

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування використання автоматизованої системи управління
дорожнім рухом на регульованому перехресті міста Тернопіль

Виконав: студент 6 курсу, групи МНм-61

спеціальності 275 Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

Бордун В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дзюра В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

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

Факультет _____ інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра _____ автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«20» листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
(шифр і назва спеціальності)
студенту _____ Бордуну Володимирі Львовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Обґрунтування використання автоматизованої системи управління
дорожнім рухом на регульованому перехресті міста Тернопіль

Керівник роботи _____ Цьонь Олег Петрович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» _____ листопада _____ 2023 року № 4/7-1070

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи схема регульованого перехрестя міста Тернопіль

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

1. Фундаментальні принципи та концепції АСУДР. 2. Компонування та елементи АСУДР.

3. Процес роботи АСУДР. 4. Кількісні значення показників функціонування АСУДР.

5. Інтелектуальні системи транспорту. 6. Штучні нейронні мережі. 7. Механізм функціонування та витрати на встановлення і обслуговування удосконаленої АСУДР. 8. Визначення непрямого економічного ефекту. 9. Основні причини скоєння дорожньо-транспортних пригод та безпека учасників ДР.

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

1. Титульний лист. 2. Принцип та структура АСУДР. 3. Структура Центрального

управлінського пункту АСУДР. 4. Інформаційні транспортні системи. 5. Зарубіжні АСУДР.

6. Блок-схема функціонування удосконаленої АСУДР. 7. Перехрестя вул. Злуки – Купчинського – 15 квітня м. Тернопіль. 8. Вартість обладнання, розрахунок амортизаційних відрахувань та непрямий економічний ефект від реалізації запропонованих заходів. 9. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Огляд функціональних можливостей автоматизованої системи керування дорожнім рухом	28.11.2023 р.	
2	Розділ 2. Аналіз та обґрунтування характеристик міжнародних аналогів автоматизованих систем управління дорожнім рухом	05.12.2023 р.	
3	Розділ 3. Оптимізація алгоритму функціонування та аналіз витрат на сервіс і експлуатацію автоматизованої системи дорожнього управління	13.12.2023 р.	
4	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	19.12.2023 р.	
5	Загальні висновки	20.12.2023 р.	
6	Перелік посилань	21.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Бордун В.Л.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Цьонь О.П.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ	
1.1. Фундаментальні принципи та концепції АСУДР	8
1.2. Компонування та елементи АСУДР	13
1.3. Процес роботи АСУДР	17
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЖНАРОДНИХ АНАЛОГІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ	
2.1. Кількісні значення показників функціонування АСУДР	27
2.2. Інтелектуальні системи транспорту	31
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ВИТРАТ НА СЕРВІС І ЕКСПЛУАТАЦІЮ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОРОЖНЬОГО УПРАВЛІННЯ	
3.1. Штучні нейронні мережі	51
3.2. Механізм функціонування та витрати на встановлення і обслуговування удосконаленої АСУДР	52
3.3. Визначення непрямого економічного ефекту	60
3.4. Визначення економічного ефекту від впровадження АСУДР	63
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1. Вплив дорожньо-транспортних ситуацій на безпеку людини	67
4.2. Стоннення, його причини та психофізіологічні механізми	68
4.3. Основні причини скоєння дорожньо-транспортних пригод та безпека учасників ДР	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	75

РЕФЕРАТ

Актуальність теми роботи. Якість автомобільних перевезень та безпека дорожнього руху є ключовими факторами, які безпосередньо корелюють із ефективністю керування транспортними та пішохідними потоками. В сучасних умовах дорожній рух стає вирішальним аспектом у соціально-економічному прогресі міст і цілих регіонів, вимагаючи інтеграції та синхронізації різноманітних елементів інфраструктури.

Саме тому необхідно застосовувати передові технології для збирання та аналізу даних про транспортні потоки, що дозволять їх оптимізувати, знизити рівень заторів і забезпечити плавність руху. Окрім того, за допомогою цих технологій можна прогнозувати і попереджувати потенційні проблеми на дорогах, підвищувати рівень дорожньої безпеки та зменшувати ризики виникнення ДТП, тим самим сприяючи безпеці усіх учасників дорожнього руху.

Мета роботи: обґрунтування доцільності введення автоматизованої системи управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста Тернопіль.

Об'єкт, методи та джерела дослідження. Предметами аналізу виступають міське світлофорне регулювання та потоки транспортних засобів. Для проведення дослідження застосовуються такі методики: аналіз економічної статистики, візуалізація даних, метод порівняння та створення математичних моделей.

Наукова новизна отриманих результатів:

- застосовані статистичні методики для аналізу міських транспортних потоків;
- оптимізовано алгоритм функціонування системи автоматичного управління ДР.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано шляхи підвищення ефективності функціонування ВДМ завдяки застосуванню АСУДР. Отримані результати досліджень придатні для застосування в практичних умовах.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається із реферату, вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 77 арк. формату А4.

ВСТУП

У сучасному світі, де темпи урбанізації неухильно зростають, а кількість автомобілів на дорогах міст продовжує збільшуватися, виникає гостра необхідність в оптимізації дорожнього руху. Це не тільки питання зручності, але й безпеки, екології та економічної ефективності. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом (АСУДР) відіграють ключову роль у вирішенні цих питань, забезпечуючи раціональне використання дорожньої інфраструктури, зниження заторів та підвищення безпеки на дорогах.

Сучасні АСУДР включають в себе різноманітність сенсорів, камер, алгоритмів обробки даних та засобів комунікації, які разом формують інтелектуальну систему, здатну адаптуватися до змінних умов руху та оптимізувати роботу світлофорних об'єктів та інших елементів дорожнього регулювання.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

1.1. Фундаментальні принципи та концепції АСУДР

У контексті сучасного розвитку України проблема транспортної інфраструктури набуває особливої гостроти. Стійке зростання автопарку в країні не супроводжується адекватним розвитком дорожньої мережі. Якщо в 1998 році показник у 100 автомобілів на тисячу мешканців був визнаний критичним, то сьогодні ми стикаємося із ще більшим навантаженням на міську інфраструктуру, де реальна кількість автомобілів значно перевищує вмістимість доріг.

Ситуація ускладнюється прогнозами щодо подальшого зростання кількості транспортних засобів до 200-300 на тисячу осіб, що призводить до виникнення транспортних заторів, зниження середньої швидкості руху в години пік до критичних 10-15 км/год, та, як наслідок, до збільшення аварійності та екологічної небезпеки.

Проте, з метою невідкладних заходів, уряд України ухвалив рішення про реалізацію комплексної програми покращення дорожньої безпеки до 2030 року. Однак акцент у програмі, насамперед, зроблено на питаннях безпеки, а не на оптимізації руху та мінімізації транспортних заторів.

З огляду на це, необхідно розширити політику у сфері транспорту, акцентуючи увагу на розвитку альтернативних способів пересування: розвиток громадського транспорту, створення умов для велосипедного та пішохідного руху, та впровадження інтелектуальних систем управління ДР. Ініціативи цієї направленості допоможуть не тільки зменшити навантаження на дорожню мережу, але й сприятимуть підвищенню якості життя міської спільноти через

поліпшення екологічної ситуації та зниження рівня дорожньо-транспортних пригод.

Програма покращення дорожнього руху включає ряд ініціатив, які відображають потребу в глибокому переосмисленні та модернізації системи міського транспорту. Серед запропонованих заходів особливу увагу заслуговує інтеграція сучасних технологій, які відкривають нові перспективи для оптимізації міського руху.

Незважаючи на необхідність капіталовкладень для реалізації масштабних архітектурних проектів, актуальність організаційних змін, що не вимагають значних витрат, але здатні значно поліпшити ситуацію, зростає. В цьому контексті, стратегічним напрямком є впровадження інноваційних рішень: використання комп'ютерних технологій, автоматизації, систем диспетчерського контролю та відеоспостереження. Ці методи спрямовані на управління транспортними потоками в реальному часі, враховуючи динаміку міського життя.

Сучасний етап впровадження таких систем у містах України вже передбачає функціонування автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР) на основі оперативних диспетчерських центрів. Проте, надалі планується розширення функціоналу та можливостей цих систем. Зокрема, акцент буде зроблено на інтеграцію з різними транспортними службами, використання даних від сенсорів руху, аналітичних інструментів для прогнозування трафіку, та створення єдиної інформаційної мережі. Все це має на меті не тільки поліпшення умов руху, але й забезпечення безпеки, зниження екологічного навантаження, та підвищення якості життя міського населення.

Описуючи переваги та можливості АСУДР, важливо використовувати конкретні приклади, термінологію та аббревіатури, що допоможуть чітко представити специфіку та комплексність системи (див. таблиця 1.1) [1-3, 5-7].

Використовувані абрєвіатури і скорочєння

Назва	Визначєння
Вулично-дорожня мережа (ВДМ)	Сукупність ділянок доріг, об'єднаних за адміністративним або географічною ознакою
Транспортний потік (ТП)	Сукупність транспортних засобів
Пішохідний потік (ПП)	Сукупність пішоходів
Світлофорний об'єкт (СО)	Комплекс обладнання, встановлений на ділянці ВДМ і призначений для управління транспортними та пішохідними потоками
Диспетчерське управління (ДУ) дорожнім рухом	Спосіб управління світлофорної сигналізацією і позиціями керованих знаків оператором
План координації дорожнього руху	План, який регламентує порядок включєння світлофорних сигналів і позицій керованих знаків з метою створєння координованого управління дорожнім рухом
Проміжний т акт	Період, протягом якого діє одна або кілька комбінацій світлофорних сигналів, призначених для розвантаження перехрєстя при переході до наступного основного такту
Фаза	Сукупність основного та наступного за ним проміжного такту

Автоматизована система управління дорожнім рухом (АСУДР) представляє собою інтегровану мережу технологій та стратегій, спрямованих на оптимізацію транспортних потоків, підвищення безпеки дорожнього руху, зменшення часу учасників руху в дорозі, а також на поліпшення екологічного стану міських зон за рахунок зниження викидів шкідливих речовин від автотранспорту [1-3, 8].

Одним з ключових елементів в системі АСУДР є світлофорне регулювання. Сучасні світлофори здатні працювати у різних режимах: вони можуть функціонувати як самостійні установки, синхронізуватися з іншими світлофорами для створєння плавного транспортного потоку, а також інтегруватися в ширші системи АСУДР. Таке інтегроване управління сприяє ефективній реакції на зміни в транспортному потоці, аварійні ситуації, ремонтні роботи та інші непередбачені обставини, що можуть виникнути на дорогах [1-3, 6-10].

Окрім того, сучасні тенденції в сфері АСУДР включають впровадження систем автоматизованого моніторингу за допомогою відеокамер, інтелектуальних транспортних систем, які можуть надавати дорожню інформацію в реальному часі, а також використання даних від сенсорів і GPS-трекерів для аналізу та прогнозування транспортних потоків. Це дозволяє оперативно реагувати на проблемні ситуації та оптимізувати рух, забезпечуючи комфортні та безпечні умови для всіх учасників дорожнього руху.

Автономне світлофорне регулювання, яке часто застосовується на окремих перехрестях, функціонує незалежно і контролює дорожній рух за допомогою встановленого режиму, не синхронізуючись з іншими світлофорами. З іншого боку, координоване світлофорне регулювання є частиною більш складної стратегії, що націлена на забезпечення плавності транспортних потоків на декількох перехрестях шляхом синхронізації роботи світлофорів.

Основна ідея координованого регулювання полягає у створенні "зеленої хвилі", коли ряд світлофорів налаштовується таким чином, що автомобілі, які рухаються зі встановленою оптимальною швидкістю, бачать переважно зелені сигнали на кількох перехрестях. Це вимагає від світлофорів працювати в унісон із стабільною тривалістю кожного циклу світлофора, а також потребує постійного зрушення фаз між сусідніми перехрестями.

Метою інтеграції АСУДР є мінімізація затримок транспорту, підвищення ефективності дорожнього руху та покращення безпеки, охоплюючи широку мережу перехрестів в певному районі чи на території всього міста. Система працює на основі ретельного аналізу транспортних потоків, використовуючи дані в реальному часі, щоб оптимізувати параметри світлофорного регулювання. Схематичне зображення принципу роботи АСУДР можна побачити на рисунку 1.1 [15-19].

Завдяки сучасним технологіям, АСУДР забезпечує більш динамічне та адаптивне управління, що може автоматично налаштовуватися відповідно до поточних умов дорожнього руху, тим самим підвищуючи загальну продуктивність транспортної інфраструктури.

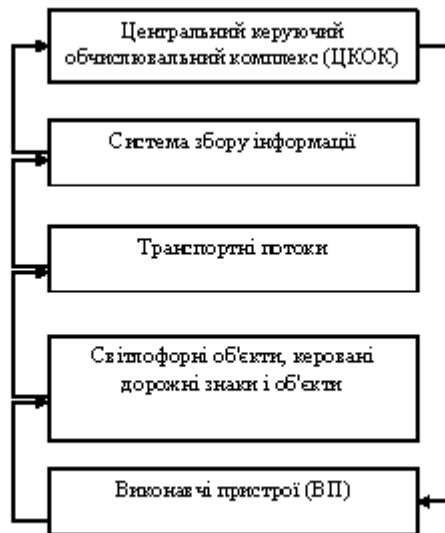


Рисунок 1.1 - Принцип роботи АСУДР

Перехрестя оснащуються передовими системами збору даних, включно з датчиками транспортного потоку та відеокамерами. Ці системи, відомі як Системи Збору Інформації (СЗІ), стежать за критичними параметрами руху, зокрема інтенсивністю руху, швидкістю, затримками транспорту, а також довжиною черги транспортних засобів на світлофорах.

Зібрані даними в реальному часі передаються до Центрального Керуючого Обчислювального Комплексу (ЦКОК) через існуючі мережеві з'єднання. У ЦКОК проводиться всебічний аналіз цих даних, після чого система визначає оптимальні сценарії світлофорного регулювання для кожного перехрестя. Основна мета полягає у мінімізації сумарних затримок на мережі перехресть, забезпечуючи таким чином плавність та ефективність руху.

Після аналізу даних та розрахунків, ЦКОК генерує специфічні керуючі сигнали або команди. Ці команди потім відправляються через комунікаційні канали до виконавчих пристроїв на кожному перехресті, як-от контролери світлофорів та сервомеханізми, які відповідають за зміну сигналів світлофорів.

Цей високотехнологічний підхід до управління дорожнім рухом не тільки покращує ефективність транспортних потоків, але й сприяє зменшенню аварійності, зниженню рівнів забруднення навколишнього середовища від

транспорту, та загалом оптимізує використання дорожньої інфраструктури у міській мережі [1-3, 15-19].

Виконавчі пристрої (ВП) адаптують робочий режим світлофорів або модифікують візуальні сигнали/символи. Ці коригування впливають на характеристики транспортних потоків, дані про які фіксуються системами збору інформації (СЗІ) та надсилаються до центрального обчислювального комплексу управління (ЦКОК). Проте ефективність таких систем управління залишається недостатньою через брак точних методів прогнозування розподілу транспортних потоків, складність проектних рішень та множинність факторів, які впливають на інтенсивність руху [4].

У той же час, рішення, прийняті керівництвом, часто мають ізольований і реактивний характер, спрямовані більше на усунення наявних проблем у русі, ніж на антиципацію та запобігання майбутнім заторам. Така діяльність рідко синхронізується з роботою інших відділів, відповідальних за дорожній рух, що суттєво знижує оперативність та ефективність загальної системи управління. Це обмежує можливості повноцінного використання світлофорів як інструментів для оптимізації транспортних потоків.

Ось чому сьогодні особливу увагу приділяють питанням управління як транспортними, так і пішохідними потоками у міському середовищі, враховуючи, що мережі вулиць у багатьох великих містах вже не можуть ефективно справлятися з постійно зростаючим автомобільним трафіком. Зростання інтенсивності дорожнього руху, вищі швидкості і збільшення кількості учасників дорожнього руху вимагають суттєвих змін у методах проектування та стратегіях управління. В цьому контексті координоване управління світлофорами стає ключовим елементом для оптимізації як окремих вузлів, так і всієї міської дорожньої мережі [1-3, 4-10].

1.2. Компонування та елементи АСУДР

Автоматична система управління дорожнім рухом (АСУДР) представляє собою комплексну структуру, яка об'єднує в собі дві основні складові: систему

засобів управління дорожнім рухом та технічний комплекс, призначений для управління дорожнім рухом.

Перша частина включає в себе різноманіття засобів, які регулюють транспортні потоки, забезпечують безпеку, інформують учасників дорожнього руху, та впливають на параметри транспортних потоків з метою оптимізації дорожнього руху.

Друга частина, технічний комплекс, включає обладнання та технології, які забезпечують функціонування всієї системи. Це може включати системи моніторингу та зв'язку, пристрої для збору даних, обчислювальні системи для обробки інформації та аналізу даних, а також пристрої безпосереднього управління рухом, наприклад, світлофори та регульовані знаки.

Загальна структура АСУДР, яка ілюструє взаємозв'язок між цими двома компонентами та демонструє, як вони взаємодіють для координації та управління дорожнім рухом, може бути представлена в графічній формі (як це показано на рисунку 1.2) [8]. Ця структура підкреслює, як інтеграція різних елементів і систем впливає на ефективність управління транспортними потоками.

