для розвитку IoT

Хоча системи Інтернету речей (IoT) можуть бути спроектовані різними способами, можна розуміти, що датчики, пускачі та блоки контролерів будуть присутні в більшості застосунків. Для реалізації цих компонентів можуть бути використані вбудовані апаратні платформи, і на ринку існує багато доступних варіантів.

Серед доступних варіантів, платформи з відкритим кодом стають все більш популярними з різних причин, і на даний момент варто вибрати кілька високоякісних платформ. Однак існування численних дослідницьких та промислових проектів, які використовують різні платформи, свідчить про те, які платформи є найбільш популярними.

При виборі найбільш підходящої платформи з відкритим кодом для конкретного додатка Інтернету речей, слід правильно враховувати кілька характеристик. Нижче наведено опис цих характеристик:

- Низька вартість, щоб забезпечити масштабне розгортання;
- Обчислювальні можливості: Залежно від потрібних функціональних можливостей, платформа має мати достатню обчислювальну потужність для виконання складних завдань, наприклад, візуальної обробки даних та управління розподіленими вузлами. Обробка та ресурси пам'яті безпосередньо впливають на обчислювальні можливості платформи;
- Програмування: Важливість доступності мов програмування та бібліотек важлива, і ця характеристика не обов'язково пов'язана з апаратними можливостями, але також залежить від активної розробницької спільноти, пов'язаної з платформою;
- Інтерфейси введення/виведення: Додатки розумного міста можуть використовувати різноманітні електронні пристрої для надання відповідних даних або здійснення певних дій, наприклад, камери, світлодіоди, сирени, екранні панелі, датчики та інше. Тип та кількість

інтерфейсів введення-виведення є важливими факторами при виборі платформи;

- **Енергоефективність:** Оскільки вузли Інтернету речей можуть житися від акумуляторів, низьке споживання енергії є важливою характеристикою вбудованих апаратних платформ. Крім використання акумуляторів, енергоефективність також є важливою для стимулювання використання більш ефективних платформ у сучасних містах;
- **Розмір:** Враховуючи очікувані функції та місце розгортання (наприклад, ліхтарні стовпи, дорожні світлофори, транзитні таблички), розмір прийнятого борту є важливим і потребує уваги;
- **Надійність:** Платформи з відкритим кодом повинні забезпечувати безперебійну роботу протягом тривалого періоду, уникаючи відмов обладнання або перегріву. Це особливо важливо, якщо вони розміщуються на відкритих майданчиках;
- **Зв'язок:** Платформи можуть мати різні вбудовані комунікаційні технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, LoRa та 4G/5G стандарти, що полегшує з'єднання між вузлами;
- **Зберігання:** Наявність вбудованого постійного сховища може бути корисною у багатьох сценаріях. Для деяких платформ може бути можливість зберігання лише за допомогою портативних карт пам'яті;
- **Додаткові ресурси:** Світлодіоди, кнопки, RFID (ідентифікація радіочастот) та джерело живлення (напруга/струм) - це лише кілька додаткових ресурсів, які можуть вплинути на вибір платформи. На ринку існує багато електронних платформ з відкритим кодом, проте лише деякі з них широко використовуються для створення додатків Інтернету речей.

1.6 Висновки до розділу 1

Концепція "Smart City" передбачає інтеграцію різних аспектів міського життя, використання передових технологій та збору даних для покращення

ефективності, сталості та якості життя в містах. Основні складові "Розумного міста" включають транспортну інфраструктуру, енергетику, управління відходами, екологію, освіту, охорону здоров'я та інші сфери міського життя.

Найважливіші напрямки розвитку "Розумного міста" включають покращення транспортної системи, енергоефективність та використання відновлюваних джерел енергії, забезпечення сталості та екологічності міського середовища, впровадження електронного урядування та інноваційних послуг для громадян.

Технології та стандарти "Розумного міста" включають в себе розумні мережі збору даних, хмарні технології, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект, аналітику даних та інші інноваційні рішення. Стандартизація грає важливу роль у забезпеченні сумісності та взаємодії різних компонентів "Розумного міста" і сприяє швидкому та ефективному впровадженню цих технологій.

Платформи "Розумного міста" є інструментами, які об'єднують різні системи та послуги для керування та моніторингу міського середовища. Вони забезпечують інтеграцію даних, аналітику та взаємодію між різними сторонами, такими як урядові органи, жителі, підприємства та інші зацікавлені сторони.

Узагальнюючи, концепція "Smart City" є перспективним напрямом розвитку міст, який спирається на передові технології та інтеграцію різних аспектів міського життя. Впровадження "Розумного міста" вимагає спільних зусиль урядових органів, громадськості, бізнесу та інших зацікавлених сторін для досягнення сталого, ефективного та комфортного міського середовища для мешканців.

2 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК СКЛАДОВА КОНЦЕПЦІЇ «SMART CITY»

2.1 Інтелектуальні транспортні системи

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) - це системи, які використовують комп'ютерні, електронні та комунікаційні технології та стратегії управління в інтегрованому вигляді для підвищення безпеки та ефективності дорожніх транспортних систем шляхом надання інформації про мандрівників. У даній роботі описано користувацькі послуги ІТС, а також архітектуру та планування ІТС. Послуги користувачів, запропоновані ІТС, розподіляються на вісім груп. Логічна та фізична архітектура архітектури ІТС коротко описані, звертаючи увагу на їх загальну основу для планування, визначення та інтеграції інтелектуальних транспортних систем.

Інтелектуальні транспортні системи представляють собою поєднання досягнень комп'ютерної сфери, інформаційних технологій та телекомунікаційних розробок, спрямованих на автомобільну та транспортну галузі. Основні технології ІТС виникають на основі передових розробок у цих галузях. Таким чином, ІТС можна описати як використання комп'ютерних, інформаційних та комунікаційних технологій для управління транспортними засобами та мережами у реальному часі, включаючи переміщення людей та вантажів.

Термін "Інтелектуальні транспортні системи" (ІТС) був придуманий у 1994 році і включає в себе "Інтелектуальні системи транспортування". У широкому розумінні ІТС є системою, пов'язаною з мобільністю, яка зросла завдяки використанню інформаційних технологій (ІТ).

Інтелектуальні транспортні системи представляють найкраще рішення для вирішення проблем. Безпека виступає як головна драйвер еволюції, розвитку, стандартизації та впровадження систем ІТС. Завдяки ІТС поліпшується безпека та мобільність транспорту, а також зміцнюється глобальний зв'язок шляхом покращення продуктивності за допомогою

інтеграції передових комунікаційних технологій у транспортну інфраструктуру та транспортні засоби. Інтелектуальні транспортні системи охоплюють широкий спектр інформаційних та електронних технологій, що базуються на бездротовій та дротовій комунікації, з метою поліпшення управління трафіком та максимального використання існуючої транспортної інфраструктури. Це призводить до покращення досвіду водіння, безпеки та ефективності дорожніх систем, зменшення ризиків під час транспортування, розвантаження доріг, підвищення ефективності транспортування та зменшення забруднення навколишнього середовища.

2.2 Структура послуг ІТС

Для впровадження ІТС була розроблена структура з різними послугами, які можуть бути доступні для користувачів. Національний план програми ІТС містить перелік з 33 користувацьких послуг. Кількість цих послуг з часом змінюється, оскільки нові послуги додаються до переліку. Всі наведені вище послуги поділяються на вісім груп, що базується на можливості організації та спільного використання технічних функцій. Деякі користувацькі послуги, що пропонуються ІТС, показані на рис. 2.1.

Вісім груп описуються наступним чином:

1. Подорожі та управління рухом;
2. Діяльність громадського транспорту;
3. Електронні платежі;
4. Операції з комерційними транспортними засобами;
5. Просування систем контролю та безпеки транспортних засобів;
6. Аварійне управління;
7. Інформаційний менеджмент;
8. Технічне обслуговування та управління будівництвом.

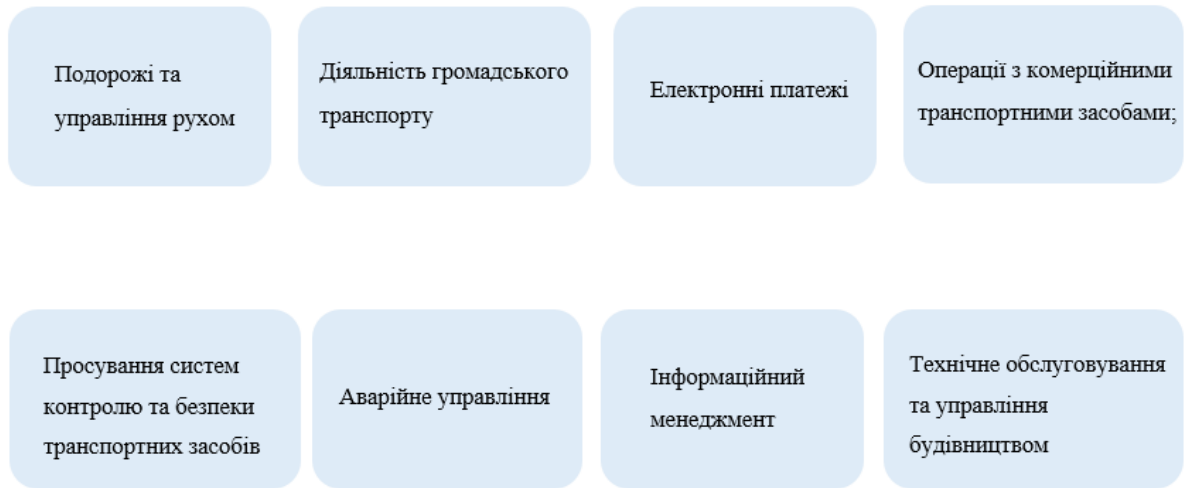


Рисунок 2.1 - Користувацькі послуги, що пропонуються ITS

Основна мета цієї групи послуг полягає у використанні актуальної інформації про стан транспортної системи в реальному часі з метою підвищення її ефективності, продуктивності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Ця група користувацьких послуг поділяється на 10 видів обслуговування.

Ця послуга надає користувачам інформацію про транспортну систему до початку їх поїздки, щоб вони могли приймати краще обґрунтовані рішення щодо часу відправлення, режиму використання та маршруту до пункту призначення. Мандрівники можуть отримати доступ до цієї інформації через комп'ютерні або телефонні системи вдома, на роботі або в громадських місцях. Попередня інформація про подорожі також доступна через мобільні телефони.

Різні маршрути і тривалість часу руху, вказані на VMS, (показано на рисунку 2.2).

Ця інформація включає актуальний стан потоку транспорту, реальні події та запропоновані альтернативні маршрути, інформацію про будівництво та обслуговування доріг, транзитні маршрути, графіки, тарифи, трансфери та доступні місця для паркування.

City Transit	
ROUT	DUE
69	3 mins
98	6 mins
408	7 mins
535	9 mins

Рисунок 2.2 - Різні маршрути і тривалість часу руху

Ця користувацька послуга надає інформацію про подорожі пасажиром після того, як вони розпочинають свої поїздки. Інформація може бути передана через змінні знаки повідомлення (VMS), автомобільне радіо або портативні комунікаційні пристрої. На екрані дисплея відображаються різні маршрути з вказанням їх завантаженості або відсутності навантаження.

Це допомагає мандрівникам ефективніше використовувати існуючу інфраструктуру шляхом зміни маршрутів та уникнення перевантажень. Також це забезпечує попереджувальні повідомлення для дорожніх знаків, таких як зупинкові знаки, гострі повороти, зменшені рекомендації швидкості, а також інформацію про вологі дорожні умови, яка відображається на автомобільних дисплеях, щоб покращити безпеку водіння. Інформація також може бути представлена у формі голосових повідомлень.

Послуга "Напрямок маршруту" надає мандрівникам інформацію про запропонований маршрут для досягнення певного місця призначення, а також прості інструкції щодо подальших поворотів та маневрів. Вона також надає мандрівникам у реальному часі інформацію про транспортну систему, включаючи умови руху, дорожні обмеження, стан та розклад транзитних систем. Перевагами цієї послуги є зменшення затримок і рівня стресу для водіїв, особливо в незнайомих місцях.

