

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інтелектуальні транспортні системи для підвищення безпеки руху

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МНм-61

спеціальності 275.03 Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

		Забитівський В. А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник		Вовк Ю.Я.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		Плекан У.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Зав. кафедри		Цьонь О.П.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент		
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

студенту Забитівському Віталію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальні транспортні системи для підвищення безпеки руху

Керівник роботи Вовк Ю.Я., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-971.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Інформаційні матеріали, джерела з мережі Інтернет

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

1. Вступ. 2. Теоретичний розділ. 3. Аналітико-дослідницький розділ. 4. Проектно-рекомендаційний розділ. 5. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. 6. Висновки.

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

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 14.11.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Забитівський Віталій Андрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Вовк Юрій Ярославович

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Забитівський Віталій Андрійович. Інтелектуальні транспортні системи для підвищення безпеки руху – Рукопис.

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 275.03 – транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2025.

Результати дослідження показали, що інтелектуальні транспортні системи є ефективним інструментом зниження аварійності, забезпечуючи зменшення кількості ДТП на 15-30% залежно від типу технології та контексту впровадження. Проаналізовано досвід Європейського Союзу, Сінгапуру, Японії та США, виявлено ключові фактори успіху та бар'єри впровадження. Встановлено, що показники безпеки руху в Україні втричі гірші за європейські стандарти, причому основні причини ДТП можуть бути ефективно адресовані через ІТС-рішення.

Розроблено трирівневу концептуальну модель впровадження ІТС в Україні, що враховує обмежені фінансові ресурси та інституційні можливості. Запропоновано пілотний проєкт для автомагістралі М-06 з впровадженням систем автоматичної фіксації швидкості, змінних інформаційних табло та метеорологічного моніторингу. Економічні розрахунки показали співвідношення вигод до витрат 3,8:1 з очікуваним зниженням аварійності на 18%.

Практична значущість роботи полягає в розробці конкретних рекомендацій для органів державної влади щодо створення нормативно-правової бази, вибору пріоритетних технологій та механізмів фінансування. Результати можуть бути використані при плануванні національної програми розвитку інтелектуальних транспортних систем.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ, БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ADAS, АВТОМАТИЧНА ФІКСАЦІЯ ШВИДКОСТІ, ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНІ ПРИГОДИ, АВТОМАГІСТРАЛЬ М-06.

ABSTRACT

Zabytivskyi Vitaliy Andriiovych. Intelligent transportation systems for improving traffic safety – Manuscript.

Qualification thesis for obtaining a master's degree in the specialty 275.03 – Transport Technologies (in Road Transport). – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, – Ternopil, 2025.

Research results demonstrated that intelligent transport systems are an effective tool for reducing accidents, providing a 15-30% decrease in crashes depending on technology type and implementation context. The experience of the European Union, Singapore, Japan, and the United States was analyzed, identifying key success factors and implementation barriers. It was established that road safety indicators in Ukraine are three times worse than European standards, with main causes of accidents that can be effectively addressed through ITS solutions.

A three-level conceptual model for ITS implementation in Ukraine was developed, considering limited financial resources and institutional capacities. A pilot project for the M-06 highway was proposed, implementing automatic speed enforcement systems, variable message signs, and meteorological monitoring. Economic calculations showed a benefit-cost ratio of 3.8:1 with an expected 18% reduction in accidents.

The practical significance of the work lies in developing specific recommendations for government authorities regarding the creation of regulatory framework, selection of priority technologies, and financing mechanisms. The results can be used in planning a national program for intelligent transport systems development.

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS, ROAD TRAFFIC SAFETY, ADAS, AUTOMATIC SPEED ENFORCEMENT, ROAD TRAFFIC ACCIDENTS, M-06 HIGHWAY.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ РОЛЬ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ РУХУ	12
1.1. Еволюція та концептуальні засади інтелектуальних транспортних систем	12
1.2. Архітектура інтелектуальних транспортних систем.....	17
1.3. Технології безпеки руху в структурі ІТС.....	20
1.3.1. Vehicle-to-Everything (V2X) комунікації.....	20
1.3.2. Advanced Driver Assistance Systems (ADAS).....	22
1.3.3. Системи моніторингу та реагування на інциденти.....	24
1.3.4. Інтелектуальне управління швидкістю.....	25
1.4. Методології оцінки впливу ІТС на безпеку руху	26
Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ	30
2.1. Досвід Європейського Союзу.....	30
2.2. Практики Сінгапуру: Smart Mobility 2030.....	33
2.3. Досвід Японії: інтеграція V2X та автономні транспортні засоби	35
2.4. Досвід США: Connected Vehicle Pilot Deployment Program	37
2.5. Порівняльний аналіз регіональних підходів	39
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС В УКРАЇНІ. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ	43
3.1. Аналіз поточного стану безпеки руху в Україні.....	43
3.2. Існуючі елементи ІТС в Україні.....	46
3.3. Нормативно-правова база впровадження ІТС.....	49

3.4. Бар'єри та виклики впровадження ІТС в українських умовах	51
3.5. Трирівнева стратегія впровадження ІТС	54
3.6. Пілотний проєкт для траси М-06: обґрунтування та дизайн.....	56
3.7. Розрахунок очікуваної ефективності та економічне обґрунтування..	57
Висновки до розділу 3.....	61
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	63
4.1. Загальні вимоги охорони праці в автомобільному транспорті	63
4.2. Безпека життєдіяльності в системі «людина – інтелектуальні транспортні системи – дорожнє середовище»	65
4.3. Охорона праці та безпека персоналу при проєктуванні та експлуатації інтелектуальних транспортних систем	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
ДОДАТКИ	80
ДОДАТОК А	80
ДОДАТОК Б	82
ДОДАТОК В	85
ДОДАТОК Г	86

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Безпека дорожнього руху є однією з найгостріших проблем сучасності. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO, 2023), щорічно у світі в дорожньо-транспортних пригодах (ДТП) гине близько 1,35 млн осіб, а ще 20-50 млн людей отримують не смертельні травми (World Health Organization, 2023). Дорожньо-транспортний травматизм посідає восьме місце серед провідних причин смерті у світі та перше місце серед молоді віком 5-29 років. Економічні втрати від ДТП оцінюються в 3% світового валового внутрішнього продукту (PIARC, 2023).

В Україні ситуація з безпекою дорожнього руху залишається критичною. Згідно з даними Департаменту патрульної поліції, у 2024 році на дорогах країни сталося понад 125 тисяч ДТП, внаслідок яких загинуло 3164 особи та отримали травми 32 456 осіб (Патрульна поліція України, 2024). Показник смертності на дорогах України становить 9,2 на 100 тис. населення, що майже втричі перевищує середньоєвропейський показник 3,1 (European Commission, 2025).

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) визнані міжнародною спільнотою як один з найефективніших інструментів підвищення безпеки руху (ISO, 2024). ІТС інтегрують сучасні інформаційні, комунікаційні, сенсорні та управлінські технології для створення інтелектуального транспортного середовища, здатного попереджати ДТП, мінімізувати їх наслідки та оптимізувати транспортні потоки (ETSI, 2020). За оцінками Європейської комісії, впровадження кооперативних ІТС (C-ITS) може знизити кількість ДТП на 20-50% залежно від типу застосування (European Commission, 2016).

Світовий досвід демонструє високу ефективність ІТС-рішень. Швеція через реалізацію стратегії Vision Zero та масштабне впровадження ІТС досягла зниження смертності на дорогах на 50% за період 2000-2020 років (Trafikverket, 2021). Сінгапур завдяки інтелектуальній системі управління трафіком знизив кількість ДТП на 35% за 2010-2023 роки (Land Transport Authority Singapore, 2023). Японія через впровадження системи Vehicle Information and

Communication System (VICS) скоротила смертність на дорогах на 45% за 2000-2024 роки (VICS Center, 2024).

Європейський Союз активно підтримує розвиток ІТС через Директиву 2010/40/EU, яка встановлює рамкові вимоги до впровадження інтелектуальних транспортних систем у дорожньому русі (European Parliament, 2010). Проєкти C-Roads Platform, ECo-AT та InterCor демонструють успішну інтеграцію кооперативних ІТС на транс'європейських транспортних коридорах (C-Roads Platform, 2024).

В Україні, попри наявність окремих елементів ІТС (системи відеофіксації, GPS-моніторинг громадського транспорту, інтелектуальні світлофори), відсутня комплексна стратегія розвитку інтелектуальних транспортних систем (Кабінет Міністрів України, 2024). Національна транспортна стратегія України до 2030 року визначає впровадження ІТС як пріоритетний напрямок, однак практична реалізація стримується через фінансові обмеження, відсутність нормативно-правової бази та дефіцит кваліфікованих фахівців.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконане відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України № 1550 від 27 грудня 2024 року, та пов'язане з науковими програмами кафедри автомобілів у напрямку підвищення безпеки дорожнього руху.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є аналіз світового досвіду впровадження інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки руху та розробка рекомендацій щодо їх адаптації до умов України.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Дослідити теоретичні основи інтелектуальних транспортних систем, їх архітектуру, технології та методології оцінки впливу на безпеку руху.
2. Проаналізувати світовий досвід впровадження ІТС у провідних країнах (Європейський Союз, Сінгапур, Японія, США) з акцентом на їх вплив на зниження аварійності.
3. Оцінити поточний стан безпеки руху в Україні, існуючі елементи ІТС та

нормативно-правову базу.

4. Розробити концептуальну модель впровадження ІТС для підвищення безпеки на українських дорогах з пілотним проєктом.
5. Розрахувати техніко-експлуатаційні показники та економічну ефективність впровадження запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження – процеси забезпечення безпеки дорожнього руху через інтелектуальні транспортні системи.

Предмет дослідження – інтелектуальні транспортні системи, їх архітектура, технології та методи оцінки впливу на зниження аварійності.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс методів: системний аналіз для дослідження структури ІТС; порівняльний аналіз для оцінки міжнародного досвіду; статистичний аналіз для обробки даних аварійності; математичне моделювання для прогнозування ефекту від впровадження ІТС; економічний аналіз (NPV, IRR) для оцінки ефективності інвестицій.

Наукова новизна одержаних результатів:

- Вперше проведено комплексний аналіз чотирьох регіональних моделей впровадження ІТС (ЄС, Сінгапур, Японія, США) з виявленням критичних факторів успіху.
- Розроблено трирівневу концептуальну модель впровадження ІТС в Україні, адаптовану до національних особливостей.
- Запропоновано методику оцінки економічної ефективності ІТС-проєктів з урахуванням соціальних вигод від попередження ДТП.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані органами державної влади при розробці національної стратегії впровадження ІТС, регіональними управліннями інфраструктури при плануванні дорожніх проєктів, а також транспортними компаніями при модернізації систем безпеки. Пілотний проєкт для траси М-06 може слугувати еталоном для реплікації на інших автомагістралях України.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 1 наукову працю, з них 1 наукова стаття.

Структура роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ РОЛЬ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕКИ РУХУ

1.1. Еволюція та концептуальні засади інтелектуальних транспортних систем

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) є результатом тривалої еволюції технологій управління транспортом, що розпочалася у середині ХХ століття з появою перших автоматизованих систем управління дорожнім рухом. Історичний розвиток ІТС можна умовно поділити на чотири етапи (ISO, 2024).

Перший етап (1960-1980 рр.) характеризувався впровадженням базових автоматизованих систем управління світлофорами (Urban Traffic Control Systems – UTCS) та перших електронних систем збору плати за проїзд. У 1963 році в Торонто (Канада) було встановлено першу комп'ютеризовану систему управління світлофорами, яка координувала роботу 120 світлофорів на основі реального стану трафіку (Komunikácie, 2003). У Японії у 1973 році запустили систему VICS-попередник, яка передавала інформацію про затори через FM-радіо.

Другий етап (1980-2000 рр.) ознаменувався створенням концепції ITS як комплексної системи. У 1986 році в США Конгрес ухвалив Intermodal Surface Transportation Efficiency Act, який виділив \$660 млн на розвиток ІТС (USDOT, 1991). Європа у 1991 році запустила програму PROMETHEUS (Program for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety), що стала основою для майбутніх C-ITS. У цей період з'явилися перші системи GPS-навігації, електронні системи стабілізації (ESC) та адаптивний круїз-контроль (ACC).

Третій етап (2000-2015 рр.) характеризується стандартизацією ІТС та розвитком V2V/V2I комунікацій. У 2010 році Європейський Союз прийняв Директиву 2010/40/EU, яка встановила рамкові вимоги до інтероперабельності ІТС (European Parliament, 2010). ETSI (European Telecommunications Standards

Institute) розробив стандарт ITS-G5 для бездротових комунікацій у діапазоні 5,9 ГГц (ETSI, 2012). У 2015 році ЄС запровадив обов'язкову систему eCall, яка автоматично викликає екстрені служби при ДТП (EU Regulation 2015/758).

Четвертий етап (2015-теперішній час) характеризується масовим впровадженням кооперативних ІТС (C-ITS) та підготовкою до автономних транспортних засобів. Проєкти C-Roads Platform (2016-2023) та InterCor (2016-2019) створили транс'європейську мережу C-ITS коридорів протяжністю понад 8000 км (C-Roads Platform, 2024). У 2020 році ETSI випустив Release 2 стандартів для мультимедіальної роботи C-ITS (ETSI TS 103 439).

Визначення інтелектуальних транспортних систем. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) у стандарті ISO/TR 25100:2022 визначає ІТС як "транспортні системи, в яких застосовуються передові інформаційні, комунікаційні, сенсорні та управлінські технології для підвищення безпеки, стійкості, ефективності та комфорту транспорту" (ISO, 2022). Taxonomy of Connected and Automated Driving розширює це визначення, підкреслюючи інтеграцію з інтернетом речей (IoT) та штучним інтелектом (AI) (FAME Consortium, 2023).

Європейська комісія визначає ІТС як "системи, в яких інформаційні та комунікаційні технології застосовуються до транспортної інфраструктури та транспортних засобів з метою покращення управління дорожнім рухом, підвищення безпеки, ефективності та екологічності транспорту" (European Commission, 2016).

Класифікація інтелектуальних транспортних систем. ISO TR 25100 класифікує ІТС-додатки за функціональним призначенням на вісім категорій (ISO, 2022):

1. Безпека дорожнього руху (Road Safety):
 - Попередження про зіткнення (Collision Warning)
 - Контроль смуги руху (Lane Keeping Assist)
 - Розпізнавання дорожніх знаків (Traffic Sign Recognition)
 - Інтелектуальне управління швидкістю (Intelligent Speed Assistance –

ISA)

2. Управління трафіком (Traffic Management):

- Адаптивні світлофори (Adaptive Traffic Signal Control)
- Динамічне управління смугами руху (Dynamic Lane Management)
- Управління в'їздом на магістралі (Ramp Metering)

3. Інформаційні послуги (Traveler Information):

- Real-time навігація
- Інформація про паркування
- Мультимодальні планувальники маршрутів

4. Громадський транспорт (Public Transport):

- Система пріоритету для автобусів (Bus Priority)
- Real-time інформація для пасажирів
- Інтегровані системи оплати

5. Комерційний транспорт (Freight and Fleet Management):

- Логістичне планування
- Моніторинг вантажів
- Електронні системи митного оформлення

6. Управління надзвичайними ситуаціями (Emergency Management):

- Автоматичне виявлення інцидентів
- Оптимізація маршрутів екстрених служб
- eCall

7. Екологічність (Environment):

- Еко-навігація
- Системи підтримки еко-водіння
- Моніторинг викидів

8. Електронна оплата (Electronic Payment):

- Electronic Toll Collection (ETC)
- Безконтактна оплата паркування
- Інтегровані платіжні системи

Міжнародні стандарти ІТС. Стандартизація є критично важливою для

забезпечення інтероперабельності ІТС-систем. Основні міжнародні організації зі стандартизації включають (ITS Standards, 2023):

ISO TC 204 (Technical Committee 204 "Intelligent transport systems") – найстаріший міжнародний комітет, створений у 1992 році. Розробив понад 200 стандартів, включаючи:

- ISO 14813 (Референтна модель архітектури ІТС)
- ISO 14816 (Автоматична ідентифікація транспортних засобів)
- ISO 17575 (eCall)
- ISO 21217 (CALM Architecture для комунікацій)

ETSI TC ITS (European Telecommunications Standards Institute) – європейський комітет, створений у 2007 році. Фокусується на комунікаційних стандартах:

- ETSI EN 302 665 (ITS-G5 фізичний рівень)
- ETSI TS 102 687 (Decentralized Congestion Control)
- ETSI EN 302 637-2 (CAM – Cooperative Awareness Message)
- ETSI EN 302 637-3 (DENM – Decentralized Environmental Notification Message)

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – американські стандарти:

- IEEE 802.11p (WAVE – Wireless Access in Vehicular Environments)
- IEEE 1609 (Family of Standards for Wireless Access in Vehicular Environments)

CEN TC 278 (European Committee for Standardization) – європейські стандарти для фізичної інфраструктури ІТС.