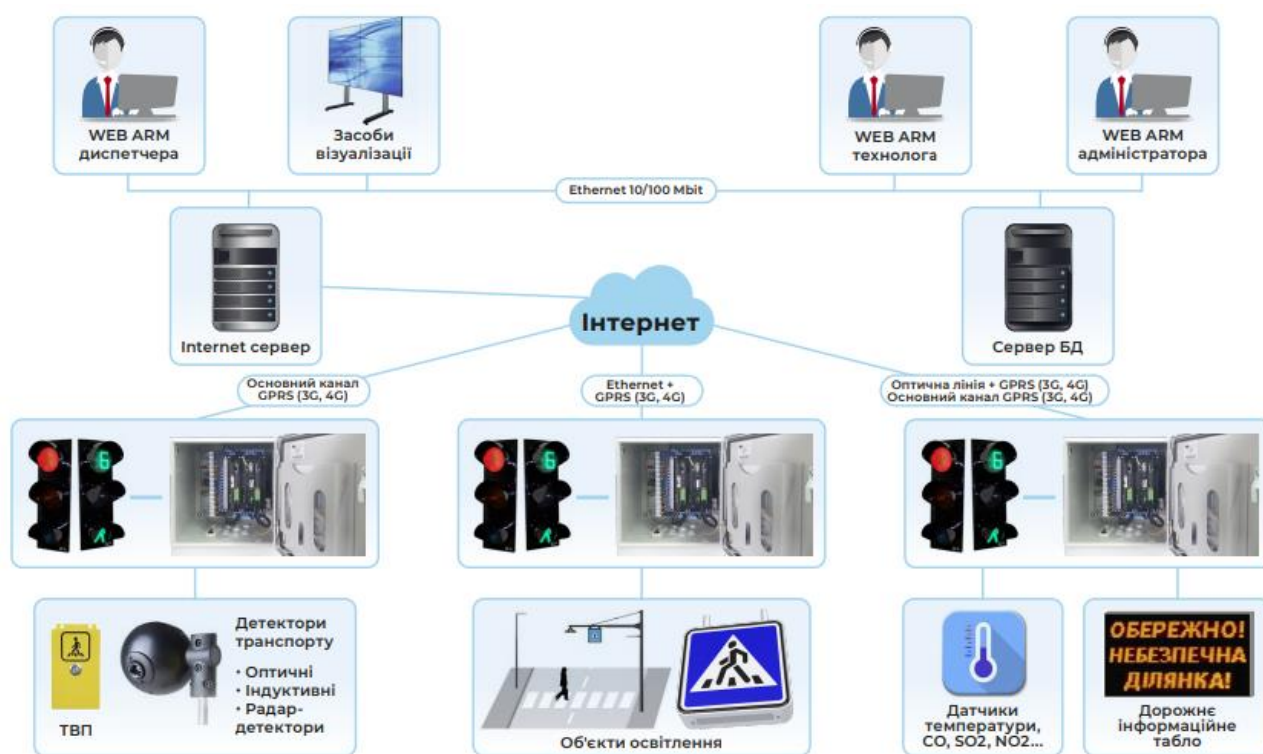


Рисунок 1.2 - Структура АСУДР

Агрегатна система засобів управління дорожнім рухом призначена для побудови АСУДР різної складності в залежності від міських дорожньо-транспортних умов. Об'єктом управління в АСУДР є транспортні потоки на дорожній мережі міста. Основні завдання, які вирішуються АСУДР - мінімізація часу проїзду транспорту по ВДМ і підвищення безпеки руху. АСУДР складається з математичного (МЗ) і програмного забезпечення (ПЗ).

АСУДР включає [1-3, 5-8]:

1) типові функціональні блоки, що реалізують закінчені функції по отриманню, прийому (передачі) інформації або виробленні керуючих впливів в АСУДР;

2) конструкції - блок-каркаси, контейнери, виконані на базі серійного випуску, уніфікованих типових конструкцій;

3) пристрої компоновані з функціональних блоків на основі уніфікованих систем сполучень, що розміщуються в шафах або контейнерах;

4) керуючі обчислювальні комплекси (КОК), компоновані з виробів агрегатної системи засобів обчислювальної техніки АСВТ-М, що серійно випускаються промисловістю. Типові конструкції, функціональні блоки і пристрої АСУДР поділяються на два основні класи - периферійні і центральні.

МЗ і ПЗ АСУДР представляють собою комплекс технологічних алгоритмів та програм, побудованих за модульним принципом які реалізують окремі функції по переробці інформації, що надходить і приймають рішення з управління дорожнім рухом.

МЗ АСУДР включає алгоритми роботи, відповідні нормальним і особливим умовам дорожнього руху (затори, управління маршрутами "зелена вулиця", пріоритетний пропуск спеціальних ТЗ і т.д.).

ПЗ АСУДР забезпечує реалізацію зазначених алгоритмів і можливість їх прив'язки до конкретного об'єкта управління.

Дорожні контролери (ДК) призначені для перемикання світлофорних сигналів.

Пристрої обміну інформацією призначені для прийому і передачі інформації - команд телеуправління (ТУ), телесигналізації (ТС) і

телевимірювання (ТВ) - між пристроями керування і периферійними пристроями по лінії зв'язку, а також для узгодження роботи пристроїв АСУДР з лінією зв'язку [7].

Пристрої обміну інформацією поділяються на два компонента: периферійний і центральний.

Апаратура пріоритетного пропуску (АПП) призначена для організації пріоритетного (для громадського транспорту) і безперервного (для спеціальних ТЗ) проїзду регульованих перехресть.

АПП складається зі стаціонарного і пересувного комплектів пристроїв. Стаціонарна включає в себе сам пристрій, що встановлюється поблизу контрольованої зони і приймально-передавальних антен у вигляді індуктивних рамок, вмонтованих під полотном дорожнього покриття; пересувний - сам пристрій, що встановлюється в кабіні і приймально-передавальну антену, встановлену під кузовом ТЗ. У пристрої пересувного комплексу передбачений кодер для набору коду одного з маршрутів руху громадського транспорту.

Передача інформації, закладеної в пересувний комплекс, при в'їзді пріоритетним ТЗ в зону дії антени стаціонарного комплексу відбувається автоматично по індукційному каналу. Стаціонарний комплекс забезпечує прийом інформації, що надходить від пересувного комплексу і її ретрансляцію. Управління світлофорною сигналізацією на ділянках здійснюється при надходженні заявки від пріоритетного ТЗ [8, 9].

Пристрої керуючого пункту (ЕОМП) призначені для організації координованого і (або) диспетчерського управління світлофорною сигналізацією на перехрестях вуличної мережі.

Контрольно-діагностична апаратура (КДА) призначена для перевірки і визначення несправностей пристроїв безпосередньо на об'єкті.

Керуючий комплекс виконує наступні функції [1-3, 8]:

- прийом і обробку інформації, що надходить від периферійного обладнання;
- вибір плану координації та вироблення керуючих команд для периферійного обладнання;

- накопичення, зберігання і обробку статистичної інформації про параметри транспортних потоків;
- модифікацію обраного плану координації відповідно до реальних параметрів транспортних потоків;
- передачу керуючих команд периферійного обладнання;
- обслуговування інформаційних і керуючих запитів оператора;
- формування і висновки технологічної інформації про функціонування системи;
- програмний контроль функціонування периферійного обладнання і т.д.

1.3. Процес роботи АСУДР

У більшості великих міст України, що активно розвиваються, застосовуються сучасні системи автоматичного управління дорожнім рухом, засновані на програмах, розроблених ще у 70-х роках. Проте, ефективність цих систем напряму залежить від актуальності даних про динаміку транспортних потоків, які зазнають постійних змін.

АСУДР, що функціонує в місті Київ, була розроблена як інтегрована міська система, яка охоплює усю дорожню мережу міста. Вона включає численні контрольно-управлінські пункти, які оснащені необхідними технічними пристроями.

Функціонування АСУДР базується на таких ключових елементах:

- розгалужена мережа технічних пристроїв, які відповідають за моніторинг і регулювання транспортних потоків;
- сучасне програмне забезпечення, що дозволяє аналізувати отримані дані та адаптувати режими роботи системи відповідно до актуальної дорожньої ситуації;

- ефективна організаційна структура, яка забезпечує координацію роботи всієї системи, оперативну реакцію на зміни умов руху, та взаємодію з іншими службами міста.

Налагодження взаємодії між цими компонентами є вирішальним для підвищення ефективності управління дорожнім рухом, зменшення заторів та підвищення безпеки на дорогах.

Сучасна Автоматична Система Управління Дорожнім Рухом (АСУДР) включає в себе різноманітні технічні компоненти, які забезпечують високий рівень контролю та управління на дорогах. Зокрема, до цих компонентів належать:

1. Детектори транспорту: Використовуються для моніторингу та аналізу транспортних потоків, допомагаючи збирати дані про кількість транспортних засобів, їх швидкість, тип та інші характеристики.

2. Пристрої передачі інформації: Вони забезпечують двосторонній обмін даними між керуючим обчислювальним комплексом та місцевими виконавчими пристроями, забезпечуючи оперативність управління.

3. Місцеві виконавчі пристрої: До них відносяться дорожні контролери, які управляють світлофорною сигналізацією, дорожніми знаками, та покажчиками. Вони можуть працювати як автономно, так і за програмою, встановленою з центрального пункту управління.

4. Засоби диспетчерського контролю та управління: Ці системи забезпечують централізоване управління та контроль, дозволяючи операторам швидко реагувати на зміни в умовах дорожнього руху.

5. Контрольно-перевірочне обладнання: Використовується для забезпечення роботоздатності, налаштування та програмування усієї периферійної апаратури.

У світлофорних об'єктах часто встановлюють спеціалізовані контролери. Деякі з них працюють за фіксованими програмами, не маючи можливості зміни налаштувань у реальному часі. Інші є більш гнучкими, виконуючи команди з центрального керуючого пункту, отримані через прямі комунікаційні канали.

Важливо відзначити, що компоненти АСУДР, вироблені компанією ЗАТ «Автоматика-Д» в Києві, становлять основу для багатьох систем управління дорожнім рухом в Україні. Це забезпечує взаємосумісність різних систем та спрощує процеси модернізації та обслуговування.

Нарешті, зазначимо, що сучасні АСУДР класифікують за поколіннями, від першого до четвертого, де кожне наступне покоління відзначається збільшенням функціональних можливостей, підвищенням рівня інтеграції, автоматизації та інтелектуалізації систем управління.

АСУДР третього рівня, яка активно впроваджується в містах України, представляє собою передову систему управління дорожнім рухом, яка забезпечує високий рівень автоматизації та ефективності. Ось ключові аспекти цієї системи:

1. Центральний керуючий пункт з мережею ЕОМ: Центр системи, який координує всі процеси. Цей пункт оснащений потужними електронними обчислювальними машинами (ЕОМ), які обробляють вхідні дані про стан дорожнього руху, виконують аналіз та розробляють оптимальні стратегії управління.

2. Виділені телефонні канали зв'язку: Забезпечують надійний двосторонній обмін інформацією між центральним керуючим пунктом та дорожніми контролерами. Радіозв'язок також може використовуватися для миттєвої передачі даних та команд.

3. Необмежена кількість дорожніх контролерів: Система може інтегрувати багато контролерів, включаючи ті, що знаходяться в зоні дії зонального центру. Це підвищує гнучкість і масштабованість системи, дозволяючи ефективно управляти рухом на різних ділянках доріг.

4. Прогнозування та автоматизоване управління: Система базується на прогнозах динаміки транспортних потоків, використовуючи архівні дані та поточну інформацію для автоматизованого прийняття рішень.

5. Управління в реальному часі: Хоча повністю автоматизоване управління в реальному часі є характеристикою систем четвертого покоління,

АСУДР третього рівня також здатна забезпечити високий рівень адаптивності та відгуку на змінні умови.

Рисунок 1.3 ілюструє структурну схему АСУДР, включаючи основні компоненти та їх взаємозв'язки. Ця схема дає зрозуміти, яким чином інтегровані технології працюють разом для оптимізації дорожнього руху та підтримки безпеки та ефективності транспортної інфраструктури міста.

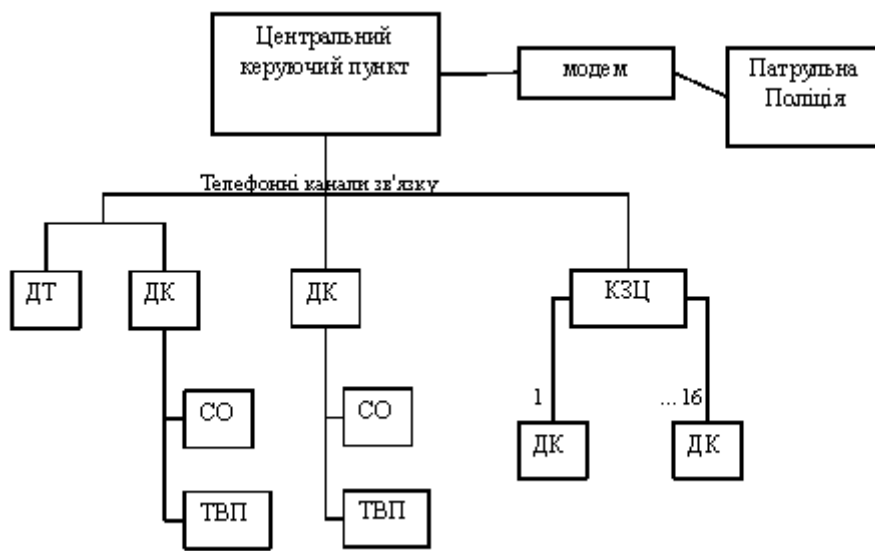


Рисунок 1.3 - Узагальнена структурна схема АСУДР третього рівня

Описана інфраструктура для управління дорожнім рухом є сучасною та ефективною, особливо з огляду на використання різних типів детекторів транспорту (ДТ), зокрема інфрачервоних (ДТ-ІК). Ці системи мають кілька переваг:

1. Монтаж: Інфрачервоні детектори транспорту не вимагають великих будівельних робіт для установки, що знижує вартість і зберігає цілісність дорожнього покриття. Це також зменшує час, необхідний для монтажу, та мінімізує перешкоди для транспортного руху під час встановлення.

2. Вертикальне розміщення: Ці детектори можуть бути розміщені над дорогою, уникнувши прямого контакту з транспортними засобами. Вони можуть бути встановлені на різноманітних конструкціях, таких як мости, дорожні знаки, або спеціальні опори.

3. Збір даних у реальному часі: ДТ-ІК збирають цінну інформацію про дорожній рух, включаючи інтенсивність руху, швидкість, типи транспортних засобів, і так далі. Ці дані використовуються для аналізу та оптимізації дорожнього руху, а також для виявлення аварійних ситуацій або незвичайних умов руху.

4. Інтеграція з системою управління: Інформація, зібрана детекторами, передається до центральної системи управління дорожнім рухом (АСУДР), де вона обробляється та використовується для прийняття рішень. Це може включати зміни у світлофорній сигналізації, оповіщення для патрульної поліції про аварії, або активацію знаків та сигналів для інформування водіїв.

5. Адаптивність та гнучкість: Системи з інфрачервоними детекторами можуть бути налаштовані для роботи в різних умовах, забезпечуючи точність даних незалежно від погодних умов або освітлення.

Використання таких сучасних технологій дозволяє містам створювати більш безпечні та ефективні транспортні мережі, оптимізуючи ДР у реальному часі та покращуючи загальний досвід міського пересування.

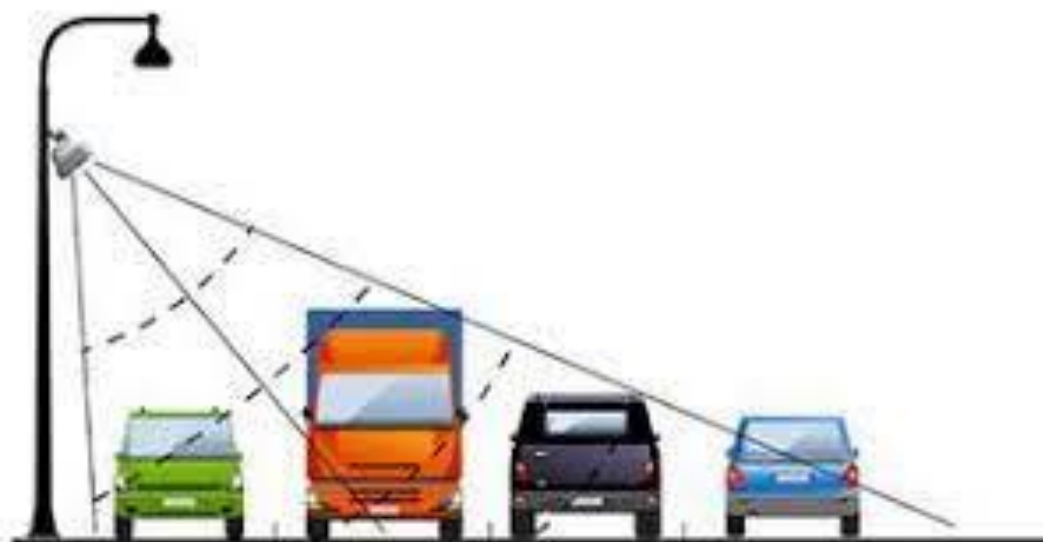


Рисунок 1.4 - Приклад встановлення детектора на стовпі освітлення

Структура Центрального Управлінського Пункту (ЦУП) у системі АСУДР є критично важливою для ефективного управління та контролю дорожнього руху. Ось основні компоненти та функції, що можуть бути представлені в структурній схемі ЦУП:

- Сервери обробки даних: Ці ЕОМ забезпечують обробку великої кількості даних, які надходять від дорожніх контролерів, детекторів транспорту, та інших джерел. Вони виконують аналіз та синтез даних для прийняття оперативних рішень.