Послуга «Моніторинг та бронювання поїздок» забезпечує мандрівникам інформацію про подорож у реальному часі, надаючи їм

можливість отримати цю інформацію в їхніх домах, офісах або в будь-яких інших місцях. Вона також допомагає постачальникам послуг транспорту з плануванням і призначенням транспортних засобів.

2.3 Поширена концепція транспортної системи

У своєму визначенні, Міністерство землі, інфраструктури, транспорту та туризму описує ІТС як інноваційну транспортну систему, спрямовану на подолання проблем дорожнього руху, таких як аварії та перевантаження. Ця система базується на сучасних інформаційних та комунікаційних технологіях і спрямована на створення інформаційної мережі, що поєднує людей, автомобілі та дороги.

У кожному академічному суспільстві, концепція ІТС не обмежується лише автомобілями, а також включає залізниці, літаки та інші види транспорту, які можуть скористатися розумними мобільними технологіями. Ця мобільно орієнтована концепція стає все більш популярною в різних країнах, особливо в Європі.

Служба, про яку йдеться, спрямована на поліпшення можливостей управління інцидентами та реагування на них соціальними службами транспорту, органами громадської безпеки, автослужбами та іншими учасниками, які займаються реагуванням на події. Для швидкого та точного виявлення інцидентів і ефективного реагування на них, що допомагає зменшити перевантаженість дорожнього руху та мінімізувати наслідки для навколишнього середовища, людей і вантажівок, використовуються сучасні датчики (наприклад, відеокамери замкнутого контуру), обробка даних та технології зв'язку.

Управління попитом на подорожі

Виконання цієї послуги включає розробку та впровадження стратегій, спрямованих на зменшення використання одноразових транспортних засобів, одночасно заохочуючи ефективне використання транспортних засобів з

високою зайнятістю та оптимальний режим подорожування. Основні заходи, що вживаються, включають:

1. Ціни на перевантаження;
2. Паркування та контроль;
3. Підтримка зміни режиму;
4. Телекомунікації та альтернативний графік роботи; Тестування та зменшення викидів.

Основна мета цієї служби полягає у нагляді та впровадженні стратегій, спрямованих на перенаправлення трафіку від зон з низькою якістю повітря або обмеженого доступу до таких територій, за допомогою використання сучасних датчиків. Крім того, вона використовується для виявлення транспортних засобів, які викидають забруднюючі речовини, перевищуючи норми, та повідомлення водіям, щоб вжити відповідних заходів. Це сприяє впровадженню та оцінці різних стратегій боротьби з забрудненням, що здійснюються урядовими органами.

- Перетинання залізничних колій.

Мета цієї послуги полягає в поліпшенні контролю за рухом на дорогах та залізницях з метою уникнення або зменшення тяжкості зіткнень між поїздами та транспортними засобами на перехрестях автомобільних доріг. Крім того, вона також відстежує стан різних HRI-пристроїв.

- Управління громадським транспортом.

Дана послуга для користувачів пропонує збір даних за допомогою передових комунікаційних та інформаційних систем з метою вдосконалення операцій транспортних засобів та об'єктів, а також автоматизації функцій планування та управління системами громадського транспорту. Це включає наступні завдання:

1. Забезпечення комп'ютерного аналізу транспортних засобів та об'єктів у реальному часі з метою покращення транзитних операцій та технічного обслуговування. Це досягається шляхом моніторингу

розташування транзитних транспортних засобів, виявлення відхилень від графіка та надання потенційних рішень диспетчерам та операторам.

2. Підтримка графіків перевезень та забезпечення переходу між різними транспортними засобами та режимами з метою спрощення швидкого реагування на затримки в обслуговуванні.

3. Підвищення безпеки персоналу, що займається транзитом, шляхом надання доступу до транзитних транспортних засобів.

Таким чином, ця послуга спрямована на поліпшення оперативності та безпеки транспортних систем шляхом ефективного використання даних та автоматизації процесів безпеки транзитного персоналу шляхом надання доступу до транзитних транспортних засобів.

Управління попитом на подорожі

Ця послуга розроблена для того, щоб надавати мандрівникам інформацію щодо очікуваного часу прибуття громадського транспорту, трансферів та з'єднань після початку їхньої подорожі. Вона також забезпечує точну інформацію в режимі реального часу про транзитні послуги, що надаються на борту транспортних засобів, на транзитних станціях та автобусних зупинках, з метою допомоги мандрівникам у прийнятті рішень та зміні своїх маршрутів. Основною метою цієї послуги є забезпечення мандрівникам доступу до громадського транспорту шляхом планування та розкладання транспортних засобів за допомогою двох методів:

1. Гнучка маршрутизація транзитних транспортних засобів.
2. Призначення приватних транспортних засобів на вимогу, таких як малі автобуси, таксі або інші мали транспортні засоби з спільною їздою.

Ця послуга дозволяє мандрівникам передавати дані про своє місцезнаходження та пункт призначення до станції технічного обслуговування. Після цього центр автоматично призначає найближчий транспортний засіб для виконання запиту та передчасно повідомляє мандрівникам, коли цей транспортний засіб прибуде, з метою зниження їх тривоги.

Одним із видів послуг для мандрівників є безпека громадських подорожей. Вона створює безпечне середовище для операторів громадського транспорту та допоміжного персоналу та контролює стан оточуючого середовища на транзитних об'єктах, транзитних станціях, автостоянках, зупинках і в бортових транспортних засобах. У разі потреби вона може генерувати тривожні сигнали, як автоматично, так і вручну. Крім того, ця послуга забезпечує безпеку систем, що контролюють ключову транзитну інфраструктуру, таку як залізничні колії, мости, тунелі, шляхи експлуатації автобусів та інші.

Ця послуга також дозволяє мандрівникам зручно оплачувати різні види транспортних послуг за допомогою стандартного електронного платіжного засобу. Збір плати за проїзд, транзитних тарифів і паркування здійснюється шляхом інтеграції до багатомодульної багатофункціональної електронної системи.

Завдяки цій інтегрованій платіжній системі, мандрівники, які користуються платними дорогами і парковками, можуть використовувати один і той самий електронний пристрій для зручної оплати проїзду, паркування та транзитних тарифів.

- Електронна перевірка комерційних транспортних засобів:

Ця послуга дозволяє виконавчому персоналу електронно перевіряти стан безпеки та інформацію про транспортні засоби, а також відомості про їх розмір і вагу перед прибуттям на інспекційний пункт. Державні органи можуть спрямовувати нелегальні або потенційно небезпечні транспортні засоби лише на обов'язкову перевірку, тим самим уникнувши затримок безпечних та законних перевізників на вагових станціях та інших інспекційних об'єктах.

- Автоматизована дорожня перевірка безпеки:

На інспекційних пунктах вимоги безпеки перевіряються швидше та точніше завдяки використанню автоматизованих засобів контролю. Використовується передове обладнання для перевірки гальм, рульового

управління, підвіски, а також оцінки продуктивності водія, пов'язаної з його готовністю до руху та здатністю виконувати свої обов'язки.

- Система моніторингу безпеки на борту:

Ця послуга відстежує дії водія, стан транспортного засобу та вантажу, і надсилає сповіщення водію, перевізнику та правоохоронним органам у разі виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації транспортного засобу. Вона також забезпечує контроль цілісності вантажного контейнера, причепа та комерційного транспортного засобу шляхом нагляду за бортовими датчиками на випадок порушень або загроз безпеці.

- Автоматизовані комерційні адміністративні процеси:

Ця послуга дозволяє перевізникам автоматично придбавати облікові дані, такі як акцизи на паливо, дозволи на перевезення, дозволи на перевезення надмірної ваги або дозволи на перевезення небезпечних матеріалів. Компоненти звітності про пробіг і споживання палива, а також аудит, автоматично надаються перевізникам, що дозволяє зменшити значну кількість часу та паперової роботи.

- Реагування на інциденти з небезпечними матеріалами:

Ця послуга надає користувачам негайну інформацію щодо типів та кількості небезпечних матеріалів, які знаходяться на місці аварії для аварійних служб, щоб забезпечити швидку та адекватну реакцію. Персонал аварійних служб отримує сповіщення про розгрузку будь-яких чутливих небезпечних матеріалів, щоб вчасно прийняти необхідні заходи у разі аварійної ситуації.

- Мобільність вантажу:

Ця послуга надає водіям, диспетчерам та постачальникам послуг міжмодальних перевезень інформацію, яка дозволяє перевізникам використовувати дані про дорожній рух у реальному часі та місцезнаходження транспортного засобу та вантажу для підвищення продуктивності.

- Розширені системи контролю та безпеки транспортних засобів:

Ця послуга спрямована на покращення безпеки транспортної системи, доповнюючи вміння водіїв зберігати увагу та контролювати транспортний засіб, що підвищує можливості уникнення аварій.

Архітектура ІТС визначає основну структуру для планування, визначення та інтеграції інтелектуальних транспортних систем. Вона встановлює взаємодію між різними компонентами ІТС з метою вирішення проблем, пов'язаних з транспортуванням. Ця архітектура надає професіоналам транспорту широкий спектр варіантів для задоволення їхніх потреб. Вона описує різні функції та визначає обов'язки різних зацікавлених сторін ІТС. Архітектура ІТС має бути загальною і заснованою на стандартах, щоб забезпечити взаємодію з різними агентствами під час вирішення численних проблем.

Основні характеристики архітектури ІТС:

1. Оперативна сумісність: Архітектура ІТС повинна забезпечувати сумісність зібраної інформації, реалізованих функцій та встановленого обладнання між різними установами у різних державах і регіонах.
2. Обмін інформацією: Інформація, отримана в процесі дорожніх операцій, повинна бути доступною для служб екстреної допомоги та інших зацікавлених сторін.
3. Розподіл ресурсів: Регіональні башти зв'язку, побудовані різними приватними агентствами, повинні бути спільними для операцій ІТС, забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

Архітектура системи уявляє взаємодію між складовими елементами системи на рівні деталей, а також на рівні системи в цілому. Вона подібна до морської карти, яка допомагає досягти цілей системи та ефективно просунути розвиток систем, що потребують часу для свого втілення в практику та поширення по суспільству. Розробка архітектури системи має на меті ефективно створення інтегрованих систем, забезпечення масштабованості та сприяння національній і міжнародній стандартизації.

Один з прикладів архітектури системи, який був сформульований в Японії наприкінці 1990-х років, можна побачити на рисунку 2.3.

