

Шифр «Цифровий автотранспорт»

**«Економічне обґрунтування впровадження цифрового
управління автотранспортним трафіком»**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ, ЗМІСТ ТА РОЛЬ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ.....	5
1.1 Аналіз методів управління транспортними потоками в Україні.....	5
1.2 Концепція цифрового управління, його розвиток та вплив на швидкість та якість авторуху.....	7
1.3 Сучасні системи цифрового управління автомобільним трафіком....	9
РОЗДІЛ 2. СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ АВТОТРАФІКОМ	13
2.1 Світовий розвиток цифрового управління автомобільним трафіком.....	13
2.2 Складові цифрового управління автомобільним трафіком.....	14
РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМУ РЕГУЛЮВАННЯ АВТОТРАФІКУ МІСТ УКРАЇНИ.....	17
3.1 Впровадження моделі діджиталізованого управління міським трафіком в Україні.....	17
3.2 Оцінка соціально-економічного ефекту впровадження системи цифрового управління у регулювання міським автотрафіком.....	21
3.3 Перспективи розвитку системи управління транспортними засобами та підвищення її ефективності.....	24
ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

ВСТУП

Актуальність дослідження. Розвиток цифрової економіки зумовив трансформацію майже усіх галузей економіки, у тому числі й автотранспорту. Зміни торкнулися не лише окремих елементів автотранспорту, а й всієї системи управління автотранспортними потоками. Раніше більшість наукових досліджень була присвячена загальним проблемам автотранспорту та автоматизації управління автотранспортними системами, зокрема можна виділити праці таких науковців як: О. Амоші, В. Благі, М. Бурмаки, П. Масляк, Н. Ващенко, Г. Кирпи, О. Веклич, Д. Власенка, П. Гащука, В. Гіжевського, М. Говорущенка, Ю. Гутаревича, С. Демського, В. Диканя, А. Зайцева, В. Іванова, В. Коби, П. Котикова, Є. Кузнецова, П. Левковця, Є. Кузнецова, В. Рудзінського, Є. Сича, І. Шевченко, В. Луканіна, А. Островцева, А. Редзюка, П. Рубанова, В. Рудзінського, Є. Сича, Ю. Трофименка, А. Туренка, Д. Горового, та ін. В умовах цифровізації автотранспорту відкриваються нові горизонти щодо інноваційних методів цифрового управління автотрафіком в цілому, що обумовлює актуальність науково-дослідної роботи.

Метою роботи є економічне обґрунтування впровадження цифрового управління автотранспортним трафіком. Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

- визначити концепцію цифрового управління;
- проаналізувати розвиток цифрового управління автомобільним трафіком;
- провести дослідження концептуальної моделі цифрового управління міським трафіком на території України;
- оцінити соціально-економічний ефект впровадження системи цифрового управління у регулювання міським трафіком.

Використана методика: *системно-структурний і порівняльний аналіз* – при дослідженні інтенсивності руху транспортних потоків та технологій цифрового управління автотрафіком; *методи формально-логічного аналізу* –

при обґрунтуванні впровадження цифрового управління в традиційну систему регулювання автотрафіком, визначенні напрямів розвитку системи управління транспортними засобами та підвищення її ефективності; *економіко-статистичні методи* – при оцінці соціально-економічного ефекту від впровадження інтелектуальної транспортної системи.

Наукова новизна. Здійснено соціально-економічну оцінку впровадження інтелектуальної транспортної системи в умовах міського руху України. Обґрунтовано напрями розвитку цифрового управління автотранспортним трафіком.

Загальна характеристика роботи: наукова робота складається із анотації, трьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Обсяг роботи (без літератури та додатків) – 27 сторінок. Загальний її обсяг становить 31 сторінку, у тому числі 5 рисунків, 3 таблиці та 32 використаних літературних джерел.

Ключові слова: цифрове управління, автомобільний трафік, інтелектуальна транспортна система, ефект, система.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ, ЗМІСТ ТА РОЛЬ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМ АВТОТРАНСПОРТОМ

1.1 Аналіз методів управління транспортними потоками в Україні

На сьогоднішній день існує велика кількість методів управління транспортними потоками (ТП), що мають здатність збільшувати пропускну спроможність міських вулиць і доріг. Найбільший ефект можна отримати від автоматизації систем управління дорожнім рухом та різного роду заборон на в'їзд, парковку чи зупинку транспортного засобу (ТЗ). Однак, дані системи спрямовані лише на вирішення локальних проблем, що можуть виникати в місцях ймовірного скупчення автомобілів, а також утворення дорожньо-транспортних пригод, та не вирішують глобальних задач, які є першопричиною утворення дорожніх транспортних пригод і заторів. До найбільш ефективних методів управління ТП на сьогоднішній день можна віднести такі:

- максимальне обмеження в'їзду великогабаритного та вантажного транспорту до центральної частини міста а також у саме місто шляхом створення об'їзних доріг навколо міста;
- заборона транзитного руху через місто;
- оптимізація транспортної мережі на місцях шляхом застосування однопрограмного жорсткого управління. Як правило таким управлінням є класична світлофорна сигналізація

Останній метод характеризується, як основний засіб регулювання ТП на дорогах України. В основу даного методу покладено розрахунок тривалості світлофорного циклу та фаз регулювання на основі попередньо зібраних даних про інтенсивність руху ТП на перехресті. Однак, за такого управління надзвичайно важко миттєво реагувати на всі дорожні обставини, адже параметри визначають не з реальної ситуації на перехресті, а на підставі попередньо виконаних досліджень (Tielert, 2010). На рис. 1.1 приведено приклад орієнтовних періодів інтенсивності руху на основі попередньо виконаних досліджень.