Таблиця 1.1. - Основні міжнародні стандарти інтелектуальних транспортних систем

Організація	Стандарт	Назва	Рік	Область застосування
ISO	ISO 14813	Reference model architecture	2015	Архітектура ІТС
ISO	ISO 21217	CALM Architecture	2020	Комунікаційна архітектура
ISO	ISO 17575	eCall	2016	Екстрений виклик
ETSI	EN 302 665	ITS-G5 Access layer	2020	Фізичний/канальний рівень
ETSI	TS 102 687	Decentralized Congestion Control	2021	Управління перевантаженням
ETSI	EN 302 637-2	CAM specification	2019	Повідомлення про стан ТЗ
ETSI	EN 302 637-3	DENM specification	2019	Повідомлення про події
IEEE	802.11p	WAVE	2010	Бездротовий доступ
IEEE	1609.2	Security Services	2016	Безпека комунікацій

Джерело: складено автором на основі (ISO, 2024; ETSI, 2020; IEEE, 2016)

У таблиці 1.1 представлено основні міжнародні стандарти ІТС, розроблені трьома провідними організаціями зі стандартизації. ISO зосереджена на загальній архітектурі та функціональних аспектах систем, ETSI розробляє комунікаційні стандарти для європейського регіону, а IEEE створює специфікації для бездротових технологій. Ці стандарти забезпечують інтероперабельність між системами різних виробників та регіонів, що є критично важливим для створення глобальної екосистеми ІТС (ITS Standards, 2023).

1.2. Архітектура інтелектуальних транспортних систем

Архітектура ІТС визначає структурну організацію системи, взаємозв'язки між її компонентами та принципи їх взаємодії. Згідно з визначенням PIARC (World Road Association), архітектура ІТС – це "фреймворк, що визначає, як різні компоненти системи взаємодіють один з одним через обмін даними та керуючими інструкціями" (PIARC, 2023). Національна архітектура ІТС США (National ITS Architecture) виділяє три основні рівні архітектури: транспортний, комунікаційний та інституційний (US DOT, 2012).

Фізична архітектура ІТС описує матеріальні компоненти системи та їх взаємозв'язки. За класифікацією ISO 14813, фізична архітектура включає чотири основні класи підсистем (ISO, 2015):

1. Центральні підсистеми (Centers):

- Центри управління дорожнім рухом (Traffic Management Centers – TMC)
- Центри управління громадським транспортом (Transit Management Centers)
- Центри реагування на надзвичайні ситуації (Emergency Management Centers)
- Центри управління інформаційними сервісами (Information Service Provider Centers)

2. Дорожня інфраструктура (Field Equipment):

- Детектори транспорту (індуктивні петлі, радары, відеокамери)
- Змінні інформаційні табло (Variable Message Signs – VMS)
- Дорожні комунікаційні пристрої (Roadside Units – RSU)
- Світлофорні контролери
- Метеорологічні станції

3. Транспортні засоби (Vehicles):

- Бортові системи навігації
- Системи комунікації V2X
- Системи Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)
- Системи автоматичного керування

4. Кінцеві користувачі (Travelers):

- Мобільні пристрої з додатками навігації
- Інформаційні кіоски
- Персональні комунікаційні пристрої

Функціональна архітектура визначає логічні функції системи та потоки даних між ними. ETSI (European Telecommunications Standards Institute) розробила багаторівневу функціональну архітектуру для кооперативних ІТС, яка складається з чотирьох рівнів (ETSI EN 302 890-1, 2020):

Рівень 1. Прикладний рівень (Applications Layer):

Містить специфічні ІТС-додатки, такі як попередження про зіткнення, інформування про затори, управління світлофорами тощо. Кожен додаток використовує стандартизовані повідомлення з нижніх рівнів.

Рівень 2. Рівень засобів (Facilities Layer):

Надає спільні функції та дані для різних додатків, включаючи:

- Управління базою даних локальних об'єктів (Local Dynamic Map – LDM)
- Генерацію та обробку стандартизованих повідомлень (CAM, DENM)
- Функції позиціонування та часової синхронізації
- Управління інформацією про події та стан транспорту

Рівень 3. Мережевий та транспортний рівень (Networking & Transport Layer):

Забезпечує маршрутизацію даних між вузлами мережі. Включає:

- GeoNetworking (географічна маршрутизація на основі позиції)
- IPv6 (для з'єднання з Інтернетом)
- BTP (Basic Transport Protocol для ІТС)

Рівень 4. Рівень доступу (Access Layer):

Реалізує фізичну передачу даних через бездротові технології:

- ITS-G5 (802.11p) для короткодістанційних комунікацій
- C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) на базі LTE/5G
- Інші технології (WiFi, Bluetooth, супутниковий зв'язок)

Таблиця 1.2 - Функціональна архітектура Cooperative ITS за стандартом ETSI

Рівень	Функції	Стандарти	Приклади застосування
Прикладний	Road Safety, Traffic Efficiency, Comfort	ETSI TS 101 539	Collision Warning, Green Wave, Parking Info
Рівень засобів	Message Generation, LDM Management, Security	EN 302 890-1, TS 102 894-2	CAM/DENM generation, Certificate Management
Мережевий	GeoNetworking, IPv6, BTP	EN 302 636-4, EN 302 636-5	Geocast, Broadcast routing
Доступу	ITS-G5, C-V2X, WiFi	EN 302 663, EN 302 665	5.9 GHz DSRC, LTE-V2X

Джерело: складено автором на основі (ETSI, 2020; Bizek, 2022)

Дана таблиця ілюструє чіткий розподіл функцій між рівнями архітектури C-ITS, що забезпечує модульність та інтероперабельність системи. Кожен рівень має власні стандарти, які детально визначають протоколи взаємодії та формати даних (ETSI, 2020).

Архітектура Cooperative ITS (C-ITS) є розширенням традиційної архітектури ITS, яка додає можливість кооперації між транспортними засобами та інфраструктурою через бездротові комунікації. За визначенням CAR 2 CAR Communication Consortium, C-ITS – це "система, в якій транспортні засоби та дорожня інфраструктура обмінюються інформацією в реальному часі для підвищення безпеки, ефективності та комфорту транспорту" (C2C-CC, 2024).

Ключові компоненти архітектури C-ITS включають (European Commission, 2016):

1. On-Board Unit (OBU) – бортовий пристрій:

- Інтегрований в транспортний засіб або встановлений додатково
- Обробляє дані від сенсорів транспортного засобу

- Генерує та передає повідомлення CAM (Cooperative Awareness Message) кожні 100-1000 мс
 - Отримує та обробляє повідомлення від інших учасників
2. Roadside Unit (RSU) – дорожній пристрій:
- Встановлюється вздовж дороги або на перехрестях
 - Передає інформацію про дорожню ситуацію (DENM – Decentralized Environmental Notification Message)
 - Може виконувати функції ретрансляції для розширення зони покриття
 - Підключений до центрів управління через фіксовані мережі
3. Trusted Authority (TA) – довірений орган:
- Видає та управляє цифровими сертифікатами для OBU та RSU
 - Забезпечує автентифікацію та конфіденційність комунікацій
 - Відкликає скомпрометовані сертифікати
4. Backend Systems – бекенд-системи:
- Збирають та обробляють дані від RSU
 - Надають додаткові сервіси (real-time traffic information, weather data)
 - Інтегруються з традиційними центрами управління дорожнім рухом

1.3. Технології безпеки руху в структурі ІТС

Підвищення безпеки дорожнього руху є пріоритетною метою інтелектуальних транспортних систем. Згідно з класифікацією ISO TR 25100, технології безпеки ІТС поділяються на чотири основні категорії залежно від рівня автоматизації та типу комунікації (ISO, 2022).

1.3.1. Vehicle-to-Everything (V2X) комунікації

V2X (Vehicle-to-Everything) – це комунікаційна технологія, яка дозволяє транспортним засобам обмінюватися даними з будь-якими об'єктами оточуючого середовища (Wikipedia, 2025). За оцінками Національного управління безпеки дорожнього руху США (NHTSA), впровадження V2V систем може знизити кількість ДТП мінімум на 13%, що еквівалентно запобіганню 439 000 аварій

щорічно (NHTSA, 2017).

V2X включає наступні типи комунікацій (Keysight, 2024):

Vehicle-to-Vehicle (V2V):

- Обмін інформацією між транспортними засобами про швидкість, позицію, напрямок руху
- Дальність комунікації: до 300 метрів
- Попередження про ризик зіткнення за 3-5 секунд до небезпечної ситуації
- Приклади застосування: Forward Collision Warning, Emergency Brake Warning, Intersection Collision Warning

Vehicle-to-Infrastructure (V2I):

- Комунікація з дорожньою інфраструктурою (світлофори, знаки, датчики)
- Оптимізація трафіку через передачу даних про фази світлофорів
- Попередження про дорожні роботи, погані погодні умови, небезпечні ділянки
- Приклади: Green Light Optimal Speed Advisory (GLOSA), Road Works Warning, Weather Information

Vehicle-to-Pedestrian (V2P):

- Виявлення вразливих учасників руху (пішоходи, велосипедисти)
- Використання мобільних пристроїв або носимої електроніки
- Попередження водія та пішохода про ризик зіткнення
- Критично важливо для автономних транспортних засобів

Vehicle-to-Network (V2N):

- Підключення до хмарних сервісів через мобільні мережі (4G/5G)
- Доступ до real-time даних про трафік, навігацію, погоду
- Дистанційна діагностика та Over-The-Air (OTA) оновлення програмного забезпечення
- Телематика для управління автопарками

Таблиця 1.3 - Технології V2X: характеристики та застосування

Тип V2X	Технологія	Дальність	Латентність	Основні застосування
V2V	DSRC/ITS-G5	100-300 м	10-100 мс	Collision Warning, Cooperative ACC
V2V	C-V2X (5G)	500-1000 м	<10 мс	Platooning, Sensor Sharing
V2I	DSRC/ITS-G5	300-500 м	10-100 мс	GLOSA, Traffic Sign Information
V2I	C-V2X (5G)	1-2 км	<20 мс	Dynamic Lane Management
V2P	Bluetooth/WiFi	10-50 м	100-500 мс	Pedestrian Collision Warning
V2N	4G LTE/5G	Необмежена	50-200 мс	Real-time Navigation, Fleet Management

Джерело: складено автором на основі (Keysight, 2024; ETSI, 2020; C2C-CC, 2024)

Таблиця 1.3 демонструє технічні характеристики різних типів V2X комунікацій, які визначають їх придатність для конкретних застосувань безпеки. Критичні для безпеки застосування (Collision Warning) вимагають низької латентності (менше 100 мс) та забезпечуються технологіями DSRC або C-V2X, тоді як інформаційні сервіси можуть використовувати традиційні мобільні мережі (Keysight, 2024).

1.3.2. Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

ADAS (розширені системи допомоги водієві) – це електронні системи, які допомагають водієві в процесі керування транспортним засобом або автоматизують окремі функції водіння для підвищення безпеки (Wikipedia, 2024). За дослідженням AAA Foundation for Traffic Safety, ADAS-технології можуть запобігти 249 400 смертельним випадкам та 14 138 000 не смертельним травмам

у період 2021-2050 років у США (Naumann et al., 2023).

Основні типи ADAS згідно з класифікацією SAE:

1. Lane Keeping Assist (LKA) – утримання в смузі руху:

- Використовує камери для розпізнавання розмітки
- Корегує рульове управління при ненавмисному відхиленні від смуги
- Зменшує кількість ДТП на 18% за даними Insurance Institute for Highway Safety (Cicchino, 2018)

2. Adaptive Cruise Control (ACC) – адаптивний круїз-контроль:

- Радар або лідар контролює дистанцію до попереднього транспортного засобу
- Автоматично регулює швидкість для підтримання безпечної відстані
- Знижує ризик ДТП на задніх зіткненнях на 35% (NSC, 2024)

3. Automatic Emergency Braking (AEB) – автоматичне екстрене гальмування:

- Виявляє ризик зіткнення та автоматично активує гальма
- Зменшує кількість лобових зіткнень на 50% (IIHS, 2019)
- З 2024 року обов'язкова для всіх нових автомобілів в ЄС (EU Regulation 2019/2144)

4. Blind Spot Detection (BSD) – контроль мертвих зон:

- Радари у задніх бамперах виявляють ТЗ у мертвих зонах
- Візуальне або звукове попередження при спробі перестроювання
- Знижує ризик ДТП при зміні смуги на 14% (IIHS, 2020)

5. Traffic Sign Recognition (TSR) – розпізнавання дорожніх знаків:

- Камери та AI розпізнають знаки обмеження швидкості, обгону, зупинки
- Відображає інформацію на приладовій панелі
- Інтеграція з Intelligent Speed Assistance (ISA) для контролю швидкості

6. Rear Cross-Traffic Alert – попередження про поперечний рух ззаду:

- Виявляє транспорт при русі заднім ходом (паркування)
- Знижує кількість ДТП при паркуванні на 78% (Cicchino, 2017)

1.3.3. Системи моніторингу та реагування на інциденти

Ефективність інтелектуальних транспортних систем у забезпеченні безпеки значною мірою залежить від швидкості виявлення та реагування на дорожньо-транспортні пригоди. Традиційні методи виявлення ДТП, що базуються на телефонних дзвінках очевидців або патрулюванні поліції, характеризуються значною затримкою між моментом виникнення інциденту та прибуттям екстрених служб. Дослідження Національного управління безпеки дорожнього руху США продемонстрували, що скорочення часу реагування на один хвилину може знизити смертність від ДТП на 6% (NHTSA, 2015).

Сучасні системи автоматичного виявлення інцидентів інтегрують різні джерела даних для максимально швидкого визначення аномальних ситуацій на дорозі. Відеокамери з технологіями комп'ютерного зору аналізують транспортні потоки в реальному часі, виявляючи зупинки транспортних засобів у неочікуваних місцях, різке зменшення швидкості руху або формування черг. Алгоритми на основі машинного навчання порівнюють поточну ситуацію з історичними паттернами та з точністю до 92% визначають наявність інциденту протягом двох хвилин після його виникнення (Zhang et al., 2020). Така точність досягається завдяки аналізу множинних параметрів, включаючи швидкість, щільність трафіку, зайнятість смуг руху та поведінку окремих транспортних засобів.