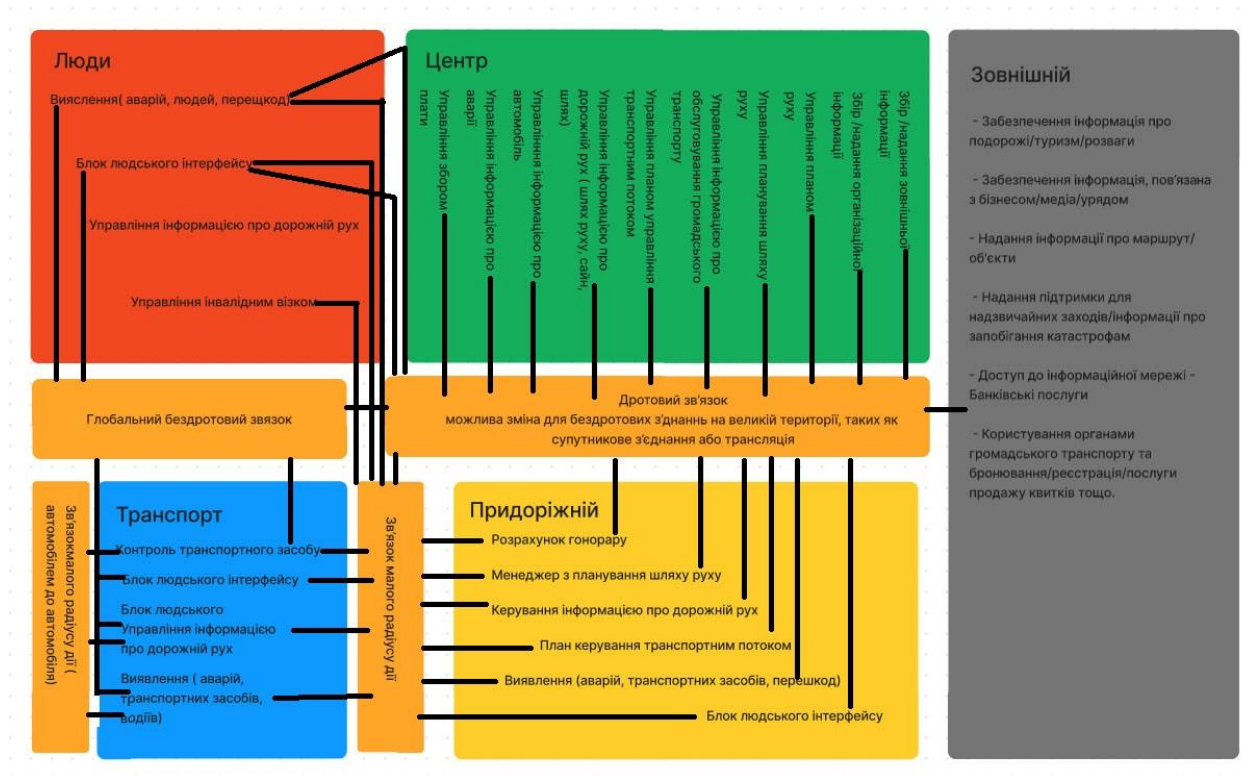


Рисунок 2.3 - Архітектура системи в Японії

Спочатку основна мета інтелектуальних транспортних систем (ІТС) полягала в підвищенні свідомості. Такі системи підтримки безпечного керування, наприклад системи попередження про небезпеку, інформують водіїв про ризики, які виходять за межі їхнього поля зору, надають інформацію про дорожні умови у реальному часі в широкому просторі, яку водії не можуть спостерігати самостійно, і навіть прогнозують можливі області перевантаження. Це допомагає водіям приймати заходи для уникнення ризиків і незручностей. Крім того, ці системи також надають водіям інформацію про поточний стан дорожнього покриття і можуть попередити про можливі небезпечні ситуації, тим самим сприяючи запобіганню аваріям. Такі технології поширюються й на системи, такі як антиблокувальні гальмівні системи (ABS) та системи запобігання зіткнення,

що допомагають водіям керувати транспортним засобом. В цілому, ці зміни означають перехід від пасивної безпеки до активних дій, відкриваючи шлях до автоматизованого керування на різних рівнях.

VICS є системою, що передає інформацію про дорожній рух. Спочатку дані зібрані від датчиків, розташованих в інфраструктурі великих дорожніх систем, таких як петлі котушок або ультразвукові датчики. Однак ці дані можуть бути зібрані лише в областях, близьких до датчиків. На відміну від цього, останні системи, розроблені протягом останніх 10 років, використовують дані з пробних автомобілів (так званих "плаваючих автомобілів"), які потім завантажуються на сервери в інформаційних мережах, включаючи позицію автомобіля. Ці системи можуть охоплювати умови дорожнього руху, агрегуючи зібрані дані і надаючи інформацію про дорожній рух кожному транспортному засобу. Цей метод дозволяє використовувати одну машину з групи, і не потребує додаткових інвестицій у інфраструктуру, наприклад, встановлення нових датчиків. Зібрані дані не обмежені місцями розташування інфраструктурних датчиків, оскільки дані збираються, коли автомобіль проїжджає повз датчик.

Однак, загалом, ця типова система зондування не є сприятливою. Хоча розташування датчиків в інфраструктурі є обмеженим, зібрані дані про трафік є досить детальними. На відміну від цього, система зондів опирається на абсолютний обсяг трафіку і відсоток датчиків, розташованих у всій дорожній системі, для визначення якості даних. Зменшення обсягу трафіку призводить до зниження точності та достовірності зібраних даних, а якщо транспортний засіб, що має передавач, не пройде через цільову зону, дані взагалі не будуть зібрані, оскільки транспортний засіб без передавача не функціонує як зонд.

Система, яка використовує зонди для збору даних з смартфонів, може забезпечувати ще більшу деталізацію даних. В той час як зонди, встановлені в транспортних засобах, надають дані лише про один автомобіль, зонди, що працюють з смартфона, можуть збирати дрібні дані про стан і напрямок руху

людей в автобусах, поїздах та автомобілях; про пішоходів на вулицях і в підземних торгових центрах; і про людей всередині будівель. Крім того, дані, що завантажуються, можна обробляти на серверному боці в залежності від умов.

2.4 Розвиток ІТС в Україні

Ураховуючи географічне розташування України в центрі Європи, країна виявляє значний інтерес до міжнародних транспортних перевезень. Завдяки своїй прикордонній лінії з шістьма країнами, Україна активно спрямовує свої зусилля на тісну інтеграцію з країнами Європейського Союзу (ЄС) та окремими країнами Співдружності Незалежних Держав (СНД). Завдяки своїй території, в якій високий рівень транзитності, Україна займає лідерське положення в Європі за цим показником (коефіцієнт транзитності України - 3,75). Статистичний аналіз даних свідчить про те, що щорічно через територію України транспортується понад 60 млн. тонн транзитних вантажів, включаючи рідкі вантажі, такі як нафта, газ і аміак, які перевозяться трубопроводами.

Експерти оцінюють потенційні можливості країни у перевезенні транзитних вантажів на рівні близько 220 млн. тонн, що є стратегічною перспективою для подальшого розвитку країни.

На сьогоднішній день дорожній рух є одним з найскладніших елементів соціально-економічного розвитку міст і регіонів. Для досягнення безперебійного руху по вулицях і дорогах в цій галузі потрібно використовувати найсучасніші технології збору та обробки інформації про параметри транспортних потоків, такі як щільність, швидкість та склад. В країні відбуваються значні соціально-економічні зміни, що ставить нові вимоги до координації всіх сфер суспільного життя, включаючи транспортну систему. Проте, протягом останніх десятиліть відбувається дисбаланс між потребами в транспортних послугах та реальними пропускними здатностями

різних видів транспорту. Можливості розширення обсягів перевезень пасажирів і вантажів шляхом збільшення транспортних засобів значно вичерпані, особливо великих містах. В Україні в даний час активно розробляються та впроваджуються інтелектуальні транспортні системи (ІТС) різного масштабу.

Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) може бути розширене без обмежень і інтегруватися з існуючими інформаційними системами та базами даних державних органів, включаючи служби дорожнього патруля та правопорядку. На рисунку 2.4 наведені приклади функцій, які можуть бути виконані за допомогою ІТС.

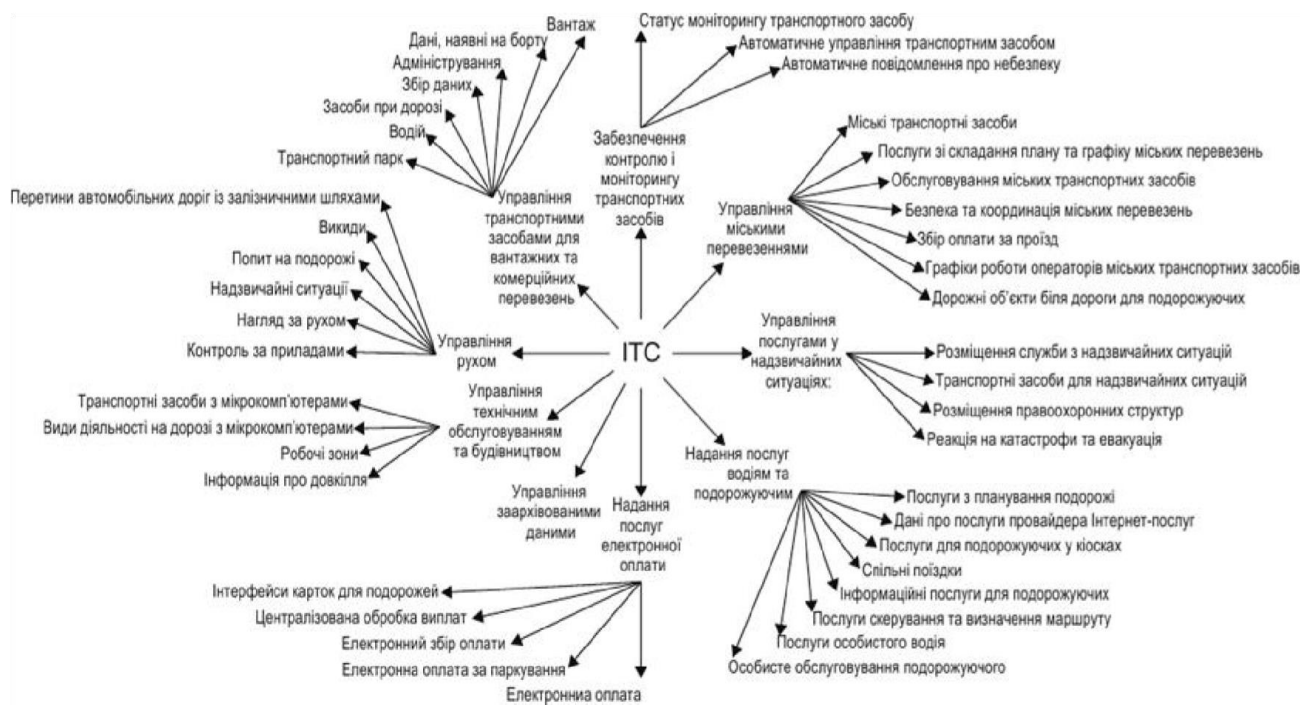


Рисунок 2.4 - Функції ІТС [6]

Використання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) сприяє вирішенню різних проблем, таких як забезпечення безпеки дорожнього руху, планування оптимальної роботи громадського транспорту, зменшення заторів у транспортних мережах, підвищення продуктивності транспортних

підприємств, а також боротьба з проблемами, пов'язаними з забрудненням навколишнього середовища.

Завдяки впровадженню інтелектуальних транспортних систем (ІТС) в транспортну інфраструктуру можна забезпечити більш ефективне управління транспортним господарством. Це досягається завдяки отриманню своєчасної та точної інформації, виконанню функцій прийняття та аналізу оперативних рішень, постійному централізованому моніторингу, формуванню стратегічних планів сталого економічного та соціального розвитку та управлінню транспортними потоками на основі отриманих аналітичних даних.

За допомогою впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) можна досягти оптимізації координації роботи екстрених служб та правоохоронних органів. Це сприятиме поліпшенню запобігання дорожнім аваріям та зменшенню їх наслідків, а також скороченню часу реагування на нештатні та надзвичайні ситуації.

Інтелектуальні транспортні системи є ефективним і економічним способом розширення наявної транспортної інфраструктури. Прогнозується, що світові інвестиції в інтелектуальні транспортні системи досягнуть 13 мільярдів доларів протягом наступних 5-6 років.

Створення інтелектуальної транспортної системи є надзвичайно важливим та актуальним завданням на національному рівні. Вирішення цього питання потребує комплексного підходу, що включає державне регулювання, створення основної транспортної інфраструктури та розробку "інтелектуального" надбудови, яка включає засоби управління транспортними мережами.

Інформація про рух різних видів транспорту з їх графіками може бути передаватись в режимі реального часу та відображатись на спеціальних табло та в мережі Інтернет (див. рисунок 2.5).

Впровадження українських ІТС сприятиме покращенню ефективності управління транспортними перевезеннями, скороченню непродуктивних

витрат на транспортування вантажів і пасажирів, прискоренню розвитку національної транспортно-комунікаційної та економіко-інформаційної інфраструктури, а також сприятиме впровадженню сервісів на основі наявних навігаційних супутникових систем.

Метою цього модуля є надання допомоги подорожуючим у виборі інтелектуального транспорту та підвищення привабливості громадського транспорту. Схожі модулі вже успішно функціонують у містах, таких як Гонконг, Брісбен, Лондон та Берлін. Робота модуля передбачає обмін інформацією між різними системами громадського транспорту, використання спільних графіків і маршрутів для планування поїздок різними видами транспорту, а також передачу реальної інформації пасажирам на місцях пересадки.