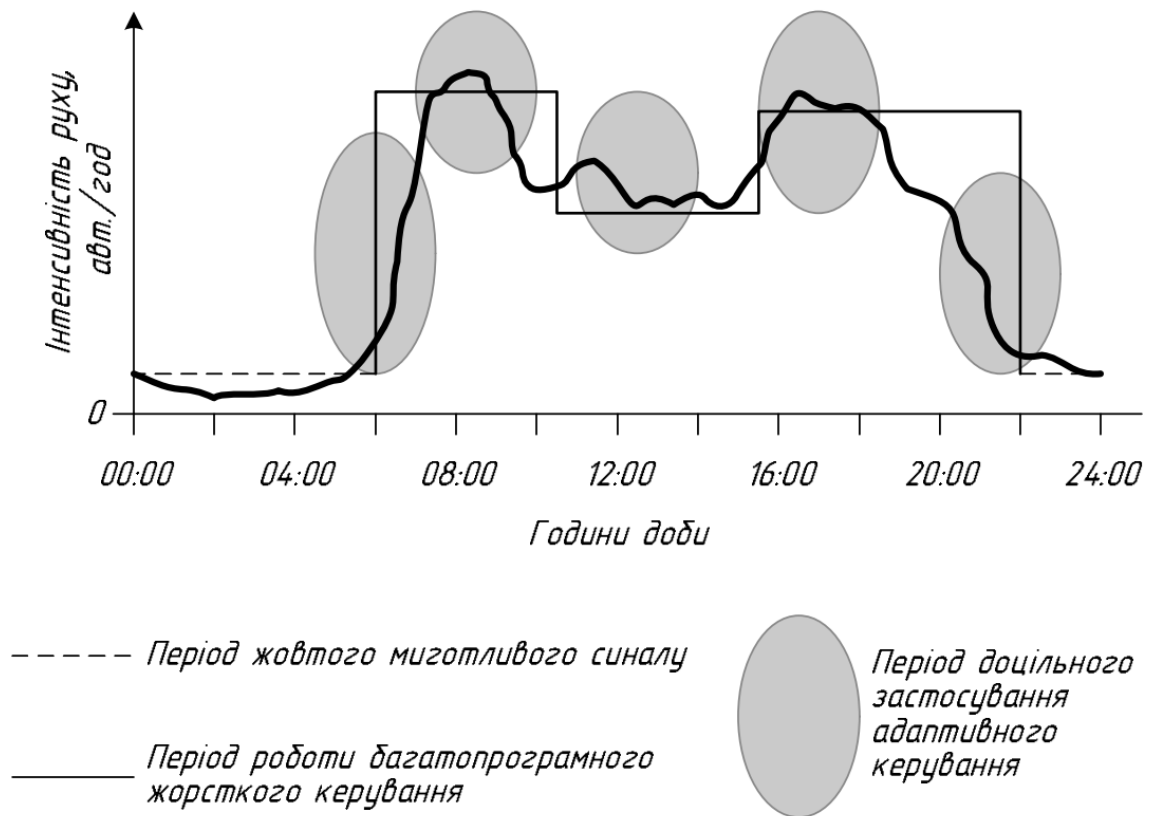


Рисунок 1.1 – Типова зміна інтенсивності руху ТП упродовж доби
(Форнальчик, 2018)

Неточність даних призводить до суттєвої нестабільності в часі дорожніх умов і як наслідок – до зміни фактичних режимів руху. Невідповідність же режимів, жорстко заданих організацією руху, призводить до утворення на дорогах заторів та підвищення аварійності на окремих ділянках доріг в окремі періоди доби. Таким чином, для забезпечення зручного і безаварійного руху необхідно мати гнучку систему управління, яка могла б відслідковувати в режимі реального часу та прогнозувати зміни можливих режимів руху і задавати оптимальні з них. Однак, станом на сьогодні в Україні лише проводять тестові дослідження щодо зміни системи управління транспортними потоками. При цьому держава взяла на себе відповідальність при вирішенні проблеми зниження завантаження рухом ТП міст. До основних напрямів державного регулювання автотранспортним трафіком відносять:

- адміністративне обмеження використання транспорту;
- регулювання цін на транспортні засоби;

- регулювання оподаткування у сфері транспорту;
- управління тарифоутворенням на перевезення.

Перелічені напрями можна віднести до прямого адміністративного обмеження використання транспортних засобів або до непрямого впливу і стимулювання розвитку видів транспорту з більшими провізними можливостями. У великих містах світу застосовують широкий спектр заходів державного регулювання: від заборони в'їзду в деякі райони до встановлення податкових пільг щодо впровадження принципово нових видів міського транспорту. Усі ці заходи є досить актуальними, а ефективність їх застосування потребує окремих досліджень (Tielert, 2010).

1.2 Концепція цифрового управління, його розвиток та вплив на швидкість та якість авторуху

З кожним днем комунікаційні технології стають дедалі доступнішими, і все більша кількість гаджетів беруть участь у сучасному взаємозв'язку один з одним. У майбутньому прогнозується, що їх взаємодія буде сприяти утворенню нових послуг, які зможуть полегшити повсякденне життя. Так, однією із передових розробок став «Інтернет речей», який по суті є мережею фізичних об'єктів, що мають вбудовані технології, які дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан і приймати дані. Для прикладу можемо взяти технологію (TLVC) світлофор-автомобіль, що на основі «інтернету речей» постійно обмінюються даними з навколишнім транспортом. Функціонує дана система наступним чином: світлофор декілька разів за секунду передає інформацію про планування руху через бездротовий носій до транспортних засобів, що знаходяться поблизу. Отримуючи інформацію, транспортні засоби вираховують оптимальну швидкість руху, щоб водій автомобіля вчасно потрапив на зелений сигнал світлофору, проїхавши перехрестя без зупинки, і пропонують її водіям. Подібно до «зеленої хвилі», ідея полягає в тому, щоб уникнути зупинки на червоне світло, тим самим

заощадити паливе. Таким чином, дана технологія допомагає зробити водіння автомобілем більш ефективним та зручним. Тому провідні країни світу почали приділяти все більше уваги таким технологіям. Світу вже відомі такі передові технології як (V2X), (V2V) та (V2I), що за допомогою бездротової передачі даних обмінюються інформацією з іншими автомобілями, дорожньою інфраструктурою та, навіть, зі смартфонами людей, що знаходяться поруч. Експерименти свідчать, що автомобіль, на якому встановлено систему (V2V) з вбудованою антеною, може тримати стійкий зв'язок з іншими автомобілями в радіусі 800 м, зі стаціонарними об'єктами (V2I) – до 1000 м.

Розвиток даної концепції може значно вплинути на швидкість та якість пересування містом. За допомогою камер та датчиків можна відслідковувати стан завантаженості доріг в реальному часі. Використовуючи ці данні, штучний інтелект оптимізує перемикання сигналів світлофора в залежності від завантаженості перехресть. Таким чином, зменшується час перебування автомобіля на перехресті, що в свою чергу дозволяє зробити поїздку містом більш приємною. Дана система також дає можливість ефективніше контролювати дотримання водіями правил дорожнього руху, що в свою чергу сприятиме зниженню кількості ДТП, але якщо вони виникатимуть, буде можливість максимально швидко реагувати та відправляти на місця дорожньо-транспортної пригоди екстрені служби (Tielert, 2010).

1.3 Сучасні системи цифрового управління автомобільним трафіком

На даний момент у світі спостерігається значне зростання кількості автомобілів. Через істотне збільшення автомобільного парку і обмежену пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі виникає велика кількість заторів на дорогах та конфліктних ситуацій, що різко погіршує транспортну мобільність. Досвід передових країн світу таких як, США, Німеччина, КНР та ін. показує, що проблему завантаженості доріг надзвичайно складно вирішити лише зведенням нових магістралей. Тому останнім часом для ефективного регулювання транспортного потоку використовують інтелектуальну транспортну систему.