Система eCall, обов'язкова для всіх нових автомобілів в Європейському Союзі з 2018 року, автоматично встановлює зв'язок з центром екстреної допомоги при спрацюванні подушок безпеки або інших сенсорів зіткнення. Передаючи точні координати GPS, напрямок руху, час інциденту та кількість пасажирів, система дозволяє екстреним службам прибути на місце події на 40% швидше порівняно з традиційними методами виклику (European Commission, 2018). Особливо критичне значення eCall має для віддалених районів або нічного часу, коли ймовірність швидкого виявлення ДТП сторонніми особами мінімальна. Статистика показує, що впровадження eCall може запобігти 2500 смертям

щорічно в країнах ЄС (EU Regulation 2015/758).

Інтеграція даних від різних систем створює синергетичний ефект у підвищенні безпеки. Коли центр управління дорожнім рухом отримує сигнал про інцидент, система автоматично координує роботу змінних інформаційних табло для попередження водіїв, адаптує роботу світлофорів для створення "зеленої хвилі" для екстрених служб та розраховує оптимальний маршрут об'їзду для інших учасників руху. Дослідження, проведені в Сінгапурі, продемонстрували, що така інтегрована система зменшує вторинні ДТП на місці інциденту на 28% та скорочує загальний час блокування дороги на 35% (Land Transport Authority Singapore, 2022).

1.3.4. Інтелектуальне управління швидкістю

Перевищення швидкості залишається однією з провідних причин смертельних ДТП у всьому світі, відповідаючи за приблизно 30% всіх смертельних випадків на дорогах згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO, 2023). Системи інтелектуального управління швидкістю представляють технологічне рішення цієї проблеми, допомагаючи водіям дотримуватися встановлених обмежень або навіть примусово обмежуючи максимальну швидкість транспортного засобу.

Intelligent Speed Assistance у своїй найпростішій формі інформує водія про поточне обмеження швидкості, використовуючи камери для розпізнавання дорожніх знаків або цифрові карти з геопросторовими даними про обмеження. Більш досконалі версії системи надають тактильний або звуковий зворотній зв'язок через вібрацію педалі акселератора, коли водій перевищує дозволenu швидкість. Найпрогресивніші системи можуть м'яко обмежувати потужність двигуна, роблячи подальше прискорення складнішим, хоча водій завжди може подолати це обмеження додатковим натисканням педалі (ETSC, 2019).

Європейський Союз зробив ISA обов'язковою функцією для всіх нових типів транспортних засобів з липня 2022 року згідно з Регламентом 2019/2144.

Технічні вимоги стандарту передбачають, що система має реагувати на обмеження швидкості протягом 10 секунд після зміни зони та може бути тимчасово вимкнена водієм, але автоматично активується при кожному новому запуску двигуна. Моделювання впливу обов'язкового ISA на безпеку руху в ЄС прогнозує зниження смертності на дорогах на 20% до 2038 року, що еквівалентно збереженню 25000 життів щорічно (European Commission, 2019).

Досвід міста Гетеборг у Швеції демонструє практичну ефективність ISA в міських умовах. Після добровільного встановлення систем на муніципальних транспортних засобах у 2003 році, спостерігалось зниження середньої швидкості на 3,5 км/год у зонах з обмеженням 50 км/год та на 6 км/год у зонах 30 км/год. Кількість ДТП за участю цих транспортних засобів зменшилася на 35%, а тяжкість травм у ДТП скоротилася на 47% (Várhelyi et al., 2004). Ці результати підтверджують теоретичну залежність між швидкістю та ризиком травматизму, описану в дослідженнях біомеханіки зіткнень.

1.4. Методології оцінки впливу ІТС на безпеку руху

Визначення фактичного впливу інтелектуальних транспортних систем на безпеку дорожнього руху потребує ретельно розроблених методологій оцінки, що враховують множину факторів та можливі джерела похибок. Складність такої оцінки полягає у необхідності ізолювати ефект конкретної ІТС-технології від інших одночасних змін у транспортній системі, таких як покращення дорожньої інфраструктури, зміни в законодавстві або природні коливання кількості ДТП (Elvik, 2008).

Метод "до та після" з контрольною групою вважається золотим стандартом для оцінки впливу ІТС-втручання на безпеку. Цей підхід передбачає порівняння змін у кількості або тяжкості ДТП на ділянках, де впроваджено ІТС-систему, з аналогічними ділянками без втручання. Статистичний аналіз використовує моделі Пуассона або негативного біномного розподілу, що враховують властивість ДТП як випадкових рідкісних подій (Hauer, 1997). Критично

важливим є врахування ефекту регресії до середнього, коли ділянки з аномально високою аварійністю природно демонструють покращення показників навіть без будь-яких втручань.

Показники ефективності безпеки, що використовуються міжнародними організаціями, включають як абсолютні, так і відносні метрики. Абсолютне зниження кількості ДТП виражається простою різницею між періодами "до" та "після", але може бути оманливим через зміни в інтенсивності руху. Тому дослідники надають перевагу нормалізованим показникам, таким як кількість ДТП на мільярд кілометрів пробігу або на 100 мільйонів транспортних засобів-годин перебування в системі (PIARC, 2023). Для оцінки впливу на тяжкість наслідків використовується показник еквівалентної кількості смертельних ДТП, де кожна смерть має вагу 1,0, кожна тяжка травма 0,13, а легка травма 0,01 відповідно до монетизації соціальних втрат (European Commission, 2007).

Економічна оцінка ефективності ІТС-проектів використовує методологію аналізу витрат та вигод, де монетизуються всі позитивні та негативні наслідки впровадження системи. Вартість запобіганої смерті в дорожньо-транспортній пригоді оцінюється в межах від 1,5 до 4,0 мільйонів євро залежно від методології розрахунку та країни (Wijnen et al., 2019). Ця цифра включає прямі економічні втрати від втрати продуктивності, медичні витрати, адміністративні витрати та нематеріальні втрати якості життя. Запобігання тяжкої травми оцінюється приблизно в 200-300 тисяч євро. При розрахунку чистої теперішньої вартості проекту використовується дисконтна ставка від 3% до 5% річних, що відображає соціальну премію за час (HEATCO, 2006).

Моделювання мікроскопічних транспортних потоків дозволяє прогнозувати вплив ІТС-систем до їх фактичного впровадження. Програмне забезпечення типу VISSIM або SUMO симулює поведінку окремих транспортних засобів з урахуванням впливу ІТС-технологій на параметри водіння. Наприклад, моделювання ефекту від впровадження адаптивних світлофорів показало потенційне зниження конфліктних ситуацій на перехрестях на 18-24% залежно від інтенсивності руху (Papageorgiou et al., 2003). Однак валідація таких моделей

потребує калібрування на основі реальних спостережень, оскільки поведінка водіїв у відповідь на нові технології може відрізнятися від теоретичних припущень.

Висновки до розділу 1

Аналіз теоретичних основ інтелектуальних транспортних систем дозволяє зробити низку важливих висновків щодо їх ролі у забезпеченні безпеки дорожнього руху. Еволюція ІТС від простих автоматизованих систем управління світлофорами 1960-х років до сучасних кооперативних систем з V2X комунікаціями демонструє послідовне нарощування технологічних можливостей та інтеграцію нових рішень. Стандартизація, що здійснюється міжнародними організаціями ISO, ETSI та IEEE, створила надійний фундамент для інтероперабельності різних компонентів системи та забезпечила можливість масштабування рішень на глобальному рівні.

Архітектура інтелектуальних транспортних систем характеризується багаторівневою структурою, де фізичні компоненти взаємодіють через чітко визначені функціональні інтерфейси. Розроблена ETSI модель кооперативних ІТС з чотирма рівнями забезпечує гнучкість у впровадженні нових додатків без необхідності модифікації базової інфраструктури. Особливе значення має концепція Local Dynamic Map, що інтегрує дані з різних джерел та створює єдине уявлення про транспортну ситуацію в реальному часі.

Технології безпеки руху в структурі ІТС охоплюють широкий спектр рішень від пасивних інформаційних систем до активних втручань у процес керування транспортним засобом. Системи V2X комунікацій відкривають можливості для кооперації між учасниками руху, дозволяючи попереджати про небезпеку за межами видимості водія. Advanced Driver Assistance Systems продемонстрували доведену ефективність у зниженні аварійності, особливо такі технології як автоматичне екстрене гальмування та утримання в смузі руху. Інтеграція цих технологій з системами моніторингу та реагування на інциденти створює комплексну екосистему безпеки.

Методології оцінки впливу ІТС на безпеку руху потребують ретельного підходу до врахування множини факторів та джерел похибок. Метод "до та після" з контрольною групою залишається найбільш надійним інструментом для визначення фактичного ефекту від впровадження технологій. Економічна оцінка ефективності через монетизацію соціальних вигод від запобігання ДТП дозволяє обґрунтувати інвестиції у розвиток ІТС-інфраструктури навіть за відсутності прямих фінансових надходжень від експлуатації систем.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

2.1. Досвід Європейського Союзу

Європейський Союз зайняв лідируючу позицію у розвитку та впровадженні інтелектуальних транспортних систем, розглядаючи їх як ключовий інструмент для досягнення амбітних цілей з безпеки дорожнього руху. Директива 2010/40/EU встановила правові рамки для координованого розгортання ІТС у всіх країнах-членах, визначивши пріоритетні галузі та вимоги до інтероперабельності систем (European Parliament, 2010). Цей документ наголошує на необхідності узгодженого підходу до специфікацій, стандартів та процедур впровадження, щоб уникнути фрагментації європейського транспортного простору.

Стратегія безпеки дорожнього руху ЄС базується на концепції "нульової толерантності до смертей та серйозних травм", відомої як Vision Zero. Ця філософія, що походить зі Швеції, передбачає системний підхід до безпеки, де відповідальність розподіляється між проєктувальниками доріг, виробниками транспортних засобів, законодавцями та користувачами. Статистика демонструє поступовий прогрес у досягненні цієї мети – якщо у 2001 році на дорогах ЄС загинуло 54 000 осіб, то у 2023 році цей показник знизився до 20 400, що означає скорочення на 62% (European Commission, 2024). Однак темпи зменшення смертності уповільнилися в останні роки, що вимагає додаткових зусиль та інноваційних підходів.

Програма eCall стала першою масштабною ініціативою ЄС з обов'язкового впровадження ІТС-технології безпеки. Регламент 2015/758 встановив вимогу про наявність системи автоматичного екстреного виклику в усіх нових легкових автомобілях та легких комерційних транспортних засобах, що продаються в ЄС з 31 березня 2018 року (EU Regulation 2015/758). Система використовує вбудований модуль телематики для встановлення голосового зв'язку з єдиним

європейським номером екстреної допомоги 112 при спрацюванні датчиків зіткнення. Одночасно передається мінімальний набір даних, що включає точні GPS-координати, час інциденту, напрямок руху та інформацію про транспортний засіб.

Технічна реалізація eCall базується на стандарті ETSI EN 16072, що визначає формат повідомлення та протокол передачі даних. Система розроблялася з урахуванням принципу "privacy by design", коли у нормальному режимі роботи не здійснюється жодного відстеження місцезнаходження транспортного засобу, а модуль телематики активується виключно при аварії. Пілотні проєкти, проведені в декількох країнах ЄС до обов'язкового впровадження, продемонстрували скорочення часу прибуття екстреної допомоги на 40% в міських районах та на 50% в сільській місцевості (European Commission, 2011). Особливо значущим є ефект для одиночних ДТП в нічний час або на малозавантажених дорогах, де ймовірність виявлення аварії сторонніми особами мінімальна.

Проєкт C-Roads Platform об'єднав зусилля 15 країн-членів ЄС для створення транс'європейської мережі кооперативних інтелектуальних транспортних систем. Розпочатий у 2016 році з початковим бюджетом 65 мільйонів євро, проєкт мав на меті продемонструвати технічну можливість та додану вартість міжнародної інтеперабельності C-ITS (C-Roads Platform, 2019). Учасники проєкту розгорнули дорожню інфраструктуру RSU на понад 8000 кілометрах автомагістралей та міських доріг, створивши безшовне покриття для транспортних засобів, обладнаних OBU.

Основний акцент у проєкті C-Roads зроблено на реалізації так званих Day 1 додатків – найважливіших сервісів безпеки, що мають найбільший потенціал для зниження аварійності. До них належать попередження про дорожні роботи, повідомлення про небезпечні погодні умови, інформування про аварії попереду, попередження про нерухомий транспортний засіб на проїзній частині та повідомлення про транспортний засіб аварійних служб. Технічна реалізація базується на стандартизованих повідомленнях DENM, що забезпечує однакову

інтерпретацію інформації незалежно від країни перебування.

Пілотні випробування в рамках C-Roads показали технічну надійність системи на рівні 98,7% успішної доставки повідомлень у зоні покриття RSU (C-Roads Platform, 2020). Опитування водіїв-учасників тестування виявило високий рівень довіри до системи та позитивне сприйняття отримуваних попереджень. Близько 84% учасників відзначили, що C-ITS повідомлення вплинули на їхню манеру водіння, спонукаючи до більш обережної поведінки в потенційно небезпечних ситуаціях. Моделювання впливу широкомасштабного впровадження C-ITS в ЄС прогнозує можливе зниження кількості ДТП на 20-30% залежно від рівня проникнення технології серед транспортних засобів.

Шведський підхід до безпеки руху через концепцію Vision Zero заслуговує окремої уваги як приклад системної трансформації транспортної системи. Прийнята парламентом Швеції у 1997 році, ця стратегія базується на принципі, що жодна смерть або серйозна травма на дорогах не є прийнятною та неминучою (Trafikverket, 2021). На відміну від традиційного підходу, що покладає основну відповідальність на поведінку водіїв, Vision Zero визнає обмеження людських можливостей та зміщує фокус на створення транспортної системи, що прощає помилки.

Практична реалізація концепції включає масштабну реконструкцію дорожньої мережі з впровадженням фізичних бар'єрів між зустрічними напрямками руху, облаштуванням кільцевих перехресть замість регульованих світлофорами, створенням захищених пішохідних та велосипедних доріжок. Інтелектуальні транспортні системи відіграють критичну роль у досягненні цілей Vision Zero через впровадження систем ISA, камер автоматичної фіксації швидкості, інтелектуального освітлення та адаптивного управління трафіком.

Результати шведського експерименту вражають своєю послідовністю. За період з 1997 по 2020 рік кількість смертей на дорогах Швеції скоротилася з 541 до 263 випадків на рік, попри значне зростання обсягів перевезень (Trafikverket, 2021). Показник смертності на мільярд пробігу знизився з 6,0 до 2,5, що є одним з найнижчих у світі. Особливо значущим є зниження смертності серед вразливих

учасників руху – пішоходів та велосипедистів, що часто є найбільш проблемною категорією в інших країнах.

2.2. Практики Сінгапуру: Smart Mobility 2030

Сінгапур, що стикається з унікальними викликами обмеженої території та високої щільності населення, розробив одну з найбільш комплексних стратегій впровадження інтелектуальних транспортних систем у світі. Оголошена у 2014 році ініціатива Smart Mobility 2030 визначила довгострокову візію трансформації транспортної системи острівної держави через інтеграцію передових технологій, аналітики даних та штучного інтелекту (Land Transport Authority Singapore, 2014). На відміну від багатьох інших країн, де розвиток ІТС часто відбувається фрагментовано, Сінгапур обрав централізований підхід під керівництвом Land Transport Authority, що дозволило забезпечити узгодженість різних ініціатив та ефективне використання ресурсів.