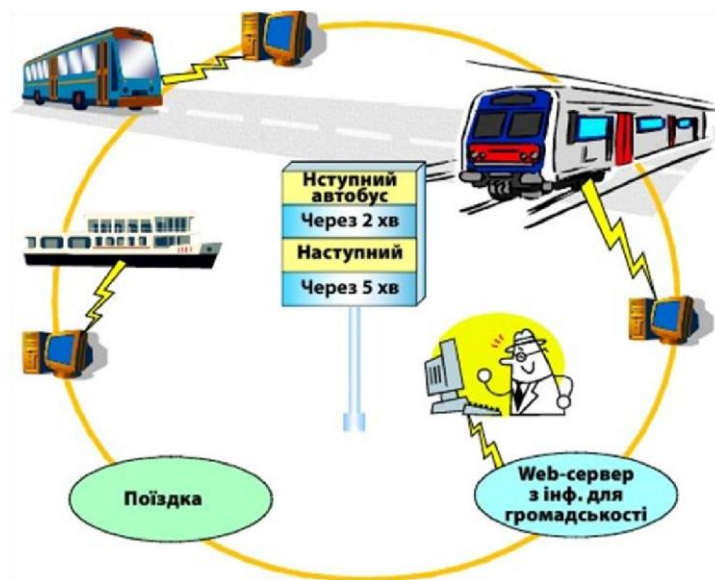


Рисунок 2.5 - Схема принципу роботи модулю ІТС «Інформація для подорожуючих» [6]

Якщо послуга для пересадки знаходиться поруч, така інформація використовується для затримки відправлення. Кожна система збирає інформацію за допомогою різних технологій, але ця інформація розповсюджується одним способом. Якщо для обробки даних ІТС

використати супутникове відстеження, схема дії модулю ІТС може бути подібною до тієї, що зображена на рис. 2.6. Починаючи з 80-х років, більшість країн Європи, Азіатсько-Тихоокеанського регіону і США активно розвивають ІТС в якості центральної теми в здійсненні транспортної політики.



Рисунок 2.6 - Схема обробки інформації, що поступає в реальному масштабі часу про громадський транспорт [6]

У 2006 році Європейський Союз прийняв політичний документ під назвою "Європа в русі. Стійка мобільність для нашого континенту", де була висунута концепція інтелектуальної мобільності (intelligent mobility). У лютому 2009 року Комісія ЄС випустила ЗЕЛЕНУ КНИГУ "TEN-T: Огляд стратегії", яка започаткувала процес фундаментального перегляду політики Транс'європейської транспортної мережі з метою створення єдиної мультимодальної мережі. Уведено новий концептуальний принцип розвитку пріоритетної транспортної мережі, замість поточного принципу пріоритетних проектів, що сприяє інтеграції мереж та більш системному використанню вузлових з'єднань, таких як морські і повітряні порти, в якості вхідних пунктів до мережі та основних пунктів міжмодального зв'язку. ІТС відіграє

роль мосту між жорсткою інфраструктурою та інтелектуальним транспортом, що є ключем до досягнення цілей транспортної політики.

Розвиток інтелектуальних транспортних систем в транспортній інфраструктурі України не поширився на широку масштабну. Більшість зусиль зосереджена на використанні супутникової навігації та застарілого обладнання для регулювання дорожнього руху.

Спроби впровадження інтелектуальних транспортних систем в Україні розпочалися у 2008 році, коли мер Києва оголосив про створення системи "Розумні світлофори". Для реалізації цієї системи місто отримало кредит у розмірі 30 млн євро від Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР).

У планах адміністрації столиці на 2014-2015 роки - модернізація більшості світлофорів, оскільки на сьогоднішній день у центрі працює 120 застарілих світлофорів подібного типу.

Автоматизована система управління буде встановлена на них, щоб реагувати на дорожні умови. Основна ідея системи полягає в тому, щоб створити "зелену хвилю" для групи автомобілів, які рухаються з однаковою крейсерською швидкістю. На перехресті для цих автомобілів буде горіти зелений сигнал. І такий коридор буде продовжуватися по ходу руху. Система буде оновлюватися таким чином, щоб вона відстежувала рух транспорту в режимі реального часу і в залежності від ситуації перемикала світлофори. Спеціальні датчики будуть зчитувати кількість транспортних засобів і визначати їх тип.

У Харкові було зроблено найбільший прогрес у впровадженні інтелектуальної міської транспортної системи в Україні. Напередодні чемпіонату Євро-2012 КП "Харковпасстрас" розробило кілька програм, спрямованих на інформатизацію управління транспортним рухом, включаючи впровадження єдиного проїзного квитка, GPS-навігаційної системи та створення єдиної міської транспортної системи.

На початку 2011 року міське управління Харкова взяло курс на впровадження GPS-навігаційної системи на всіх видів транспорту як ключового кроку до створення єдиної транспортної системи міста. До середини того ж року GPS-навігатори були встановлені майже на всіх транспортних засобах "Міськелектротрансу". Це означає, що транспортна інфраструктура поступово наближується до створення єдиної транспортної системи міста, яка дозволяє якісно та оперативно регулювати пасажиропотоки та реагувати на будь-які дорожні ситуації.

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) має безліч переваг, однак її успішна реалізація вимагає виконання ряду вимог. Наприклад, необхідно забезпечити високу точність визначення місця розташування транспортних засобів для оперативного управління ними в режимі реального часу. Також потрібно мати навігаційне забезпечення для аварійних ситуацій.

Однак існують певні виклики, що стосуються створення неперервної та стабільної навігаційної системи в умовах тунелів та густо забудованих міських районів, які не можуть бути повністю вирішені за допомогою сучасних супутникових навігаційних систем. Для втілення цих вимог необхідно інтегрувати технології позиціонування з бездротовими засобами зв'язку, щоб створити неперервне віртуальне середовище управління транспортом у будь-яких умовах.

Крім того, до недоліків ІТС відносяться:

- локальність джерел (відсутність можливості охоплення камер 100% території);
- виникнення труднощів з накопиченням статистики на основі існуючих баз даних;
- неможливість реальної оцінки цільової ефективності пілотна зона ІТС НЕ масштабуєма до розмірів міста;
- підвищення похибки даних при зміні ефемерид, що досягає 30 метрів;
- вплив рельєфу місцевості на точність даних;

- періодичне порушення безперервності сигналу, які виражаються у спотворенні і затримці визначення сигналу.

Також, за певних умов, можуть виникати проблеми з отриманням сигналу приймачем, особливо при великій хмарності, що перешкоджає передачі сигналу від наземних радіоджерел. Робоча частота супутникових систем знаходиться в дециметровому діапазоні радіохвиль. Крім того, місцезнаходження всередині залізобетонних будівель, підвальних приміщень, тунелів або в квартирах може призводити до погіршення якості прийому сигналу. Також в приполярних районах сигнал системи GPS моніторингу може бути слабким через великий нахил орбіти.

Одним з основних викликів супутникових систем є їх висока вартість, оскільки вимагається значних витрат на придбання фото- та відеокамер, сучасних світлофорів, інформаційних табло, а також на створення єдиної електронної бази даних для ефективного впровадження системи. Крім того, стан деяких доріг не готовий до впровадження такого проекту. На сьогоднішній день також спостерігається недостатня точність зображень. Однак, незважаючи на ці недоліки, цей метод отримання інформації про Землю є найбільш перспективним.

Україна на даний момент знаходиться на початковому етапі формування інтелектуальних транспортних систем (ІТС), проте вже розробляються стандарти, технології та загальні принципи системи, а також законодавча база.

Основним фінансовим ризиком при впровадженні вдосконаленої моделі ІТС є недостатнє фінансування. Цей ризик може бути мінімізований за допомогою етапного фінансування, яке передбачає інвестиції у достатній обсязі для робіт на кожному етапі розробки. Основним правовим ризиком є відсутність законодавчої бази для побудови ІТС та стандартизації взаємодії органів виконавчої влади. Цей ризик може бути мінімізований шляхом створення правового середовища, методичного комплексу для створення ІТС та умов для координації взаємодії різних органів виконавчої влади.

Необхідно зменшити ризик відсутності відпрацьованої стратегії і бачення розвитку ІТС, шляхом створення наукового співтовариства для розробки власних технологій ІТС та розробки Національної стратегії розвитку ІТС.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку інтелектуальних транспортних систем в Україні важливо здійснити консолідацію, залучивши державні органи, промислові підприємці та особи, які займаються розробкою, створенням, поставкою, експлуатацією та використанням ІТС-систем. Державні органи повинні спрямувати свої зусилля на забезпечення створення наукового співтовариства, яке буде відповідальне за розробку власних технологій ІТС та розробку Національної стратегії розвитку ІТС:

- Впорядкованості та узгодженості нормативно–правової бази, що стосується основних аспектів діяльності в галузі ІТС–систем;
- Координації наукового супроводу розвитку ІТС–систем в Україні;
- Формування системи підготовки та перепідготовки кадрового потенціалу в галузі ІТС–систем.

При створенні ІТС слід враховувати прогнозовані тенденції розвитку міжнародних транспортних магістралей, відповідно до стандартів, прийнятих у Західній Європі. Також потрібно розглядати питання обладнання автодоріг, портів, терміналів і інфраструктури ІТС компонентами, що може збільшити вартість проектування, але забезпечить значну економічну та соціальну віддачу. Це підтверджено на практиці в США, Японії та інших розвинених країнах Європи.

2.5 Висновки до розділу 2

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) - це сукупність передових технологій, які використовуються для оптимізації транспортної

інфраструктури в межах концепції "Розумного міста". Їх головною метою є покращення безпеки, комфорту та ефективності транспортного руху.

Структура послуг ІТС включає різні компоненти, такі як системи моніторингу транспорту, системи інформаційного зв'язку, системи електронного платежу та багато інших. Ці компоненти працюють разом, щоб забезпечити координацію та оптимізацію руху транспорту в місті.

Поширена концепція транспортної системи в ІТС полягає у використанні різноманітних даних та аналізу для прийняття рішень щодо керування транспортним рухом. Це включає збір, обробку та інтерпретацію даних про рух транспорту, щоб забезпечити оптимальну організацію та планування руху.

Україна також активно розвиває інтелектуальні транспортні системи. Введення нових технологій та розробка спеціалізованих рішень сприяють покращенню управління транспортним рухом, зменшенню заторів, підвищенню безпеки та забезпеченню екологічності в містах України.

В цілому, інтелектуальні транспортні системи є важливим елементом концепції "Smart City" і мають значний потенціал для покращення транспортної інфраструктури. Їх розвиток і впровадження сприятимуть забезпеченню сталого та ефективного руху транспорту, що сприятиме розвитку сучасних міст.

3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

3.1 Автоматизована система керування дорожнім рухом

Автоматизована система управління рухом на перехресті (АСУРП) призначена для використання в рамках системи автоматизованого управління дорожнім рухом у місті.

Основним завданням цієї системи є збір і передача даних про транспортні потоки з усіх перехресть міста до центрального пункту управління, де вони обробляються в обчислювальному комплексі. Тут, з урахуванням усіх факторів транспортної ситуації, генеруються команди для оптимального розподілу транспортних потоків та синхронізації роботи світлофорів по всьому місту.

Основним складовим елементом системи автоматизованого управління дорожнім рухом у місті є підсистеми управління окремими перехрестями. Вони не тільки здійснюють керування рухом на місцевому рівні - на перехрестях, але також забезпечують інформаційний зв'язок та взаємодію між окремими підсистемами АСУ та центральним пультом управління.

Нормальне функціонування світлофорів вимагає більш глибокого контролю та координації для забезпечення максимально плавного та безпечного руху транспорту і пішоходів. Для досягнення цього використовуються різні системи управління, починаючи від простих механізмів на основі годинника до складних комп'ютерних систем управління та координації, які автоматично регулюються з метою мінімізації затримок для користувачів дороги.

Контролери дорожнього руху використовують поняття фаз, які представляють напрямки руху, групуючи їх разом. Наприклад, на простому Т-з'єднанні може бути три фази руху для автомобілів, по одній для кожної гілки з'єднання. Додаткові фази можуть бути встановлені для інших видів руху, таких як пішоходи, велосипедисти, автобусні смуги або трамваї. Фаза - це група неконфліктних рухів, які відбуваються одночасно.

Твердотільні контролери мають вбудовану незалежну систему моніторингу конфліктів (CMU), яка гарантує безпеку їх роботи. CMU відстежує вихідні сигнали контролера, і якщо виявляється несправність, вона використовує реле, щоб перевести перехрестя в режим спалаху, при якому всі червоні світлофори спалахують, замість того, щоб відображати потенційно небезпечну комбінацію сигналів. CMU програмується з допустимими комбінаціями світлових сигналів і буде виявляти, наприклад, коли контролер надає протирічливі напрями зеленого сигналу.