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) – це комплекс систем, що використовують інноваційні розробки в моделюванні і регулюванні транспортних потоків та надають кінцевим споживачам більшу інформативність і безпеку й допомагають максимально ефективно експлуатувати транспортну мережу, використовуючи інформаційні, комунікаційні та управлінські технології, вбудовані в транспортний засіб або дорожню інфраструктуру (Інтелектуальна, 2020). Однією з перших країн, в якій почали розробку ІТС, стала Японія. З 1995 року в Токіо розвивається система автомобільної інформації та зв'язку (VICS), за допомогою якої водії отримують через GPS дані про завантаженість доріг і можливих об'їзних шляхах. Проаналізувавши результати роботи ІТС в Японії виявилось, що дана система дозволяє знизити затримки автомобілів на 5-40%, кількість аварій на 40%, підвищити пропускну спроможність на 60% і знизити загальний час поїздки в два рази. Система інформаційного забезпечення комерційних перевезень, яка інформує власників вантажного транспорту, дозволяє знизити витрати пов'язані з неочікуваними подіями на дорозі на 35%, а система управління інцидентами дозволяє знизити їх тривалість на 40% (Peter Koonce, 2005).

Як вже було зазначено раніше, ІТС включає в себе комплекс систем, що збирають первинну інформацію з автомобільних шляхів, аналізують її, моделюють

трафік, обмінюються даними та здійснюють управління дорожнім рухом і ТЗ. Найбільш відомими системи що входять до структури ІТС є:

Vehicle-to-Everything «Автомобіль до всього» (V2X) – це технологія, яка дозволяє транспортним засобам зв'язуватися з рухомими частинами дорожньої системи навколо них. Також відома як зв'язок між транспортним засобом з усім, вона складається з декількох компонентів:

- *Vehicle-to-vehicle (V2V)* – це система бездротового зв'язку, що дозволяє двом автомобілям обмінюватися один з одним інформацією про стан на дорогах без участі людини. Таким чином, Connected Car зможе отримувати інформацію про швидкість руху, місцезнаходження і т.д. іншого автомобіля в режимі онлайн.

- *Vehicle-to-infrastructure (V2I)* – це система бездротового зв'язку, що дозволяє автомобілям обмінюватися інформацією з об'єктами інфраструктури, наприклад, зі світлофорами, дорожніми знаками і т.д., а також отримувати інформацію від них.

- *Vehicle-to-pedestrian (V2P)* – це система Connected Car, через яку автомобіль може взаємодіяти з розташованими в безпосередній близькості від нього пішоходами. В рамках такої взаємодії електроніка автомобіля отримує можливість виявляти частотний діапазон смартфонів, якими користуються пішоходи, що дозволить оцінити швидкість і напрямок руху мобільного гаджета, і відповідно пішохода. Це дозволить подати сигнал про небезпеку, як водієві, так і пішоходу за допомогою звукового сигналу його телефону.

- *Vehicle-to-grid (V2G)* – це система, що дозволяє підключати авто в загальну енергомережу для підзарядки автомобіля або повернення зайвої електроенергії назад.

- *Vehicle-to-device (V2D)* – це система, що дозволяє транспортному засобу обмінюватися інформацією з будь-яким електронним пристроєм, підключеним до самого Connected Car та ін. системи, що приведені на (рис 1.2).

PAT (Personal Automated Transport – персональний автоматичний транспорт). Це системи громадського транспорту, які забезпечують безупинну

перевезення пасажирів на їх запит за допомогою автоматичних транспортних засобів без водія.

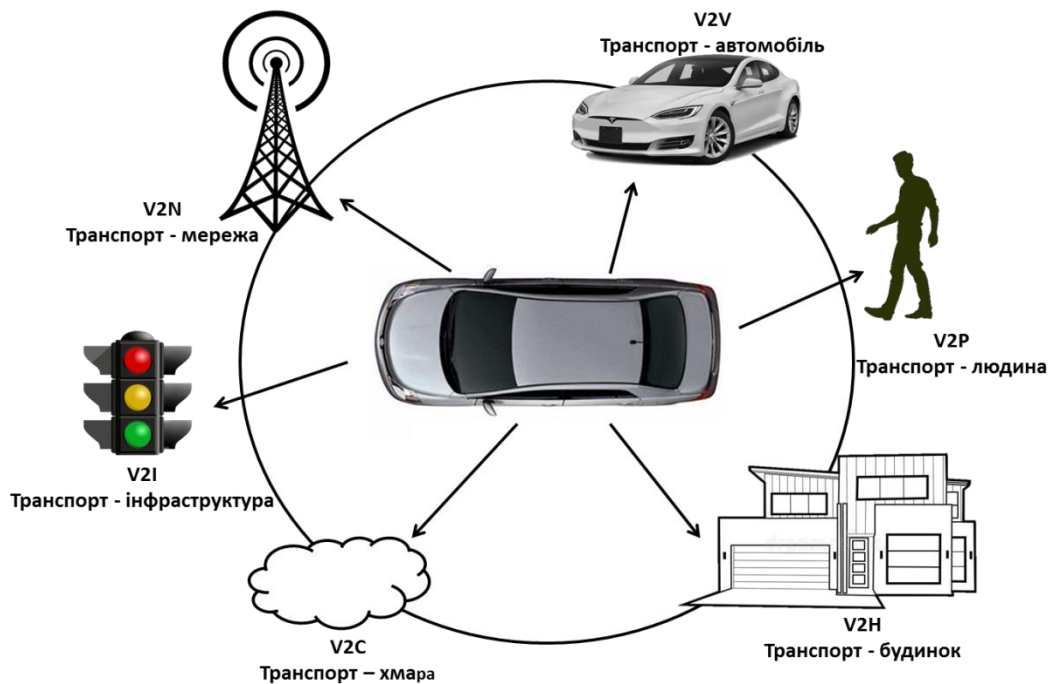


Рисунок 1.2 – Підсистеми інтелектуального контролю що входять до складу ІТС

PRT (Personal Rapid Transit)). Дана система до сьогодні користувалась незначною популярністю, однак за нашим переконанням, вона цілком здатна зняти значне завантаження з доріг шляхом використання власної транспортної мережі, яка може бути виконана у вигляді дорожнього полотна з напрямними пристроями. Пасажир на зупиночному пункті обирає пункт призначення, і система подає вільний вагон або направляє сюди попутний. Вагон з урахуванням топології мережі самостійно вибирає найкоротший шлях до пункту призначення. Вся система має централізоване комп'ютерне управління на рівні розподілу вагонів і забезпечення безпеки (Connected, 2020).

Одна із перших систем PRT (рис. 1.3) запущена в місті Морган, США. З 1975 р. успішно експлуатується та пов'язує навчальні будівлі місцевого університету з декількома комплексами студентських гуртожитків. Загальна протяжність мережі 13,9 км, на якій є сім зупинок. В експлуатації знаходяться 73 повністю автоматичних вагони. Місткість вагонів складає 20 пасажирів,

пересуваються такі вагони по бетонному полотну з направляючими зі швидкістю до 30 км / ч в зимовий час таке полотно підігрівається. Вартість системи становила понад 60 млн. дол. США. Система безкоштовно обслуговує близько 20 тис. студентів, а для жителів міста разова поїздка коштує 0,5 дол. США. З огляду на те що система проектувалася на початку 1970-х рр., вона не має повного централізованого комп'ютерного управління, що компенсується роботою трьох диспетчерів (Peter Koonce, 2005).