- Єдина локальна мережа: Всі ЕОМ у ЦУП з'єднані через локальну мережу, яка дозволяє швидкий обмін даними і координацію дій.

- Робочі станції операторів: Оператори досліджують ситуацію на дорогах у реальному часі, аналізують інформацію від детекторів та дорожніх контролерів, і вживають необхідних заходів для регулювання дорожнього руху.

- Сервери зберігання даних: Ці системи забезпечують зберігання архівних даних про транспортні потоки, які можуть використовуватися для аналітики, планування, та прогнозування.

- Системи зв'язку та передачі даних: Включають обладнання для комунікації із зовнішніми пристроями та системами, наприклад, з радіозв'язком, модемами, маршрутизаторами тощо.

- Системи безпеки та контролю: Вони забезпечують захист від несанкціонованого доступу, збоїв у роботі, та інших ризиків.

- Інтерфейси для зовнішніх інтеграцій: Дозволяють ЦУП з'єднуватися з іншими системами, наприклад, із службами надзвичайних ситуацій, міським транспортом, та іншими департаментами міської інфраструктури.

Структура ЦУП у системі АСУДР є відкритою і модульною, що дозволяє легко додавати нові функції та вдосконалювати існуючі для ефективного реагування на зміни умов транспортних потоків або вимог до управління дорожнім рухом.

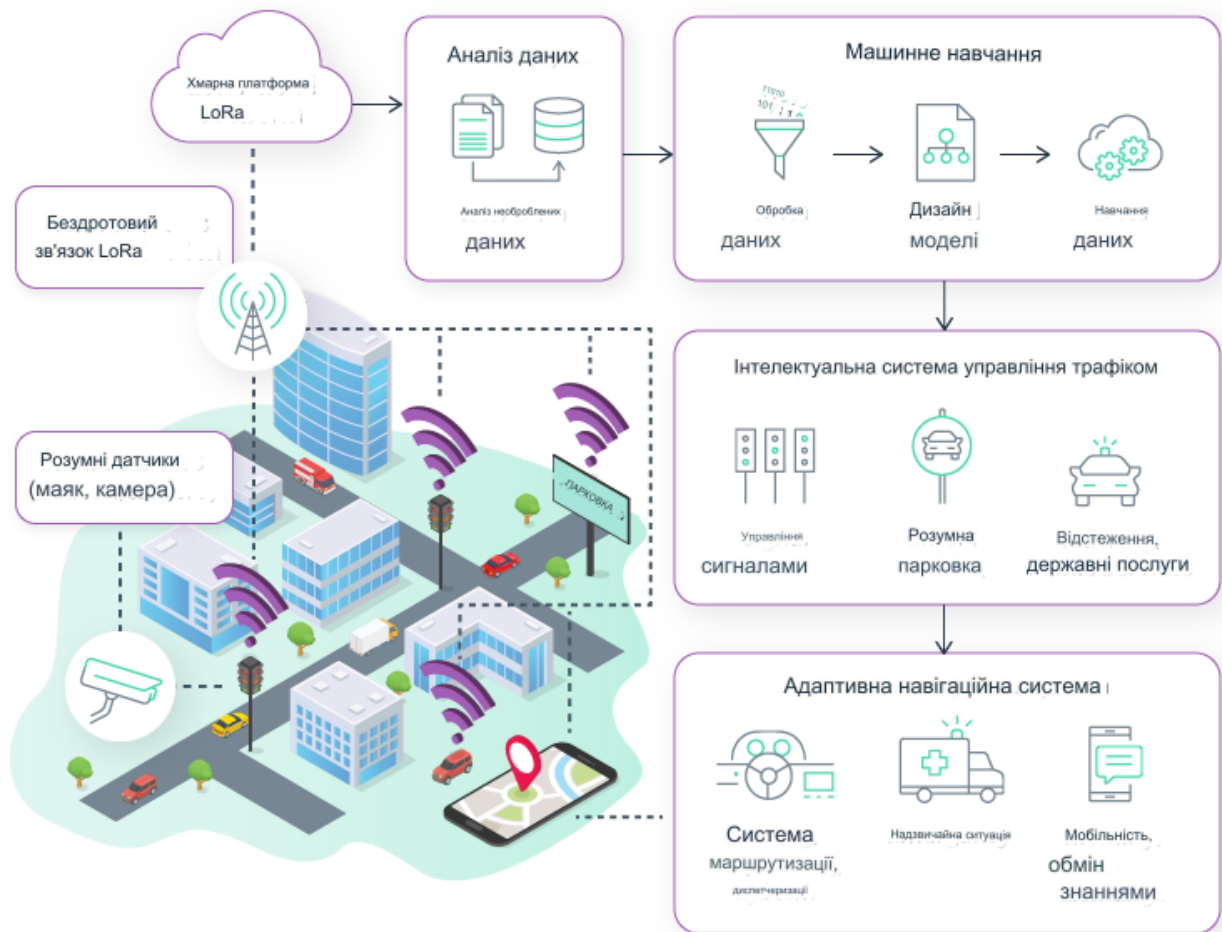


Рисунок 1.5 - Схематичне зображення структури Центрального управлінського пункту АСУДР

Об'єднання перехресть через контролери районних центрів (КРЦ) в системі АСУДР дійсно пропонує ряд переваг щодо ефективності управління дорожнім рухом. Ось декілька ключових аспектів цього підходу:

1. Локалізоване управління. КРЦ дозволяє проводити моніторинг і управління транспортними потоками на рівні окремих районів. Це сприяє більш точному розумінню місцевих умов та проблем, що виникають на перехрестях. Оперативні реакції на зміни в дорожніх умовах можуть бути виконані швидше, з огляду на скорочення часу на передачу інформації та команд.

2. Координація дій. Забезпечується можливість координації дій між суміжними перехрестями. Наприклад, в разі створення "зеленої вулиці", коли синхронізація світлофорів забезпечує максимально плавний рух через декілька перехресть. Уможливорює ефективну адаптацію до змін у дорожньому русі або

погодних умовах, координуючи налаштування світлофорів для зниження заторів та покращення пропускної здатності доріг.

3. Оптимізація ресурсів та ефективність. Централізований збір даних в районних центрах дозволяє оптимізувати обробку даних, зменшуючи навантаження на центральні сервери і забезпечуючи більш ефективне розподілення ресурсів. Спрощує процеси налагодження та обслуговування, оскільки спеціалісти можуть зосередити свою увагу на конкретних регіонах, що сприяє швидкому усуненню проблем.

4. Гнучкість та масштабованість. Система може бути легко масштабована з додаванням нових перехресть або регіонів без необхідності повного перерозподілу структури управління. Гнучкість у відповіді на непередбачені події, такі як аварії, ремонтні роботи, надзвичайні ситуації, завдяки децентралізованому прийняттю рішень.

Комплексна структура, що включає КРЦ, АРМ чергового, АРМ інженера, сервери та інші компоненти, забезпечує не тільки ефективність управління трафіком на різних рівнях, але й здатність до адаптації і масштабування відповідно до еволюції транспортної інфраструктури міста.

Програмне забезпечення (ПО) АСУДР відіграє ключову роль у впровадженні ефективних алгоритмів управління дорожнім рухом. Оптимізація трафіку, особливо через алгоритми, такі як Жовте Миготіння (ЖМ) і Жорсткий Цикл (ЖЦ), допомагає підтримувати плавність та безпеку руху. Ось як ці алгоритми функціонують і коли їх застосовують:

1. Алгоритм жовтого миготіння (ЖМ). Цей алгоритм активує миготливий жовтий сигнал на світлофорах, що, як правило, попереджає водіїв про необхідність збільшити увагу та готовність зупинитися. ЖМ часто використовується в нічний час або при низькій інтенсивності трафіку, коли потреба у стандартних сигналах світлофора знижується. Він також активується при виявленні аварії у системі, наприклад, коли зв'язок з центральним управлінням втрачено, працюючи як автономний режим безпеки.

2. Алгоритм управління за жорстким циклом (ЖЦ). ЖЦ - це більш традиційний метод управління світлофорами, де кожен цикл (червоний,

жовтий, зелений) триває фіксований час, який не змінюється відповідно до умов руху.

Цей режим може бути корисним в нічний час або в інші періоди низької активності, коли дорожній рух є дуже передбачуваним, і потрібен порядок для запобігання хаосу на дорозі.

Реалізація алгоритму ЖМ потребує детального аналізу даних про трафік, включаючи геометричні параметри перехрестя, характеристики транспортних потоків і актуальні схеми руху. Це дозволяє системі АСУДР адаптувати миготіння світлофорів таким чином, щоб максимально забезпечити безпеку та ефективність руху.

У свою чергу, алгоритм ЖЦ зазвичай менш гнучкий, але пропонує стабільність і передбачуваність, що важливо для водіїв, особливо в умовах низької видимості або низької інтенсивності дорожнього руху. Обидва цих алгоритми важливі для загальної стратегії управління дорожнім рухом і можуть бути ефективно використані в залежності від специфічних умов та ситуацій на дорогах.

Система автоматизованого управління дорожнім рухом (АСУДР) представляє собою складну інтегровану структуру, яка включає в себе різні технічні, організаційні, і програмні компоненти. Ефективність такої системи вимірюється не лише її здатністю оптимізувати трафік у реальному часі, але й соціальними та економічними перевагами, які вона пропонує для громади. Ось деякі ключові аспекти ефективності АСУДР:

1. Спеціалізовані алгоритми управління. Зелена вулиця - цей алгоритм створений для мінімізації зупинок транспорту, забезпечуючи неперервний рух через кілька перехресть, що оптимізує час подорожі й зменшує викиди шкідливих речовин.

2. Обробка запитів на управління перехрестями. Алгоритми, які реагують на динамічні умови трафіку, забезпечуючи гнучкість в управлінні рухом, наприклад, при надзвичайних ситуаціях або підвищеній транспортній активності.

3. Організаційна структура. Ефективність системи також залежить від людського фактору, зокрема від штату фахівців, які забезпечують безвідмовне функціонування обладнання, аналіз та коригування програм, відповідальність за реагування на непередбачені обставини тощо.

4. Соціальна та економічна ефективність. Соціальні переваги включають підвищення безпеки дорожнього руху, зменшення часу в дорозі, та підвищення комфорту пасажирів і водіїв.

Економічні переваги виявляються у зменшенні витрат на паливо, зниженні викидів (що може мати позитивний вплив на екологію та здоров'я), а також оптимізації загальних транспортних витрат громади.

Таким чином, ефективність АСУДР має багато аспектів і вимагає комплексного підходу до управління ресурсами, програмування, і людського капіталу. Крім того, інновації в технологіях та аналітиці даних продовжують відкривати нові можливості для оптимізації та адаптації таких систем управління дорожнім рухом.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЖНАРОДНИХ АНАЛОГІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

2.1. Кількісні значення показників функціонування АСУДР

Наведемо деякі ключові показники ефективності (KPI), які зазвичай використовуються для оцінки ефективності автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР). Ці кількісні значення допомагають органам влади зрозуміти вплив системи на умови руху, безпеку та загальну ефективність транспортної інфраструктури. Однак фактичні кількісні значення можуть варіюватися в залежності від конкретного контексту, міста, інтенсивності руху та точної технології, що використовується в АСУДР.

1. Час подорожі. Показник: Зменшення середнього часу подорожі. Кількісне значення: Зменшення на $X\%$ під час пікових годин (фактичний відсоток може варіюватися в залежності від базових даних до впровадження).

2. Пропускна спроможність трафіку. Показник: Збільшення кількості транспортних засобів, які проходять через ключовий коридор або перехрестя за одиницю часу. Кількісне значення: Збільшення на $Y\%$ годинної пропускної спроможності.

3. Зменшення затримок. Показник: Зменшення середніх затримок на перехрестях. Кількісне значення: Зменшення на Z хвилин у середньому часі зупинки.

4. Зменшення викидів. Показник: Зменшення викидів від транспортних засобів завдяки покращенню трафіку. Кількісне значення: Зменшення на $A\%$ викидів CO_2 (для цього потрібний екологічний моніторинг для отримання точних даних).

5. Споживання пального. Показник: Зменшення середнього споживання пального завдяки менш завантаженим моделям. Кількісне значення: Зменшення на $B\%$ споживання пального на транспортний засіб.

6. Покращення безпеки. Показник: Зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод на території, яка контролюється АСУДР. Кількісне значення: Зменшення на С% аварій на рік.

7. Пунктуальність громадського транспорту. Показник: Збільшення пунктуальності громадського транспорту. Кількісне значення: Покращення на D% дотримання розкладу громадського транспорту.

8. Надійність системи. Показник: Міра часу роботи системи або її доступності. Кількісне значення: Система працює E% часу, прагнучи до максимально можливої надійності.

9. Задоволення користувачів. Показник: Покращення оцінок задоволення користувачів за допомогою опитувань або механізмів зворотного зв'язку. Кількісне значення: Збільшення на F пунктів рейтингу задоволення користувачів.

Ці KPI є стандартними мірками, а конкретні цілі (X, Y, Z, A, B, C, D, E, F) будуть базуватися на локальних дослідженнях, архівних даних та цілях, встановлених органом управління дорожнім рухом. Також їх потрібно регулярно оновлювати та моніторити для найточнішого відображення поточних умов та ефективності системи.

Різноманітні наукові центри взяли участь у оцінюванні роботи вітчизняних систем автоматизованого управління дорожнім рухом (АСУДР), співпрацюючи з експертами з численних установ, міністерств та агентств [7]. Ефективність цих систем була оцінена на основі ряду факторів, включаючи обсяг контрольованих об'єктів, характеристики систем, рівень технічного обслуговування, а також можливі неточності у методах вимірювання та оцінки певних параметрів.

Щоб уявити реальні переваги координованого управління, ми можемо розглянути середньостатистичні показники, зібрані в ході аналізу ефективності АСУДР у семи містах нашої країни [7]:

- прискорення руху транспорту в середньому на 22-23%;
- скорочення часу затримок у діапазоні 20-45%;
- скорочення часу відгуків на повідомлення на 14-27%;

- зниження кількості вимушених зупинок від 32 до 66%;
- зменшення числа дорожньо-транспортних пригод на 10-25%;
- скорочення ступеня зносу дорожнього покриття на 13-25%;
- економія палива становить 11-16%;
- зниження рівнів викидів окису вуглецю (CO) на 17-24%.

Аналізуючи міжнародний досвід, ми бачимо вагомі економічні та соціальні переваги від впровадження систем АСУДР. Наприклад, інтегрована з АСУДР система інформування пасажирів у Гельсінкі (Фінляндія) привела до істотного скорочення затримок (на 44 - 48%) та зменшення середнього часу подорожі (на 11%), зменшивши загальні втрати часу на тисячі годин щорічно.

У Сполучених Штатах, конкретно в містах, як-от Лос-Анджелес, Вровард, Окланд, вдосконалення дорожнього руху за допомогою адаптивних систем управління призвело до суттєвого зменшення зупинок транспортних засобів, в середньому на 28 - 41% [1-3].

У Великій Британії, завдяки адаптації світлофорів з урахуванням потреб громадського транспорту, вдалося зменшити затримки автобусів (на 7-13%) та оптимізувати витрати палива (економія склала близько 13%), що також позитивно відбилося на екологічній ситуації в регіоні, знизивши загальні викиди в атмосферу на 15% [1-3, 8].

Окремо слід зазначити екологічні покращення, досягнуті завдяки редукції шкідливих викидів та зниженню шумового забруднення в мегаполісах з великою транспортною інфраструктурою. Яскравим прикладом є синхронізація 640 світлофорних об'єктів у Окланді, штат Мічиган, де ця ініціатива сприяла скороченню викидів окису вуглецю на 1.7 - 2.5%, оксиду азоту на -1.9 - 3.5%, вуглеводнів на 2.7 - 4.2% [1-3, 8].

Більш того, системи АСУДР надають можливості для подальшого розширення їх функціональності, наприклад, шляхом інтеграції з регіональними системами оперативного реагування. Це стає можливим завдяки значним резервам пропускнуої здатності цих систем, які складають близько 60% від загального потенціалу передачі даних.

Регіональна система оперативного реагування, яка забезпечує негайне відслідковування та реакцію на події на міських дорогах в реальному часі, використовує інтегрований підхід, об'єднуючи кілька підсистем. Ця взаємодія не тільки забезпечує ефективне управління транспортними потоками, але й реагує на надзвичайні ситуації, підтримує екологічну безпеку та захист від протиправних дій. Ось основні компоненти системи:

1. АСУДР (Автоматизована система управління дорожнім рухом): Це спінальний стовбур системи, який координує рух, оптимізує світлофори та моніторинг умов дорожнього руху.