Акумуляторні резервні копії розташовані у відокремленій камері, яка знаходиться над кабіною контролера руху.

Світлові сигнали вказують, коли потрібно змінювати стадію, і, як правило, вони синхронізуються таким чином, що зміни стадії відбуваються у відношенні до сусідніх сигналів або відповідно до натискання пішоходами кнопки, таймера або інших вхідних сигналів.

Основні принципи управління

Автомобілі часто знаходяться у конфлікті з іншими видами транспорту та пішоходами через те, що їх маршрути руху перетинаються і взаємно перешкоджають один одному. Загальний принцип, який визначає, хто має пріоритет руху, називається "право дороги". Цей принцип встановлює, хто може використовувати конфліктну частину дороги, а хто повинен почекати, поки інший пройде.

Знаки, сигнали, дорожнє розмітка та інші засоби використовуються для прямого визначення пріоритету. Деякі знаки, наприклад, знак зупинки, є майже універсальними. Відсутність знаків та розмітки призводить до застосування різних правил, залежно від місцевих умов. Правила пріоритету за замовчуванням різняться між країнами і можуть навіть змінюватися у різних країнах. Стремління до гармонізації на міжнародному рівні підтверджується Віденською конвенцією про дорожні знаки та сигнали, яка передбачає стандартизовані засоби контролю руху (знаки, сигнали та розмітка), щоб визначити пріоритет руху в необхідних місцях.

Неконтрольований рух відбувається там, де відсутня розмітка та сигнали керування рухом. На дорогах без позначених смуг водії, як правило, простежують свою сторону, якщо дорога достатньо широка. Водії часто обганяють один одного, а перешкоди є загальним явищем.

Сигналізація або знаки відсутні на деяких перехрестях, і на таких напружених перехрестях може бути встановлене домінування певної дороги, тобто її транспортний потік, до моменту переривання руху, коли домінування переходить на іншу дорогу, де автомобілі знаходяться в черзі. На перехресті двох перпендикулярних доріг можуть виникати перешкоди, коли чотири транспортні засоби зустрічаються один з одним по діагоналі. Водії часто намагаються повернути на іншу дорогу. Для оголошення наміру повороту водії часто використовують поворотні сигнали (часто називають "блискавками" або "індикаторами"), що попереджає інших водіїв. Фактичне використання поворотних сигналів значно варіюється в різних країнах, але їх мета полягає у тому, щоб показати намір водія змінити напрямок руху задовго до виходу з поточного потоку (зазвичай за 3 секунди, як рекомендація).

Перпендикулярні перехрестя є найпоширенішою конфігурацією для перетину доріг одна з одною і є базовим типом перехрестя.

Якщо перехрестя з чотирьох напрямків не мають контролювальних сигналів дорожнього руху, то зазвичай використовуються знаки або інші засоби для керування рухом та встановлення чітких пріоритетів. Найпоширеніша процедура полягає у визначенні пріоритету однієї дороги над іншою, але існують складні ситуації, коли весь наближаючий рух повинен зупинитися на перехресті.

У Європі та інших регіонах існують аналогічні перехрестя, які можуть бути позначені спеціальними знаками з чорним X, що вказує на перехрестя. Цей знак повідомляє водіям, що перехрестя є неконтрольованим, і застосовуються правила за замовчуванням. У Європі та багатьох районах

Північної Америки правила за замовчуванням для неконтрольованих чотиристоронніх перехрестів практично ідентичні:

а) Правила для пішоходів різняться залежно від країни, проте у Сполучених Штатах та Канаді пішоходи, як правило, мають пріоритет на таких перехрестях.

б) Всі транспортні засоби мають уступати дорогу транспортному потоку зправа, за винятком випадків, коли автомобіль повертає направо або продовжує руху по тій же дорозі.

в) Автомобілі, які повертають ліворуч, також повинні уступати дорогу руху, що наближається з протилежного напрямку, за винятком випадків, коли цей рух також повертається.

г) У разі перевантаженості перехрестя транспортні засоби повинні змінювати напрямки або дати пріоритет на правому транспортному засобі за один раз.

3.2 Методи отримання інформації про дорожній рух

Загальновідомо, що транспортні дослідження включають процес збирання інформації про дорожній або інший вид транспорту. Головною метою таких досліджень є створення необхідних передумов (за допомогою збирання початкових даних) для планування, проектування та оптимізації системи "Дорожні умови – транспортні потоки". Отримана інформація, зібрана в процесі досліджень, також буде корисною для оптимізації маршрутів спеціальних транспортних засобів та забезпечення безпеки їх руху.

У сучасних умовах збір інформації про параметри транспортних і пішохідних потоків переважно здійснюється шляхом натурних спостережень, які вимагають залучення значної кількості обліковців. Однак, з розвитком новітніх технологій і їх можливостями для застосування у різних сферах людської діяльності, постає питання про доцільність залучення великої

кількості людей до проведення транспортних досліджень. Тому актуальним є питання максимальної автоматизації цього процесу залученням мінімальної кількості дослідників.

Щоб отримати дані про інтенсивність дорожнього руху в перерізі доріг, можна використовувати короткотермінові спостереження, що передбачають вимірювання інтенсивності та складу транспортного потоку на постійних пунктах обліку. При цьому облік інтенсивності руху проводиться з обов'язковим урахуванням складу потоку за вантажопідйомністю, а також фіксується час і дата спостережень. Однак, враховуючи витрати, пов'язані з установкою та обслуговуванням постійних пунктів дослідження дорожнього руху, раціональним є використання сучасних технічних засобів фіксації транспортних потоків, що дозволить уникнути залучення людей для проведення досліджень.

Зафіксування відеоматеріалів може здійснюватися як у присутності людини, так і автономно. Після проведення необхідних спостережень, отримані дані обробляються в камеральних умовах за допомогою персонального комп'ютера. В результаті обробки, дані можуть бути представлені у формі таблиць або графіків в залежності від поставленої дослідницької задачі.

Для більш повної картини руху, рекомендується встановлювати камеру зверху над об'єктом дослідження, наприклад, над перехрестям. Це дозволить комплексно вивчати параметри руху з усіх напрямків. У такому випадку, застосування квадрокоптера може бути перспективним, оскільки він дозволить здійснювати відеофіксацію транспортних та пішохідних потоків, утримуючись у повітрі над перехрестям і надаючи якісніший матеріал для подальшого аналізу.

Такий підхід також дозволить зменшити кількість дослідників, оскільки більшість роботи можна буде провести в камеральних умовах.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день безпілотна авіація, яка включає розробку безпілотних літальних апаратів, зокрема дронів та

мультикоптерів, активно розвивається. Їх потенціал застосування у різних сферах є широким. Вже зараз вони використовуються в багатьох галузях, таких як сільське господарство, будівництво, пошуково-рятувальні операції, доставка пошти та інші. Крім того, квадрокоптери знаходять застосування в фотографії та кіноіндустрії, оскільки вони дозволяють легко та економічно знімати високоякісні зображення з висоти та під різними кутами. Світовий досвід підтверджує, що квадрокоптери можуть бути ефективними засобами для спостереження та картографування територій, а дослідження у цьому напрямі є дуже важливими та перспективними.

Для реалізації запропонованого способу дослідження параметрів дорожнього руху зі застосуванням БПЛА запропоновано алгоритм проведення досліджень параметрів транспортних і пішохідних потоків (рис. 3.1).

Аналіз відеозапису в камеральних умовах надасть досліднику наступні дані:

- Інтенсивність та склад руху транспорту на магістральних та вуличних дорогах міста.
- Інтенсивність та склад руху автотранспорту на в'їзних дорогах до міста.
- Інтенсивність руху пішоходів.
- Швидкості руху на вулицях та дорогах міста.
- Затримки руху на перехрестях та в окремих ділянках доріг.
- Розташування та умови роботи паркувальних майданчиків для автотранспорту.
- Вихідні дані для оптимізації маршруту спеціальних транспортних засобів.
- Умови руху в областях періодичного скупчення людей, таких як стадіони, парки, вокзали та інше.

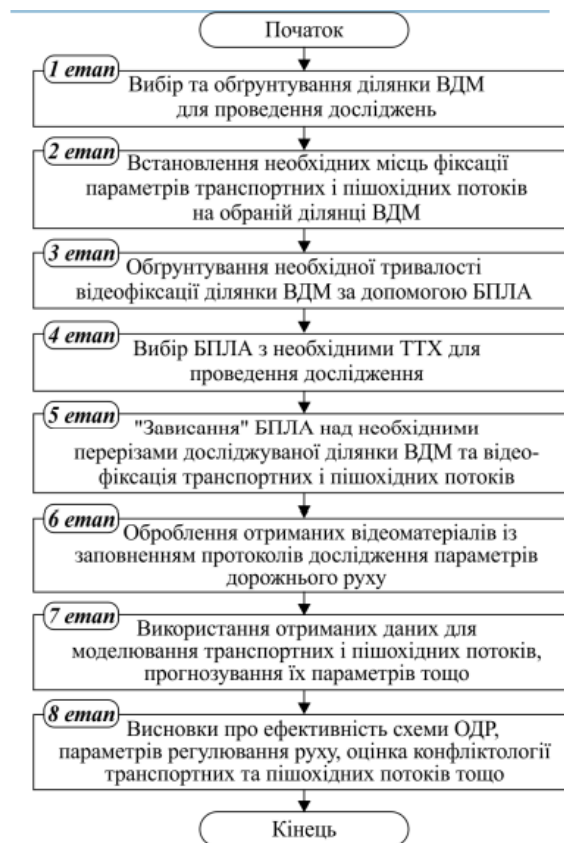


Рисунок 3.1 - Структурна схема імітаційної моделі дослідження параметрів транспортних і пішохідних потоків із використанням запропонованого способу [7]

Отже, використання квадрокоптерів у транспортних дослідженнях суттєво спростить роботу дослідників і підвищить ефективність їхньої праці.

3.3 Автоматична ідентифікація транспортного засобу

Система автоматичної ідентифікації (CAI) є системою, яка забезпечує швидке отримання інформації про місцезнаходження рухомих одиниць, таких як локомотиви і вагони. Вона обробляє та передає дані для подальшого використання в інформаційних системах, що вирішують завдання управління перевезеннями, контролю графіків руху поїздів, обліку простоїв, технічного обслуговування або ремонту локомотивів.

Кожна рухома одиниця обладнується кодовими бортовими датчиками (КБД), які містять інформацію у вигляді унікального восьмизначного номера. Вздовж залізничної колії встановлюються пункти зчитування (ПСЧ) в певних місцях, таких як входи/виходи станцій, депо або ремонтні колії. При проходженні через ці пункти автоматично здійснюється радіочастотне зчитування інформації з датчиків. Отримана інформація, яка включає у себе унікальний код рухомої одиниці, код станції, номер пункту зчитування, напрямок руху, дату, час проходження, а також перелік рухомих одиниць у складі поїзда, передається в автоматизовану систему оперативного управління перевезеннями в реальному часі.

Впровадження системи автоматичної ідентифікації (CAI) в під'їзних коліях промислових підприємств, складів і баз призводить до значного економічного ефекту. Це досягається завдяки автоматичному обліку точного часу прибуття / відправлення вагонів для вивантаження або навантаження, що дозволяє уникнути "людського фактора" при оцінці часу простої рухомого складу.

Основний напрямок розвитку інтелектуальних систем залізничного транспорту в Україні полягає в застосуванні нових інформаційних технологій у перевізному процесі Укрзалізниці (УЗ) на основі автоматизованої системи управління перевезеннями УЗ-Е. Сучасний рівень розвитку автоматизованих систем залізничного транспорту в Україні в значній мірі визначається можливостями і перспективами системи управління перевезеннями УЗ-Е, що забезпечує автоматизовану систему інформаційного забезпечення перевізного процесу.

На сьогоднішній день для автоматичної ідентифікації застосовуються такі методи:

- Зчитування магнітної інформації, що використовує пластинку з намагніченим елементом (магнітною карткою), на якій записані дані.

- Радіочастотна ідентифікація (RFID-технологія), яка використовується за допомогою малопотужного радіопередавача (транспондера), розміщеного на об'єкті, що підлягає ідентифікації.
- Оптичне розпізнавання спеціальних знаків, таких як штрих-коди або букви і цифри на транспортних етикетках.