Рисунок 1.3 – Транспортна система університету Західної Вірджинії в Моргані

Однією з більш сучасних PRT вважають систему збудовану в лондонському аеропорту Хітроу у 2009 р., де вона зв'язує п'ятий, термінал з віддаленими автостоянками. Дана система є першою повністю комерційною PRT системою в світі. Протяжність системи становить 3,9 км, по всій протяжності лінії розташовано три станції між якими курсують 20 вагонів, що розвивають швидкість до 40 км / ч. Середній час очікування вагону після виклику становить 12 с, а максимально до 1 хв.

РОЗДІЛ 2. СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ АВТОТРАФІКОМ

2.1 Світовий розвиток цифрового управління автомобільним трафіком

Зі зростанням автомобілів на дорогах, питання розумного транспорту сьогодні становиться надзвичайно актуальним, тому в різних країнах ведеться розробка і впровадження спеціальних технічних і програмних рішень, що дозволяють зробити дорожній рух безпечним і зручним. Так, у Сінгапурі на більшості доріг через кожні 500 і 1000 метрів встановлені спеціальні датчики, детектори та відеокамери, що дозволяють в режимі реального часу відслідковувати та контролювати транспортну ситуацію. Ними також оснащуються світлофори і міські автобуси. Всі дані відправляються в єдиний центр управління, де вони аналізуються і використовуються для поліпшення ситуації на дорогах, а потім зберігаються на спеціальних серверах. Для ефективної роботи даної системи не так давно в країні було введено планувальник поїздок, для якого використовується інформація з диспетчерських служб таксі. За допомогою цих даних планувальник виконує обчислення середньої швидкості руху на основних автомагістралях і допомагає скоригувати водіям оптимальний маршрут. Для зв'язку з водіями активно застосовують радіоканали, по яких передають інформацію про завантаженість ключових доріг і розв'язок. Схожа технологія застосовується і в Японії. Де основа ІТС це автомобільна інформація та зв'язок, на базі яких роблять навігатори для машин і через яку можна отримати GPS-дані про завантаженість доріг і об'їзних шляхах. Відомості передаються з придорожніх передавачів і маяків, встановлених ще в 1995 році, в єдиний інформаційний центр. Інформація про ДТП, ремонті покриття і пробках надходить безпосередньо до навігаторів водіїв. В Сполучених Штатах Америки для управління транспортом використовують стандарт DSRC – бездротовий канал зв'язку. За допомогою

DSRC учасники руху мають можливість отримувати повідомлення і попередження про аварійні ситуації на дорогах. Крім того, така система дозволяє віддалено в режимі реального часу контролювати технічний стан автомобілів, електронно збирати плату за проїзд платної ділянки дороги, попереджати про можливість лобового зіткнення або перевероту автомобіля і т.д. Завдяки таким технологіям стали можливими не лише автоматизація та інтелектуалізація управління дорожнім рухом, а й створення відкритої структури, що схожа систему «розумних міст».

2.2 Складові цифрового управління автомобільним трафіком

Для забезпечення функціонування інтелектуальної транспортної системи міста необхідна відповідна спеціальна інфраструктура, адже інтелектуальні транспортні системи на дорогах є цілим комплексом функціонального обладнання, що здійснює збір інформації, керує транспортними потоками та інформує учасників дорожнього руху про зміну дорожніх обставин. Лише за умов оснащення системи відповідним обладнанням і його правильної роботі можна отримати істотне покращання транспортної ситуації на дорогах.

Перш за все, обладнання ІТС включає в свій функціонал дорожні камери відеоспостереження. Такі камери виступають «очима» сучасних ІТС, камери мають високу роздільну здатність, та повсюдно використовуються розробниками ІТС для ефективного спостереження за дорожнім потоком, виділення рухомих об'єктів, фотофіксації транспортних засобів з державними реєстраційними знаками, а також розпізнавання символічних зображень на номерах автомобілів.

Наступним елементом, що входить о структури ІТС є розумні світлофори, якими керує спеціальна створена програма, що дозволяє пристрою на основі інформації, що надходить про дорожній рух з інших аналогічних приладів, самостійно приймати рішення.

В ІТС виділяють три спеціальні режими роботи світлофорів:

1. Локальний – пристрій працює за закладеною схемою, в якій, враховується ранковий, обідній та вечірній час пік, а також низьке завантаження доріг протягом іншої частини дня.

2. Координований режим передбачає координацію роботи декількох світлофорів в одній зоні. Такі світлофори працюють синхронно, пропускаючи певну кількість автомобілів, що сприяє підтримці інтенсивного руху на ділянці.

3. Адаптивний – даний вид світлофорів працює самостійно приймаючи рішення на основі вхідних даних, що надходять про дорожню ситуацію. Інформацію про трафік, пристрій отримує через індукційні петлі або датчики.

В містах, в яких функціонують подібні системи, обов'язково створений ситуаційний центр, який допомагає інфраструктурі пропускати автомобілі екстрених служб.

До основного списку ІТС також додають детектори транспортного потоку, які є спеціальними вимірювальними приладами, що працюють за допомогою чутливих елементів, вихідного пристрою і підсилювача-перетворювача. Дана система працює наступним чином. Датчики фіксують момент проходження або присутності автомобіля в контрольованій зоні, надалі прилад виробляє первинний сигнал, який згодом обробляється і перетворюється в зручний для реєстрації вид.

Для зменшення заторів, що зумовлені штучно створеними перепонами в ІТС використовують електронні засоби спати проїзду. Адже зупинка для оплати проїзду спричиняє утворення багатокілометрових заторів на автошляхах. Щоб безконтактно сплатити за проїзд використовують електронні засоби оплати проїзду – транспондери (радіо-відповідачі). Дані пристрої, дозволяють безупинно рухатися через платні пропускні пункти. Вони як правило встановлюються під лобове скло автомобіля та мають унікальні особові рахунки та ідентифікаційні номери для оплати проїзду. Щоб сплатити ренту, водієві достатньо скинути швидкість до 30 км/год і гроші автоматично списуються з рахунку.

Для попередження про дорожні умови водіїв, що не мають в комплектації свого автомобіля, спеціальних приймальних систем чи GPS використовують спеціальне інформаційне табло. На даний момент дане технічне рішення є

основним засобом інформування водіїв про ситуацію на дорогах. На табло можуть виводити різну інформацію наприклад:

- наявність ДТП по переду;
- завантаження певних ділянок дороги;
- стан в якому знаходяться дороги.
- кількість громадського транспорту на дорозі і т.д;

Для спрощення пересування містом зазвичай в ІТС розплановуються паркувальні майданчики, на яких встановлюються паркомати – спеціальні пристрої, що мають можливість здійснювати автоматизоване платне паркування. З їх допомогою водій може самостійно здійснити оплату паркування транспортного засобу відповідно до заданих тарифів.

Впровадження таких пристроїв роблять паркування економічно вигідним шляхом виключення витрат на штат співробітників. Також з метою економії коштів в ІТС впроваджують автоматизоване управління дорожнім освітленням. Така система надає можливість повністю автоматизувати дорожнє освітлення шляхом інтелектуального аналізу інформації, що надходить з датчиків та прийняті рішень про необхідність вмикання чи вимикання світла відповідно до ситуації на дорозі, часом доби та інших чинників. Дана система працює за чітко заданим алгоритмом, отримуючи інформацію з різних датчиків, що фіксують завантаження і освітленість зони дороги (Интеллектуальные, 2020).