2. Система моніторингу місцеположення аварійних служб: Забезпечує швидкий відгук від автомобілів екстреної допомоги, патрульних авто тощо, використовуючи технології GPS і мережеві зв'язки для оперативної координації.

3. Екологічна моніторингова система "ЕКО": Слідкує за станом забруднення повітря, надаючи важливі дані для реагування на екологічні ризики та регулювання транспортних потоків для зниження викидів.

4. Система безпеки "ПОСТ": Ця система працює як превентивний захист, використовуючи технології зв'язку та датчики для запобігання злочинам проти майна та осіб, підвищуючи загальний рівень громадської безпеки.

5. АСУДТП (Система управління та аналізу транспортних потоків): Розширює можливості АСУДР, забезпечуючи детальний аналіз та прогнозування стану транспортних потоків для ефективного планування та регулювання.

Ці підсистеми, інтегровані через єдиний центр управління АСУДР, не тільки спільно обробляють дискретну інформацію, яка надходить з різних точок міста, але й можуть бути ефективно розділені та управлятися згідно з функціональними вимогами спеціалізованих комп'ютерних систем. Такий інтегрований підхід значно підвищує реактивність, гнучкість та адаптивність управління міською інфраструктурою у непередбачуваних ситуаціях.

2.2. Інтелектуальні системи транспорту

Інтелектуальні системи транспорту (ІСТ) стосуються інтеграції інформаційних та комунікаційних технологій з транспортною інфраструктурою, транспортними засобами та користувачами. Ці системи мають на меті надавати інноваційні послуги для різних видів транспорту та управління трафіком, дозволяючи користувачам бути краще інформованими та здійснювати безпечніше, більш координоване та розумніше використання транспортних мереж (рис. 2.1).

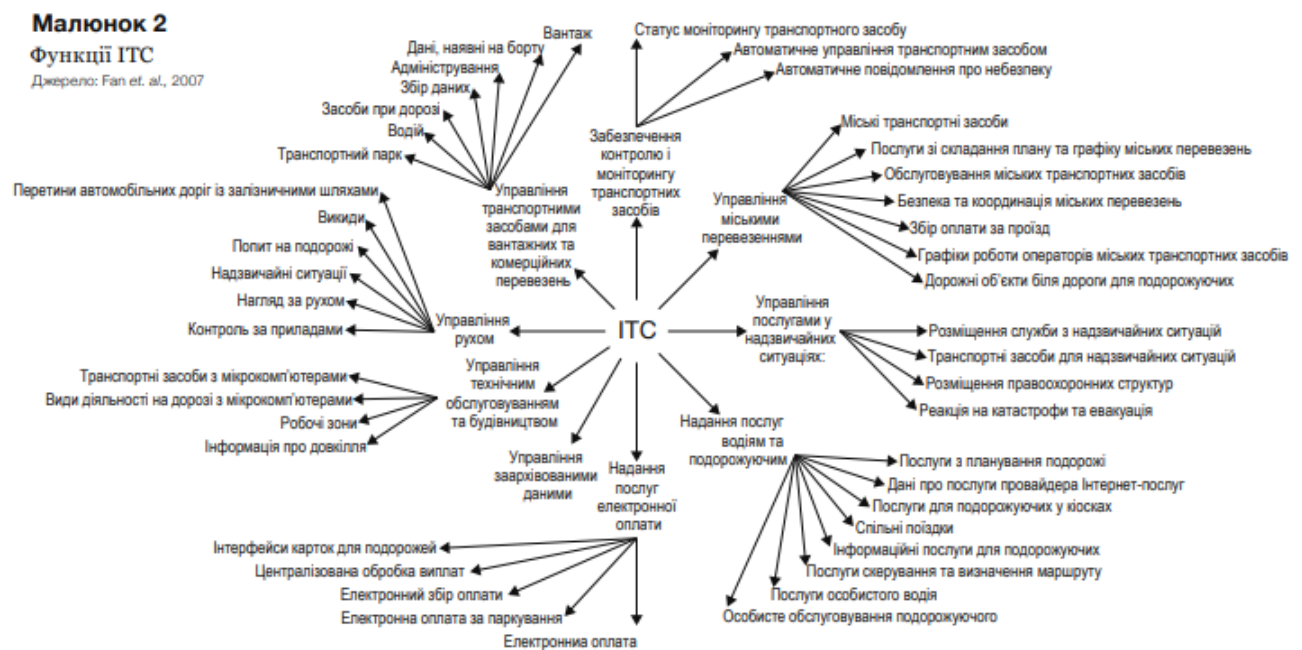


Рисунок 2.1 – Інформаційні транспортні системи

1. Ключові компоненти та аспекти Інтелектуальних систем транспорту:

1.1. Системи управління дорожнім рухом (СУДР) є основою Інтелектуальних систем транспорту (ІСТ), зосереджуючись на ефективному дорожньому русі, підвищенні дорожньої безпеки та поліпшенні загального

досвіду транспортування для користувачів. Ось детальний огляд компонентів та функцій у межах СУДР:

1.2. Адаптивні системи контролю руху (АСКР). Ці системи динамічно коригують час роботи світлофорів на основі поточних дорожніх умов, сприяючи зменшенню заторів та різкому зупиненню і русі транспорту. Вони базуються на даних від датчиків, камер або інших технологій виявлення для моніторингу руху та внесення змін у реальному часі. АСКР особливо ефективні при непередбачуваних схемах руху або під час спеціальних подій та надзвичайних ситуацій.

1.3. Динамічна послідовність світлофорів. Окрім стандартного адаптивного контролю, динамічне упорядкування включає в себе зміну порядку роботи світлофорів на основі поточного попиту, передова особливість, яка може значно покращити пропускну спроможність ВДМ та зменшити загальні затори.

1.4. Моніторинг дорожнього руху у реальному часі та виявлення інцидентів. Ці системи використовують різноманітні засоби збору даних, включаючи камери, повітряну розвідку та вбудовані датчики на дорогах, для постійного моніторингу дорожніх умов. Швидке виявлення інцидентів дозволяє негайно відгукнутися та управляти ситуацією, що мінімізує додаткові аварії, зменшує затримки та забезпечує рівний потік транспорту.

1.5. Прогнозування дорожнього руху та підтримка прийняття рішень. Передові СУДР використовують прогнозні моделі на основі архівних даних та інформації у реальному часі для прогнозування дорожніх умов, що дозволяє застосовувати превентивні заходи управління. Інструменти підтримки прийняття рішень допомагають менеджерам дорожнього руху оцінювати потенційний вплив різних стратегій відгуку, гарантуючи обґрунтоване прийняття рішень.

1.6. Змінні інформаційні знаки (ЗІЗ). ЗІЗ - це електронні дорожні знаки, що використовуються для надання інформації у реальному часі про дорожні умови, час подорожі, аварії, ремонтні роботи або будь-які інші фактори, що

впливають на рух. Ці знаки допомагають перенаправляти трафік, зменшуючи затори, та покращуючи загальну безпеку дороги при несприятливих умовах.

1.7. Обмеження швидкості та управління смугами. Динамічні обмеження швидкості коригують максимальні дозволені швидкості відповідно до дорожніх та погодних умов, покращуючи безпеку при неідеальних умовах. Управління смугами, включаючи використання двосторонніх смуг, динамічне призначення смуг або тимчасове використання узбіччя, максимізує пропускну спроможність дороги в залежності від поточного попиту.

1.8. Навігація та рекомендації по маршруту. Системи надають навігаційну допомогу в реальному часі всередині транспортного засобу, рекомендуючи альтернативні маршрути, щоб уникнути перевантажених зон або дорожніх інцидентів. З посиленням кооперативних комунікацій ІСТ ці системи можуть надавати більш персоналізовані рекомендації щодо маршруту на основі загальних умов у дорожній мережі.

1.9. Інтегроване управління коридором (ІУК). Підходи ІУК розглядають кілька транспортних мереж (наприклад, автомагістралі, транзитні системи) у конкретному коридорі як єдину сутність і оптимізують коридор в цілому. Обмінюючись інформацією та координуючись між юрисдикціями та системами, ІУК підвищує мобільність, зменшує затори та максимізує ефективність існуючої інфраструктури.

1.10. Ціноутворення на основі заторів. Використовуються в деяких міських районах, стратегії ціноутворення на основі заторів стягують плату з водіїв за використання певних ділянок доріг під час пікових періодів, заохочуючи використання альтернативних маршрутів або засобів пересування, і, як результат, зменшуючи дорожні затори.

Ефективні системи управління дорожнім рухом вимагають координованого підходу, який інтегрує ці компоненти, які засновані на міцних комунікаційних мережах, можливостях аналітики даних та акценті на доставці інформації, орієнтованої на користувача. З розвитком технологій системи управління дорожнім рухом продовжують ставати все більш складними,

пропонуючи значний потенціал для покращення міської мобільності та дорожньої безпеки.

2. Системи інформування подорожуючих, як частина Інтелектуальних Транспортних Систем (ІТС), надають інформацію в реальному часі, специфічну для місцезнаходження, мандрівникам, щоб допомогти їм у прийнятті рішень стосовно маршрутів, способів подорожі, часу відправлення та навіть чи їхати взагалі. Ось основні компоненти та функціональність цих систем:

2.1. Інформація перед початком подорожі. Ці сервіси надають інформацію до початку подорожі. Через різні платформи (веб-сайти, мобільні додатки тощо) користувачі можуть отримати інформацію про дорожні умови, розклади транспорту, закриття доріг та багато іншого для ефективного планування маршруту.

2.2. Інформація в реальному часі під час подорожі. Під час подорожі інформація в реальному часі є важливою. Динамічні інформаційні табло на дорогах, системи всередині транспортного засобу або додатки для смартфонів надають актуальну інформацію про дорожні умови, приблизний час в дорозі, аварії, альтернативні маршрути тощо.

2.3. Багатомодальна інформація для мандрівників. Ця інформація охоплює різні види транспорту, такі як автомобільний транспорт, громадський транспорт, велосипедний транспорт та пішохідний рух. Вона допомагає приймати обґрунтовані рішення на основі часу, вартості та зручності, потенційно поєднуючи різні види транспорту для оптимальної ефективності подорожі.

2.4. Системи інформації про парковку. Ці системи надають інформацію про наявність паркових місць в конкретних районах, спрямовуючи водіїв до доступних місць для парковки та допомагаючи зменшити перевантаження, спричинене пошуком місць для стоянки транспортними засобами.

2.5. Сповіщення про надзвичайні ситуації та погодні інформацію. Служби інформації для мандрівників також включають сповіщення про надзвичайні ситуації, природні катастрофи або суворі погодні умови, які

можуть вплинути на подорож. Ці дані критично важливі для безпеки та ефективного планування маршруту.

2.6. Інформація про громадський транспорт. Специфічно для користувачів громадського транспорту, ці системи надають інформацію про розклади транспорту, маршрути, опції пересадок, затримки та інформацію про місця в реальному часі. Вони також можуть підтримувати послуги продажу квитків та оплати.

2.7. Персоналізована інформація для мандрівників. Сучасні системи можуть вивчати звички та уподобання користувачів, пропонуючи персоналізовану інформацію та рекомендації щодо подорожей. Наприклад, вони можуть радити вирушити в дорогу раніше звичайного часу комутації на основі поточних дорожніх затримок.

2.8. Інтерактивний голосовий відгук (IVR) та кол-центри. Для користувачів, які віддають перевагу або потребують телефонного зв'язку, IVR та кол-центри пропонують інший канал для отримання інформації про подорожі. Це особливо важливо для користувачів, які можуть не мати доступу до смартфонів або інтернету.

2.9. Соціальні мережі та звіти, базовані на спільноті. Деякі системи інформації для мандрівників інтегрують дані з соціальних мереж або дозволяють створювати контент користувачами та звіти про дорожні умови, небезпеки чи інші спостереження, пов'язані з подорожжю.

2.10. Підключені та автоматизовані системи інформації для мандрівників. З розвитком підключених та автономних автомобілів інформація для мандрівників все більше інтегрується безпосередньо в системи автомобілів, надаючи інформацію в реальному часі під час подорожі та навіть автоматично коригуючи маршрути.

Мета служб інформації для подорожуючих - сприяти більш безпечному та ефективному досвіду подорожі. Надаючи точну, своєчасну та всеосяжну інформацію, ці системи дозволяють мандрівникам приймати обґрунтовані рішення, в кінцевому підсумку підвищуючи ефективність загальної

транспортної мережі та досвід користувача. З розвитком технологій ці системи стають все більше інтегрованими, доступними та персоналізованими.

3. Інтелектуальні транспортні системи (ITS) значущо трансформували громадський транспорт, роблячи його більш ефективним, надійним та зручним для користувача. Нижче наведені ключові компоненти та функціональні можливості, які ITS пропонує у сфері громадського транспорту:

3.1. Інформація для пасажирів у реальному часі: Системи надають дані у реальному часі про час перевезень, затримки та перерви у роботі. Інформація доступна через цифрові табло на зупинках громадського транспорту, спеціалізовані додатки або веб-сайт компанії-перевізника, покращуючи досвід пасажирів завдяки своєчасній та точній інформації.

3.2. Автоматичне визначення місцезнаходження транспортного засобу (AVL): GPS та інші технології слідкування дозволяють моніторити транспортні засоби у реальному часі. Ця інформація допомагає операторам транспорту ефективніше керувати рухом громадського транспорту і надає пасажирам точну інформацію про місцезнаходження транспортних засобів та очікуваний час прибуття.

3.3. Електронні системи оплати проїзду: Смарт-карти, мобільні додатки для оплати та безконтактні банківські картки пропонують зручні альтернативи традиційній оплаті готівкою, прискорюючи час посадки, зменшуючи обіг готівки та дозволяючи гнучкі структури тарифів.

3.4. Пріоритет сигналів для громадського транспорту (TSP): Системи, де автобуси або трамваї “спілкуються” зі світлофорами, щоб мінімізувати зупинки на червоне світло, скорочуючи час у дорозі і поліпшуючи дотримання розкладу.

3.5. Системи швидкісного автобусного транспорту (BRT): Це високоякісні автобусні системи, які надають швидкі, комфортабельні та економічно виправдані послуги з потужностями на рівні метро.

3.6. Послуги транспорту на вимогу: Гнучке планування маршрутів і розкладу транспортних засобів для надання спільних послуг перевезення відповідно до запитів пасажирів, зазвичай здійснюваних за допомогою

смартфонів, що дозволяє надавати більш динамічний сервіс порівняно з транспортом з фіксованими маршрутами.

3.7. Багатомодальна інтеграція: ITS дозволяє інтегрувати різні види транспорту, забезпечуючи переходи між, наприклад, особистими автомобілями, автобусами, потягами та системами велопрокату, часто координовані через єдину систему оплати.

3.8. Мобільність як послуга (MaaS): Це свідчить про перехід від особисто власних засобів пересування до рішень з мобільності, які споживаються як послуга. Це досягається за допомогою ITS, яка інтегрує різні форми послуг з транспортним обслуговуванням у єдину мобільну послугу, доступну на вимогу.

3.9. Прогностичне обслуговування: Використання аналітики даних та прогностичного моделювання для прогнозування потреб у обслуговуванні та планування обслуговування до того, як відбудуться збої, зменшує простой обладнання та продовжує термін служби активів.

3.10. Системи безпеки та спостереження: Покращення безпеки пасажирів за допомогою відеоспостереження, точок доступу для аварійних служб та інших заходів безпеки в умовах громадського транспорту.

3.11. Поліпшення доступності: ITS також надає системи, які допомагають пасажирам з інвалідністю за допомогою звукових сигналів, систем керівництва, пріоритетних місць та інших спеціалізованих послуг.

3.12. Зменшення впливу на довкілля: За допомогою ефективного планування маршрутів, оптимізованої роботи та сприяння переходу від використання особистих автомобілів до громадського транспорту, ITS сприяє зменшенню викидів та меншому впливу на довкілля.

Інтегруючи ці технології, агентства громадського транспорту можуть пропонувати вищий рівень обслуговування, покращувати безпеку, зменшувати витрати та підвищувати загальне задоволення пасажирів. Оскільки міські райони продовжують збільшуватися, інтелектуальні транспортні рішення відіграють вирішальну роль у вирішенні проблем, пов'язаних із збільшеним попитом на громадський транспорт.

4. Інтелектуальні транспортні системи (ITS) включають в себе ряд систем транспортних засобів, які покращують безпеку, підвищують ефективність та зменшують вплив на довкілля від використання транспортних засобів. Ці технології все більше інтегруються в автомобілі та громадський транспорт. Нижче наведено деякі ключові системи, які базуються на транспортних засобах в межах ITS:

4.1. Системи автоматичної підтримки водія (ADAS): Ці технології допомагають у процесі водіння та підвищують безпеку, автоматизуючи, адаптуючи або вдосконалюючи системи транспортного засобу для кращого водіння. Функції включають уникнення зіткнень, автоматичне гальмування, підтримку утримання в смузі та адаптивний круїз-контроль.