На рисунках 3.2 і 3.3 використані наступні позначення. Ідентифікатор - це ознака, за якою визначається об'єкт. Ідентифікатори можуть бути унікальними фізичними характеристиками, притаманними конкретному об'єкту або суб'єкту, або спеціально створеними та встановленими пристроями з інформацією, яка зберігається у символній, магнітній або електронній формі (наприклад, картою з штрих-кодом або магнітною картою). Кожен ідентифікатор у системі характеризується унікальним двійковим кодом.

Ідентифікація - це процес визначення об'єкта за його ідентифікатором. Ідентифікатор об'єкта надається зчитувачу, який визначає його і передає у систему унікальний код для проведення процедури розпізнавання.

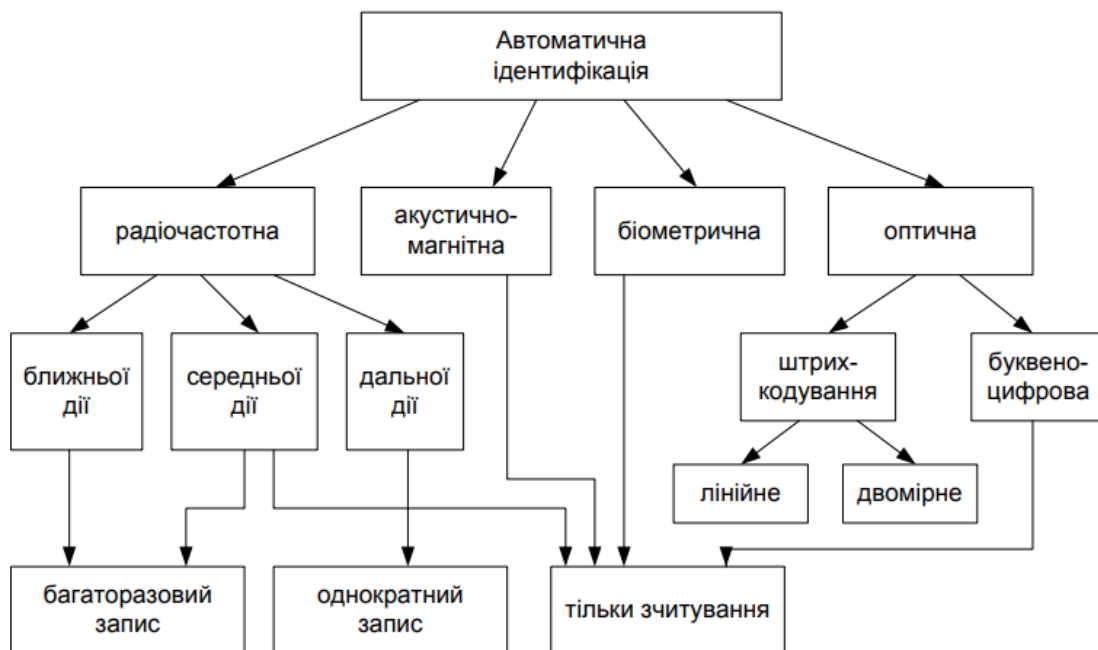


Рисунок 3.2 - Класифікація методів автоматичної ідентифікації

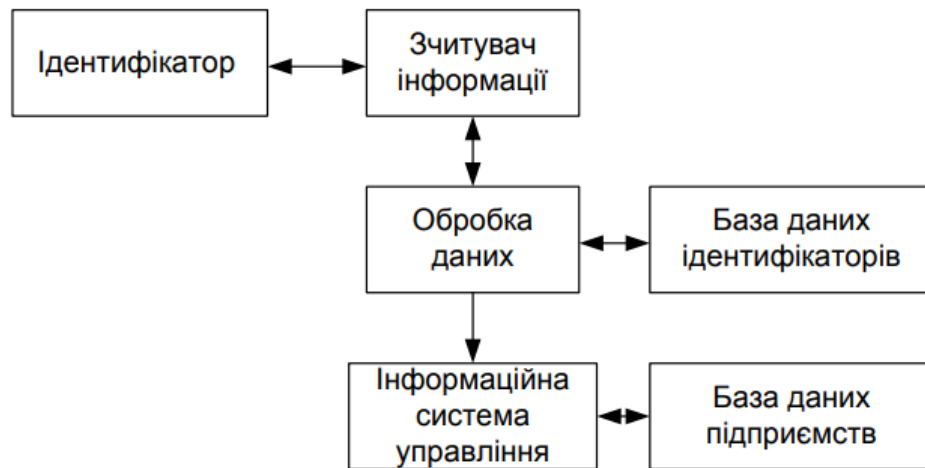


Рисунок 3.3 - Принципова схема роботи системи автоматичної ідентифікації

Забезпечення безпеки руху поїздів є однією з основних завдань, які стоять перед всіма відділами залізничного транспорту, такими як Управління рухом поїздів, автоматика, сигналізація і блокування, локомотивне, вагонне, колійне господарство та інші. Для підвищення безпеки руху поїздів і запобігання аваріям застосовуються різні технічні засоби, включаючи системи відеоспостереження. Для використання систем інтелектуального відеоспостереження з метою підвищення безпеки руху необхідно провести аналіз технічних можливостей цих систем.

Трекінг і ідентифікація є двома основними напрямками в інтелектуальній відеоаналітиці.

Трекінг - це алгоритм обробки відео, який виявляє рух на кадрі, визначає та класифікує рухомий об'єкт, і надає опис його характеристик, таких як розмір, колір і швидкість.

Для здійснення трекінгу можна використовувати наступні методи:

1. Ситуаційні детектори, які спостерігають за об'єктом, що перетинає уявні лінії на кадрі. При перетині об'єктом прямої лінії у заданому напрямку або в разі руху в певній зоні, вихіді об'єкта з зони, зупинки об'єкта в зоні або залишення предмета в зоні, система видає сигнал тривоги.

2. Сервісні детектори, які використовують ІР-камери та спеціальне програмне забезпечення. Вони виявляють перекриття об'єктиву камери, засвічування камери, переміщення або відхилення камери, зміну фону або відсутність фокусування.

3. Інтелектуальний пошук в архівах, який допомагає оператору швидко знаходити необхідний матеріал, враховуючи факт спрацювання детектора, навіть якщо точний час події не відомий.

Проте важливо зауважити, що відеодетектори не заміняють операторів, а лише допомагають їм. Вони надають операторам факти про те, що відбувається, але повністю автоматизувати цей процес неможливо. Все ж таки завжди існує ймовірнісний фактор, коли система може не розпізнати проблему. Наприклад, системи розпізнавання обличчя та автомобільних номерів можуть досягати до 95% точності розпізнавання.

3.4 Модель завантаження мережі

У сучасних умовах транспортні проблеми великих і найбільших міст стають все більш загостреними. Ця ситуація має свої об'єктивні причини. Основна причина полягає в тому, що темпи розвитку транспортних мереж міст не відповідають темпам зростання автомобілізації та дорожнього руху. Внаслідок цього, транспортні мережі великих і найбільших міст перевантажені великими обсягами руху. Особливо це проблематично для центральних районів транспортних мереж міст. Перевантаження транспортних мереж шляхом автомобільного руху має негативні наслідки у соціально-економічній сфері, загрожує безпеці дорожнього руху та екологічним показникам функціонування транспортних мереж міст. Це проявляється у зростанні часу та витрат на переміщення, вартості перевезення вантажів та пасажирів, кількості дорожньо-транспортних пригод, обсягів шкідливих викидів і шумового впливу на мешканців. Недавно стала особливо актуальною проблема негативного впливу

транспортних проблем на психофізіологічний і функціональний стан учасників руху. Ця проблема проявляється у втомі учасників руху, зниженні продуктивності праці на виробництві та побутових конфліктах. Таким чином, зменшення навантаження на транспортні мережі міст є актуальною науково-практичною задачею, яка потребує аналізу існуючих методів і підходів для вирішення даної проблеми, наукового обґрунтування найбільш ефективних напрямків дій у сучасних умовах.

За останні десятиліття років в Україні та за кордоном було накопичено значний досвід у вирішенні транспортних проблем великих і найбільших міст. Існують різні методи вирішення цих проблем, які відрізняються за складністю, трудомісткістю, ефективністю, обмеженнями використання та потребують капітальних та поточних витрат. У цьому контексті управління транспортними потоками розглядається як система, що включає дорожні умови та транспортні потоки. Досліджено методи транспортних досліджень, прогнозування на транспорті, проектування елементів транспортних мереж та оцінки ефективності транспортних систем. Проте, дослідження цих методів не займаються безпосередньо проблемою перевантаження транспортних мереж міст великими обсягами руху.

У одній з робіт детально розглядаються методи організації дорожнього руху, зокрема методи організації паркування, управління транспортними потоками за допомогою світлофорів та оптимізації швидкісного режиму. Проте, в цій роботі не вивчається вплив використання цих методів на завантаження транспортних мереж міст. Такі ж недоліки є характерними і для інших досліджень. Інші роботи розглядають шляхи підвищення ефективності управління дорожнім рухом та умови використання різних методів управління транспортними потоками, але не розглядають зниження завантаження доріг як можливий результат використання цих методів.

В загальному, з аналізу попередніх досліджень можна зробити висновок, що не існує чіткої класифікації сучасних напрямків зниження завантаження транспортних мереж міст рухом. Також не визначено

доцільність використання різних методів організації дорожнього руху в умовах нашої країни.

Після проведеного аналізу різних підходів до вирішення транспортних проблем міст, можна виділити п'ять основних напрямків дій, які спрямовані на зниження завантаження транспортних мереж міст (рис. 3.4). Ці напрямки включають:

- Оптимізацію параметрів транспортної мережі.
- Оптимізацію функціонального зонування міста.
- Державне регулювання у сфері транспорту.
- Управління транспортними потоками.
- Підвищення привабливості маршрутного пасажирського транспорту (МПТ).

Кожен з цих напрямків передбачає впровадження відповідного набору заходів, які можуть мати різну ефективність та реалізаційну можливість. Багато заходів першої групи (рис. 3.4) добре вивчені. Наприклад, дослідження надають умови та рекомендації щодо реконструкції перехресть, влаштування одностороннього руху, реверсивного руху та паркування. У цих дослідженнях також наведені результати ефективності застосування цих заходів. Проте, радикальні заходи, такі як будівництво нових вулиць, розширення існуючих доріг або реконструкція перехресть, вимагають окремого аналізу щодо їх ефективності для конкретних проектів. Для оцінки ефективності таких заходів часто використовують моделювання транспортних потоків. Треба зазначити, що в Україні вже є деякий досвід реалізації більшості заходів першої групи, за винятком влаштування дублюючих магістралей у різних рівнях. Цей захід активно впроваджується у великих містах економічно розвинених країн, але його реалізація в Україні була обмежена значними капітальними витратами.

Заходи другої групи (рис. 3.4) передбачають використання різних методів транспортного планування міст. Оптимізація функціонального

зонування міста пов'язана зі значними змінами у транспортно-планувальній структурі міста і, зазвичай, застосовується під час розробки генеральних планів для нових міст або довгострокової реконструкції існуючих міст. Для оцінки ефективності таких транспортно-планувальних рішень часто використовують оптимізаційні моделі. Заходи цієї групи є достатньо вивченими і широко впроваджуваними в Україні.



Рисунок 3.4 - Класифікація основних напрямків зниження завантаження рухом транспортних мереж міст[8]

Управління транспортними потоками є найбільш поширеним напрямком для зниження завантаження транспортних мереж міста. Використання заходів цього напрямку може бути ефективним як на окремих вулицях транспортної мережі, так і у системах автоматизованого управління дорожнім рухом. В інших країнах було накопичено значний досвід у розробці та впровадженні таких систем, які дозволяють скоротити затримки, ефективно використовувати пропускну здатність транспортної мережі та уникати заторів.

Існуючі методики дозволяють оцінити результати впровадження цих заходів, тому ця група заходів добре досліджена. Проте використання цього напрямку зниження завантаження транспортних мереж міст обмежується економічними та технічними факторами. Останнім часом значна увага приділяється підвищенню привабливості масового пасажирського транспорту (МПТ) у великих містах багатьох країн. Транспортні засоби МПТ мають значно більшу провізну здатність (на 150-200%) порівняно з індивідуальним транспортом.