Філософія Smart Mobility 2030 базується на трьох ключових стратегіях, що взаємодоповнюють одна одну. По-перше, впровадження інноваційних та сталих рішень розумної мобільності має на меті покращити управління трафіком та транспортні послуги через застосування даних реального часу та предиктивної аналітики. По-друге, розробка та прийняття стандартів ІТС забезпечує інтероперабельність різних систем та полегшує обмін даними між державним та приватним секторами. По-третє, встановлення тісних партнерств між урядовими агенціями, технологічними компаніями та науково-дослідними установами створює екосистему інновацій (LTA, 2014).

Система управління трафіком Сінгапуру представляє собою високоінтегрований комплекс технологій, що функціонує як єдиний організм. Центральна платформа збирає дані з понад 10 000 сенсорів, камер та детекторів, розміщених по всій мережі доріг довжиною 3600 кілометрів. Алгоритми штучного інтелекту аналізують ці дані в реальному часі, виявляючи аномалії в транспортних потоках та передбачаючи потенційні проблеми до їх виникнення.

Наприклад, система може ідентифікувати формування заторів на 15-20 хвилин раніше, ніж вони стають видимими водіям, та автоматично коригувати роботу світлофорів для оптимізації потоків або інформувати водіїв через змінні інформаційні табло (LTA, 2023).

Результати впровадження Smart Mobility 2030 демонструють вражаючу ефективність у підвищенні безпеки руху. За період з 2010 по 2023 рік кількість смертельних ДТП на дорогах Сінгапуру знизилася на 35%, попри зростання кількості зареєстрованих транспортних засобів на 12% (Singapore Ministry of Transport, 2024). Показник смертності на 100 000 населення впав до 1,8 випадків, що є одним з найнижчих у світі та значно нижче за середній показник країн Організації економічного співробітництва та розвитку. Особливо значущим є зниження аварійності за участю вразливих учасників руху – смертність серед пішоходів зменшилася на 42%, а серед велосипедистів на 38%.

Система Electronic Road Pricing другого покоління, запроваджена у 2020 році, використовує технологію глобального позиціонування для точного розрахунку плати за проїзд залежно від фактично подоланої відстані в зонах з платним в'їздом. На відміну від попередньої системи з фіксованими точками збору плати, ERP 2.0 дозволяє динамічно змінювати тарифи залежно від завантаженості доріг у конкретний час, створюючи більш точні економічні стимули для зміни маршрутів або часу поїздок. Хоча основною метою системи є управління попитом на дорожню інфраструктуру, вона також сприяє безпеці через зменшення щільності транспортних потоків у найбільш завантажені періоди, коли ризик ДТП найвищий (LTA, 2021).

Програма випробувань автономних транспортних засобів, розпочата у 2015 році, позиціонує Сінгапур як один зі світових лідерів у тестуванні технологій майбутнього. Уряд виділив декілька спеціальних тестових зон, включаючи частини міста-супутника Jurong та National University of Singapore, де технологічні компанії можуть випробовувати автономні автобуси, таксі та вантажні транспортні засоби в реальних умовах. Технічні референсні вимоги TR68, розроблені Land Transport Authority, встановлюють чіткі стандарти

поведінки автономних транспортних засобів, що базуються на Базовій та Фінальній теоріях водіння, обов'язкових для отримання прав у Сінгапурі (Singapore Standards Council, 2019). Цей підхід забезпечує, що автономні системи дотримуються тих самих правил дорожнього руху, що й люди-водії, створюючи передбачувану взаємодію між різними учасниками руху.

Сінгапурська модель впровадження ІТС характеризується високим рівнем централізації та координації, що може бути як перевагою, так і обмеженням залежно від контексту. Централізоване управління дозволяє швидко приймати рішення та забезпечувати узгодженість різних ініціатив, проте може бути складним для реплікації в країнах з федеративною структурою або меншими адміністративними можливостями. Досвід Сінгапуру особливо цінний для густонаселених міст та агломерацій, де оптимізація використання обмеженого дорожнього простору є критичною задачею.

2.3. Досвід Японії: інтеграція V2X та автономні транспортні засоби

Японія демонструє унікальний приклад еволюційного підходу до розвитку інтелектуальних транспортних систем, що розпочався ще у 1970-х роках з експериментів з автоматизованого управління трафіком. Система Vehicle Information and Communication System, запущена в комерційну експлуатацію у 1996 році, стала однією з перших у світі масових реалізацій концепції обміну даними між дорожньою інфраструктурою та транспортними засобами (VICS Center, 2024). Технологія використовує FM-радіомовлення, інфрачервоні маяки та мікрохвильові передавачі для доставки інформації про затори, дорожні роботи, погодні умови та інциденти безпосередньо на навігаційні системи автомобілів.

Ефективність VICS у підвищенні безпеки руху проявляється через декілька механізмів. Водії, отримуючи своєчасну інформацію про проблемні ділянки, можуть заздалегідь обрати альтернативні маршрути, уникаючи зон підвищеного ризику. Дослідження Japan Automobile Manufacturers Association показали, що транспортні засоби, обладнані VICS, демонструють на 23% нижчу ймовірність

потрапляння в ДТП порівняно з автомобілями без такої системи (JAMA, 2018). Особливо значущий ефект спостерігається при попередженні про погодні умови та видимість – коли водії заздалегідь знають про туман, ожеледицю або сильний дощ на маршруті, вони коригують швидкість та манеру водіння відповідно до умов.

Статистика безпеки руху в Японії демонструє стабільну тенденцію до зниження смертності протягом останніх двох десятиліть. У 2000 році на японських дорогах загинуло 9 066 осіб, тоді як у 2022 році цей показник знизився до 3 216 випадків, що означає скорочення на 65% (International Transport Forum, 2023). Показник смертності на 100 000 населення складає 2,6, що є одним з найнижчих серед розвинених країн. Хоча ця динаміка зумовлена комплексом факторів, включаючи покращення пасивної безпеки транспортних засобів, інфраструктурні заходи та зміни в законодавстві, експерти оцінюють внесок ІТС-технологій у це зниження приблизно на 15-20%.

Програма розвитку автономних транспортних засобів в Японії отримала новий імпульс після призначення 2020 року роком початку "суспільства автономної мобільності". Уряд інвестував понад 300 мільярдів ієн у дослідження та розробку технологій автоматизованого водіння, розглядаючи їх як рішення для проблеми старіння населення та дефіциту водіїв у сільській місцевості (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2020). Особливу увагу приділено розвитку інфраструктури Dynamic Map Platform, що представляє собою високоточні тривимірні карти доріг з точністю позиціонування до 25 сантиметрів, необхідні для функціонування автономних транспортних засобів високого рівня.

Японський досвід демонструє важливість довгострокового послідовного підходу до розвитку ІТС, де кожне покоління технологій створює фундамент для наступного. Інфраструктура, побудована для VICS у 1990-х, тепер модернізується для підтримки V2X комунікацій нового покоління. Масове проникнення навігаційних систем з підтримкою VICS, що є стандартним обладнанням для понад 80% нових автомобілів, створило готову базу

користувачів для впровадження більш просунутих функцій безпеки.

2.4. Досвід США: Connected Vehicle Pilot Deployment Program

Сполучені Штати Америки обрали децентралізований підхід до розвитку інтелектуальних транспортних систем, де федеральний уряд через Міністерство транспорту забезпечує фінансування та розробляє технічні стандарти, а штати та муніципалітети мають широку автономію у виборі конкретних технологічних рішень. Така модель відображає федеративний устрій країни та історично склалися традиції місцевого самоврядування, проте створює виклики для забезпечення інтероперабельності систем при перетині кордонів штатів (US DOT, 2021).

Connected Vehicle Pilot Deployment Program, запущена у 2015 році з бюджетом 300 мільйонів доларів, стала найбільш масштабним експериментом з впровадження технологій V2X комунікацій у реальних умовах експлуатації. Департамент транспорту відібрав три пілотні місця, що представляють різні транспортні контексти та виклики. Нью-Йорк отримав 20 мільйонів доларів для впровадження систем попередження про небезпеку у густонаселеному мегаполісі з інтенсивним рухом та складною інфраструктурою. Тампа у Флориді з бюджетом 17 мільйонів доларів сфокусувалася на інтеграції V2X з системами управління громадським транспортом та захисті вразливих учасників руху. Вайомінг отримав 15 мільйонів доларів для тестування технологій у сільській місцевості з суворими погодними умовами та великими відстанями між населеними пунктами (US DOT, 2024).

Технічна реалізація пілотних проєктів базувалася на стандарті DSRC у діапазоні 5,9 ГГц, що на момент початку програми вважався найбільш перспективним для критичних застосувань безпеки через низьку латентність та незалежність від стільникових мереж. Протягом п'яти років роботи програми було встановлено понад 2800 дорожніх комунікаційних пристроїв та оснащено близько 9000 транспортних засобів бортовими пристроями V2X. Система

збирала дані про всі події комунікації, ефективність доставки повідомлень та реакції водіїв на отримані попередження для подальшого аналізу ефективності технології (US DOT, 2024).

Результати пілотної програми у Нью-Йорку продемонстрували складність впровадження V2X технологій у густонаселеному міському середовищі з великою кількістю високих будівель та перешкод для радіосигналів. Дослідження виявило, що успішність доставки повідомлень варіювала від 85% на відкритих ділянках до 65% у щільній міській забудові з так званим "каньйонним ефектом" (US DOT Connected Vehicle Pilot, 2022). Попри ці технічні виклики, аналіз поведінки водіїв показав позитивний вплив на безпеку. Транспортні засоби, обладнані системами попередження про зіткнення на перехресті, демонстрували на 28% меншу кількість ситуацій екстреного гальмування порівняно з контрольною групою без таких систем. Водії суб'єктивно оцінювали корисність отримуваних попереджень на 7,8 балів з 10, вказуючи на високий рівень довіри до технології.

Пілотний проєкт у Вайомінгу дозволив протестувати ефективність V2X технологій у складних погодних умовах, що є типовими для значної частини території США та багатьох інших країн. Система інтегрувала дані з метеорологічних станцій, сенсорів стану дорожнього покриття та камер для визначення видимості, автоматично генеруючи попередження про ожеледицю, туман або снігопади. Дослідження показало, що водії, які отримували такі попередження за 5-10 кілометрів до початку небезпечної зони, знижували швидкість в середньому на 8-12 км/год та збільшували дистанцію до попереднього транспортного засобу на 30% (Wyoming DOT, 2023). Економічний аналіз прогнозує, що розгортання системи на всіх міжштатних автомагістралях Вайомінгу може запобігти 40-60 ДТП щорічно з потенційною економією 15-20 мільйонів доларів соціальних втрат.

Незважаючи на технічну успішність пілотних проєктів, масштабування V2X технологій у США зіткнулося з серйозними регуляторними викликами. У 2020 році Федеральна комісія зв'язку ухвалила рішення про перерозподіл

частини спектру 5,9 ГГц, зарезервованого для DSRC, на користь WiFi та інших застосувань, аргументуючи це низьким рівнем фактичного використання за майже два десятиліття з моменту виділення частот (FCC, 2020). Це рішення спричинило зміщення фокусу індустрії на альтернативну технологію C-V2X на базі стільникових мереж, що вимагає відмови від інвестицій у вже встановлене обладнання DSRC та створює період невизначеності для подальшого розвитку Connected Vehicle ініціатив.

Американський досвід демонструє важливість не лише технічної ефективності, але й стабільності регуляторного середовища для успішного впровадження довгострокових ІТС-проектів. Несподівані зміни у розподілі радіочастотного спектру можуть знецінити мільярди доларів інвестицій приватного сектору та створити стримуючий ефект для подальших інновацій. Водночас, масштаб та ретельність збору даних у рамках пілотних програм надали цінні уроки для розробників технологій та політиків інших країн, що планують впровадження схожих систем.

2.5. Порівняльний аналіз регіональних підходів

Аналіз досвіду чотирьох регіонів виявляє як спільні елементи, так і значні відмінності у підходах до розвитку інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки руху. Всі розглянуті юрисдикції визнають критичну важливість ІТС для досягнення амбітних цілей зниження смертності на дорогах та інвестують значні ресурси у розвиток технологій. Проте шляхи досягнення цих цілей демонструють суттєві відмінності, що відображають різні політичні системи, економічні моделі та культурні особливості.

Європейський Союз демонструє найбільш регульований підхід з чіткими директивами та обов'язковими вимогами до впровадження певних технологій, таких як eCall або ISA. Переваги такого підходу включають забезпечення мінімального рівня безпеки для всіх громадян ЄС незалежно від країни проживання та швидке досягнення критичної маси користувачів технологій.

Водночас, обов'язковий характер вимог викликає опір з боку частини індустрії через додаткові витрати та обмеження гнучкості у виборі технічних рішень. Принцип субсидіарності дозволяє країнам-членам самостійно визначати деталі імплементації в рамках загальних стандартів, створюючи баланс між гармонізацією та врахуванням національних особливостей (European Commission, 2016).

Сінгапурська модель характеризується найвищим рівнем централізації та координації, де єдине агентство Land Transport Authority має широкі повноваження у плануванні, фінансуванні та впровадженні всіх аспектів транспортної системи. Така концентрація ресурсів та повноважень дозволяє швидко реалізовувати масштабні проєкти та забезпечувати глибоку інтеграцію різних компонентів системи. Досвід Сінгапуру показує, що при наявності сильних інституційних можливостей та політичної волі можливо досягти вражаючих результатів у відносно короткі терміни. Проте така модель важко реплікується в країнах з федеративним устроєм або слабшими адміністративними традиціями (LTA, 2014).

Японський підхід відзначається еволюційним характером та високим ступенем співпраці між урядом та приватним сектором. Технології розвиваються інкрементально, де кожне нове покоління систем будується на інфраструктурі попереднього, забезпечуючи безперервність інвестицій та мінімізуючи ризик технологічних тупиків. Участь автомобільних виробників на ранніх етапах розробки стандартів створює промислову підтримку для масового впровадження технологій. Проте консервативність у прийнятті радикальних змін може уповільнювати адаптацію до стрімких технологічних змін у глобальному контексті (VICS Center, 2024).

Американська децентралізована модель надає штатам та муніципалітетам широку автономію у виборі технологічних рішень та пріоритетів. Це дозволяє експериментувати з різними підходами та адаптувати системи до місцевих особливостей, створюючи середовище для інновацій. Водночас, фрагментація може призводити до несумісності систем при перетині адміністративних

кордонів та дублювання зусиль у розробці схожих рішень. Федеральний уряд намагається мітигувати ці ризики через фінансування пілотних проєктів та розробку рекомендаційних стандартів, проте його можливості впливу обмежені порівняно з європейською моделлю (US DOT, 2021).

Таблиця 2.1 - Порівняння регіональних моделей впровадження ІТС

Параметр	ЄС	Сінгапур	Японія	США
Тип регулювання	Обов'язкові директиви	Централізоване планування	Консенсус індустрії	Добровільні стандарти
Рівень координації	Наднаціональний/національний	Національний (міський)	Національний	Штат/муніципалітет
Основна технологія V2X	ITS-G5 (DSRC)	Hybrid (DSRC+C-V2X)	DSRC + 760 MHz	C-V2X (перехід)
Зниження смертності (2010-2023)	38%	35%	45%	22%
Показник смертності (на 100 000 нас., 2023)	4,2	1,8	2,6	12,8
Модель фінансування	Публічно-приватна	Державна	Приватна (стимули)	Публічна (гранти)

Джерело: складено автором на основі (European Commission, 2024; LTA, 2023; ITF, 2023; NHTSA, 2024)

Дані, представлені у таблиці 2.1, дозволяють зробити висновок, що не існує універсальної моделі впровадження ІТС, яка б однаково добре працювала в усіх контекстах. Кожен регіон обирає підхід, що відповідає його інституційним можливостям, політичній культурі та специфічним викликам транспортної системи. Європейська модель обов'язкових стандартів працює ефективно завдяки наявності наднаціональних інститутів з повноваженнями примусу. Сінгапурська централізація можлива через невеликий розмір території та сильну вертикаль влади. Японська модель консенсусу відображає культурні особливості прийняття рішень через досягнення згоди всіх зацікавлених сторін. Американська децентралізація є наслідком федералізму та традиційно обмежених повноважень федерального уряду у сфері місцевої інфраструктури.