За умови об'єднання вище перерахованих складових в єдину систему з центральним сервером для обробки та зберігання інформації, можна отримати цілком функціональну систему, яка зможе відслідковувати, прогнозувати та управляти транспортними потоками, та в результаті отримати значне зменшення заторів на автомобільних шляхах України.

РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВОГО УПРАВІННЯ В СИСТЕМУ РЕГУЛЮВАННЯ АВТОТРАФІКУ МІСТ УКРАЇНИ

3.1 Впровадження моделі діджиталізованого управління міським трафіком в Україні

Сьогодні все більше міст України починають відчувати значне навантаження трафіку на автомобільні шляхи. Дана ситуація тісно пов'язана зі стрімким зниженням вартості автомобілів на автомобільному ринку України, що надає можливість пересічним українцям вільно обирати та купувати автомобілі різних цінових категорій. Так, у грудні українці придбали і зареєстрували рекордну для 2020 року кількість нових легкових автомобілів, понад 85,5 тис. шт. (Статистика, 2020). Більшість міських вулиць України, що проектувались ще за радянських часів просто не розраховані на таку кількість автомобілів, яка з кожним роком лише зростає. В результаті збільшення кількості автомобілів на міських вулицях утворюються нові заори. Так, згідно з даними моніторингового сервісу TomTom, в середньому водії столиці України витрачають на 46% більше часу в дорозі через пробки. У годину пік затримка в дорозі збільшується до 94%. Ранкові години пік у Києві спостерігаються в проміжку з 8:00 до 9:00, вечірні – з 18:00 до 19:00, в суботу – з 13:00 до 14:00 (Сколько, 2020). В середньому, водій столиці через затори проводить в дорозі на 26 хвилин більше, ніж це необхідно щоб дістатися до місця призначення. (TomTom, 2020)

Якщо взяти до уваги, що в Києві здійснюється 7 млн переміщень на добу, то це близько 2 поїздок на кожного жителя столиці (Що не так, 2019), а з 7 млн переміщень 10% від добового обсягу припадає на годину пік, то це становить 700 тис. переміщень. Близько 30% поїздок відбуваються на приватних автомобілях, що становить 210 тис. поїздок, кожна з яких складає 26 хвилин. При підрахунку виявляється, що втрата часу складає 5460000 хвилин або 91000 годин для однієї години пік (Как сейчас, 2017).

Вартість заторів в такому випадку буде становити 91000*сер. вартість години роботи киянина (21 812 грн. в міс. / 176 робочих годин в міс. = 123,93 грн. за годину) **11 277 795** грн за годину або **22 555 590** грн в день (Средняя, 2019). Приблизно стільки користувачі приватного транспорту Києва, втрачають щодня вранці і ввечері.

За допомогою сервісу TomTom, що в режимі реального часу відстежує щільність трафіку, вдалося встановити, що столиця України є однією з самих завантажених міст України та входить в ТОП-10 завантажених міст світу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Індекс трафіку завантаженості доріг

№	Word rank	City	Country	Затори, %	Рівень завантаженості доріг
1	1	Moscow region (oblast)	Russia	54	↓ 5%p
2	2	Mumbai	India	53	↓ 12%p
3	3	Bogota	Colombia	53	↓ 15%p
4	4	Manila	Philippines	53	↓ 18%p
5	5	Istanbul	Turkey	51	↓ 4%p
6	6	Bengaluru	India	51	↓ 20%p
7	7	Kyiv	Ukraine	51	↓ 2%p
8	8	New delhi	India	47	↓ 9%p
9	9	Novosibirsk	Russia	45%	- 0%p
10	10	Bangkok	Thailand	44%	↓ 9%p
11	11	Odessa	Ukraine	44%	↓ 3%p
12	12	Saint Petersburg	Russia	44%	↓ 5%p
13	13	Kharkiv	Ukraine	43%	- 0%p
14	14	Lodz	Poland	42%	↓ 5%p
15	15	Lima	Peru	42%	↓ 15%p

Згідно з опублікованими звітами за 2019 і 2020 роки у розпал кризи COVID-19, час середньостатистичної поїздки по столиці зменшився лише на 2% . Таким чином в рейтингу заторів, Київ зайняв 7-е місце в світі. При цьому сервіс стежить за трафіком більш ніж в 400 містах світу (Рейтинг, 2020).

З наведених даних можна зробити висновок, що столиця України як більшість міст України, що не увійшли до індексу трафіку завантаженості доріг світу, потребують внесення змін до системи управління автомобільним трафіком. Адже затори створюють значний дискомфорт при пересуванні містом та найголовніше віднімають час та кошти.

Тому, для зниження рівня завантаженості доріг України необхідне впровадження моделі цифрового управління міським трафіком, яка полягає в побудові інтелектуальних транспортних систем міста.

Дані системи істотно відрізняються одна від одної переліком функціональності та вартістю їх впровадження. Так, наприклад, для невеликого міста України, де затримки виникають лише на перехрестях доцільного встановлювати камери відеонагляду за дорожньої інтенсивністю та фіксацією порушень правил дорожнього руху, а для міст з мільйонним населенням необхідне впровадження повноцінної інтелектуальної системи управління транспортними потоками, що складається з наступних складових:

- збору інформації про обстановку на дорогах;
- аналізу трафіку;
- моделювання трафіку;
- обміну даними;
- управління дорожнім рухом та ТЗ.

Дана модель наочно представлена на (рис 3.2) та демонструє повний цикл, від збору інформації до її обробки в обчислювальному центрі і викладу готових рішень по оптимізації дорожнього трафіку. Звісно, як вже було зазначено раніше, не кожне місто України спроможне дозволити собі інноваційну високо витратну інтелектуальну систему, тому нами було

розроблено класифікацію за допомогою якої можна визначити необхідну систему для впровадження її в певному місті України (табл. 3.2).