Тому збільшення частки МПТ в задоволенні транспортного попиту сприяє зменшенню обсягів руху індивідуального транспорту та завантаження транспортних мереж міста. Відповідні заходи постійно використовуються в сучасній практиці. Зазначається, що влаштування "перехоплюючих" паркувань, яке широко застосовується в інших країнах, є перспективним для України. Його мета полягає в створенні умов для жителів передмість переміщатися до центральних районів міст на МПТ, залишаючи свої індивідуальні транспортні засоби на "перехоплюючих" паркуваннях, розташованих у периферійних районах міста. Державне регулювання у сфері транспорту може значно впливати на обсяги руху в містах. Удосконалення державного законодавства є актуальним напрямком дій держави і має значні резерви. Проте для цього потрібні дослідження в інших галузях науки, таких як соціологія, правознавство, демографія та інші. Загалом можна зробити висновок, що серед усіх заходів щодо зниження завантаження транспортних мереж міст найбільш актуальними для нашої країни є влаштування дублюючих магістралей на інших рівнях та "перехоплюючих" паркувань. Однак використання цих заходів потребує детального вивчення можливих наслідків їх впровадження.

Для дослідження ефективності заходів щодо удосконалення функціонування транспортної мережі міста можна використовувати безпосереднє спостереження за транспортними потоками після впровадження керуючих впливів або моделювання транспортних потоків. Спеціалісти у

сфері організації дорожнього руху вважають, що моделювання транспортних потоків є більш прийнятним в даному випадку. Це передбачає створення макроскопічної моделі функціонування транспортної мережі міста. Зокрема, для даного дослідження найбільш доцільним є використання математичної моделі завантаження транспортної мережі.

Для розробки методики дослідження ефективності заходів щодо зниження завантаження транспортних мереж міст доцільно використати підхід, запропонований у викладеній роботі. В найзагальнішому вигляді ця методика представлена на рисунку 3.5.

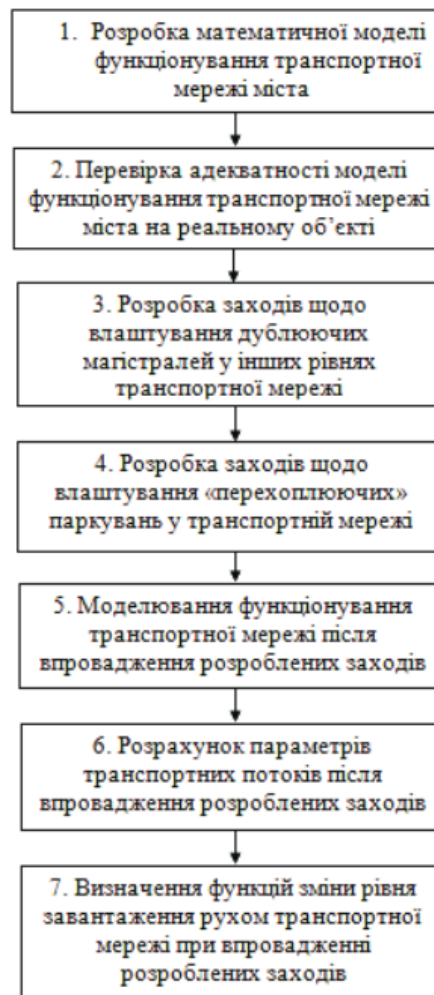


Рисунок 3.5 - Структурна схема методики дослідження ефективності різних заходів щодо зниження завантаження рухом транспортних мереж міст [8]

Вона базується на моделюванні транспортних потоків і надає можливість зібрати значну кількість статистичних даних щодо зміни параметрів функціонування транспортної мережі міста після впровадження обраних заходів зниження завантаження. Подальша обробка цієї статистики з використанням методів теорії ймовірностей та математичної статистики дозволить отримати функції, які допоможуть оцінити ефективність впроваджених заходів щодо зниження завантаження рухом транспортної мережі міста.

3.5 «Розумні» світлофори

"Розумний світлофор" є надійним помічником для пішоходів та водіїв, який забезпечує безпечний перехід пішоходів та плавний рух автомобілів. Цей інтелектуальний світлофор аналізує ситуацію на дорозі та тротуарі, надаючи перевагу руху різним учасникам залежно від обставин. Крім того, "розумний світлофор" може створити систему штрафів з фіксацією та контролем подій на дорозі. Ця робота спрямована на користь всіх громадян, забезпечуючи безпеку у повсякденному житті та відкриваючи можливість покращити світ. Шляхом правильного регулювання сигналів світлофору відповідно до обставин, "розумний світлофор" може зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод до мінімуму.

Основні терміни, що стосуються авто-світлофора:

- Такт: період, протягом якого показуються певні комбінації сигналів.
- Головний такт: хронологічний період, коли рух транспортних засобів (іноді пішоходів) дозволений.
- Проміжний такт: хронологічний період, під час якого готується перемикання дозволу на рух наступній групі автомобілів (іноді пішоходів).
- Фаза регулювання: сукупність головного та проміжного тактів.

- Регулювальний цикл: послідовність фаз, яка повторюється з певною періодичністю.
- Режим світлофорного регулювання: часові параметри фаз, тактів та тривалість регулювального циклу.
- Схема роз'їзду: візуальне хронологічне представлення конфліктних автомобільних потоків.
- Циклограма регулювання світлофора: візуальна схема послідовності та тривалості горіння світлофорних сигналів на всіх можливих маршрутах на вулиці.

Незважаючи на простоту та надійність механізму світлофорного регулювання, існує значний недолік, а саме неможливість регулювання трафіку на основі зовнішніх входних даних. Під зовнішніми даними розуміються такі елементи, як завантаженість доріг та тип транспорту.

Наразі в Україні не проводяться глобальні розробки у сфері розумної регуляції руху. На деяких стартап-ресурсах існують декілька ідей, які очікують інвестицій і пропонують розумну регуляцію руху на основі завантаженості доріг автомобільним потоком. Також розглядається можливість впровадження розумного виявлення порушень правил дорожнього руху та накладення штрафів.

Створення нових інформаційних технологій є важливим фактором для суспільного розвитку. Ці технології впливають на інші матеріальні та нематеріальні виробничі процеси, у результаті чого формується новий стиль роботи та загальний спосіб життя. Основна мета інформаційних технологій полягає в розробці методів і засобів формування та підтримки інформаційних потоків у системах управління об'єктами, включаючи регулювання дорожнього руху.

Іншим аспектом, який потребує автоматизації, є збір інформації про поломки світлофорів. З наявністю історичних даних та помилок в системі,

технічному персоналу значно полегшується виявлення проблем та їх виправлення.

У поточній роботі, як і в будь-якій програмі, існує користувач (клієнт). У даному випадку державна дорожня служба або приватне підприємство виступають користувачами програми. Функціонал, доступний для гостя (клієнта), показано на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 - Можливості користувача[9]

Загальна схема регулювального алгоритму системи розумного світлофора представлена на рисунку 3.7.[9]



Рисунок 3.7 - Спрощена структура алгоритму системи регулювання дорожнього трафіку[9]

Алгоритм визначення об'єктів на кадрі буде розпізнавати транспортні засоби, зокрема автомобілі різних розмірів і мотоцикли. Визначення сторонніх предметів відключено. Коли автомобілі будуть виявлені, система спробує підрахувати їх за осями x і y , після чого визначить, яка сторона вважається більш завантаженою. Залежно від завантаженості сторони, буде надано пріоритет переходу із відповідним часом, який залежить від кількості автомобілів. Цей час не повинен перевищувати максимально допустимий час для проходження. Зелене світло для одного потоку може повторюватись лише 3 рази.

Також існує алгоритм для визначення часу потрібного на проходження ділянки з світлофором він описується наступним чином: системою детекції

YOLO визначається число автомобілів, які перебувають на світлофорній ділянці, в класі контролера є константа, яка відповідає за проходження автомобілів, коефіцієнт проходження множиться на кількість авто, в кінцевому результаті отримуємо час на проходження. Варто зауважити, що існує інша константа, яка вказує на максимальний час проходження, вона запобігає протяжній в часі відкритості завантаженої осі. Схема алгоритму наведена нижче. Система також зберігає стан світлофора в конкретну ділянку часу, записуючи дані в файлову систему. Для зберігання файлів в файловій системі не використовується жодна з обгортки, оскільки операції з файлами є простими – створення, оновлення, видалення, читання. До застосування був обраний стандартний пакет “os”[10].

3.6 «Розумні парковки»

Інноваційна система Smart Parking є вирішенням, яке допомагає впоратися з проблемою нестачі паркомісць у великих містах. Зростання кількості автомобілів, високі ціни на землю, обмежені площі та високі витрати на будівництво підземних гаражів, що виходять за межі бюджетів інвесторів, роблять систему Smart Parking привабливою альтернативою традиційним парковкам.

Smart Parking - це дуже проста у використанні та добре розроблена парковочна система, яка надає щоденні зручності.

Система Smart Parking зазвичай отримує інформацію про наявні місця для паркування в певній географічній зоні, а процес – у режимі реального часу, щоб розмістити транспортні засоби у вільних місцях [11]. Система Smart Parking використовує недорогі датчики для збору даних у реальному часі, а також автоматизовані платіжні системи з підтримкою функцій мобільного телефону. Це дозволяє водіям заздалегідь зарезервувати місце для паркування або точно передбачити, де ймовірніше знайти вільне місце.

Всі ці функції допомагають підвищити зручність і ефективність паркування для водіїв.

Розгляне існуючу парковку «P+» Smart Parking пропонує переконливе рішення задачі обмеженого місця для паркування [11]. Smart Parking є гнучкою, масштабованою і мобільною системою, яка дозволяє власникам та операторам парковок швидко збільшувати їх потужність. Вона стала широко використовуваним механізованим рішенням для паркування в країнах Європейського Союзу та Азії. Застосування сучасних інформаційно-комунікаційних технологій дозволяє збільшити попит на паркування, привернути нових клієнтів і розширити зони паркування.

Встановлення системи Smart Parking є швидким і зручним. Вона ідеально підходить для сучасних ділових районів, історичних старих міст, житлових комплексів та торгових центрів.

Ось деякі переваги цієї системи:

- Легкість в використанні: для припаркування або забору автомобіля потрібно лише ввести чотиризначний PIN-код за вашим вибором.
- Швидка реалізація: систему Smart Parking можна швидко впровадити у вашому місті.
- Довговічність: система має тривалий термін служби.
- Низький рівень шуму і вібрації: Smart Parking може бути розташований недалеко від житлових і офісних будівель, не завдаючи незручностей мешканцям або працівникам.
- Енергоефективність: система має низьке енергоспоживання, залежно від моделі пристрою.
- Простий процес технічної перевірки: структура та механізм автоматизованої системи паркування дуже прості, тому технічні перевірки можуть бути проведені швидко й ефективно.

- Загалом, система Smart Parking надає зручність, ефективність та комфорт для користувачів, а також мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище та життя місцевих жителів.

Smart Parking обладнаний оптичними датчиками на вході, сигнальними лампами, аварійними вимикачами і захисним обладнанням від падіння з висоти [11].

Смарт-парковка була розроблена таким чином, щоб зберегти вас і ваш автомобіль в безпеці (див. рис 3.8)



Рисунок 3.8 - Загальний вигляд Smart Parking [11]

При використанні системи Smart Parking вам не потрібно турбуватися про злодіїв або про те, що хтось зруйнує ваш автомобіль, треті особи не мають доступу до користування вашим автомобілем.

Простий спосіб паркування в автоматизованій системі паркування знижує до мінімуму можливість випадкових ударів автомобіля та подряпин.

Smart Parking є екологічно чистим. Немає необхідності шукати місця для паркування, що призводить до зниження викидів шкідливих газів. Завдяки застосуванню розумних рішень для паркування, працівники правоохоронних органів можуть бути негайно попереджені про всі порушення [11]. Водіям може надаватись інформація про важливість кожної проблеми в пріоритетному порядку. Це допоможе їм оперативно вирішувати серйозні порушення та уникати проблем, перш ніж займатися менш тривіальними випадками паркування.

При використанні системи Smart Parking ви можете бути спокійні щодо можливості крадіжок або пошкоджень вашого автомобіля, оскільки треті особи не мають доступу до користування ним. Простий спосіб паркування в автоматизованій системі зменшує ризик випадкових пошкоджень автомобіля, таких як удари та подряпини.