4.2. Комунікація транспортного засобу з усім (V2X): Це стосується передачі інформації від транспортного засобу до будь-якої системи, яка може вплинути на нього, і навпаки. Це система комунікації транспортних засобів, яка включає інші більш конкретні типи комунікації, як-от V2I (Транспорт-Інфраструктура), V2V (Транспорт-Транспорт), V2P (Транспорт-Пішохід) та V2G (Транспорт-Електромережа).

4.3. Системи моніторингу в салоні транспортного засобу (IVMS): Ці системи відстежують поведінку водія, включаючи використання акселератора та гальма, швидкості та ремені безпеки та інші. Вони використовуються в комерційних транспортних засобах для підвищення безпеки, ефективності та дотримання законодавчих вимог.

4.4. Електронний контроль стабільності (ESC): Система для покращення стабільності транспортного засобу шляхом виявлення та зменшення втрати зчеплення. Коли ESC виявляє втрату керованості, вона автоматично застосовує гальма, щоб допомогти "направити" транспортний засіб туди, куди водій прагне рухатися.

4.5. Автоматичне визначення місцезнаходження транспортного засобу (AVL): Переважно використовується в управлінні рухомим складом, використовує GPS для відстеження руху транспортних засобів в реальному часі, покращуючи ефективність та надаючи дані для оптимізації маршрутів.

4.6. Діагностичні системи автомобілів (OBD): Системи, які відстежують продуктивність та стан двигуна транспортного засобу та інших важливих компонентів. OBD-системи можуть повідомляти водія про проблеми та використовуються службовцями з обслуговування для усунення неполадок.

4.7. Інтеграція зі смартфоном: Системи, як Apple CarPlay та Android Auto, інтегрують функціональність смартфона з інфотеймент-центром автомобіля, дозволяючи водіям орієнтуватися, спілкуватися та використовувати програми з меншими відволіканнями під час водіння.

4.8. Системи підтримки електромобілів: Для електромобілів ITS включає технології розумної зарядки, управління батареєю та прогнозування запасу ходу. Ці системи також можуть інтегруватися з технологіями V2G для динамічної взаємодії з електромережею.

4.9. Системи сповіщення аварійних служб: У разі аварії або надзвичайної ситуації ці системи можуть автоматично надсилати сповіщення аварійним службам, що може скоротити час реакції.

4.10. Автономні транспортні засоби: Хоча повністю автономні транспортні засоби (автомобілі без водія) ще розробляються, багато систем, які вони використовують, такі як передові технології машинного зору, сенсорні технології та штучний інтелект (AI), стають стандартними компонентами ITS.

4.11. Системи еко-водіння: Ці системи надають водіям зворотний зв'язок про економне водіння або підтримують режими водіння, які оптимізують споживання пального, тим самим зменшуючи загальні викиди.

Інтеграція цих технологій покращує продуктивність окремих транспортних засобів та сприяє безпечнішому, більш ефективному та екологічно чистому транспортному мережевому зв'язку. В міру розвитку цих систем вони будуть все більше взаємодіяти з ширшою інфраструктурою ITS, сприяючи більш комплексним рішенням управління трафіком та трансформуючи міську мобільність.

5. Операції з комерційними транспортними засобами (CVO) в рамках Інтелектуальних транспортних систем (ITS) спрямовані на покращення безпеки та ефективності комерційних транспортних засобів, таких як

вантажівки та автобуси, за допомогою передових технологій. Ці системи мають на меті оптимізувати операції, забезпечувати відповідність нормативам та покращувати загальну продуктивність комерційного транспорту. Ось деякі ключові компоненти CVO:

5.1. Системи управління автопарком. Ці системи розроблені для оптимізації використання автомобілів автопарку шляхом управління розкладом, відправленням, веденням реального часу відстеження автомобілів та моніторингом поведінки водія. Ця інформація в реальному часі допомагає операторам автопарку приймати обґрунтовані рішення, зменшуючи витрати та підвищуючи продуктивність.

5.2. Електронні пристрої реєстрації робочого часу (ELDs). Обов'язкові в багатьох країнах, ELDs автоматично реєструють робочі години водія та статус служби, замінюючи паперові журнали. Вони допомагають забезпечити дотримання правил робочого часу, гарантуючи, що водії отримують необхідний відпочинок, тим самим знижуючи ризики втомленого водіння.

5.3. Електронний проїзд комерційних транспортних засобів. Системи, які дозволяють комерційним автомобілям об'їжджати вагові станції та пункти в'їзду, за умови дотримання вимог до ваги, безпеки та регулювань. Транспортні засоби попередньо перевіряються при наближенні до станції, і тим, що відповідають вимогам, дозволяється об'їзд, що дозволяє заощадити час і зменшити затори.

5.4. Автоматичне розпізнавання транспортних засобів (AVI). Ця технологія автоматично розпізнає транспортні засоби, часто за допомогою RFID-міток чи схожої технології. Вона використовується для електронного збору мита, об'їзду вагових станцій та може використовуватися для виявлення вкрадених транспортних засобів або тих, що беруть участь у правопорушеннях.

5.5. Розширені системи безпеки. Включаючи такі функції, як попередження про зіткнення, попередження про виїзд за межі смуги, система стабілізації траєкторії та розширені системи гальмування. Ці технології допомагають зменшити ризики експлуатації комерційних транспортних засобів через їх великий розмір та масу, особливо в критичних ситуаціях.

5.6. Моніторинг вантажу в реальному часі. Використовуючи сенсори та комунікаційні технології, ці системи надають інформацію в реальному часі про стан вантажу, гарантуючи його безпеку та дотримання вимог до зберігання (як температура для швидкопсувних товарів). Це життєво важливо для чутливого вантажу та допомагає у відгуку в разі проблем.

5.7. Комунікація від транспортного засобу до транспортного засобу (V2V) та від транспортного засобу до інфраструктури (V2I). Ці технології дозволяють комерційним автомобілям “спілкуватися” між собою та з дорожньою інфраструктурою. Ця комунікація підтримує краще управління рухом, безпеку на дорогах та координоване водіння, де автомобілі слідують один за одним на безпечній відстані, щоб зменшити споживання пального та покращити пропускну здатність доріг.

5.8. Інтелектуальне відстеження на дорогах. Системи, що використовують камери та сенсори для автоматизованої інспекції комерційного трафіку. Вони можуть ідентифікувати потенційно небезпечні транспортні засоби та вибирати їх для дорожніх інспекцій.

5.9. Моніторинг здоров'я та благополуччя водія. Ці системи відстежують стан здоров'я водія, потенційно виявляючи втому, втрату концентрації або медичні надзвичайні ситуації, спричиняючи профілактичні дії або сповіщення.

5.10. Реагування на інциденти з небезпечними матеріалами (Hazmat). Спеціалізовані системи для транспортних засобів, які перевозять небезпечні матеріали, забезпечуючи маршрути, які уникають населених або чутливих районів, та негайні протоколи реагування у разі аварій.

Технології CVO значно сприяють оперативній ефективності, безпеці та дотриманню нормативів комерційної діяльності з транспортними засобами. З розвитком технологій ITS ці системи стають все більш взаємопов'язаними, надаючи всеосяжні рішення, які значно покращують загальний ландшафт комерційної транспортної галузі.

6. Екологічний моніторинг в рамках інтелектуальних транспортних систем (ITS) передбачає використання передових технологій для спостереження, аналізу та управління екологічними аспектами

транспортування. Це важливо для сприяння сталості, зниження негативного впливу на довкілля та покращення якості життя в міських та сільських районах. Ось як ITS сприяє екологічному моніторингу:

6.1. Моніторинг викидів. Встановлюються системи для спостереження та звітності про рівні забруднювачів, які виділяються транспортними засобами, такими як вуглекислий газ, оксиди азоту та дисперсні речовини. Ці дані критично важливі для екологічного управління, допомагаючи містам дотримуватися нормативів викидів та сприяти використанню більш екологічних автомобілів.

6.2. Моніторинг якості повітря. Сенсори, розташовані по місту або на конкретних транспортних засобах, вимірюють рівні різних забруднювачів у повітрі. Ці дані в реальному часі можуть бути використані для негайного прийняття рішень, наприклад, для перенаправлення трафіку зі сильно забруднених районів, або для розробки довгострокових стратегій поліпшення якості повітря.

6.3. Моніторинг шумового забруднення. Системи моніторингу вимірюють рівень шуму, спричинений рухом транспорту. Високі рівні шуму можуть негативно впливати на здоров'я мешканців. ITS може допомогти у управлінні трафіком та плануванні доріг для мінімізації шумового забруднення, особливо у житлових районах.

6.4. Моніторинг та управління погодними умовами. ITS інтегрує метеорологічні дані з метеостанцій, надаючи інформацію в реальному часі про погодні умови, які можуть вплинути на водіння, такі як лід, сніг або сильний дощ. Ця інформація може бути використана для інформування водіїв, коригування таймінгу світлофорів, управління обмеженнями швидкості та попереднього розміщення ресурсів надзвичайної реакції до настання погодних умов.

6.5. Управління трафіком з огляду на екологічні переваги. Знижуючи затори, поліпшуючи дорожній рух та сприяючи альтернативним видам транспорту, ITS може знизити викиди автомобілів і зменшити загальний екологічний вплив. Це включає в себе системи для об'їздів, оптимальне

планування маршрутів та сприяння використанню електричних або гібридних автомобілів.

6.6. Еко-водіння та управління паливом. Ці системи надають зворотний зв'язок водіям про те, як їх стиль водіння впливає на споживання пального та викиди. Наприклад, можна мінімізувати раптові прискорення або холостий хід. Деякі системи також можуть надавати рекомендації оптимальної швидкості для максимальної ефективності споживання пального.

6.7. Розумне планування використання землі. Дані, зібрані з різних систем моніторингу, можуть бути використані для стратегічного планування транспорту з метою мінімізації екологічного впливу. Це включає в себе планування розташування доріг, велосипедних доріжок та громадського транспорту для зменшення потреби в транспортних засобах, які виділяють багато викидів.

6.8. Енергоефективна інфраструктура. Це передбачає впровадження технологій, які сприяють енергоефективності, наприклад, світлодіодні вуличні ліхтарі, енергоефективні світлофори, та інфраструктура, необхідна для роботи електричних автомобілів (наприклад, станції зарядки).

6.9. Оптимізація дорожнього руху за допомогою "зеленої хвилі". Координація світлофорів, відома як створення "зеленої хвилі", зменшує трафік тим самим знижуючи викиди автомобілів і покращуючи якість повітря.

6.10. Інтеграція екологічних даних. Інтеграція екологічних даних з іншими системами управління містом дозволяє розробляти всеосяжні стратегії екологічного управління. Наприклад, об'єднання даних про якість повітря з системами управління трафіком може дозволити динамічно контролювати потік транспортних засобів на основі рівнів забруднення.

Завдяки безперервному моніторингу екологічних параметрів та інтеграції цієї інформації в стратегії управління транспортом, ITS відіграє ключову роль у сприянні екологічній сталості в транспорті. Ці системи надають дані та інструменти управління, необхідні для підтримки політики, яка захищає якість довкілля та громадське здоров'я.

7. Оплата дорожнього користування (RUC), також відома як податок на пройдений транспортним засобом кілометри (VMT) або оплата на основі пройденої відстані, - це система в рамках інтелектуальних транспортних систем (ITS), що передбачає нарахування плати водіям відповідно до їх використання дорожньої мережі. Ця концепція отримує все більше уваги у всьому світі як спосіб керування, зменшення екологічного впливу, утримання дорожньої інфраструктури та генерація доходів для транспортних проектів. Ось основні компоненти та переваги:

7.1. Типи оплат. Оплата за відстань: Користувачі платять за кілометр/милю, що заохочує до ефективнішого використання транспортних засобів та альтернативних способів пересування. Оплата за час: Плата залежить від часу подорожі, з вищими тарифами під час пікових годин для зниження трафіку. Зонава оплата (Кордон/Область): Зазвичай застосовується в міських центрах, водії платять при в'їзді або перебуванні в певній зоні. • Оплата за вагу: Важчі транспортні засоби платять більше, враховуючи їх більший вплив на дорожню інфраструктуру. • Екологічна оплата: За транспортні засоби, які виділяють більше викидів, може бути нарахована вища плата, що стимулює використання екологічно чистіших транспортних засобів.

7.2. Використання технологій. Глобальна система позиціонування (GPS): Для точного відстеження місцеположення транспортного засобу та пройденої відстані.

7.3. Радіочастотна ідентифікація (RFID): Використовується для ідентифікації та відстеження транспортних засобів при проїзді певних точок, наприклад, при в'їзді в зону заторів.

7.4. Спеціалізовані короткодіапазонні зв'язки (DSRC): Для двостороннього короткодіапазонного бездротового зв'язку, переважно використовується для збору плати за проїзд.

7.5. Розпізнавання номерних знаків автомобілів (ANPR): Камери зчитують номерні знаки автомобілів і порівнюють їх з зареєстрованим обліковим записом для нарахування плати. Бортові пристрої (OBUs): Пристрої в автомобілі зв'язуються з супутниками або наземними станціями для

розрахунку плати. Мобільні додатки: Використовують технологію смартфонів для відстеження та платежів, надаючи опцію для користувачів без OBU.

Оплата за користування дорогами - це універсальний інструмент у наборі засобів для управління дорожнім рухом та охорони довкілля, з потенційно значущим позитивним впливом на міське життя та фінансування інфраструктури. Проте її успіх залежить від обережного планування, прийняття громадськістю і балансу оплати з реальними витратами впливу користування дорогами.

8. Системи аварійного реагування в контексті Інтелектуальних Транспортних Систем (ITS) є ключовими для забезпечення своєчасного реагування на інциденти в транспортних мережах, мінімізації тривалості аварій та покращення загальної безпеки транспортних систем. Ось короткий огляд того, як ці системи функціонують:

8.1. Виявлення інцидентів та сповіщення. Автоматизовані системи виявлення інцидентів використовують датчики, камери та штучний інтелект для виявлення інцидентів (аварії, поломки транспортних засобів тощо) у реальному часі. Негайні сповіщення надсилаються до центрів аварійного реагування, що значно скорочує час реакції на інциденти.

8.2. Системи комунікації транспортних засобів. Під'єднані транспортні засоби можуть автоматично сповіщати централізовану систему або центр аварійного реагування у разі аварії чи поломки. Деякі передові системи дозволяють транспортним засобам зв'язуватися між собою (V2V) та інфраструктурою (V2I), щоб запобігти потенційним інцидентам або координувати аварійні відповіді.

8.3. Пріоритет для спеціалізованих транспортних засобів. Системи пріоритету світлофорів дозволяють спеціалізованим транспортним засобам (як-от швидка допомога, пожежні машини, поліцейські автомобілі) проходити перехрестя без затримки, керуючи світлофорами. • Ці системи забезпечують найшвидший маршрут допомагаючи економити критичний.

8.4. Системи інформації для громадськості. Динамічні інформаційні табло (DMS), радіо для консультацій на автомагістралі та системи аварійного

сповіщення надають інформацію в реальному часі громадськості про інциденти, альтернативні маршрути, очікувані затримки тощо. • Ці системи також можуть розповсюджувати інформацію про загальні надзвичайні ситуації, такі як природні катастрофи, сприяючи евакуації великого масштабу.

8.5. Системи управління аварійними транспортними засобами. Системи, такі як автоматичне визначення місця розташування транспортного засобу (AVL) та система глобального позиціонування (GPS), допомагають диспетчерським центрам відстежувати та управляти парком спеціалізованих транспортних засобів, забезпечуючи реагування найближчого транспортного засобу.

8.6. Інтеграція даних та обізнаність із ситуацією. Інтеграція даних з різних систем (камери, датчики, звіти громадськості) дає загальний огляд транспортної мережі, допомагаючи координувати зусилля багатьох служб у відповідь на інциденти.

Системи аварійного реагування в ITS представляють собою значне вдосконалення управління безпекою та безпекою в транспортних мережах, використовуючи технології для врятування життів та зменшення наслідків інцидентів та надзвичайних ситуацій.

Численні дослідження підтвердили отримання суттєвої вигоди від використання інтелектуальних транспортних систем. Якщо оцінити вартість 1 години очікування транспорту в 12.10 дол. США, зупинки - 0.014 дол. США за зупинку, витрати палива - 0.59 дол. США за літр, то можна підрахувати приблизну величину цієї вигоди [1-3].

Таблиця 2.1

Економічний ефект отриманий від використання АСУДР у США

Транспортний об'єкт	Отримана вигода в рік, дол США
місто Гаханна штат Огайо, ділянка магістралі з 9 регульованих перехресть	88 500
місто Х'юстон штат Техас, ділянка магістралі з 8 регульованих перехресть	577 648

Наведемо інформацію про ІТС в таблиці 2.2, приділивши увагу лише ключовим аспектам і додавши приблизні вартості установки кожної із систем [1-3, 5-7].