Висновки до розділу 2

Аналіз світового досвіду впровадження інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки руху дозволяє виокремити низку критичних факторів успіху та потенційних бар'єрів. Всі розглянуті регіони досягли суттєвого прогресу у зниженні смертності на дорогах, причому внесок ІТС-технологій оцінюється в межах 15-30% залежно від методології розрахунку та інших супутніх факторів. Найбільш вражаючі результати демонстрували юрисдикції, що поєднували технологічні інновації з системними змінами в інфраструктурі та культурі безпеки.

Технічна інтероперабельність виявилася критично важливою для реалізації переваг V2X комунікацій, що працюють найефективніше при високому рівні проникнення серед транспортних засобів та дорожньої інфраструктури. Міжнародна стандартизація через ISO, ETSI та інші організації створила фундамент для взаємосумісності, проте регіональні відмінності у виборі конкретних технологічних платформ можуть ускладнити глобальну інтеграцію. Питання вибору між DSRC та C-V2X залишається предметом дискусій, причому різні регіони обирають різні шляхи на основі оцінки технічних переваг, економічних міркувань та стратегічних інтересів національних індустрій.

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС В УКРАЇНІ. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

3.1. Аналіз поточного стану безпеки руху в Україні

Ситуація з безпекою дорожнього руху в Україні залишається критичною, попри окремі позитивні тенденції останніх років. За даними Департаменту патрульної поліції України, у 2024 році на дорогах країни сталося 25 781 дорожньо-транспортна пригода з постраждалими, внаслідок яких загинуло 3 202 особи та отримали травми 32 023 особи (Білошицький, 2025). Порівняно з 2023 роком кількість ДТП зросла на 9%, що свідчить про загострення проблеми безпеки руху в умовах воєнного стану. Особливо тривожним є той факт, що попри зменшення загальної інтенсивності руху через воєнні дії, абсолютні показники аварійності повернулися до передвоєнних рівнів.

Структурний аналіз причин дорожньо-транспортних пригод виявляє домінування фактору перевищення швидкості, що відповідає за 39,4% всіх ДТП з тяжкими наслідками. Лише у 2024 році перевищення безпечної та встановленої швидкості призвело до загибелі 1 608 осіб, що становить більше половини всіх смертельних випадків на дорогах (Білошицький, 2025). Це свідчить про системну проблему недотримання швидкісного режиму та недостатню ефективність існуючих механізмів контролю. На другому місці серед причин смертності стоїть порушення правил маневрування, що призвело до загибелі 442 осіб, а на третьому – перетинання пішоходами проїзної частини в невстановлених місцях із 148 загиблими.

Показник смертності на дорогах України становить 9,2 випадки на 100 тисяч населення, що майже втричі перевищує середній показник країн Європейського Союзу в 3,1 випадки (European Commission, 2024). Такий значний розрив свідчить не лише про проблеми поведінки водіїв, але й про системні недоліки в організації дорожнього руху, стані інфраструктури та ефективності

правоохоронних механізмів. Особливо критичною є ситуація з безпекою вразливих учасників руху. У 2024 році сталося 6 877 ДТП за участю пішоходів, у яких загинуло 983 особи та отримали травми 6 357 осіб (Білошицький, 2025). Ці цифри вказують на серйозні недоліки в облаштуванні пішохідної інфраструктури та недостатню увагу до захисту найбільш вразливої категорії учасників руху.

Проблема дитячого травматизму на дорогах потребує особливої уваги. Протягом 2024 року сталося 4 563 ДТП за участю дітей, у яких загинуло 180 дітей та отримали травми 5 225 неповнолітніх (Білошицький, 2025). Ці показники вказують на недостатню ефективність заходів із забезпечення безпеки шкільних маршрутів, неналежне облаштування прилеглих до навчальних закладів територій та низький рівень поінформованості дітей про правила безпечної поведінки на дорозі. Міжнародний досвід показує, що цілеспрямовані програми поліпшення інфраструктури навколо шкіл та впровадження систем автоматичного контролю швидкості в цих зонах можуть знизити дитячий травматизм на 40-60%.

Проблема керування транспортними засобами в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння залишається актуальною, незважаючи на посилення покарань та активізацію контролю з боку патрульної поліції. У 2024 році п'яні водії спричинили 1 000 ДТП, у яких загинуло 110 осіб та отримали травми 1 302 особи (Білошицький, 2025). Ці цифри, ймовірно, є заниженими через можливість уникнення тестування на алкоголь у випадках не смертельних ДТП без значних пошкоджень. Досвід скандинавських країн демонструє, що поєднання обов'язкових алкотестерів у автомобілях певних категорій водіїв з посиленням покарань та широкими інформаційними кампаніями може знизити частку ДТП з вини п'яних водіїв на 70-80%.

Часовий розподіл дорожньо-транспортних пригод виявляє пікові періоди з 17:00 до 19:00, коли відбувається найбільша кількість аварій, що корелює з вечірнім піковим навантаженням на дорожню мережу. П'ятниця визначена як найнебезпечніший день тижня за кількістю ДТП (Патрульна поліція України, 2024). Ця закономірність характерна для багатьох країн і пояснюється

комбінацією факторів втоми після робочого тижня, зростання рекреаційних поїздки та, можливо, більшої розповсюдженості керування в стані алкогольного сп'яніння в кінці тижня.

Таблиця 3.1 - Статистика дорожньо-транспортних пригод в Україні (2022-2024)

Показник	2022	2023	2024	Зміна 2024/2023
Кількість ДТП з постраждалими	18 620	23 642	25 781	+9,0%
Загиблі (осіб)	2 954	3 164	3 202	+1,2%
Поранені (осіб)	20 582	28 234	32 023	+13,4%
ДТП за участю дітей	3 246	4 138	4 563	+10,3%
Загиблі діти	156	172	180	+4,7%
ДТП з пішоходами	5 892	6 421	6 877	+7,1%
ДТП з вини п'яних водіїв	847	931	1 000	+7,4%
Показник смертності (на 100 тис. нас.)	8,4	9,1	9,2	+1,1%

Джерело: складено автором на основі даних Патрульної поліції України (2022-2025)

Таблиця 3.1 демонструє тривожну тенденцію зростання всіх ключових показників аварійності протягом останніх трьох років. Особливо значущим є зростання кількості поранених на 13,4% у 2024 році порівняно з 2023 роком, що може свідчити як про реальне погіршення ситуації, так і про покращення реєстрації випадків легких травм. Порівняно стабільний показник смертності при зростанні загальної кількості ДТП може вказувати на певне покращення медичної допомоги постраждалим або зміну структури аварій у бік менш тяжких.

Порівняння українських показників з європейськими стандартами виявляє масштаб проблеми. Якщо Україна мала б такий самий рівень безпеки дорожнього руху, як середня країна ЄС, то за рік можна було б запобігти приблизно 2 100 смертям та 20 000 травмувань. Економічна вартість цих втрат, розрахована за

методологією Європейської комісії з урахуванням прямих та непрямих витрат, становить орієнтовно 3,5-4,5 мільярди доларів США щорічно, що еквівалентно 2-2,5% ВВП країни. Ці кошти могли б бути спрямовані на розвиток економіки замість компенсації наслідків дорожніх аварій.

3.2. Існуючі елементи ІТС в Україні

Розвиток інтелектуальних транспортних систем в Україні відбувається фрагментовано, без єдиної координованої стратегії, що призводить до створення ізольованих рішень з обмеженою інтеоперабельністю. Найбільш поширеним елементом ІТС є системи автоматичної фіксації порушень правил дорожнього руху, що активно впроваджувалися з 2015 року після створення патрульної поліції. Стаціонарні комплекси фотовідеофіксації типу TruCAM, Vitronic PoliScan Speed та Iskra встановлені на основних автомагістралях та в містах для контролю швидкісного режиму, проїзду на заборонний сигнал світлофора та порушень правил зупинки.

Ефективність цих систем у зміні поведінки водіїв залишається предметом дискусій через непослідовність у їх експлуатації та недостатнє покриття дорожньої мережі. Станом на кінець 2024 року в Україні функціонує приблизно 350 стаціонарних комплексів фіксації порушень, що становить менше одного пристрою на 100 кілометрів державних автомобільних доріг (Укравтодор, 2024). Для порівняння, в Польщі, що має схожу площу території, експлуатується понад 800 таких комплексів, а у Франції їх кількість перевищує 4000 одиниць. Така низька щільність покриття означає, що ймовірність бути зафіксованим при порушенні залишається відносно низькою, що знижує превентивний ефект системи.

Технічні характеристики встановлених комплексів дозволяють фіксувати порушення з точністю до 3 км/год для швидкості та ідентифікувати номерні знаки транспортних засобів у різних погодних умовах та при недостатньому освітленні. Однак інтеграція цих систем з базами даних реєстрації транспортних засобів та

автоматизація процесу накладення штрафів досі працюють неефективно. Значна частина зафіксованих порушень не призводить до реального покарання через проблеми з ідентифікацією власників транспортних засобів, застарілі дані в реєстрах або процедурні складнощі в оскарженні постанов.

Системи GPS-моніторингу громадського транспорту впроваджені в більшості обласних центрів України та деяких містах районного значення, дозволяючи пасажирам відстежувати положення автобусів, тролейбусів та трамваїв у реальному часі через мобільні додатки та веб-інтерфейси. У Києві функціонує система Kyiv Digital, що інтегрує дані про рух громадського транспорту, стан доріг та наявність паркувальних місць у єдиному мобільному додатку. Львів впровадив систему "Львів транспортний", яка крім відстеження транспорту надає можливість електронної оплати проїзду через QR-коди та безконтактні картки.

Ці системи, попри їх корисність для пасажирів у плануванні поїздок, мають обмежений вплив на безпеку руху. Основна цінність GPS-моніторингу для безпеки полягає в можливості контролю за дотриманням розкладів та швидкісних обмежень водіями громадського транспорту, що знижує стимули до агресивної манери водіння. Дослідження, проведені в Києві, показали, що після впровадження GPS-моніторингу кількість скарг на небезпечне водіння в громадському транспорті зменшилася на 35%, а кількість ДТП за участю міського електротранспорту знизилася на 18% (Київпастранс, 2023).

Адаптивні системи управління світлофорами впроваджені на окремих перехрестях у великих містах, зокрема в Києві, Харкові, Дніпрі та Одесі. Ці системи використовують детектори транспорту для визначення інтенсивності руху в різних напрямках та динамічно коригують тривалість фаз світлофорів для оптимізації пропускної здатності перехресть. На найбільш завантажених вулицях столиці впроваджена координація роботи послідовності світлофорів для створення "зеленої хвилі", що дозволяє транспортним засобам проїжджати декілька перехресть без зупинок при дотриманні встановленої швидкості.

Вплив адаптивних світлофорів на безпеку руху проявляється через декілька

механізмів. Зменшення часу очікування на червоний сигнал знижує спокусу водіїв порушувати правила та проїжджати на заборонний сигнал. Оптимізація фаз світлофорів зменшує кількість екстрених гальмувань та прискорень, що є факторами ризику для зіткнень. Координація світлофорів вздовж магістралей заохочує водіїв дотримуватися рекомендованої швидкості, що відповідає безпечному режиму руху. Оцінки ефективності київських адаптивних світлофорів показують зниження кількості ДТП на обладнаних перехрестях на 12-15% порівняно з контрольною групою перехресть з фіксованими циклами (КМДА, 2022).

Інформаційні табло змінної інформації встановлені на в'їздах до великих міст та на окремих ділянках автомагістралей для повідомлення водіїв про дорожні умови, затори, небезпечні ситуації або рекомендовані об'їзні маршрути. Наявність таких табло на міжнародних транспортних коридорах М06 та М07 дозволяє попереджати водіїв про дорожні роботи, погодні умови або аварії попереду за маршрутом. Однак загальна кількість таких пристроїв залишається недостатньою для створення повноцінної системи інформування учасників руху про актуальний стан дорожньої мережі.

Основною проблемою існуючих елементів ІТС в Україні є їх фрагментарність та відсутність інтеграції в єдину систему. Дані з різних джерел не агрегуються в централізованому центрі управління дорожнім рухом, що унеможлиблює комплексний аналіз транспортної ситуації та координоване реагування на інциденти. Кожне місто розвиває власні рішення без урахування необхідності їх інтероперабельності з системами інших регіонів, що створює бар'єри для безшовної мобільності громадян. Відсутність єдиних технічних стандартів призводить до неефективного використання бюджетних коштів через дублювання розробок схожих систем у різних містах.

3.3. Нормативно-правова база впровадження ІТС

Правове регулювання інтелектуальних транспортних систем в Україні перебуває на стадії формування, що створює як можливості для гнучкого підходу до впровадження інновацій, так і ризики через невизначеність регуляторного середовища. Національна транспортна стратегія України до 2030 року, затверджена Постановою Кабінету Міністрів № 1550 від 27 грудня 2024 року, вперше на рівні стратегічного документу визначає розвиток інтелектуальних транспортних систем як пріоритетний напрямок модернізації транспортної інфраструктури (Кабінет Міністрів України, 2024). Документ встановлює амбітну мету досягнення показників безпеки дорожнього руху на рівні європейських стандартів до 2030 року, що передбачає зниження смертності з поточних 9,2 до 3-4 випадків на 100 тисяч населення.

Стратегія визначає конкретні завдання у сфері ІТС, включаючи створення національної мережі автоматизованих систем управління дорожнім рухом, впровадження систем електронного збору плати за проїзд великовагового транспорту, розгортання інфраструктури для електромобілів та підготовку до впровадження технологій автономного водіння. Однак документ має декларативний характер без чіткого визначення джерел фінансування, відповідальних виконавців та конкретних термінів реалізації окремих заходів. Попередні транспортні стратегії, прийняті у 2010 та 2018 роках, також містили амбітні цілі щодо розвитку ІТС, проте більшість з них залишилися нереалізованими через відсутність фінансування та інституційної спроможності для їх виконання (Міністерство інфраструктури України, 2024).

Закон України "Про дорожній рух" у редакції від 1993 року з численними поправками містить окремі положення, що стосуються технічних засобів організації дорожнього руху, включаючи світлофори, дорожню розмітку та знаки. Однак законодавство не містить визначення інтелектуальних транспортних систем, не встановлює вимоги до їх технічних характеристик та не регулює питання обміну даними між різними компонентами системи. Це створює правову

невизначеність для муніципалітетів та приватних компаній, що планують інвестувати в розвиток ІТС-інфраструктури.

Державні будівельні норми ДБН В.2.3-5:2018 "Вулиці та дороги населених пунктів" містять окремі вимоги до організації дорожнього руху, що опосередковано стосуються ІТС. Документ встановлює параметри розміщення технічних засобів регулювання руху, вимоги до видимості світлофорів та дорожніх знаків, характеристики дорожньої розмітки. Проте норми були розроблені до широкого поширення цифрових технологій управління рухом і не враховують специфіку сучасних ІТС-рішень. Наприклад, документ не містить вимог до розміщення сенсорів транспортних потоків, дорожніх комунікаційних пристроїв для V2I зв'язку або змінних інформаційних табло з динамічним контентом.