Smart Parking є екологічно чистим рішенням, оскільки воно усуває необхідність у пошуку парковочного місця, що призводить до зниження викидів шкідливих газів.

Завдяки впровадженню розумних рішень для паркування, працівники правоохоронних органів можуть отримувати негайні сповіщення про всі порушення. Їм надається інформація про важливість кожного з них в пріоритетному порядку, що дозволяє їм швидко реагувати на серйозні порушення та уникати проблем, перш ніж переходити до менш значущих випадків паркування.

Основні переваги розумного паркування включають:

- **Збереження часу:** Системи інтелектуального паркування, які з'єднані з централізованими хмарними серверами, повідомляють про наявність вільних паркомісць через мобільний додаток, що дозволяє уникнути зайвого кружляння навколо паркувальних зон. Автоматизація не лише надає водіям вказівки щодо паркування, але й спрощує процес оплати. Мобільний додаток діє як орієнтир для паркування, вбудовуючись у GPS-трекер клієнта, визначаючи місце та тарифну ставку за паркування,

автоматично стягуючи вартість в цифровому форматі. Це допомагає зекономити час та гроші для багатьох операторів паркування, створюючи виграшну ситуацію як для водіїв, так і для операторів.

- Ефективне управління паркуванням: Розумне паркування не обмежується простою створенням додаткових паркомісць. Воно також включає великий обсяг збору та управління даними, доступ до статистичних даних та аналітики в режимі реального часу для покращення можливостей паркування, більш ефективне керування трафіком та тарифами, а також забезпечення простоти та прозорості процесу для кінцевих користувачів. За згодою водіїв щодо збору даних, розумне паркування допомагає передбачати майбутнє навантаження на дорогу та автоматизувати тарифи для паркування. Крім того, це створює гіперперсоналізований досвід, враховуючи соціальні виплати та державні субсидії, які автоматично пропонуються мандрівникам з певними категоріями, такими як пенсіонери та студенти. Все це сприяє підвищенню доступності та зручності для мешканців міста.

- Спрощення процедури оплати паркування: має велике значення. Чекати в чергах для оплати або шукати автомати робить паркування неприємним. Для клієнтів, які цінують свій час, поліпшення досвіду паркування є важливим для збереження існуючих клієнтів і привернення нових. Зменшення кількості кроків до оплати значно підвищує ймовірність того, що клієнт зробить оплату. Це стосується і паркування, де простий механізм оплати зменшує ризик втрати платежу.

- Так, німецька компанія Clevercity пропонує інноваційне сенсорне рішення, яке систематично збирає інформацію про наявні та зайняті парковочні місця в режимі реального часу. Кожен датчик охоплює до 30 паркомісць і може бути встановлений на ліхтарних стовпах, будівлях або щоглах, не вимагаючи проведення дорожніх робіт. Він надає оновлені дані кожні 3 секунди і має нічний режим, що дозволяє йому працювати без додаткового освітлення або інфрачервоного випромінювання.

Американська компанія Parkwise розробила мобільний додаток, використовуючи штучний інтелект, який з'єднує водіїв за допомогою їх смартфонів і сприяє легшому пошуку вільних паркомісць. Крім того, коли водій готовий звільнити парковочне місце, програма автоматично повідомляє інших водіїв про доступну парковку.

3.7 Принцип вибору подорожей

Принцип вибору подорожі визначає, як мандрівники обирають свої маршрути, час відправлення, режими та пункти призначення, що моделює їх схильність до поїздки. Прогнозування вибору маршруту користувача є складним завданням. Деякі фактори, які ускладнюють прогнозування, включають:

- Вплив кожного вибору на подальший вибір: Кожен вибір, зроблений мандрівником, може впливати на його майбутні рішення щодо маршруту.
- Частота виникнення непередбачуваних подій, таких як дорожньо-транспортні пригоди: Непередбачувані події можуть вплинути на рішення мандрівника щодо маршруту, змінюючи його уподобання та пріоритети.
- Випадкова поведінка користувачів мережі при виборі маршруту: Поведінка користувачів може бути випадковою і не підпорядковуватися строгим правилам або моделям.

З урахуванням цих недетермінованих факторів моделі вибору подорожі поділяються на дві групи: стохастичні та нестохастичні методи. Стохастичні методи враховують невизначеність імовірнісними моделями, в той час як нестохастичні методи базуються на більш детальних правилах і обмеженнях, що визначають вибір маршруту.

Перший принцип Wardrop передбачає, що кожен користувач має правильне розуміння найкоротшого шляху і вибирає маршрут, який мінімізує його власний час подорожі. У цій моделі передбачається, що користувачі не

можуть змінити своє рішення після вибору маршруту. Якщо всі водії вибирають оптимальний маршрут, це призводить до рівноважної розподілу трафіку по мережі в цілому.

Однак перший принцип Wardrop не моделює точно умови реальної мережі транспорту. Він не враховує випадкові компоненти та недетермінований попит. Тому дослідники використовують стохастичні методи для моделювання вибору маршруту. У стохастичних методах маршрути, які мають менший стохастичний час подорожі, мають більшу ймовірність бути вибраними. Більшість цих моделей припускають, що водії не мають точного сприйняття витрат на кожному маршруті і що поїздки між парами початкової і кінцевої точок розподіляються між маршрутами з найменшими витратами. Для цих підходів запропоновано аналітичні моделі, які базуються на різних розподілах випадкових компонентів, таких як нормальний, гумбельний, гамма, лог-нормальний тощо.

3.8 Висновки з розділу 3

Інтелектуальна система керування дорожнім рухом є важливою складовою концепції "Розумного міста" та використовує автоматизовані методи для ефективного контролю та управління рухом транспорту. Для забезпечення цього використовуються різні методи отримання інформації про дорожній рух, такі як сенсори, камери спостереження та датчики швидкості.

Одним з важливих аспектів є автоматична ідентифікація транспортного засобу. Це дозволяє системі точно визначити транспортні засоби та отримувати інформацію про них. Така ідентифікація може здійснюватися за допомогою RFID-міток та систем розпізнавання номерних знаків.

Модель завантаження мережі також грає важливу роль у системі керування дорожнім рухом. Ця модель допомагає розподілити трафік на

дорогах та уникнути перевантажень, забезпечуючи ефективність руху транспорту.

"Розумні" світлофори та "розумні" парковки є додатковими компонентами системи, які допомагають покращити керування дорожнім рухом. Розумні світлофори можуть адаптивно регулювати світлофорний режим залежно від потоку транспорту, а розумні парковки дозволяють водіям швидко знайти вільне місце для паркування.

Принцип вибору подорожей використовується для прокладання оптимального маршруту на основі різних факторів, таких як трафік, час та вартість поїздки. Це допомагає водіям ефективно планувати свої поїздки та уникати заторів.

Всі ці принципи та технології використовуються для створення більш сталого, безпечного та раціонального дорожнього руху в містах, що є однією з головних мет концепції "Розумного міста".

ВИСНОВКИ

В останні роки концепція «Smart City» стала все більш популярною в контексті розвитку сучасних міст. Її основна мета полягає у використанні передових технологій та інноваційних рішень для покращення якості життя мешканців, забезпечення сталого розвитку та оптимізації різних аспектів міського середовища. Один з ключових напрямків реалізації концепції «Smart City» відноситься до керування дорожнім рухом, де технологія Інтернету речей (IoT) має великий потенціал.

Основні складові «Розумного міста» включають у себе інфраструктуру, транспортні системи, енергетику, охорону здоров'я, освіту, житлове будівництво та інші. Технології та стандарти, що використовуються у «Розумних містах», гарантують взаємодію між різними системами та їхню інтеграцію в єдину платформу. Це дозволяє забезпечити ефективне керування різними аспектами міста, включаючи дорожній рух.

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) є однією з важливих складових концепції «Smart City». Вони передбачають використання передових технологій для оптимізації руху транспорту, зменшення транспортних заторів, покращення безпеки та забезпечення сталого розвитку транспортної інфраструктури. ІТС залежить від використання технологій Інтернету речей, де різні пристрої та сенсори підключені до Інтернету та здатні обмінюватися даними між собою.

Структура послуг ІТС включає в себе такі компоненти, як системи моніторингу транспорту, системи навігації, системи контролю доступу, системи оплати, системи екстреної допомоги та багато інших. Інтеграція цих компонентів з використанням технологій IoT дозволяє створити комплексну систему, яка може ефективно керувати дорожнім рухом та забезпечити безпеку та комфорт для мешканців міста.

Розвиток ІТС в Україні також є актуальним питанням. Україна має великий потенціал для впровадження інтелектуальних транспортних систем,

оскільки міста стикаються з проблемами транспортних заторів та неефективного використання транспортних ресурсів. Застосування технологій IoT в ІТС може допомогти вирішити ці проблеми шляхом оптимізації руху транспорту, покращення координації між різними видами транспорту та забезпечення ефективного використання інфраструктури.

Інтелектуальна система керування дорожнім рухом включає в себе різні компоненти, які співпрацюють для оптимізації руху транспорту. Автоматизована система керування дорожнім рухом забезпечує збір та обробку інформації про дорожній рух з використанням сенсорів, камер спостереження, датчиків швидкості та інших пристроїв. Ця інформація дозволяє визначити поточну ситуацію на дорогах та приймати відповідні рішення для оптимізації руху.

Один з принципів використання IoT в керуванні дорожнім рухом - це автоматична ідентифікація транспортного засобу. За допомогою технологій, таких як RFID-мітки та системи розпізнавання номерних знаків, можна автоматично визначити транспортні засоби та отримувати інформацію про них. Це дозволяє вести облік руху транспорту, контролювати швидкість та виконувати інші функції для забезпечення безпеки та ефективності дорожнього руху.

Крім того, використання «розумних» світлофорів та «розумних» парковок також є важливим принципом в керуванні дорожнім рухом. Розумні світлофори можуть адаптивно регулювати світлофорний режим залежно від потоку транспорту, що сприяє покращенню пропускної спроможності та зменшенню заторів. Розумні парковки дозволяють водіям швидко знайти вільне місце для паркування, що зменшує час пошуку та сприяє зменшенню транспортних заторів у місті.

Принцип вибору подорожей також має велике значення у керуванні дорожнім рухом. За допомогою технологій IoT та систем навігації можна надати водіям оптимальні маршрути з урахуванням поточної ситуації на дорогах, що допомагає зменшити затори та скоротити час поїздки.

Загалом, використання технології Інтернету речей у керуванні дорожнім рухом в рамках концепції «Smart City» має великий потенціал для покращення якості життя мешканців, забезпечення ефективності та безпеки руху транспорту. Інтелектуальні транспортні системи, розумні світлофори, автоматична ідентифікація транспорту та принцип вибору оптимальних маршрутів - це лише кілька прикладів принципів, що можуть бути успішно застосовані в цій сфері. Впровадження цих принципів сприятиме створенню більш сталого та раціонального дорожнього руху в містах майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У СУЧАСНОМУ СВІТІ ТЕХНІКИ// електро н. текст. дан і URL:
https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/6_2020/part_1/26.pdf
2. Єршова, О. Л. Бажан, Л. І. // Розумне місто – концепція, моделі, технології, стандартизація// електро н. текст. дан і URL:
<http://194.44.12.92:8080/jspui/handle/123456789/5372>
3. ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ// електро н. текст. дан і URL:
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42078/1/Zhurakovskiy_B_Zeniv_Tehnologii_internet_rechey.pdf
4. <https://smartundp.wordpress.com/2012/01/20/smart-city-%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%83%D0%BC%D0%BD%D0%B5-%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE/>
5. http://re.gov.ua/re201402/re201402_156_RybachynskaOR.pdf
6. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/d4801948-f065-4dc7-b00d-83aeeb1c225b/content>
7. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2017/27_9/29.pdf
8. <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/19545>
9. [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2020/VKNU-%D0%A2S-2020-N4_T1_\(287\).pdf#page=44](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2020/VKNU-%D0%A2S-2020-N4_T1_(287).pdf#page=44)
10. [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2020/VKNU-%D0%A2S-2020-N4_T1_\(287\).pdf#page=44](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2020/VKNU-%D0%A2S-2020-N4_T1_(287).pdf#page=44)
11. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/28548/2/SNT_2019_Yankovska_D-Analysis_of_existing_smart_59-60.pdf