Таблиця 2.2

Приблизна величина витрат і отриманого ефекту від використання зарубіжних аналогів АСУДР

Показник	Модель АСУДР		
	SCOOT	ACS-Lite	УТОPIA
Покоління	3	3	4
Витрати			
Ціна за одне перехрестя, \$ США	Від 31372	Від 40000	Від 3500
Інтеграція одного перехрестя в систему, \$ США	Не вимагається	Не вимагається	Від 30000
Отриманий ефект			
Середньорічна вигода, \$ США	141174	-	-
Найбільше скорочення затримок автотранспорту,%	29	50	25
Найбільше скорочення часу зупинки,%	25	15	50
Зниження витрати палива,%	5,7	10	-
Зниження шкідливих викидів в атмосферу,%	3,7	5	10
Збільшення швидкості повідомлення громадського транспорту,%	-	35	-

Проведене дослідження літературних джерел [1-3, 7] дозволило виділити основні переваги та недоліки зарубіжних ІТС (табл. 2.3).

Основні переваги та недоліки зарубіжних ІТС

Назва	Переваги	Недоліки
SCOOT	<p>Працює на дорожній мережі будь-якої конфігурації.</p> <p>Коригує цикли, секції регулювання і зміщення.</p> <p>Дуже швидка реакція - не довше однієї фази.</p> <p>Підтримує будь-яку кількість світлофорних об'єктів.</p> <p>Система управляє всіма об'єктами після разової установки в центрі дорожнього регулювання.</p> <p>Має функції надання пріоритету автобусам, виявлення аварій, а також обмеження допуску в райони для перерозподілу потоків.</p> <p>Рівний, вибірковий або екстра пріоритет для автобусів.</p> <p>Коригує проміжних фази світлофорів залежно від наявності пішоходів</p>	<p>Потрібно безліч детекторів, що встановлюються над проїзною частиною для кожної смуги руху в усіх напрямках.</p> <p>Не використовує в роботі стандарти NTCIP.</p> <p>Працює тільки з дорожніми контролерами фірми Siemens.</p> <p>Якщо зменшення скучень транспорту дозволить значно збільшити швидкість руху, то ризик аварій також може зрости</p>
UTOPIA	<p>Реагує на транспортну ситуацію:</p> <p>Зменшує затримки трафіку.</p> <p>Зменшує або позбавляє від необхідності коригування фаз світлофорів вручну.</p> <p>Здійснює покращення показників щодо фіксованих планів: час у дорозі, затримки, зупинки, витрата палива.</p> <p>Проводить збір та архівування інформації.</p> <p>Ефективне застосування як в маленьких містах з 3-4 перехрестями, так і у великих мегаполісах</p> <p>Може працювати з великим числом дорожніх контролерів (наприклад, Peek'sEuroController)</p>	<p>Високі капітальні витрати на інтеграцію системи.</p> <p>Потрібні значні витрати на обслуговування і професійний штат для оптимального функціонування.</p> <p>Необхідне велике налаштування і моніторинг роботи системи.</p> <p>Додаткові витрати на комунікації.</p> <p>Потреба в більшій кількості технічного персоналу.</p> <p>Наслідком збільшення пропускної здатності доріг може бути зростання попиту на неї серед автовласників. Тим самим вигода, одержувана від використання ІТС, може бути знівельована зростанням інтенсивністю руху</p>

Варто зазначити, що придбання ліцензій для вказаних комплексів може збільшити вартість їх встановлення приблизно на 10-15%. Ці системи, попри свою функціональність, не пропонують додаткові заходи безпеки понад базові стандарти, зокрема гарантуючи відповідний інтервал між фазами, оптимальні тривалості зелених сигналів та відсутність конфліктних ситуацій у світлофорній регулюванні.

На наступному етапі ми розглянемо потенційне використання згаданих систем або їх конкретних компонентів для оптимізації транспортної інфраструктури міста Тернопіль. Детальний огляд буде представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Порівняння можливості встановлення зарубіжних аналогових систем

Назва системи	Параметри (характеристики), за якими можна використовувати дану систему	Параметри (характеристики), за якими не можна використовувати дану систему
ACS-Lite	Не потрібно високошвидкісних комунікацій. Управління організовано з використанням стандартних понять світлофорного регулювання, які застосовуються в Україні (фаза, зсув). Не потребує великої кількості детекторів, може використовувати детектори будь-якого типу. Не вимагає великого штату для обслуговування. Для основи буде використовуватися вже складений план координації. Можливість інтегрувати систему на найбільш проблемних магістралях. Низька вартість. Можливість функціонування без зв'язку з ЦУП	Неможливе використання системи або окремих її елементів через вимоги впровадження стандартів NTSP. Сумісний лише з контролерами виробництва США. Потрібна установка додаткових детекторів. Потрібні надійні комунікації всіх об'єктів з ЦУП.
SCOOT	Можлива установка в центрі управління рухом. Підходить для дорожньої мережі будь-якої конфігурації.	Сумісний лише з контролерами Siemens. Потрібно безліч детекторів
ASTRID	Можливість адаптації модулів під структуру іншої системи.	Можливе функціонування лише з комплексом SCOOT
INGRID		Для роботи може знадобитися модуль ASTRID сумісний тільки зі SCOOT

BusSignal Priority (BSP)– система пріоритет у громадському транспорт у	Можлива робота з використанням системи GPS. Можливо надавати вибірковий пріоритет автобусам, що «спізнюються», мінімізуючи негативний ефект для іншого транспорту.	Може знадобитися установка спеціальних детекторів. Робота може бути обмежена сумісністю тільки з SCOOT
UTOPIA	Можлива установка в центрі управління рухом. Дає можливість вибору керуючої стратегії. Модульність і масштабованість системи.	Сумісний лише з контролерами іноземного виробництва. Вимагає високих капітальних витрат на інтеграцію системи та її подальше обслуговування
UTOPIA	Надає можливість поступового її впровадження і нарощування. Можливе керування як 3-4 перехрестями так і всією транспортною мережею міста	Необхідна більша кількість співробітників. Необхідно забезпечити стійкий зв'язок між об'єктами системи.
BSP	Можлива робота з використанням системи GPS. Можливо надавати вибірковий пріоритет автобусам, що «спізнюються» мінімізуючи негативний ефект для іншого транспорту	Необхідна установка спеціальних детекторів. Робота може бути обмежена сумісністю тільки з UTOPIA
Пріоритет для спецтранспорту	Можливе використання за технологією «зелена вулиця»	Вимагає використання спеціальних технологій або установки певного обладнання для обробки запитів на надання пріоритету.

Після детального аналізу ми дійшли висновку, що повне впровадження зазначених систем у м. Тернопіль в найближчому майбутньому є складним завданням. Інноваційні технології вимагають великих інвестицій. Основний бар'єр - відсутність сучасного обладнання, зокрема детекторів, в наявній транспортній інфраструктурі міста. Додатково, багато із цих систем оптимізовано для роботи з контролерами зарубіжного виробництва, що може призвести до додаткових витрат на адаптацію або заміну обладнання. У зв'язку з цим, доцільніше розглядати поетапне впровадження окремих компонентів системи або пошук альтернативних рішень, адаптованих під потреби міста Тернопіль.

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ВИТРАТ НА СЕРВІС І ЕКСПЛУАТАЦІЮ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДОРОЖНЬОГО УПРАВЛІННЯ

3.1. Штучні нейронні мережі

Адаптивні комп'ютерні системи, зокрема нейронні мережі, є передовими засобами обробки та інтерпретації даних. Вони опрацьовують чисельні дані, що робить їх ідеальними для моделювання та аналізу складних об'єктів, навіть коли відсутня повна інформація про їх властивості.

Ці системи відзначаються широким спектром застосувань, включаючи аналіз зображень, ідентифікацію, а також прогнозування та керування. Однією з основних особливостей є можливість навчання та узагальнення досвіду. Тобто, на основі вивчених даних, система може робити висновки про нові, невідомі їй раніше відомості.

При розробці прогнозних моделей головна мета полягає у визначенні можливих майбутніх сценаріїв на основі існуючих даних. У сфері керування, нейронні мережі можуть виконувати двояку роль: слугувати моделлю для аналізу процесів та адаптуватися до змінних умов.

Важливо також зазначити, що адаптивні системи здатні аналізувати поточний стан об'єкта або процесу, класифікувати його та приймати рішення щодо оптимальних дій у майбутньому.

Штучні нейронні мережі, безсумнівно, виступають потужним інструментом для автоматичних систем управління дорожнім рухом. Проте важливо враховувати їхні певні обмеження.

Перше з них — перенавчання, яке може призвести до втрати можливості штучної мережі адекватно реагувати на нові дані. Забагато параметрів може заважити мережі ефективно адаптуватися до невідомих раніше ситуацій.

Друге обмеження полягає в складності аналізу внутрішньої структури мережі. Інформація, яка зберігається в мережі, розподілена серед її компонентів, що ускладнює її інтерпретацію. Більше того, інтеграція зовнішньої експертної інформації в мережу може бути викликом.

Однак ці проблеми можна вирішити за допомогою комбінованого підходу, що об'єднує методи нейронних мереж та нечіткої логіки. Це дозволяє створити системи, які можуть ефективно адаптуватися, вивчати нове та бути зрозумілими для користувача, зберігаючи при цьому здатність до глибокого аналізу та прогнозування.

Нейромережі мають унікальну спроможність виявляти приховані залежності в даних, які часто залишаються непомітними для традиційних аналітичних методів. Наприклад, у авіаційній галузі нейромережа здатна визначити дефект "стружка в маслі", хоча з погляду експертів ніякі зовнішні параметри роботи двигуна на це не вказують. Така здатність нейромереж до "глибокого" аналізу може стати в нагоді при управлінні дорожнім рухом.

Це забезпечує нейромережам перевагу над звичайними програмними рішеннями в аспектах прогнозування та діагностики. У контексті управління дорожнім рухом, нейромережа може "відчувати" потенційні проблемні ситуації набагато раніше, ніж вони стануть очевидними. Це дає можливість оперативно реагувати, запобігаючи можливим кризовим моментам та знижуючи ризик аварій. Така проактивність є ключовою для підтримки безпеки та ефективності дорожнього руху.

3.2. Механізм функціонування та витрати на встановлення і обслуговування удосконаленої АСУДР

Щоб забезпечити оптимальну роботу системи управління дорожнім рухом, важливо оснастити перехрестя та ключові ділянки доріг сенсорами для

відстеження руху транспортних засобів. Біля основних дорожніх контролерів рекомендується розмістити спеціалізовані модулі для інтеграції з системами навігації. Важливим аспектом є також створення надійного каналу зв'язку між дорожніми контролерами та центральним пунктом управління, щоб забезпечити неперервний обмін даними.

Схематичне представлення алгоритму дій системи управління дорожнім рухом можна переглянути на рисунку 3.1.

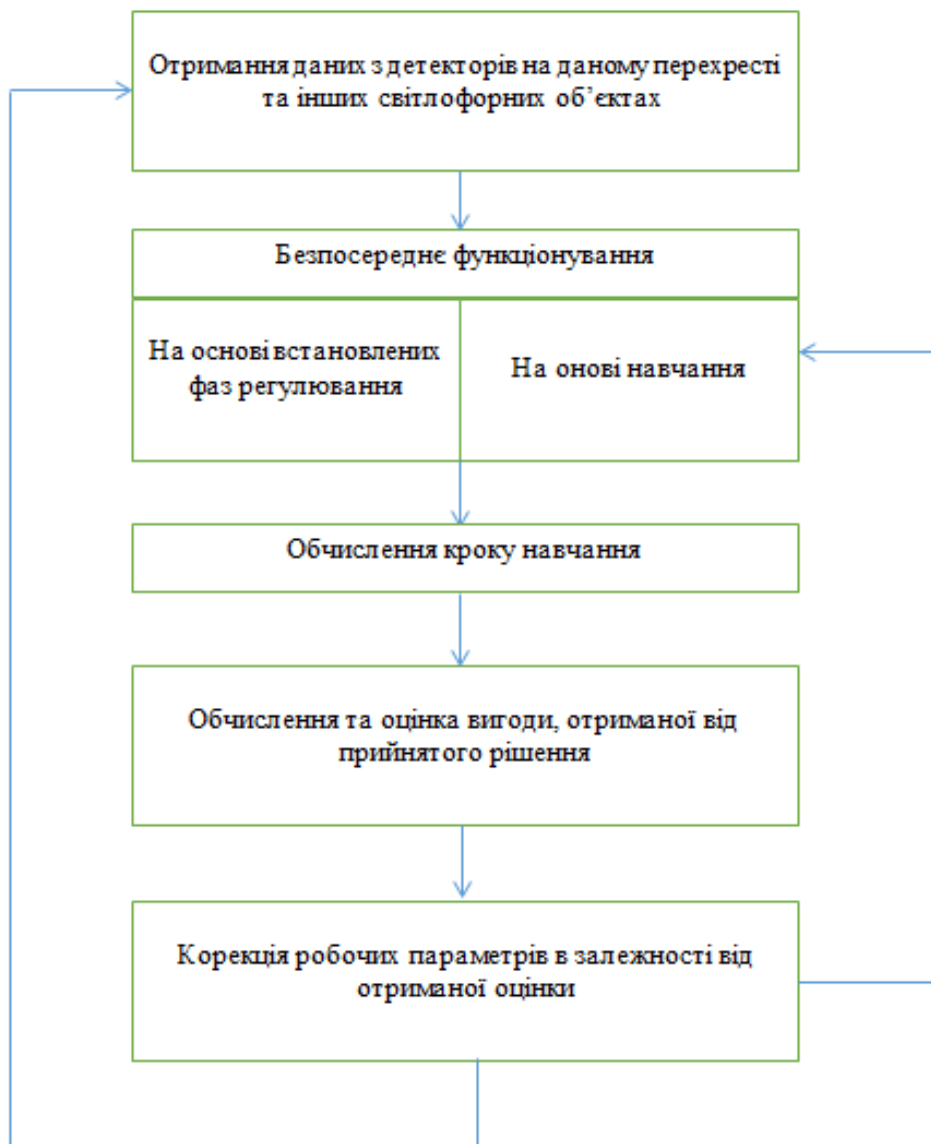


Рисунок 3.1 - Блок-схема функціонування АСУДР

Адаптивна система управління дорожнім рухом є перспективним напрямком, який має потенціал значно покращити ефективність руху на дорогах. Основна ідея такої системи полягає в використанні нейронних мереж

для аналізу даних з дорожніх детекторів, що встановлені на ключових перетинах.

Збір даних про рух відбувається завдяки спеціалізованим дорожнім контролерам, які взаємодіють з детекторами транспорту. Отримані дані потім проходять етап опрацювання, де вони класифікуються, фільтруються і готуються для подальшої обробки нейронною мережею.

Нейронна мережа, на основі попереднього навчання, вміє визначати оптимальний час роботи кожного сигналу світлофора, виходячи з актуальної дорожньої ситуації. Це забезпечує гнучке управління транспортними потоками, підстосовуючи режим роботи світлофорів до потреб моменту.

Однак важливо враховувати не тільки локальну ситуацію на одному перетині, а й загальний контекст руху в місті. Тому доцільно комбінувати роботу декількох нейронних мереж: локальні мережі аналізують ситуацію на окремих перехрестях, тоді як глобальна мережа забезпечує координацію між ними, уникаючи можливих конфліктних ситуацій.

Використання такого підходу не тільки оптимізує рух на окремих перетинах, але і сприяє покращенню транспортних потоків в місті як цілому, сприяючи плавності руху і зниженню пробок.

Розмір вкладень в капітальний, поточний та профілактичний ремонт може коливатися, залежно від масштабу робіт, їх технічної вимогливості, стану основних активів, цін на комплектуючі та матеріали для ремонту. Бюджет на поточний і профілактичний ремонт техніки встановлюється на рівні 5% від її початкової вартості, розраховуючись згідно наступного рівняння [11-14]:

$$U_p = K_6 \cdot 0,05, \quad (3.1)$$

де K_6 – балансова вартість технічних засобів.

Проблема перевантаження дорожнього руху стає все більш актуальною для Тернополя, особливо на транспортному вузлі, що об'єднує вулиці 15 Квітня,

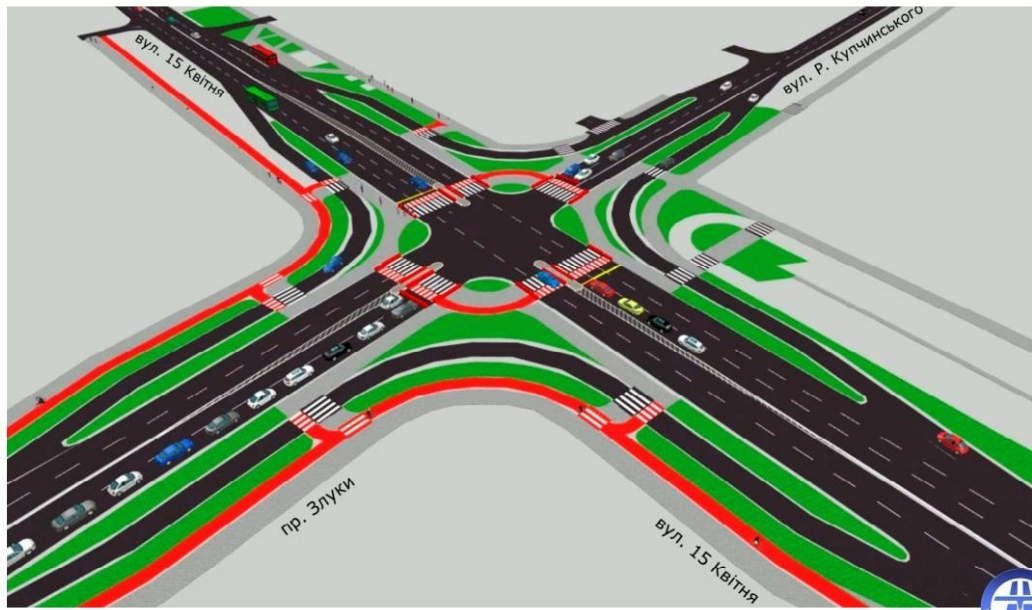
Р. Купчинського та проспект Злуки (рис. 3.1а). Дані 2019 року свідчать, що добовий потік транспортних засобів на цьому перехресті досяг 25 тис. автомобілів. А після введення обмежень через карантин, інтенсивність руху несподівано зросла на 40%. Спостерігаючи за рухом на вулиці 15 Квітня, можна побачити, що довжина заторів під час години пік досягає 700 м, а також є проблеми з лівоповоротними маневрами.