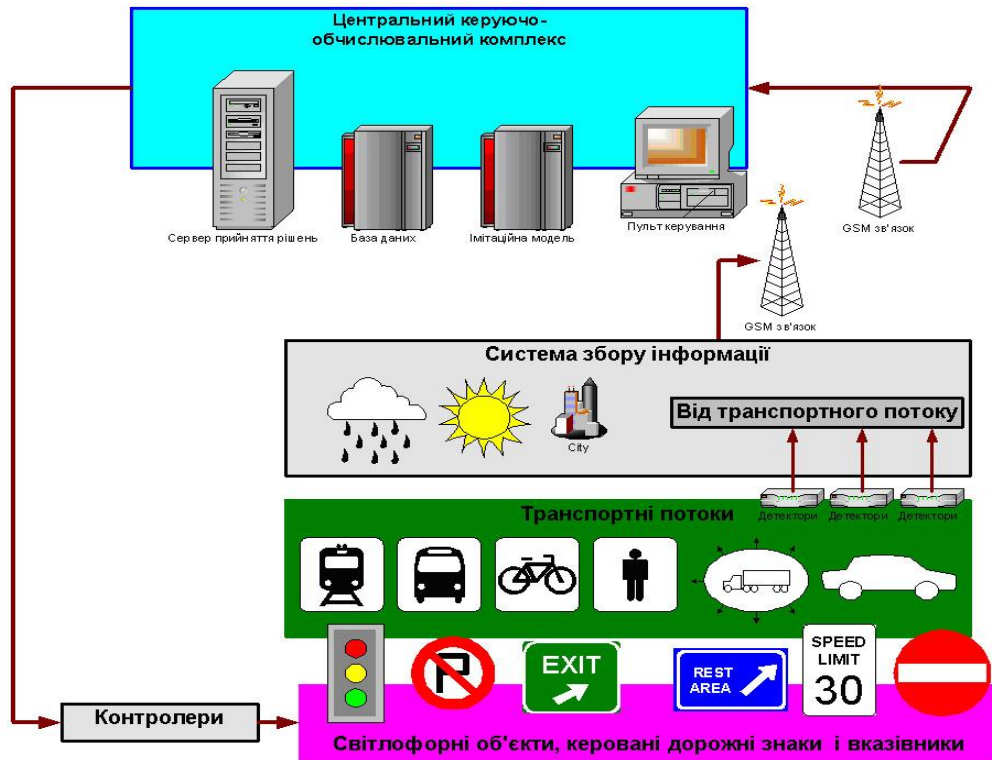


Рисунок 3.2 – Принципова схема інтелектуально-транспортної системи (Зінько, 2017)

Таблиця 3.2 – Класифікатор визначення необхідної ІТС для міста

<i>Рівень завантаженості доріг в балах</i>	<i>Системи та рішення, що знижують трафік на дорогах</i>
1	Підвищення якості перевезення громадським транспортом
2	Впровадження платних безготівкових ділянок доріг в місті
3	Встановлення розумних камер
4	Впровадження детекторів трафіку
5	Впровадження розумних світлофорів
6	Будівництво нових паркінгів в т.ч і підземних
7	Будівництво нових розв'язок
8	(PAT) Personal Automated Transport
9	(PRT) Personal Rapid Transit
10	(V2X) Vehicle-to-Everything

Так вибір тієї чи іншої системи управління міським трафіком, обумовлений рівнем завантаженості міста. Для максимальної ефективності роботи ІТС в місті, нами пропонується впроваджувати всі системи та рішення що знаходяться вище аж до необхідного рівня завантаженості доріг. Тобто, за умови, якщо в місті завантаженість доріг складає 7 чи 10 балів, необхідно поступово впроваджувати всі вище розташовані методи аж до того рівня завантаженості доріг на якому знаходиться місто.

3.2 Оцінка соціально-економічного ефекту впровадження системи цифрового управління у регулювання міським автотрафіком

Україна почала виходити з карантину, який ознаменувався початком роботи бізнесу однак в перші ж робочі дні країна почала потерпати від заторів. За даними з Google Карт пересуватися по вулицях міст України, а особливо в столиці, з кожним днем стає все складніше. Багато факторів впливають на швидкість транспортного потоку.

Одна з масштабних проблем заторів у столиці це містобудування. Історично так склалося, що більшість людей живуть на лівому березі, а їх робочі місця знаходяться на правому. У зв'язку з цим, людям доводиться щодня перетинати р. Дніпро по одному з п'яти мостів. Через великий потік транспорту в цьому напрямку утворюються затори, як вранці, так і в зворотному напрямку ввечері.

Наступною проблемою є зростання рівня автомобілізації. Люди все частіше пересідають на автомобілі, відмовляючись від громадського транспорту через низьку якість надаваних перевізником послуг, якщо так триватиме і далі, то до 2025 року ми отримаємо 450 автомобілів на 1000 чоловік населення міста. На сьогоднішній день показник становить всього 250 автомобілів. При такому різкому збільшенні кількості автомобілів місто буде втрачати значні суми коштів. Мова йде не тільки про опосередковані втрати через забруднення екології чи збільшення захворюваності населення а й

про прямі надходження до місцевих бюджетів за умови моделі погодинної оплати. Так наприклад в статі 64 Бюджетного кодексу України сказано, що нормативи відрахувань від прибуткового податку з громадян до бюджетів місцевого самоврядування міст Києва і Севастополя зараховується 100 відсотків загального обсягу прибуткового податку з громадян, що справляється на території цих міст (Бюджетний, 2010). Тобто податок на прибуток, що сплачується громадянами України які проживають в столиці, повністю залишається в місцевому бюджеті та йде на розвиток міста. З вище приведених в пункті 3.1 розрахунків ми знаємо, що власники приватних автомобілів, в столиці України, втрачають кожного дня близько 22 555 590 грн в день недоотриманих коштів через затори або $(22\ 555\ 590 * 30) = 676\ 667\ 724$ грн на місяць. З даної суми податок на доходи фізичних осіб, що сплачується до місцевого бюджету складає 18%, тобто, щомісяця місцевий бюджет м. Києва недоотримував би $(676\ 667\ 724 * 0,18) = 121\ 800\ 190$ грн за умови системи погодинної оплати. В рік дана сума коштів складає $(121\ 800\ 190 * 12) = 1\ 461\ 602\ 280$ грн. Тож, як бачимо, через затори місцевий бюджет столиці недоотримує близько 1,5 млрд грн на рік.

Для того, щоб отримувати дану суму коштів місцевим бюджетом, необхідне впровадження ІТС даному місті. Дану систему пропонується впроваджувати на основі досвіду Сінгапуру, в якому після введення в дію ІТС кількість заторів знизилась на 40%. Тобто при впровадженні ІТС в столиці України, прогнозується, що надходження до місцевого бюджету зростуть на $(1\ 461\ 602\ 280 * 0,4) = 584\ 640\ 912$ грн/рік. ІТС планується встановлювати з елементами цифрового управління, а саме встановлення розумних камер, впровадження розумних світлофорів та детекторів трафіку. На основі досвіду Сінгапуру камери, світлофори та датчики встановлюються на всій протяжності доріг міста що складають 1617 км (Площадь, 2011). Камери встановлюються через кожні 500 м а датчики контролю трафіку через 1000 м, світлофори – на кожному перехресті. Це означає, що в загальній кількості необхідно встановити $(1617/0,5) = 3234$ шт. розумних камер, детекторів трафіку – 1 617 шт, та

повністю замінити 7975 світлофорів, що діють в даний момент на 582 перехрестях. В табл. 3.3 приведено орієнтовні витрати на створення ІТС, з урахуванням витрат на елементи ТС та створення нового ДАТА-центру.

Таблиця 3.3 – Орієнтовна вартість елементів ІТС для м. Київ

	Ціна за 1шт.	Всього
Розумні камери 3234 шт.	970 000грн.	3 136 980 000грн.
Детекторів трафіку 1617 шт.	210 000грн.	339 570 000грн.
Розумні світлофори 7975 шт.	320 000грн	2 552 000 000грн.
Розробка та створення ДАТА-центру	28 000 000грн.	
Разом	–	6 056 550 000грн.