Регулювання питань захисту персональних даних при функціонуванні ІТС залишається проблемною зоною. Закон України "Про захист персональних даних" встановлює загальні принципи обробки інформації про фізичних осіб, проте не містить спеціальних норм для транспортних застосувань. Використання камер відеоспостереження для моніторингу трафіку, систем автоматичної ідентифікації номерних знаків або GPS-трекінгу транспортних засобів потенційно конфліктує з правом на приватність, якщо не встановлено чіткі правила щодо термінів зберігання даних, мети їх використання та доступу третіх осіб до інформації.

Відсутність спеціалізованого законодавства про інтелектуальні транспортні системи створює бар'єри для залучення приватних інвестицій у розвиток інфраструктури. Потенційні інвестори стикаються з невизначеністю щодо можливості монетизації зібраних даних, строків концесійних угод на експлуатацію систем або механізмів державно-приватного партнерства в цій сфері. Європейський досвід показує, що наявність стабільних та прозорих правил гри є передумовою для масштабних інвестицій приватного сектору в ІТС-інфраструктуру.

3.4. Бар'єри та виклики впровадження ІТС в українських умовах

Фінансові обмеження представляють найбільш очевидний, але не єдиний бар'єр для масштабного впровадження інтелектуальних транспортних систем в Україні. Державний бюджет на дорожнє господарство традиційно зосереджений на ремонті та будівництві доріг, залишаючи мінімальні кошти на технологічну модернізацію. У 2024 році видатки Державного дорожнього фонду склали близько 150 мільярдів гривень, з яких лише орієнтовно 2-3% були спрямовані на впровадження елементів ІТС, переважно систем автоматичної фіксації порушень (Міністерство інфраструктури України, 2024). Для порівняння, європейські країни виділяють 10-15% бюджету дорожнього господарства на розвиток інтелектуальних транспортних систем.

Складність залучення міжнародного фінансування для ІТС-проектів пов'язана з недостатньою інституційною спроможністю місцевих органів влади для підготовки якісних проектних пропозицій та управління складними технологічними проектами. Міжнародні фінансові інституції, такі як Європейський інвестиційний банк або Європейський банк реконструкції та розвитку, готові фінансувати розвиток транспортної інфраструктури, включаючи ІТС-компоненти, проте вимагають ретельно підготовлених техніко-економічних обґрунтувань, аналізів впливу на довкілля та соціальних оцінок. Більшість українських міст не мають ані спеціалізованих фахівців для підготовки таких документів, ані досвіду у залученні міжнародного фінансування для технологічних проектів.

Застаріла дорожня інфраструктура створює додаткові виклики для інтеграції сучасних ІТС-технологій. Значна частина автомобільних доріг загального користування потребує капітального ремонту або реконструкції, що робить встановлення дорогого електронного обладнання недоцільним до завершення базових інфраструктурних робіт. Відсутність належного освітлення на багатьох дорогах знижує ефективність камер відеоспостереження та систем розпізнавання номерних знаків. Застарілі світлофорні об'єкти, що

експлуатуються в деяких містах понад 30-40 років, технічно несумісні з сучасними системами адаптивного управління трафіком без повної заміни обладнання.

Проблема кваліфікованих кадрів особливо гостро відчувається на рівні місцевих органів влади, відповідальних за управління дорожньою інфраструктурою. Спеціальності, пов'язані з інтелектуальними транспортними системами, майже не представлені в освітніх програмах українських університетів. Підготовка фахівців зосереджена на традиційному дорожньому будівництві, проєктуванні доріг та організації дорожнього руху без достатньої уваги до цифрових технологій, аналізу даних та систем автоматизованого управління. Наслідком є ситуація, коли навіть при наявності фінансування муніципалітети не мають компетентних фахівців для формулювання технічних завдань, оцінки пропозицій підрядників або нагляду за впровадженням ІТС-рішень.

Відсутність стандартів інтероперабельності призводить до створення ізольованих систем, що не можуть обмінюватися даними між собою. Кожне місто розробляє власні мобільні додатки для відстеження громадського транспорту з унікальними інтерфейсами та форматами даних. Системи оплати проїзду в різних містах використовують несумісні технології, що унеможливорює створення єдиної національної транспортної картки. Центри управління дорожнім рухом, де такі існують, функціонують автономно без обміну інформацією з сусідніми регіонами, що особливо проблематично для транскордонних автомагістралей.

Культурні та поведінкові бар'єри включають низький рівень довіри населення до технологічних інновацій у сфері транспорту, що частково зумовлено негативним досвідом з недосконалими системами автоматичної фіксації порушень. Громадські дискусії навколо камер відеофіксації часто фокусуються на їх потенційній корупційності та порушенні приватності, а не на позитивному впливі на безпеку руху. Недостатня інформаційна кампанія з боку влади про мету та переваги ІТС-технологій призводить до сприйняття їх

виключно як інструменту штрафування, а не покращення транспортної системи.

Проблема кібербезпеки набуває особливої актуальності в умовах воєнного стану, коли критична інфраструктура, включаючи транспортні системи, може стати об'єктом кібератак. Інтелектуальні транспортні системи, що інтегрують велику кількість підключених пристроїв та обмінюються даними через мережі зв'язку, створюють нові вразливості для зловмисних втручань. Випадки злому світлофорних систем або підміни інформації на змінних дорожніх таблах, задокументовані в інших країнах, демонструють реальність цих загроз. Українські муніципалітети здебільшого не мають ані спеціалізованих підрозділів кібербезпеки, ані коштів для залучення зовнішніх експертів для забезпечення захисту ІТС-інфраструктури.

Координація між різними рівнями влади та відомствами залишається слабкою ланкою у розвитку інтелектуальних транспортних систем. Відповідальність за різні аспекти транспортної системи розподілена між Міністерством інфраструктури, Національною поліцією, місцевими органами влади, державними підприємствами типу Укравтодор та приватними операторами транспортних послуг. Відсутність єдиного координаційного органу призводить до дублювання зусиль, нераціонального використання ресурсів та неузгодженості технічних рішень. Створення ефективної ІТС-екосистеми вимагає тісної співпраці всіх цих акторів, що поки залишається скоріше винятком, ніж правилом.

Аналіз поточного стану розвитку інтелектуальних транспортних систем в Україні виявляє значний розрив між критичною потребою у підвищенні безпеки дорожнього руху та обмеженими можливостями для швидкого впровадження передових технологій. Показники аварійності втричі перевищують європейські стандарти, при цьому основні причини ДТП, такі як перевищення швидкості та недотримання правил маневрування, є саме тими проблемами, що можуть бути ефективно адресовані через ІТС-рішення. Існуючі елементи інтелектуальних транспортних систем функціонують фрагментовано без інтеграції в єдину екосистему, що значно знижує їх потенційний вплив на покращення безпеки та

ефективності транспортної системи.

Нормативно-правова база для розвитку ІТС перебуває в зародковому стані, хоча Національна транспортна стратегія до 2030 року задекларувала це як пріоритет. Відсутність спеціалізованого законодавства створює невизначеність для потенційних інвесторів та ускладнює реалізацію масштабних проєктів. Множинні бар'єри, від фінансових обмежень до дефіциту кваліфікованих кадрів, вимагають комплексного підходу для їх подолання. Водночас, європейська інтеграція України та доступ до міжнародного досвіду й фінансування створюють можливості для прискореного розвитку ІТС за умови правильного визначення пріоритетів та ефективної реалізації проєктів.

3.5. Трирівнева стратегія впровадження ІТС

Розробка концептуальної моделі впровадження інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки руху в Україні базується на аналізі світового досвіду, врахуванні національних особливостей та реалістичній оцінці наявних ресурсів. Ключовим принципом запропонованої моделі є поетапність впровадження, що дозволяє розпочати роботу з обмеженими ресурсами та поступово нарощувати масштаби за рахунок демонстрації результатів на пілотних проєктах. Трирівнева стратегія передбачає паралельний розвиток національних стандартів, регіональних пілотних проєктів та локальних точкових втручань, що створює синергію між різними рівнями системи.

Національний рівень стратегії фокусується на створенні регуляторних та інституційних передумов для масштабного впровадження ІТС технологій. Першочерговим завданням є прийняття спеціалізованого законодавства про інтелектуальні транспортні системи, що визначить основні поняття, встановить вимоги до інтероперабельності різних компонентів та регулюватиме питання обробки персональних даних при функціонуванні систем моніторингу. Законодавство має базуватися на європейських директивах, зокрема Директиві 2010/40/EU, але адаптованих до українських реалій з урахуванням обмежених

фінансових ресурсів та особливостей інституційної архітектури (European Parliament, 2010).

Створення Національного центру координації ІТС при Міністерстві інфраструктури забезпечить організаційну основу для узгодження зусиль різних відомств та рівнів влади. Цей центр має взяти на себе функції розробки технічних стандартів, координації пілотних проєктів, акумулювання даних про ефективність різних технологічних рішень та сприяння обміну досвідом між регіонами. Досвід Сінгапуру демонструє, що наявність централізованого координаційного органу з чіткими повноваженнями дозволяє уникнути фрагментації зусиль та забезпечити послідовність у впровадженні технологій (Land Transport Authority Singapore, 2014). Однак український контекст вимагає більш децентралізованого підходу з широкими повноваженнями місцевих органів влади, що відображає федеративну структуру фінансування дорожнього господарства.

Регіональний рівень стратегії передбачає реалізацію пілотних проєктів на обраних ділянках дорожньої мережі з високим рівнем аварійності або стратегічним значенням для національної транспортної системи. Відбір локацій для пілотних проєктів базується на мультикритеріальній оцінці, що враховує поточний рівень аварійності, інтенсивність руху, технічний стан дорожнього покриття, наявність базової інфраструктури та потенційний ефект від впровадження ІТС. Міжнародні транспортні коридори, що проходять через Україну, мають отримати пріоритет через їх значення для європейської інтеграції та економічні вигоди від покращення безпеки та ефективності перевезень.

Локальний рівень стратегії зосереджений на точкових втручаннях у місцях концентрації дорожньо-транспортних пригод, так званих "чорних плямах", де відносно невеликі інвестиції можуть дати швидкий та відчутний ефект. Статистичний аналіз даних патрульної поліції виявляє, що приблизно 30% всіх ДТП з тяжкими наслідками концентруються на 5% довжини дорожньої мережі (Патрульна поліція України, 2024). Цілеспрямоване втручання на цих проблемних ділянках через встановлення додаткового освітлення, систем

автоматичного контролю швидкості, покращення дорожньої розмітки та інформаційних табло може дати швидке зниження аварійності при порівняно невеликих витратах.

3.6. Пілотний проєкт для траси М-06: обґрунтування та дизайн

Автомагістраль М-06 Київ-Чоп довжиною 571 кілометр є ключовою транспортною артерією, що з'єднує столицю з західним кордоном та забезпечує транзитний рух до країн Центральної Європи. За даними Укравтодору, середньодобова інтенсивність руху на різних ділянках траси варіює від 8 000 до 25 000 транспортних засобів, що робить її однією з найбільш завантажених автодоріг країни (Укравтодор, 2024). Водночас, статистика дорожньо-транспортних пригод виявляє, що М-06 є найнебезпечнішою дорогою України з 292 ДТП з постраждалими протягом перших восьми місяців 2024 року, що значно перевищує показники інших магістральних доріг (Opendatabot, 2024).

Аналіз просторового розподілу аварійності на М-06 виявляє нерівномірність з концентрацією ДТП на окремих проблемних ділянках. Дослідження Житомирського державного технологічного університету у 2016-2017 роках показало, що близько 80% водіїв перевищують встановлені обмеження швидкості на ділянках траси, що проходять через міста Житомир, Новоград-Волинський та Рівне (Zhytomyr SUMP, 2022). Збіг місць вимірювання швидкості з місцями концентрації смертельних ДТП підтверджує причинно-наслідковий зв'язок між перевищенням швидкості та тяжкістю наслідків аварій. Особливо небезпечними є ділянки траси, що проходять через населені пункти, де транзитний транспорт рухається з високою швидкістю в безпосередній близькості до пішоходів та місцевого руху.

Запропонований пілотний проєкт передбачає впровадження комплексу ІТС-технологій на тестовій ділянці довжиною 75 кілометрів між містами Житомир та Рівне. Вибір цієї ділянки обґрунтований декількома факторами. По-перше, високий рівень поточної аварійності створює значний потенціал для

демонстрації ефективності втручання. По-друге, наявність обласних центрів на кінцях ділянки забезпечує доступ до технічної інфраструктури та кваліфікованих кадрів для обслуговування систем. По-третє, відносно добрий технічний стан дорожнього покриття після реконструкції у 2018-2020 роках знижує ризик передчасного виходу з ладу встановленого обладнання через вібрації та деформації дороги.

Технічна архітектура пілотного проєкту інтегрує чотири основні компоненти інтелектуальних транспортних систем. Система автоматичної фіксації швидкості включає встановлення 15 стаціонарних комплексів у найбільш проблемних місцях з встановленим ліміт детекції на 10 км/год вище дозволеної швидкості. Світові дослідження показують, що перевищення швидкості на 10 км/год збільшує ризик смертельної аварії на 30-40%, тому контроль саме цього діапазону перевищень є критично важливим (WHO, 2023). Камери мають працювати цілодобово в автоматичному режимі з передачею даних до центральної бази для автоматичного оформлення постанов про адміністративні правопорушення.

Змінні інформаційні табло встановлюються на в'їздах до міст та перед проблемними ділянками для інформування водіїв про дорожні умови попереду. Табло мають відображати рекомендовану швидкість руху залежно від погодних умов, попереджати про затори або ДТП, інформувати про дорожні роботи та альтернативні маршрути. Інтеграція даних з метеорологічних станцій дозволяє автоматично коригувати рекомендації при погіршенні видимості, ожеледиці або сильних опадах.

3.7. Розрахунок очікуваної ефективності та економічне обґрунтування

Прогнозування ефективності пілотного проєкту базується на комбінації емпіричних даних з міжнародних досліджень, адаптованих до українського контексту з урахуванням специфіки дорожніх умов та поведінки водіїв. Методологія оцінки впливу ІТС-втручань на безпеку руху використовує підхід

"crash modification factors", розроблений Федеральним управлінням автомобільних доріг США та адаптований Європейською конференцією директорів доріг для європейських умов (FHWA, 2019). Цей метод дозволяє оцінити відсоткове зниження кількості ДТП певного типу після впровадження конкретної технології на основі мета-аналізу десятків емпіричних досліджень.

Базовий сценарій аварійності на тестовій ділянці 75 кілометрів між Житомиром та Рівне розраховується на основі історичних даних за останні три роки. Статистика патрульної поліції показує, що на цій ділянці щорічно трапляється в середньому 42 ДТП з постраждалими, включаючи 8 смертельних випадків та 54 поранених різного ступеня тяжкості. Розподіл за типами ДТП відповідає загальнонаціональній структурі з домінуванням зіткнень попутних та зустрічних транспортних засобів, що складають 65% всіх аварій, наїздів на пішоходів із 20% та з'їздів з дороги із 15% (Патрульна поліція України, 2024).

Впровадження системи автоматичної фіксації швидкості, згідно з мета-аналізом 28 досліджень з 11 країн, знижує кількість ДТП з постраждалими в середньому на 19% та смертельних ДТП на 32% в зоні впливу камер радіусом до 500 метрів (Нюе, 2014). Екстраполюючи ці показники на 15 плануємих точок встановлення з урахуванням зони покриття близько 7,5 кілометрів загальної довжини, очікуване зниження аварійності на контрольованих ділянках становитиме приблизно 8 ДТП з постраждалими та 2,5 смертельних випадків щорічно. Консервативний підхід передбачає застосування коефіцієнта 0,7 до цих оцінок для врахування можливої нижчої ефективності в українських умовах через обмежену практику примусового стягнення штрафів, що дає скориговану оцінку 5,6 попереджених ДТП та 1,75 запобіганих смертей щорічно.