Рішенням цієї проблеми може стати реконструкція даного перехрестя: планується виділення окремих смуг для право- та лівоповоротів, що сприятиме зменшенню заторів та підвищить пропускну здатність магістралі. Додатково, для підвищення безпеки пішоходів, розглядається можливість облаштування островців безпеки на пішохідних переходах, що дозволить забезпечити захист найбільш вразливих учасників дорожнього руху (рис. 3.1б) [4].

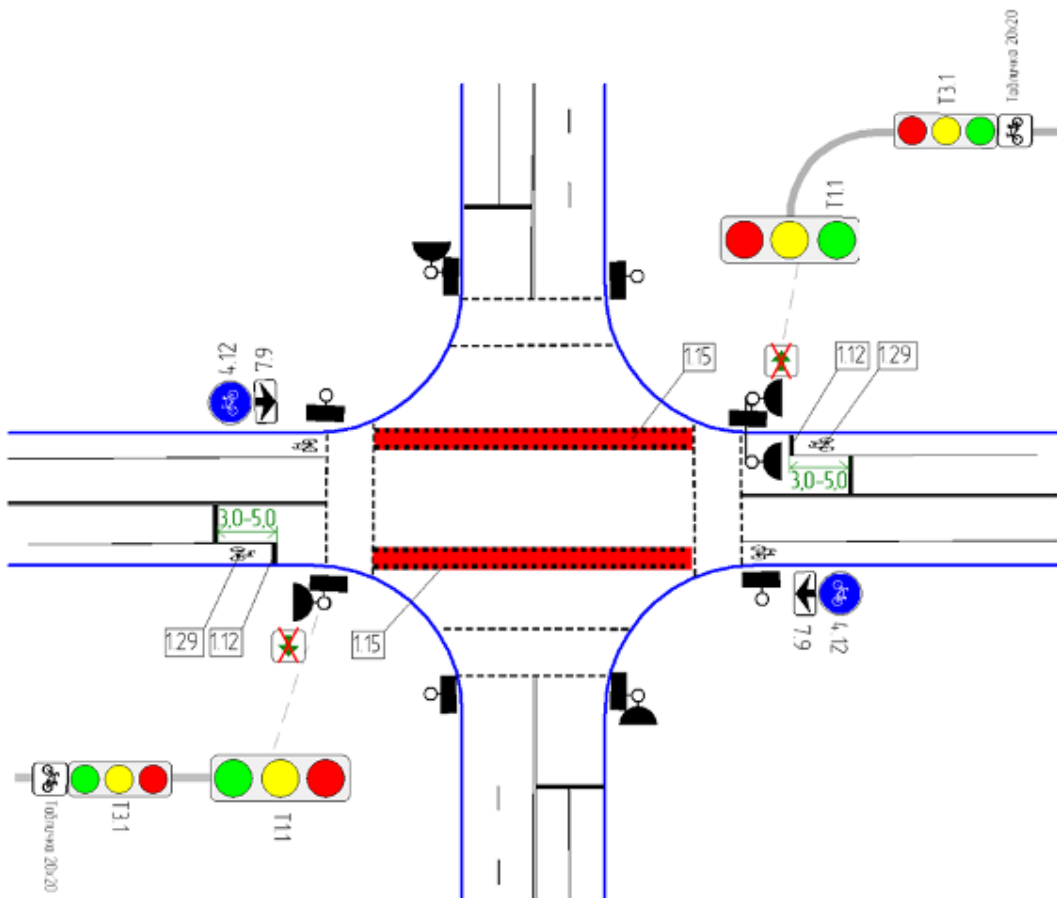


а)

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ (ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ РОЗВ'ЯЗКИ)
 перехрестя вул. 15 квітня – вул. Купчинського - просп. Злуки



б)



в)

Рисунок 3.2 - Перехрестя вул. Злуки – Купчинського – 15 квітня
 м. Тернопіль

Вартість обладнання розрахована для перехрестя, що зображена на рис. 3.2 подана в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Вартість обладнання для АСУДР на перехресті автомобільних доріг вул. Злуки – Купчинського – 15 квітня м. Тернопіль

Обладнання	Вартість за одиницю, грн.	Кількість на одне перехрестя, шт.	Необхідна кількість на ділянку дороги, шт.	Загальна вартість, грн.
Індуктивний детектор транспорту без обробки інформації на 8 каналів	10650	8	32	340800
Контролер районного центру КРЦН для дротового зв'язку на 16 ліній (32ДК)	82540,18	1	4	330160,7
Пристрій ДТЦ	13661,76	1	4	54647,04
Програмне забезпечення КРЦН	100290,4	1	1	100290,4
Розробка структури та загального опису системи	32867,64	1	1	32867,64
Разом				858765,8

Лише одноразово придбається програмне забезпечення для КРЦН для всієї ділянки шляху, а також створення концепції та детального опису системи. Такі види витрат не враховуються під час калькуляції цін на регулярний та запобіжний ремонт.

Розрахунок вартості регулярного та запобіжного ремонтів обладнання встановлено на рівні 5% від його повної вартості.

$$U_p = (858765,8 - 340800 - 330160,7 - 54647,04) \cdot 0,05 = 6657,903 \text{ грн.}$$

Оплата праці співробітників, задіяних у сервісному обслуговуванні системи, розраховується згідно з формулою, вказаною у джерелах [11, 14]:

$$U_{\text{зн}} = 12k_0 \sum_{i=1}^n C_i Z_i, \quad (3.2)$$

де k_0 - коефіцієнт, що враховує розмір відрахування на соціальне страхування;

$ч_i$ – чисельність персоналу i -ої категорії, чол.;

$з_i$ – середньомісячна заробітна плата працівників i -ої категорії.

Потреба у обслуговуючому персоналі подана в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Потреба в персоналі

Посада	Кількість робочих місць	Середньомісячна заробітна плата, грн.
Системний адміністратор сервера	1	12000
ІТС	1	10000
Оператор ІТС	1	10000
Технолог	1	12000
Черговий інспектор	1	10000

Заробітна плата персоналу, що обслуговує систему складає:

$$U_{zn} = 12 \cdot 3,5 \cdot (12000 \cdot 1 + 10000 \cdot 1 + 10000 \cdot 12000 \cdot 1 + 10000 \cdot 1) = 2268000 \text{ грн.}$$

При використанні лінійного методу амортизації, величина амортизаційних відрахувань за місяць обчислюється як результат множення початкової вартості об'єкта основних фондів на встановлену норму амортизації, яка встановлюється на підставі формули з джерел [11, 14].

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100 \%, \quad (3.3)$$

У цій ситуації ми обираємо лінійний метод амортизації, тому що він є найбільш придатним для застосування до даного обладнання. Деталізований розрахунок амортизаційної норми та сум амортизаційних відрахувань ви можете знайти в таблиці 3.3.

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Основні засоби	Термін служби, років	Норма амортизації, %	Вартість ОС, грн.	Амортизаційні відрахування в рік, тис. грн.
Індуктивний детектор транспорту без обробки інформації на 8 каналів (ДТИ)	6	16,67	340800	56811,36
Контролер районного центру КРЦН для дрогоного зв'язку на 16 ліній	11	5	330160,7	16508,035
Облаштування ДІТ	12	8,33	53145	4426,9
Програмне забезпечення КРЦН	10	10	100290,4	10029,04
Разом				87775,34

Таким чином, витрати на амортизацію усього устаткування в рік складуть 87775,34 грн.

Крім витрат на придбання обладнання, при монтажі устаткування необхідно також врахувати обсяг споживаної електроенергії для забезпечення роботи всіх апаратів. Розрахунок витрат на електроенергію базується на показниках потужності обладнання, які наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Потужність використовуваного устаткування

Основні засоби	Потужність, кВт	Кількість, шт.	Сумарна потужність, кВт
Індуктивний детектор транспорту без обробки інформації ДТИ на 8 каналів	25	32	800
Контролер районного центру КРЦН для дрогоного зв'язку на 16 ліній	45	4	180
Облаштування ДТИ	10	4	40
Разом			1020

Розрахунок витрат на електроенергію проведемо за формулою [14]

$$U_{ен} = P' T_{рб} C_{ен} k_m, \quad (3.4)$$

де P' - встановлена потужність струмоприймача, кВт;

$T_{рб}$ – число годин роботи протягом року, год.;

$C_{ен}$ – вартість 1 кВт/год. електроенергії, грн.;

k_m – коефіцієнт використання встановленої потужності.

Отже витрати на електроенергію спроектованого комплексу складуть 8208672 грн.

Загальна сума витрат, пов'язаних з експлуатацією ІТС, визначається за формулою

$$C_e = U_p + U_{зп} + U_a + U_{ен}, \quad (3.5)$$

та становить 10671273,6 грн.

3.3. Визначення непрямого економічного ефекту

Непрямий економічний ефект визначають шляхом підсумовування вигод, які полягають у зниженні витрат і зменшенні збитків, що виникають у зовнішньому середовищі в результаті реалізації певних заходів. Розрахунок цього ефекту проводиться згідно з формулою, описаною в джерелі [14].

$$E_n = E_{тз} + E_{пас} + E_{піш} + E_{дтп} + E_{оп} + E_{вод}, \quad (3.6)$$

де $E_{тз}$ - економічна вигода від зменшення часових затрат транспортних засобів, виражена у гривнях;

$E_{пас}$ – фінансовий результат від зменшення часових витрат пасажирів, вимірний у гривнях;

$E_{\text{піш}}$ – економічний результат від зниження часових витрат у пішоходів, виражений у гривнях;

$E_{\text{дтп}}$ – економічна вигода від зменшення збитків, спричинених дорожньо-транспортними пригодами, представлена у гривневому еквіваленті;

$E_{\text{оп}}$ – ефект від зниження втрат від забруднення повітря (очищення повітря), грн.;

$E_{\text{вод}}$ – ефект від поліпшення психофізіологічних умов роботи водіїв, грн.

Ефект від скорочення втрат часу транспортними засобами визначається за формулою [7, 11, 14]

$$E_{\text{тз}} = \sum (T_{\text{mzi}}^{\text{б}} - T_{\text{mzi}}^{\text{пр}}) \Phi_{\text{mzi}}, \quad (3.7)$$

де $T_{\text{mzi}}^{\text{б}}, T_{\text{mzi}}^{\text{пр}}$ – річні витрат часу автотранспортними засобами і-го виду відповідно у базовому і проєктованому варіантах, год.;

Φ_{mzi} – вартість однієї автомобіле-години певного виду транспортного засобу грн.

Річні втрати часу на заданому перехресті представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Річні втрати часу

Перехрестя	До впровадження системи			Після впровадження системи (зниження на 33 %)*		
	ПТ	ВТ	ЛГ	ПТ	ВТ	ЛГ
Перехрестя вул. Злуки – Купчинського – 15 квітня	4500	1200	1700	3400	600	1100

де ПТ - пасажирський транспорт;

ВТ - вантажний транспорт;

ЛГ - легковий транспорт

Вартість автомобіле-години транспортних засобів певного виду представлено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Приблизна вартість автомобіле-години

Вид транспорту	Вартість автомобіле-години, грн.
Пасажирський	35
Вантажний	53
Легковий	67

$$E_{\text{тз}} = (4500-3400) \cdot 35 + (1200-600) \cdot 53 + (1700-1100) \cdot 67 = 110\,500 \text{ грн.}$$

Ефект від скорочення втрат часу пасажирів визначається за формулою [7, 11, 14]

$$E_{\text{пас}} = (T_{\text{пас}}^{\text{б}} - T_{\text{пас}}^{\text{пр}}) \Phi_{\text{пас}}, \quad (3.8)$$

де $T_{\text{пас}}^{\text{б}}, T_{\text{пас}}^{\text{пр}}$ – річні втрат часу пасажирів відповідно у базовому і проєктованому варіантах, год.;

$\Phi_{\text{пас}}$ – вартість однієї пасажиро-години, грн.

$$E_{\text{пас}} = (4500-3400) \cdot 8 = 8800 \text{ грн.}$$

$$T_{\text{пас}} = N_{\text{авт}} \cdot q_{\text{авт}} \cdot \Gamma_{\text{авт}} \cdot Z_{\text{авт}}, \quad (3.9)$$

де $q_{\text{авт}}$ - місткість автобуса, пас.,

$\Gamma_{\text{авт}}$ - коефіцієнт заповнення автобуса;

$N_{\text{авт}}$ - кількість автобусів, які зупинилися на перехресті за рік, тис.од.

$$T_{\text{пас}}^{\text{б}} = (25000 \cdot 50 \cdot 0,7 \cdot 0,005) = 4375.$$

$$T_{\text{пас}}^{\text{пр}} = (22500 \cdot 50 \cdot 0,7 \cdot 0,004) = 3150.$$

Ефект від скорочення втрат часу пішоходів розраховується за формулою [11]

$$E_{\text{піш}} = (T_{\text{піш}}^{\text{б}} - T_{\text{піш}}^{\text{пр}}) \Phi_{\text{піш}}, \quad (3.10)$$

де $T_{\text{піш}}^{\text{б}}, T_{\text{піш}}^{\text{пр}}$ – річні втрати часу пішоходів у базовому і проектованому варіантах, год

$\Phi_{\text{піш}}$ – вартість однієї пішохода-години, грн.

$$E_{\text{піш}} = (50000 - 37500) \cdot 8 = 100\,000 \text{ грн.}$$

Ефект від скорочення числа ДТП визначається за формулою [4]

$$E_{\text{ДТП}} = (N_{\text{ДТП}}^{\text{б}} - N_{\text{ДТП}}^{\text{пр}}) \Phi_{\text{ДТП}}, \quad (3.11)$$

де $N_{\text{ДТП}}^{\text{б}}, N_{\text{ДТП}}^{\text{пр}}$ – річна кількість ДТП в проектованому і базовому варіантах відповідно;

$\Phi_{\text{ДТП}}$ – вартісна оцінка втрат від одного ДТП, грн.

$$\Phi_{\text{ДТП}} = \frac{y_{\text{ДТП}}^{\text{б}}}{N_{\text{ДТП}}^{\text{б}}}, \quad (3.12)$$

$$E_{\text{ДТП}} = (6 - 1) \cdot 319605 = 1598025 \text{ грн.}$$

3.4. Визначення економічного ефекту від впровадження АСУДР

Середній збиток від ДТП по м. Тернопіль для пасажирського транспорту складає 104000 грн., для вантажних автомобілів 210000 грн., для легкових автомобілів 7000 грн.

Число ДТП на проектованому перехресті складає для пасажирського транспорту 2 ДТП в рік, для вантажного транспорту 3 ДТП, для легкового 8 ДТП.

Збиток від ДТП, здійсненого в t -му році, розраховується за формулою

$$Y_{\text{л}}^t = \Pi_{\text{п}}^t \cdot n_1 + \Pi_{\text{в}}^t \cdot n_2 + \Pi_{\text{л}}^t \cdot n_3, \quad (3.13)$$

$$Y_{\text{л}}^t = 104000 \cdot 2 + 210000 \cdot 3 + 7000 \cdot 8 = 894000.$$

Кількість дорожньо-транспортних пригод, які можуть бути попереджені в результаті впровадження заходів, що підвищують безпеку дорожнього руху, можна визначити, помноживши середню кількість ДТП за минулий рік на показник зменшення цієї кількості ДТП.

$$DN_{\text{дтп}} = \frac{Dk \cdot N_{\text{дтп}}^{\text{б}} \cdot 365}{T}, \quad (3.14)$$

$$DN_{\text{дтп}} = \frac{0,95 \cdot 6 \cdot 365}{365} = 5,7.$$

$$Dk = 1 - (1 - Dk_1)(1 - Dk_2)(1 - Dk_n), \quad (3.15)$$

$$Dk = 1 - (1 - 0,62)(1 - 0,67)(1 - 0,62)(1 - 0,497) = 0,95.$$

Ефект від зниження збитку від забруднення повітря визначається за формулою

$$E_{\text{оп}} = \sum (C_{\text{оп}i}^{\text{б}} - C_{\text{оп}i}^{\text{пр}}) \Phi_i, \quad (3.16)$$

де $C_{\text{оп}i}^{\text{б}}$, $C_{\text{оп}i}^{\text{пр}}$ – річні викиди шкідливих речовин транспортними засобами i -го виду, кг;

Φ_i – вартісна оцінка збитку від забруднення повітря відпрацьованими газами, грн./кг.