Як бачимо з наведеної (табл. 3.1) вартість такої інтелектуальної системи обійдеться місту в суму більше 6 млрд. грн. Маючи всі необхідні дані для обчислень, можемо розрахувати строк окупності даного проекту.

Як вже було зазначено раніше, впровадження даної системи надасть змогу забезпечити додатковий дохід в місцевий бюджет у розмірі **584 640 912 грн/рік**. Тому для того, щоб дізнатись період повернення вкладених коштів необхідно $6\ 056\ 550\ 000 / 584\ 640\ 912 = 10,3$ років. Тобто, як можемо побачити з наведеного прикладу період окупності коштів складає 10 років а 3 міс., що за європейськими нормами є надзвичайно позитивним результатом. Також строк окупності даного проекту можна знизити за рахунок того, що дана система цілком спроможна фіксувати порушення ПДР, завдяки чому можна заощадити кошти на спеціальному обладнанні та радарах, що наразі встановлюються в місті.

Соціальним ефектом впровадження даної системи буде значне зниження часу проведеного в заторі. Так, якщо ми візьмемо в середньому час який водії проводять в заторах, та зменшимо його на 40% то отримаємо значення в $26\text{хв} * 0,4 = 10,4$ хв, тобто час проведений середньостатистичним водієм в заторі столиці зменшується з 26 хв до 15,6 хв.

3.3 Перспективи розвитку системи управління транспортними засобами та підвищення її ефективності

За нашим переконанням, проблеми з заторами та щільним трафіком допоможе вирішити штучний інтелект. Однак в реальності це лише умовне позначення систем, які створюються людиною для полегшення роботи водія. Переваги штучного розуму полягають в можливості самостійного систематичного та швидкого навчання недоступними для людини способами. Наприклад, за допомогою швидкого аналізу даних і використання складної мережі датчиків, з якої розумні системи отримують інформацію. Самонавчання розумних систем обумовлене використанням алгоритмів, тобто будь яка подія, що відбувається, перетворюється на комп'ютерну задачу, оброблювану надшвидкими комп'ютерами, що також стосується і заторів. Кожен затор, який виникає на шляху у автомобіля, що оснащений інтелектуальною системою перетворюється в комп'ютерну задачу, яку необхідно вирішити.

Так, дослідник Л. Хед з Інституту транспортних досліджень університету Арізони зазначає, що є два науково-дослідних підходи до вирішення проблеми заторів у містах-мегаполісах. Перший – передбачає взаємопов'язані автомобілі та дорожню інфраструктуру, що обмінюються інформацією 10 разів в секунду. При такому методі кожен автомобіль дізнається, що роблять машини навколо нього, набагато швидше, ніж може зрозуміти і зреагувати людина. Завдяки цьому такі автомобілі перетворюються в самокеровані та не потребують втручання водія, адже вся необхідна інформація про стан на дорозі та напрямок самої дороги їм відомий завдяки інформації від дорожньої інфраструктури.

Взаємозв'язані безпілотні автомобілі сьогодні надзвичайно важливий крок вперед, який дозволить скоротити смертність в аваріях. За нашим переконанням, ефект від використання взаємозв'язаних безпілотних автомобілів буде таким же як від появи ременів безпеки.

Інший підхід, що має назву «Впорядкування швидкості» змінює швидкісний режим в динамічному потоці автомобілів «вирівнюючи

транспортний потік». В даному підході широко використовуються додатки, що попереджають водіїв про ускладнення обставин на дорозі, щоб автомобілісти були наготові і при необхідності реагували швидше.

Третій напрям, за яким необхідно вести дослідження – це автономні та безпілотні автомобілі. Станом на сьогоднішній день дана технологія є недосконалою та має необхідність в подальших дослідженнях. Адже безпілотні автомобілі повинні працювати в будь-яких обставинах в незалежності від того є на дорозі взаємопов'язані автомобілі чи ні. Тому до того моменту, поки на ринку не з'явиться достатня кількість моделей з можливістю взаємозв'язку, інтеграція безпілотних транспортних засобів навряд чи буде можливою і повний перехід на безпілотні автомобілі, що не потребують водіїв, залишається предметом дослідження науковців.

ВИСНОВКИ

На даному технологічному етапі розвитку людства існує достатній спектр вибору технологій, що спеціально розроблені для цифрового управління автотранспортним трафіком. При цьому, до цього процесу управління майже не залучається людина. Однак, більшість міст України сьогодні продовжують потерпати від шалених заторів. Щоб вирішити дане питання в роботі було проаналізовано сучасний стан методів управління транспортними потоками та з'ясовано, що в Україні розроблено низку технічних рішень, що спрямовані на вирішення проблеми заторів, однак дані методи переважно направлені на ліквідацію локальних проблем із заторами та не вирішують першопричину утворення затору. Тому нами було проведено дослідження та огляд найкращих світових систем цифрового регулювання автомобільним трафіком, що відмінно себе зарекомендували в провідних країнах світу. Проводячи аналіз даних структур, вдалося виділити основні першопричини утворення заторів в містах, що полягають, як правило в агресивній манері поведінки водіїв на дорозі, некоректній роботі світлофорів, різкому звуженню чи розширенню доріг, що змушує водіїв гальмувати або перелаштовуватись на іншу смугу руху, зупинятись для оплати проїду на платній ділянці дороги. Спираючись на отримані дані дослідження, нами було запропоновано впровадження інтелектуальної транспортної системи, яка на основі зібраних даних з камер, датчиків та сенсорів може автоматично керувати транспортними потоками, самостійно визнаючи та надаючи пріоритети тим чи іншим автомобілям.

Для розрахунку доцільності впровадження даної системи на території України, було проведено економічні розрахунки на прикладі одного із найбільш завантаженого міста України – Київ. При розрахунку економічної доцільності впровадження ІТС за основу було взято усереднений показник кількості проведеного часу в заторі. З'ясовано, що середньостатистичний водій автомобіля проводить у заторі в годину пік близько 26 хв. На основі цих даних та даних про середню заробітну плату в м. Київ, було встановлено кількість