Змінні інформаційні табло з динамічним управлінням швидкістю, що рекомендують оптимальну швидкість залежно від погодних умов та трафіку, демонструють ефективність у зниженні аварійності на 12-18% за даними досліджень у Нідерландах та Німеччині (Hoogendoorn et al., 2018). Консервативна оцінка зниження на 10% для української реалізації на ділянках з встановленими табломи довжиною близько 15 кілометрів дає додаткові 2

попереджені ДТП з постраждалими щорічно. Синергетичний ефект від комбінації різних заходів може бути вищим за просту суму окремих ефектів, оскільки системи взаємно посилюють вплив одна одної, проте консервативний підхід не враховує цього синергізму в базовому розрахунку.

Сумарний очікуваний ефект від впровадження комплексу ІТС-технологій на тестовій ділянці оцінюється в 7,6 попереджених ДТП з постраждалими щорічно, що становить зниження на 18% від базового рівня. Кількість запобіганих смертей оцінюється в 1,75 випадки на рік, а кількість запобіганих травм різного ступеня тяжкості близько 9,5 осіб. Ці цифри відповідають нижній межі світових показників ефективності подібних втручань, що відображає консервативність оцінок та врахування можливих специфічних ускладнень української реалізації.

Економічна оцінка проєкту використовує методологію аналізу витрат та вигод з горизонтом планування 10 років та дисконтною ставкою 5% річних, що відповідає рекомендаціям Європейської комісії для транспортних проєктів (European Commission, 2014). Капітальні витрати на початкову фазу проєкту включають закупівлю та встановлення 15 комплексів автоматичної фіксації швидкості за ціною 25 000 євро за одиницю, що дає загальну вартість 375 000 євро. Вартість 6 змінних інформаційних табло з програмним забезпеченням для динамічного управління оцінюється в 180 000 євро. Встановлення метеорологічних станцій та сенсорів стану дорожнього покриття коштує додатково 45 000 євро. Загальні капітальні інвестиції складають 600 000 євро або приблизно 26,4 мільйони гривень за курсом 44 гривні за євро.

Операційні витрати включають технічне обслуговування обладнання з орієнтовною вартістю 8% від капітальних інвестицій щорічно, що становить 48 000 євро на рік. Витрати на електроенергію для живлення систем, комунікації та програмне забезпечення оцінюються додатково в 12 000 євро річних. Заробітна плата персоналу для моніторингу систем та обробки даних з п'яти спеціалістів складає приблизно 60 000 євро на рік. Сумарні щорічні операційні витрати становлять 120 000 євро або 5,28 мільйонів гривень.

Таблиця 3.2 - Структура витрат пілотного проєкту ІТС на трасі М-06

Стаття витрат	Кількість одиниць	Вартість за одиницю (€)	Загальна вартість (€)	Загальна вартість (грн)
Капітальні витрати				
Комплекси фіксації швидкості	15	25 000	375 000	16 500 000
Змінні інформаційні табло	6	30 000	180 000	7 920 000
Метеостанції та сенсори	5	9 000	45 000	1 980 000
Підсумок капітальних витрат			600 000	26 400 000
Операційні витрати (щорічні)				
Технічне обслуговування			48 000	2 112 000
Електроенергія та комунікації			12 000	528 000
Персонал (5 фахівців)			60 000	2 640 000
Підсумок операційних витрат			120 000	5 280 000

Джерело: розраховано автором на основі даних постачальників обладнання та міжнародних проєктів

Дані таблиці 3.2 показують структуру інвестицій, необхідних для реалізації

пілотного проєкту. Найбільша частка капітальних витрат припадає на системи автоматичної фіксації швидкості через високу вартість прецизійного вимірювального обладнання та камер з можливістю розпізнавання номерних знаків у складних умовах. Операційні витрати домінуються витратами на персонал, що підкреслює важливість людського чинника в успішній експлуатації технологічних систем.

Соціально-економічні вигоди від попередження ДТП розраховуються на основі методології монетизації наслідків дорожньо-транспортних пригод, розробленої HEATCO project для європейських країн з урахуванням рівня економічного розвитку (HEATCO, 2006). Для України, з ВВП на душу населення приблизно 40% від середнього по ЄС, вартість запобіганої смерті оцінюється в 1,2 мільйона євро, що включає втрату продуктивності, медичні витрати, адміністративні витрати та нематеріальні втрати. Вартість запобігання тяжкій травмі становить 180 000 євро, а легкій травмі 15 000 євро згідно з пропорціями, встановленими в європейській методології.

Щорічні соціально-економічні вигоди від попередження 1,75 смертей оцінюються в 2,1 мільйона євро. Попередження приблизно 3 тяжких травм дає вигоди 540 000 євро, а 6,5 легких травм економлять 97 500 євро. Сумарні щорічні вигоди становлять близько 2,74 мільйона євро або 120,6 мільйонів гривень. Співвідношення вигод до витрат вже в перший рік експлуатації становить $2,74 / 0,72 = 3,8$, де 0,72 мільйона євро включають амортизацію капітальних інвестицій та операційні витрати. Чиста теперішня вартість проєкту за 10 років при дисконтній ставці 5% складає 17,8 мільйона євро, що свідчить про високу економічну ефективність інвестицій.

Висновки до розділу 3

Розроблена концептуальна модель впровадження інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки руху в Україні базується на трирівневому підході, що враховує обмежені фінансові ресурси та інституційні можливості при максимізації потенційного впливу на зниження аварійності.

Національний рівень стратегії фокусується на створенні регуляторних передумов та координаційних механізмів, регіональний рівень передбачає реалізацію масштабних пілотних проєктів на стратегічно важливих ділянках дорожньої мережі, а локальний рівень зосереджений на точкових втручаннях у місцях концентрації ДТП.

Запропонований пілотний проєкт для траси М-06 демонструє техніко-економічну обґрунтованість інвестицій в інтелектуальні транспортні системи. Комплекс технологій, що включає автоматичну фіксацію швидкості, змінні інформаційні табло та системи моніторингу погодних умов, може забезпечити зниження аварійності на 18% при співвідношенні вигод до витрат 3,8 до 1 вже в перший рік експлуатації. Чиста теперішня вартість проєкту за десятирічний період становить 17,8 мільйона євро, що робить його високоефективною інвестицією з фінансової точки зору навіть без урахування додаткових переваг від скорочення часу поїздок та покращення екологічної ситуації.

Успіх пілотного проєкту створить передумови для тиражування досвіду на інші ділянки дорожньої мережі та стимулюватиме залучення додаткових інвестицій як з державного бюджету, так і від міжнародних фінансових інституцій. Демонстрація конкретних результатів у зниженні смертності та травматизму є найбільш переконливим аргументом для політичної підтримки масштабування ІТС-рішень в усій країні.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1. Загальні вимоги охорони праці в автомобільному транспорті

Охорона праці в галузі автомобільного транспорту спрямована на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності й базується на комплексі правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та соціально-економічних заходів. Для підприємств, що здійснюють перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом, обов'язковим є дотримання вимог Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю, галузевих нормативних актів, правил безпечної експлуатації транспортних засобів, а також державних стандартів і будівельних норм щодо безпеки виробничого середовища.

Система управління охороною праці на транспортному підприємстві має включати: політику і цілі у сфері безпеки, розподіл відповідальності між керівництвом і персоналом, процедури ідентифікації небезпечних і шкідливих виробничих факторів, оцінку професійних ризиків, планування профілактичних заходів, моніторинг і періодичний перегляд результативності. Зазвичай виділяють такі групи небезпечних та шкідливих факторів: механічні (рухомі транспортні засоби, підйомні механізми, інструмент), фізичні (шум, вібрація, мікроклімат, освітленість, випромінювання), хімічні (вихлопні гази, паливо-мастильні матеріали), біологічні (патогенні мікроорганізми), а також психофізіологічні (нервово-емоційне напруження, монотонність праці, перевтома).

Умови праці водіїв характеризуються тривалою статичною позою, високою концентрацією уваги, відповідальністю за безпеку пасажирів та інших учасників руху, впливом дорожньої обстановки та метеорологічних умов, що істотно підвищує психофізіологічне навантаження. Диспетчерський і інженерно-технічний персонал працює в умовах інтенсивних інформаційних потоків, необхідності оперативного прийняття рішень, а також взаємодії з

комп'ютерною та телекомунікаційною технікою, що висуває додаткові вимоги до ергономіки робочих місць та організації режимів праці й відпочинку.

Організаційні заходи охорони праці включають створення служби охорони праці або призначення відповідальної особи на підприємстві, розроблення положення про систему управління, інструкцій з охорони праці для всіх професій та видів робіт, ведення журналів інструктажів, проведення атестації робочих місць. Важливим є планування і фінансування заходів з поліпшення умов праці, зокрема модернізації виробничих приміщень, оновлення транспортних засобів, оснащення засобами колективного та індивідуального захисту, упровадження сучасних систем контролю технічного стану.

Навчання та інструктажі з охорони праці є обов'язковими для всіх працівників, що допускаються до роботи на автомобільному транспорті. До початку самостійної роботи працівник проходить вступний та первинний інструктаж на робочому місці, надалі – періодичні повторні інструктажі, а за потреби – позапланові та цільові, наприклад при зміні технології робіт, впровадженні нового обладнання або після нещасного випадку. Водії та інші працівники, діяльність яких пов'язана з підвищеною небезпекою, проходять попередні та періодичні медичні огляди, психофізіологічне обстеження, а також перевірку знань правил безпеки.

Технічні заходи охорони праці на підприємстві автомобільного транспорту охоплюють забезпечення належного технічного стану транспортних засобів, справності гальмівних систем, рульового керування, світлотехнічних приладів, систем пасивної безпеки та обладнання кабін водіїв. У виробничих приміщеннях повинні бути забезпечені безпечні проходи та проїзди, достатня вентиляція, освітлення, протипожежне обладнання, засоби зв'язку та сигналізації, а також відповідність електроустановок вимогам електробезпеки.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) підбираються залежно від характеру робіт: для водіїв та дорожніх робітників – сигнальний одяг підвищеної видимості, захисне взуття, рукавиці, захисні окуляри, каски при роботах на проїзній частині; для слюсарів та електромонтерів – діелектричні рукавиці,

інструмент з ізолюваними ручками, захист органів дихання при роботі з паливом-мастильними матеріалами. Роботодавець зобов'язаний безоплатно видавати ЗІЗ, забезпечувати їх належний стан і своєчасну заміну, а працівники зобов'язані правильно ними користуватися.

4.2. Безпека життєдіяльності в системі «людина – інтелектуальні транспортні системи – дорожнє середовище»

Безпека життєдіяльності в транспортній сфері розглядається як стан захищеності життя, здоров'я та майна людей від небезпечних і шкідливих факторів, що виникають у результаті функціонування системи дорожнього руху. У роботі показано, що показники безпеки дорожнього руху в Україні істотно гірші за середні по ЄС, а частка загиблих на 100 тис. населення в кілька разів перевищує європейські орієнтири, що вимагає комплексного впровадження інтелектуальних транспортних систем як інструменту зниження дорожнього травматизму.

Міжнародні дослідження та проєкти демонструють, що впровадження ITS (C-ITS, V2X, ADAS, автоматичне примусове дотримання швидкісного режиму, системи змінних повідомлень тощо) дозволяє знизити аварійність на 15–30% залежно від типу технології та умов її застосування. У поєднанні з традиційними заходами (інфраструктурні покращення, підвищення контролю, навчання учасників руху) це створює передумови для поступового наближення до цілей «Vision Zero», яка передбачає суттєве скорочення смертності на дорогах.

Система «людина – ITS – дорожнє середовище» характеризується високим ступенем складності, оскільки поєднує технічні елементи (датчики, камери, бортові й дорожні пристрої, комунікаційні мережі), організаційні процедури (правила дорожнього руху, алгоритми керування рухом) та поведінкові аспекти (звички водіїв, готовність довіряти і використовувати автоматизовані системи). Безпека життєдіяльності тут визначається не лише надійністю техніки, але й тим, наскільки коректно людина сприймає сигнали системи, розуміє її обмеження і

зберігає критичне мислення під час прийняття рішень.

Суттєвим фактором ризику є інформаційне перевантаження водія, коли на нього одночасно впливають дорожні знаки, сигнали світлофорів, повідомлення на змінних інформаційних табло, навігаційні вказівки та попередження від систем ADAS. Неправильне розміщення та надмірна кількість інформаційних елементів може призвести до зниження уваги, затримки реакції, помилкового тлумачення сигналів, що негативно позначається на безпеці життєдіяльності. Тому при проєктуванні інтерфейсів ITS важливо враховувати принципи ергономіки, когнітивні можливості людини та уникати дублювання або суперечливих повідомлень.

Іншим аспектом є психологічна взаємодія людини з автоматизованими системами, зокрема феномен «перерозподілу відповідальності», коли водій надмірно покладається на ADAS або системи попередження зіткнень і втрачає навички активного керування. Це проявляється в зниженні пильності, збільшенні часу відновлення контролю над транспортним засобом у разі відмови системи або ситуації, не передбаченої алгоритмами. Для мінімізації таких ризиків достатньо важливими є навчання користувачів особливостям роботи систем, чітке інформування про їхні обмеження та формування установки на те, що остаточна відповідальність за керування залишається за людиною.

Безпека життєдіяльності також охоплює захист пасажирів, пішоходів, велосипедистів та інших уразливих учасників руху, які безпосередньо не взаємодіють із бортовими системами, але стають об'єктами впливу ITS. До таких рішень належать системи автоматичного виявлення пішоходів, V2P-комунікації, адаптивне регулювання світлофорів, пріоритет громадського транспорту, що в комплексі сприяє зниженню конфліктних ситуацій на перехрестях, пішохідних переходах і зупинках.

На рівні суспільства безпека життєдіяльності у сфері дорожнього руху пов'язана з розвитком транспортної культури, вихованням у населення усвідомленого ставлення до швидкісних режимів, використання ременів безпеки, дитячих утримуючих пристроїв, відмови від керування у стані сп'яніння.

Інтелектуальні системи можуть підтримувати ці процеси завдяки інформаційним кампаніям через змінні знаки, персоналізованим попередженням у бортових системах, «м'яким» впливам на поведінку (наприклад, надання рекомендацій щодо екологічного й безпечного стилю водіння).

4.3. Охорона праці та безпека персоналу при проєктуванні та експлуатації інтелектуальних транспортних систем

Проєктування та впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) на автомобільних дорогах, зокрема в межах пілотного проєкту для дороги М-06, передбачає виконання широкого спектра робіт, пов'язаних із підвищеною небезпекою для персоналу. До таких робіт відносяться монтаж і налаштування дорожніх камер контролю швидкості, метеостанцій, змінних інформаційних знаків, дорожніх і бортових комунікаційних пристроїв V2X, а також прокладання кабельних ліній та встановлення шаф зв'язку й живлення. Усі ці операції виконуються в зоні дії транспортних потоків, іноді на висоті, у складних погодних умовах і за наявності електроустановок, тому потребують детального регламентування з позицій охорони праці.