Річні викиди шкідливих речовин транспортними засобами i -го виду розраховуються за формулою [11]

$$C_{opi} = T_{mci} \cdot C_{op} , \quad (3.17)$$

де C_{op} – річні викиди шкідливих речовин транспортними засобами i -го виду, кг;

T_{mci} – річні втрати часу транспортними засобами i -го виду відповідно у базовому і проектуваному варіантах, год.;

$$C_{op1}^b = 4500 \cdot 0,3 = 1350;$$

$$C_{op1}^{pp} = 3400 \cdot 0,3 = 1020;$$

$$C_{op2}^b = 1200 \cdot 0,8 = 960;$$

$$C_{op2}^{pp} = 600 \cdot 0,8 = 480;$$

$$C_{op3}^b = 1700 \cdot 0,8 = 1360;$$

$$C_{op2}^{pp} = 1100 \cdot 0,8 = 880.$$

$$E_{оп} = (1350 - 1020)3,5 + (960 - 480)3,5 + (1360 - 880)3,5 = 4515 \text{ грн.}$$

Ефект від покращення психофізіологічних умов роботи водіїв складає приблизно 10 % від скорочення збитку, пов'язаного з дорожньо-транспортними подіями і розраховується за формулою [7, 11]

$$E_{вод} = 0,1 \cdot E_{дтп}, \quad (3.18)$$

$$E_{вод} = 0,1 \cdot 1598025 = 159803 \text{ грн.}$$

$$E_n = 110500 + 8800 + 100000 + 1598025 + 4515 + 159803 = 1981643 \text{ грн.}$$

Результати проведених розрахунків представлені в таблиці 3.7.

Непрямий економічний ефект від реалізації запропонованих заходів

Показник	Результат, грн.	Структура ефекту, %
Ефект від скорочення втрат часу транспортними засобами	110500	5,8
Ефект від скорочення втрат часу пасажирів	8800	0,6
Ефект від скорочення втрат часу пішоходів	100000	5,0
Ефект від скорочення збитку від ДТП	1598025	80,1
Ефект від зниження збитку забруднення повітря	4515	0,4
Ефект від поліпшення психофізіологічних умов роботи водіїв	159803	8,0
Непрямий економічний ефект	1981643	100

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Вплив дорожньо-транспортних ситуацій на безпеку людини

Безпека життєдіяльності розглядає питання охорони праці, довкілля та екології. Завдання забезпечення безпеки життєдіяльності людини зводяться до теоретичного аналізу небезпечних та шкідливих чинників у місці існування людини, комплексній оцінці багатofакторного впливу небезпечного і шкідливого впливу на здоров'я людини та прогнозуванню надзвичайних ситуацій. У межах практичних завдань з охорони праці та безпеки життєдіяльності входять завдання забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) та запобігання дорожньо-транспортним пригодам (ДТП) та їх наслідкам [20, 21].

Поряд із позитивною роллю, яку автомобільний транспорт відіграє у розвитку економіки, існують і негативні чинники, пов'язані з процесом автомобілізації. До них відносяться забруднення довкілля, містобудівні проблеми, пов'язані з виділенням міського простору для руху і стоянок транспортних засобів, ріст дефіциту нафтопродуктів тощо. До найбільш негативних чинників процесу автомобілізації належать дорожньо-транспортні пригоди та їх наслідки, що характеризуються загибеллю та пораненням людей, матеріальними збитками від пошкодження транспортних засобів, вантажів, дорожніх або інших споруд, виплатою відшкодування у зв'язку з інвалідністю та тимчасовою непрацездатністю тощо.

У більшості випадків розроблення заходів, спрямованих на підвищення БДР, базується на ретельному аналізі причин та умов виникнення ДТП, прогнозуванні розвитку ситуації, а також визначенні найбільш ефективних напрямів боротьби з аварійністю [20, 21].

4.2. Стомлення, його причини та психофізіологічні механізми

Проблема стомлення є вельми складним науково-практичним питанням, яке досліджують представники різних наук – фізіологи, психологи та інші спеціалісти.

Втома – сукупність тимчасових змін у фізіологічному і психічному стані людини, які з'являються внаслідок напруженої чи тривалої діяльності і призводять до погіршення її кількісних та якісних показників. Стан втоми залежить від звички людини до фізичного та розумового напруження. Якщо таких звичок немає, то втома може настати на самому початку роботи. Суб'єктивне відчуття втоми називається змореністю (стомленістю).

Стомлення проявляється в різних сферах. Тому розрізняють техніко-економічні, фізіологічні, психологічні і медичні ознаки стомлення.

До числа техніко-економічних ознак втоми входять зниження виробітку, зростання браку й інше. До фізіологічних ознак – зменшення витривалості, тремтіння у пальцях, подовження часу зорово-моторної реакції, зростання температури шкіри голови і рук, інші показники. Психологічні ознаки втоми – це відчуття змореності, загальмованість психічних процесів, інші ознаки. Медичними показниками стомлення є травматизм і виробничо-обумовлені захворювання.

Стомлення за своєю біологічною суттю є нормальним фізіологічним процесом, який супроводжується певними змінами функціонального стану і виконує захисну роль в організмі, оберігаючи його від надмірного перенапруження і можливого, у зв'язку з цим, ураження і виснаження.

Перенапруження визначається як несприятливий, граничний між нормою і патологією функціональний стан окремих фізіологічних систем або органів, зумовлений надмірними або тривалими навантаженнями або напруження цих систем або органів. У результаті перенапруження знижується резистентність організму людини до різноманітних несприятливих впливів.

Виникнення втоми обумовлено багатьма причинами, які можуть бути неоднаковими при різній діяльності людини. В одних випадках зниження

працездатності залежить від зменшення енергетичних запасів, в інших цей фактор не має жодного значення.

Зниження працездатності при втомі обумовлюється змінами у проведенні нервових імпульсів через синапси у центральній нервовій системі та у м'язах.

У працюючих м'язах також можуть знижуватись запаси енергетичних речовин. Окрім того, стомлююча робота призводить до зниження активності ферментів, які каталізують хімічні реакції.

Таким чином, причини стомлення складні і різноманітні.

Втома після важкої, але потрібної людині праці супроводжується позитивним емоційним станом.

Розрізняють фізичне і розумове стомлення. Крім того, виділяють первинну втому, яка розвивається досить швидко, на початку робочого дня і є ознакою недостатнього закріплення трудових навичок. Вона переборюється у процесі праці, в результаті чого виникає «друге дихання» – значне підвищення працездатності. Розрізняють вторинну, або таку, що повільно розвивається, втому – власне стомлення, яка виникає приблизно через 2,5-3 години від початку роботи та для зняття якої необхідний відпочинок.

У зв'язку зі змінами психічного стану ряд психофізіологів пропонують виділяти три стадії втоми. На першій стадії прояв відчуття стомленості є незначним, продуктивність праці не знижена; друга стадія характеризується значним зниженням продуктивності праці та вираженими психічними змінами (дефекти пам'яті і мислення, ослаблення волі, витримки, самоконтролю); третя стадія оцінюється як гостра перевтома.

Головними ознаками перевтоми при фізичній діяльності є тимчасова відмова від роботи в результаті порушення функціонування хоч би однієї з чисельних ланок рухової системи. Чим вища потужність виконуваної роботи, тим вища вірогідність того, що такою ланкою буде нервово-м'язовий апарат.

4.3. Основні причини скоєння дорожньо-транспортних пригод та безпека учасників ДР

До основних причини скоєння дорожньо-транспортних пригод варто віднести:

- керування ТЗ у стані спяніння (в середньому до 12-18 %);
- недодержання дистанції (до 5% від загальної кількості ДТП);
- перевищення допустимої швидкості руху ТЗ (до 40%);
- виїзд на смугу де рухається зустрічний транспорт (до 10 %);
- порушення правил проїзду залізнично дорожніх перехресть(до 10%).

В останні роки простежується значне зростання дорожньо-транспортних пригод через перевищення швидкісного режиму (з 20% у 2018 році до 40% у 2019), а також порушення правил проїзду перехресть (з 6 у 2018 до 12 % у 2019 році).

Причини та умови, які сприяють зростанню ДТП:

- низький рівень дорожньої дисципліни в учасників руху;
- недостатні навички водійської майстерності;
- поганий стан вулично-шляхової мережі;
- недостатній рівень упровадження у практичне застосування новітніх технологій і технічних засобів організації дорожнього руху, перш за все у містах з великим населенням;
- низька ефективність нагляду за дотриманням учасниками дорожнього руху правил та вимог безпеки;
- неналежний технічний стан автомобільного парку, де залишається великою частка старих транспортних засобів, які являють собою об'єктивну загрозу безпеці руху.

Сучасні автомобілі здатні рухатися зі швидкостями значно більшими 100 км/год. Але сенсорна система людини пристосована до швидкості руху пішки, в кращому випадку – швидкості кінного руху. Тому з точки зору найбільш продуктивної роботи сенсорної сфери (прийому інформації, її переробки, впровадження в дію прийнятих рішень) швидкість не повинна перевищувати 60 км/год. Із зростанням швидкості руху кількість сприйнятої інформації зменшується, що в умовах щільного транспортного потоку, при маневруванні,

при наявності пішохідного руху стає небезпечним, підвищуючи ризик виникнення аварійних ситуацій і ДТП.

При ДТП (зустрічному зіткненні або наїзді на нерухому перешкоду) виникають значні прискорення та відповідно й перевантаження.

За даними фахівців, шанс водія залишитися живим при ДТП, якщо автомобіль рухався зі швидкістю 115 км/год, дорівнює нулю. Якщо прийняти ризик загибелі пасажирів при ДТП при швидкості руху 65 км/год за 1, то при швидкості 85 км/год він буде дорівнювати 1,5; при швидкості 96 км/год – 2,5; при 112 км/год – 6, при 128 км/год – 20. Звичайно, що в разі ДТП із зростанням швидкості зростають і матеріальні втрати від пошкодження транспортних засобів.

Під високою швидкістю фахівці мають на увазі рух із швидкістю, близьку або таку, що перевищує безпечну для даної дорожньої обстановки та конкретного водія.

Безпечна швидкість руху залежить від багатьох факторів, але в найзначнішій мірі – від надійності водія. Саме від водія вимагається під час руху обирати безпечну швидкість.

Отже, висока, небезпечна швидкість може бути 40-60 км/год для одних умов, для інших – 80 – 100 км/год і більше.

Під час руху на великих швидкостях утруднено сприйняття об'єктів на дорозі й у просторі біля дороги, тому збільшується час реакції та гальмівний шлях (при швидкості руху 50 км/год гальмівний шлях становить близько 15 м, при 100 км/год – близько 60 м). Збільшення часу реакції та гальмівного шляху в умовах збільшення швидкості руху призводить до збільшення ймовірності наїздів на перешкоди, пішоходів, попутні зіткнення тощо.

Особливості сприйняття під час руху з великою швидкістю:

1. Просторове сприйняття різко обмежене, так як звужується поле зору.
2. Водії позбавлені свободи маневру.
3. Водій змушений працювати у нав'язаному йому темпі, так як уся дорожня інформація пред'являється йому на обмежений час.

Надійність керування на великій швидкості залежить від вміння водія прогнозувати розвиток дорожньої обстановки; вміння організувати спостереження за дорожньою обстановкою, тобто вчасно отримувати потрібну інформацію та відкидати таку, яка не має відношення до забезпечення безпеки руху; вміння вчасними діями попереджати небезпечний розвиток обстановки на дорозі.

Під час руху на великих швидкостях у щільному транспортному потоці на ділянках з обмеженою пропускнуою здатністю виграш часу як правило незначний, тоді як вірогідність ДТП багаторазово збільшується.

При організації дорожнього руху необхідно враховувати, що безпечними швидкостями є лише такі, які забезпечують водію оптимальне нервово-емоційне та інформаційне навантаження. Причому потрібно врахувати психологічний фактор обмеження: незрозумілі, невиправдані обмеження не тільки не виконують поставленої мети, а й провокують порушення водіями введених обмежень. Водії за таких умов не будуть виконувати не тільки згаданих обмежень, а й взагалі збудуть з недовірою ставитися до усіх заходів по організації руху.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Якість управління ДР, включаючи автомобілі та пішоходів, має вирішальне значення для забезпечення безпеки на дорогах та ефективності транспортних перевезень. Недостатнє розуміння характеристик дорожнього руху створює бар'єри для ефективного планування і втілення заходів з його регулювання, а також для швидкої адаптації до змін у вимогах і умовах транспортування людей та товарів.

За результатами аналізу ситуації на транспортній мережі Тернополя стає очевидним, що існують нагальні завдання: оптимізація руху приватного і громадського транспорту для уникнення заторів, пониження рівня дорожньо-транспортних подій, а також зменшення негативного впливу транспортних засобів на екологію. Вирішення цих проблем потребує впровадження інтегрованої системи автоматизованого контролю за дорожнім рухом.

Ключову роль у комплексі ініціатив, спрямованих на вирішення транспортних проблем у Тернополі, відіграє розробка та впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Такі системи представляють собою єднання інформаційних та управлінських технологій, що слугують для оптимізації роботи наземного автомобільного та електричного транспорту міста, базуючись на передових інформаційних і телекомунікаційних розробках та методиках управління.

Було розроблено блок-схему, що ілюструє ключові компоненти системи та її програмне забезпечення, відповідальне за координацію діяльності.

Значною перевагою АСУДР є зменшення часу реагування на зміни в дорожній ситуації. Встановлено, що впровадження системи є економічно вигідним, особливо враховуючи великі витрати на будівництво нових доріг порівняно з встановленням додаткових світлофорних об'єктів. Ефективно спланована система управління здатна збільшити пропускну спроможність шляхів на 30-40%.

Інтеграція сучасних технологій в дорожню інфраструктуру міста Тернопіль виявляється найбільш продуктивною стратегією для вирішення існуючих транспортних викликів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Advice Leaflet 1: The “SCOOT” Urban Traffic Control System [Електронний ресурс] http://www.scoot-utc.com/documents/1_SCOOT-UTC.pdf.
2. Ceder, A. (2015) Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior, Second Edition - CRC Press Book.
3. http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB4_Vehicles-and-Fuels/GIZ_SUTP_SB4e_Intelligent-Transport-Systems-UA.pdf. – Режим доступу: http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB4_Vehicles-and-Fuels/GIZ_SUTP_SB4e_Intelligent-Transport-Systems-UA.pdf.
4. <https://zbruc.eu/node/101021>.
5. Traffic Network Study Tool / [Електронний ресурс] <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/TRANSYT-7F/>.
6. Zabyshnyi Y.O. Influence of exhaust for air condition in cities / Y.O. Zabyshnyi, Y.M. Semchuk, V.M. Melnyk, B.V. Dolishniy // The scientific heritage. – Hungary, VOL 1, No 3 (3) (2016). – p. 28-34.
7. Аулін В. В., Гриньків А. В. та інші. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2020. – 428с.
8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Кіберфізичний підхід в дослідження стану технічних систем. Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability: матеріали Міжнародної науковопрактичної конф., 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С.168- 169..
9. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98.
10. ДСТУ 4159-2003. Безпека дорожнього руху. Організація дорожнього руху. Умовні позначення на схемах і планах.
11. Іванілов О.С. Економіка підприємств автомобільного транспорту: підручник для студентів вищих навчальних закладів / О.С. Іванілов, І.А. Дмитрієв, І.Ю. Шевченко. Х.: Стиль-Издат, 2017. 632 с.

Інтелектуальні транспортні системи. Стійкий розвиток транспортної системи : збірник матеріалів для політиків міст // GTZ. – жовтень. – 2007. – С. 40.

12. Методичні вказівки для виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів за освітньо-професійною програмою "Транспортні технології (автомобільний транспорт)" другого рівня вищої освіти спеціальності 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форми навчання / уклад.: О.П. Цьонь, У.М. Плекан, Ю.Я. Вовк, В.О. Дзюра, Н.Я. Рожко, М.В. Бабій, А.Й. Матвіїшин, І.М. Кучвара; під заг. редакцією У.М. Плекан. М-во освіти і науки Укр., Тернопільський нац. техн. ун-т. ім. І. Пулюя – Тернопіль: ТНТУ, 2021. – 52 с.

13. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизовані системи управління на транспорті» (для студентів 4 курсу всіх форм навчання напряму підготовки 1004 «Транспортні технології»). Укл.: В.С.Віниченко – Харків: ХНАМГ, 2006. – 29 с.

14. Мец В. О. Економічний аналіз фінансових результатів та фінансового стану підприємства [Текст] : навчальний посібник / В. О. Мец. – К., 2003. – 280 с.

15. Мікропроцесорні засоби автоматики на транспорті. В.С. Віниченко: Навч. Посібник. – Харків: ХДАМГ, 2002. - 215 с.

16. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. - К. : Знання України, 2008. - 175 с.

17. Поліщук В.П. Організація та регулювання дорожнього руху / за заг. ред. В. П. Поліщука; О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. — К., 2014. — 467 с.

18. Системи стільникового зв'язку: Конспект лекцій. – Одеса: ОНАЗ, 2004 – 76 с.

19. Стародуб І.В. Вплив геометричних характеристик вулично-дорожньої мережі на роботу транспортної системи міста // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 20. – С. 328-334.

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

21. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.