коштів, яку недоотримуть водії транспортних засобів, якби той час який вони провели в заторі був використаний на трудову діяльність особи. Дослідження показало, що в цілому водії, які знаходяться у заторі в час пік в ранці та ввечері втрачають близько 22 555 590 грн на день. А місцевий бюджет м. Києва за умови повсюдної погодинної системи оплати праці недоотримував би кошти у вигляді податків на доходи фізичних осіб у розмірі близько 1,5 млрд грн щорічно. На основі цих даних було представлено орієнтовну вартість створення ІТС в м. Київ та розраховано строк окупності впровадження даної системи шляхом сплачення податку ПДФО до місцевого бюджету. Встановлено, що при такому методі розрахунку, строк повернення вкладених коштів складає близько 10 років та 3 місяці. Також нами було проведено розрахунок соціального ефекту впровадження ІТС в м. Київ. Встановлено, що за умови впровадження даної системи, час проведений середньостатистичним водієм в заторі столиці зменшується на 10,4 хв. тобто зменшився з 26 хв. до 15,6 хв. З даних розрахунків можна побачити позитивний вплив ІТС на економічні та соціальні аспекти м. Києва, що відкриває перспективу впровадження подібної системи в інших містах України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ананьев И. Если повернуть выключатель, город остановится. 2018. URL: <https://www.autonews.ru/news/5b34a2c39a794752c600d5da>
2. Беспалов Д. Как сейчас оценить ситуацию с транспортом в Киеве? 2017. URL: <https://bespalov.me/2019/09/03/kak-sejchas-ocenit-situaciju-s-transportom-v-kieve/?fbclid=IwAR0zWoLr2Mz9uPiRsJQRouk1u9iXrTWCCSCUwTiJUkm8wD-7bb-DnpUW47o> (дата звернення: 08.02.2021)
3. Бюджетний кодекс України № 2456-VI від 08.07.2010 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17#Text> (дата звернення: 09.02.2021).
4. Дэвид К. Гибсон. Будущее без пробок на дорогах может наступить прямо завтра. 2016. URL: <https://www.bbc.com/russian/vert-aut-36665418>
5. Зінько Р. Концепція проекту. 2017. URL: <http://www.zinko.lviv.ua/index.php?artid=1138039506> (дата звернення: 09.02.2021).
6. Интеллектуальные транспортные системы простыми словами: примеры, технологии, элементы. 2020. URL: <https://center2m.ru/intellektualnye-transportnye-sistemy> (дата звернення: 10.02.2021).
7. Интеллектуальна транспортна система. 2020. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0
8. Площадь дорог Киева нужно увеличить втрое. 2011. URL: <http://jkg-portal.com.ua/ru/publication/one/ploshhu-dorg-kiva-treba-zblshiti-vtrich17238> (дата звернення: 10.02.2021).

9. Рейтинг загруженности дорог. *TomTom Traffic Index*. 2020. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/ (дата звернення: 08.02.2021).

10. Сколько времени киевляне тратят из-за пробок. *НашКиев.UA*. 2020. URL: https://nashkiev.ua/novosti/skolko-vremeni-kievlyane-tratyat-iz-za-probok.html?in_parent=novosti (дата звернення: 08.02.2021).

11. Средняя зарплата в Киеве и регионах. 2019. URL: <https://index.minfin.com.ua/labour/salary/average/> (дата звернення: 11.02.2021).

12. Статистика автопродаж в Украине 2020 года. URL: <https://proautomoto.com/category/198-avtoprodazhi-v-ukraine-v-2020> (дата звернення: 08.02.2021).

13. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах: монографія / Є Ю. Форнальчик та ін. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. URL: http://vlp.com.ua/files/171688_mini.pdf

14. Що не так із транспортною системою Києва? 2019. URL: <https://mintrans.news/dorogi/shcho-ne-tak-iz-transportnoyu-sistemoyu-kieva> (дата звернення: 08.02.2021).

15. Aldabbagh M. *Would Future Roads Ever Be Traffic Jam-Free*. 2019.

16. Arribas I., Urbano A. Are we doomed to live in traffic jams? *Manuscript, October*. 2010. 16. 1–22.

17. Berthelin F., Degond P., Le Blanc V., Moutari S., Rascle M., Royer J. A traffic-flow model with constraints for the modeling of traffic jams. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*. 2008. 18(SUPPL.). 1269–1298. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0218202508003030>

18. Brennand C. A. R. L., Filho G. P. R., Maia G., Cunha F., Guidoni D. L., Villas L. A. Towards a Fog-Enabled Intelligent Transportation System to Reduce Traffic Jam. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2019. 19(18), 1–29. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19183916>

19. Connected Car: V2V, V2I, V2X, V2P, V2G, V2D. Стандартизация, возможности и темпы развития умных автомобилей в России и в мире. 2020. URL: <http://1234g.ru/novosti/v2v-v2i-v2x-v2p-v2g-v2d-connected-car>

20. Dudzevičiūtė G., Šimelytė A., Liučvaitienė A. The application of smart cities concept for citizens of Lithuania and Sweden: comparative analysis. *Independent Journal of Management & Production*. 2017. 8(4). 1433. DOI: <https://doi.org/10.14807/ijmp.v8i4.659>

21. Koonce Peter, Bertini Robert L. Benefits of Intelligent Transportation Systems Technologies in Urban Areas: A Literature Review. Final Report PDF. 2005. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=A7420685E535FC2817474C596110FEA3?doi=10.1.1.448.6625&rep=rep1&type=pdf>

22. Machado C. A. S., Hue N. P. M. de S., Berssaneti F. T., Quintanilha J. A. An overview of shared mobility. *Sustainability (Switzerland)*. 2018. 10(12). 1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10124342>

23. Nasir A., Chaudhry A. G., Ahmed A., Shamim F. Urban Traffic Jams, Health Emergencies and Architectural Perspective. *Pakistan Association of Anthropology, Islamabad, Pakistan Special Issue Sci.Int.(Lahore)*. 2015. 27(1). 611–613.

24. Reichenbach T., Frey E., Franosch T. Traffic jams induced by rare switching events in two-lane transport. *New Journal of Physics*. 2007. 9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1367-2630/9/6/159>

25. Roberg-Orenstein P., Abbess C., Wright C. (2007). Traffic jam simulation. *Journal of Maps*. 2007. 3(1), 107–121. DOI: <https://doi.org/10.1080/jom.2007.9710832>

26. Schneidmesser E., Steinmar K., Weatherhead E. C., Bonn B., Gerwig H., Quedenau J. Air pollution at human scales in an urban environment: Impact of local environment and vehicles on particle number concentrations. *Science of the Total Environment*. 2019. 688. 691–700. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.309>

27. Silva N., Soares J., Shah V., Santos M. Y., Rodrigues H. Anomaly Detection in Roads with a Data Mining Approach. *Procedia Computer Science*. 2017. 121. 415–422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.056>
28. The impact of traffic-light-to-vehicle communication on fuel consumption and emissions / Tielert T. et al. *2010 Internet of Things, IoT*. 2010.
29. TomTom Traffic Index – Live congestion statistics and historical data. 2020. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ (дата звернення: 08.02.2021).
30. Wang T. Der, Fyfe C. Traffic jams: An evolutionary investigation. *Proceedings - IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology. IAT 2004*, 2004. 381–384. DOI: <https://doi.org/10.1109/iat.2004.1342976>
31. Zeng J., Qian Y., Wang B., Wang T., Wei X. The impact of traffic crashes on urban network traffic flow. *Sustainability (Switzerland)*. 2019. 11(14). DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143956>
32. Zhang H., Sun J. Q., Hui Q. J., Guo J. Vehicle route optimization of Centrally Dynamic Route Guidance Systems. *WIT Transactions on the Built Environment*. 2008. 101. 667–675. DOI: <https://doi.org/10.2495/UT080651>