На етапі проєктування ITS необхідно враховувати вимоги безпечності виконання майбутніх монтажних і експлуатаційних робіт: вибір місць розташування обладнання з точки зору безпечного доступу, можливості встановлення тимчасових огорожень, відстані від проїзної частини, відповідності опор і конструкцій нормам щодо роботи на висоті. Проєкт має передбачати наявність технологічних майданчиків, службових під'їздів, можливість виконання робіт без повного перекриття руху, а також розміщення обладнання так, щоб мінімізувати необхідність частих виїздів персоналу для обслуговування.

Організація монтажних робіт на проїзній частині повинна відповідати вимогам нормативних документів з тимчасової організації дорожнього руху, включаючи застосування попереджувальних знаків, конусів, бар'єрів,

сигнальних ламп та, за потреби, світлофорного регулювання. Перед початком робіт розробляється і погоджується схема організації руху на період виконання робіт, визначається відповідальний за безпечне проведення робіт, проводиться цільовий інструктаж із персоналом з урахуванням конкретних умов ділянки дороги. Працівники зобов'язані використовувати сигнальний одяг підвищеної видимості, захисне взуття, каски, а при роботі на опорах і конструкціях – страхувальні системи для запобігання падінню з висоти.

Особливе значення має електробезпека, оскільки більшість елементів ITS живиться від електромереж або має власні джерела живлення, що створює ризик ураження електричним струмом. Усі роботи з підключення, обслуговування та ремонту електрообладнання мають виконуватися працівниками, які мають відповідну групу з електробезпеки, із застосуванням діелектричних засобів захисту, переносних заземлень, блокувальних пристроїв та плакатів безпеки. Конструкція шаф живлення і зв'язку повинна забезпечувати ступінь захисту від вологи та пилу, наявність запобіжників, автоматичних вимикачів, захисту від перенапруг і грозових розрядів, що одночасно зменшує ризики як для персоналу, так і для надійності системи.

Пожежна безпека ITS-інфраструктури забезпечується правильним вибором кабельної продукції, виконанням вимог щодо вогнестійкості, дотриманням норм прокладання кабелів, установленням апаратури захисту від коротких замикань та перегріву. У серверних приміщеннях і центрах обробки даних, де розміщуються сервери ITS, мають бути вогнегасники відповідного типу, системи виявлення і сповіщення про пожежу, а також організовані евакуаційні виходи та схеми евакуації. Персонал, що обслуговує ці приміщення, проходить навчання з пожежно-технічного мінімуму та регулярні тренування з відпрацювання дій у разі пожежі або задимлення.

Інтелектуальні транспортні системи мають виражений інформаційно-комунікаційний компонент, тому до сфери охорони праці й безпеки життєдіяльності відносять також кібербезпеку та захист даних. Несанкціоноване втручання в роботу систем автоматичного контролю швидкості,

змінних знаків чи V2X-інфраструктури може створити безпосередню загрозу для життя і здоров'я учасників дорожнього руху, наприклад через подання хибних сигналів або виведення з ладу критичних елементів. Для запобігання таким ситуаціям необхідно застосовувати засоби криптографічного захисту, сертифікати безпеки, захищені протоколи обміну, систему управління доступом, а також проводити періодичні аудити інформаційної безпеки і навчання персоналу правилам поведінки з обліковими даними.

Організація технічного обслуговування та експлуатації ITS має бути регламентована інструкціями, що визначають періодичність оглядів, порядок виконання профілактичних робіт, критерії виявлення несправностей та дії персоналу при відмовах. При планових виїздах для сервісного обслуговування обладнання на дорозі М-06 повинні завчасно оцінюватися погодні умови, інтенсивність руху, можливість безпечного розміщення техніки, а також забезпечуватися зв'язок із диспетчерськими та екстреними службами на випадок позаштатних ситуацій. Результати оглядів та виконаних робіт фіксуються в журналі або електронній системі управління технічним обслуговуванням, що підвищує контроль за станом обладнання і дозволяє своєчасно планувати профілактичні заходи.

Не менш важливою є підготовка та підвищення кваліфікації персоналу, який працює з ITS, оскільки поєднання дорожньо-будівельних, електротехнічних та ІТ-компетенцій ставить високі вимоги до знань і навичок. Програми навчання повинні містити модулі з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки, безпечної організації робіт на проїзній частині, а також основи кібербезпеки та експлуатації мережевих і серверних систем. Такий підхід дозволяє знизити ймовірність виробничого травматизму, підвищити надійність функціонування інтелектуальної транспортної інфраструктури та забезпечити досягнення цільового ефекту від її впровадження у вигляді зменшення кількості ДТП та поліпшення загальної безпеки життєдіяльності на автомобільних дорогах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведене дослідження світового досвіду впровадження інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки дорожнього руху та розробка рекомендацій щодо їх адаптації до умов України дозволяє сформулювати наступні висновки.

Інтелектуальні транспортні системи визнані міжнародною спільнотою як один з найбільш ефективних інструментів для зниження аварійності на дорогах. Еволюція ІТС від простих автоматизованих систем управління світлофорами до складних кооперативних систем з V2X комунікаціями демонструє послідовне нарощування технологічних можливостей та інтеграцію нових рішень. Стандартизація через міжнародні організації ISO, ETSI та IEEE створила надійний фундамент для інтероперабельності різних компонентів та забезпечила можливість масштабування рішень на глобальному рівні.

Аналіз досвіду чотирьох провідних регіонів виявив різноманітність підходів до впровадження ІТС. Європейський Союз демонструє найбільш регульований підхід з обов'язковими директивами для всіх країн-членів, що забезпечує мінімальний рівень безпеки та швидке досягнення критичної маси користувачів технологій. Сінгапурська модель характеризується найвищим рівнем централізації та координації, дозволяючи швидко реалізовувати масштабні проєкти з глибокою інтеграцією різних компонентів. Японський підхід відзначається еволюційним характером з високим ступенем співпраці між урядом та приватним сектором. Американська децентралізована модель надає штатам широку автономію, створюючи середовище для експериментів з різними підходами.

Всі досліджені регіони досягли суттєвого прогресу у зниженні смертності на дорогах, причому внесок ІТС-технологій оцінюється в межах 15-30% залежно від методології розрахунку. Найбільш вражаючі результати демонстрували юрисдикції, що поєднували технологічні інновації з системними змінами в інфраструктурі та культурі безпеки, як показує шведський досвід реалізації

концепції Vision Zero.

Ситуація з безпекою дорожнього руху в Україні залишається критичною з показником смертності 9,2 випадки на 100 тисяч населення, що майже втричі перевищує середньоєвропейський рівень. Основні причини ДТП, такі як перевищення швидкості та недотримання правил маневрування, є саме тими проблемами, що можуть бути ефективно адресовані через ІТС-рішення. Існуючі елементи інтелектуальних транспортних систем функціонують фрагментовано без інтеграції в єдину екосистему, що значно знижує їх потенційний вплив на покращення безпеки.

Нормативно-правова база для розвитку ІТС перебуває в зародковому стані, хоча Національна транспортна стратегія до 2030 року задекларувала це як пріоритет. Відсутність спеціалізованого законодавства створює невизначеність для потенційних інвесторів та ускладнює реалізацію масштабних проєктів. Множинні бар'єри від фінансових обмежень до дефіциту кваліфікованих кадрів вимагають комплексного підходу для їх подолання.

Розроблена трирівнева концептуальна модель впровадження ІТС враховує українські реалії обмежених ресурсів та інституційних можливостей при максимізації потенційного впливу на зниження аварійності. Запропонований пілотний проєкт для траси М-06 демонструє техніко-економічну обґрунтованість інвестицій з очікуваним зниженням аварійності на 18% та співвідношенням вигод до витрат 3,8 до 1 вже в перший рік експлуатації.

Практична цінність дослідження полягає в розробці конкретних рекомендацій для органів державної влади щодо створення нормативно-правової бази, вибору пріоритетних технологій для впровадження та механізмів залучення фінансування. Запропонований пілотний проєкт може слугувати еталоном для реплікації на інших автомагістралях України після демонстрації його ефективності.

Перспективи подальших досліджень включають детальне опрацювання технічних специфікацій для національних стандартів ІТС, розробку навчальних програм для підготовки кваліфікованих фахівців та вивчення можливостей

адаптації передових технологій автономного водіння до українського контексту. Особливу увагу варто приділити дослідженню соціальних аспектів впровадження ІТС, включаючи сприйняття населенням технологій моніторингу та контролю, що впливає на успішність реалізації проєктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. C2C-CC. (2024). CAR 2 CAR Communication Consortium Annual Report 2024. <https://www.car-2-car.org>
2. Cicchino, J. B. (2017). Effectiveness of forward collision warning and autonomous emergency braking systems in reducing front-to-rear crash rates. *Accident Analysis & Prevention*, 99, 142-152.
3. Cicchino, J. B. (2018). Effects of lane departure warning on police-reported crash rates. *Journal of Safety Research*, 66, 61-70.
4. C-Roads Platform. (2019). C-Roads: The Platform of Harmonised C-ITS Deployment in Europe. <https://www.c-roads.eu>
5. C-Roads Platform. (2020). Final Report: Harmonised C-ITS deployment across Europe. European Commission.
6. C-Roads Platform. (2024). Progress Report 2024: Trans-European C-ITS Deployment. Brussels.
7. Drożdż, W., Vovk, Y., Widera, K., Łopatka, A., & Gawlik, A. (2023). Sustainability assessment of the energy generation systems. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 8(2), 249–258. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2023.8-2.19>
8. Elvik, R. (2008). The predictive validity of empirical Bayes estimates of road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), 1964-1969.
9. ETSC. (2019). Intelligent Speed Assistance: Myths and Facts. European Transport Safety Council.
10. ETSI. (2012). EN 302 665: Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. European Telecommunications Standards Institute.
11. ETSI. (2020). EN 302 890-1: Intelligent Transport Systems (ITS); Facilities layer function; Part 1: Services Announcement (SA) specification. European Telecommunications Standards Institute.
12. EU Regulation 2015/758. (2015). Regulation concerning type-approval

- requirements for the deployment of the eCall in-vehicle system. Official Journal of the European Union.
- 13.EU Regulation 2019/2144. (2019). Regulation on type-approval requirements for motor vehicles. Official Journal of the European Union.
 - 14.European Commission. (2007). Monetary Valuation of Road Safety. HEATCO Deliverable 5.
 - 15.European Commission. (2011). eCall: Time for Deployment. Impact Assessment. Brussels.
 - 16.European Commission. (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Brussels.
 - 17.European Commission. (2016). A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems. Brussels.
 - 18.European Commission. (2018). eCall in all new cars from 31 March 2018. Press Release.
 - 19.European Commission. (2019). Advanced Safety Features in Vehicles: Impact Assessment. Brussels.
 - 20.European Commission. (2024). Road Safety: 2023 Statistics. Brussels.
 - 21.European Commission. (2025). Road Safety Thematic Report: Speed. Brussels.
 - 22.European Parliament. (2010). Directive 2010/40/EU on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems. Official Journal of the European Union.
 - 23.FCC. (2020). Report and Order on 5.9 GHz Band. Federal Communications Commission.
 - 24.FHWA. (2019). Crash Modification Factors Clearinghouse. Federal Highway Administration. <https://www.cmfclearinghouse.org>
 - 25.Hauer, E. (1997). Observational Before-After Studies in Road Safety. Pergamon Press.
 - 26.HEATCO. (2006). Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. European Commission.
 - 27.Hoogendoorn, R., et al. (2018). The effects of variable speed limits on road

- safety. Transportation Research Part C, 94, 182-196.
- 28.Høye, A. (2014). Speed cameras, section control, and kangaroo jumps—a meta-analysis. Accident Analysis & Prevention, 73, 200-208.
- 29.IEEE. (2016). IEEE 1609.2: Security Services for Applications and Management Messages. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- 30.IIHS. (2019). Automatic Emergency Braking reduces rear-end crashes by 50 percent. Insurance Institute for Highway Safety.
- 31.IIHS. (2020). Blind spot detection effectiveness study. Insurance Institute for Highway Safety.
- 32.ISO. (2015). ISO 14813: Intelligent transport systems — Reference model architecture(s). International Organization for Standardization.
- 33.ISO. (2022). ISO/TR 25100: Road vehicles — Classification and definition of automation levels. International Organization for Standardization.
- 34.ISO. (2024). ITS Standards Database. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org>
- 35.ITF. (2023). Road Safety Annual Report 2023: Japan Country Profile. International Transport Forum.
- 36.ITS Standards. (2023). Global ITS Standardization Organizations Overview. <https://www.standards.its.dot.gov>
- 37.Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Y., & Tson, O. (2017). Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2(2), 57–66. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2017.2-2.5>
- 38.Keysight. (2024). V2X Vehicle-to-Everything Communication: The Future of Autonomous Connectivity. <https://www.keysight.com/blogs>
- 39.Land Transport Authority Singapore. (2014). Smart Mobility 2030: ITS Strategic Plan for Singapore. Singapore.
- 40.Land Transport Authority Singapore. (2021). Electronic Road Pricing 2.0: Technical Overview. Singapore.
- 41.Land Transport Authority Singapore. (2022). Annual Report 2022. Singapore.

- 42.Land Transport Authority Singapore. (2023). Intelligent Transport Systems Implementation Report. Singapore.
- 43.LTA. (2014). Smart Mobility 2030. Land Transport Authority Singapore.
- 44.LTA. (2023). Annual Report 2023. Land Transport Authority Singapore.
- 45.Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. (2020). Automated Driving Strategy. Japan.
- 46.Naumann, R. B., et al. (2023). Potential lives saved with increased availability of advanced driver assistance systems. AAA Foundation for Traffic Safety.
- 47.NHTSA. (2015). Speed management: A road safety manual for decision-makers and practitioners. National Highway Traffic Safety Administration.
- 48.NHTSA. (2017). Vehicle-to-Vehicle Communication Technology Evaluation. National Highway Traffic Safety Administration.
- 49.NHTSA. (2024). Traffic Safety Facts 2023. National Highway Traffic Safety Administration.
- 50.NSC. (2024). Advanced Driver Assistance Systems Data Details. National Safety Council. <https://injuryfacts.nsc.org>
- 51.Opendatabot. (2024). Аналітика ДТП в Україні за 2024 рік. <https://opendatabot.ua/en/analytics/dtp-2024-8>
- 52.Papageorgiou, M., et al. (2003). Review of road traffic control strategies. Proceedings of the IEEE, 91(12), 2043-2067.
- 53.PIARC. (2023). ITS Architecture and Standards. World Road Association. <https://rno-its.piarc.org>
- 54.Safonau, A., Vovk, Y., Lyashuk, O., & Khudobei, R. (2020). Blending control of the trolleybus traction and brake drives to enhance the braking efficiency of a vehicle. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 5(2), 49–61. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2020.5-2.5>
- 55.Savchenko L. ., Zhigula, S., Yurchenko, K., Vovk, Y., & Oleksiuk, A. (2021). Combination of different means of parcel deliveries in urban logistics in adverse weather conditions. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 6(1), 6–17. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2021.6-1.1>

56. Singapore Ministry of Transport. (2024). Singapore Land Transport Statistics 2024. Singapore.
57. Singapore Standards Council. (2019). TR 68: Reference Document on Autonomous Vehicle Trials. Singapore.
58. Trafikverket. (2021). Vision Zero: The Swedish Approach to Road Safety. Swedish Transport Administration.
59. US DOT Connected Vehicle Pilot. (2022). New York City CV Pilot: Final Report. US Department of Transportation.
60. US DOT. (2012). National ITS Architecture. US Department of Transportation.
61. US DOT. (2021). Connected Vehicle Pilot Deployment Program: Lessons Learned. US Department of Transportation.
62. US DOT. (2024). Connected Vehicle Pilot Deployment Program: 2024 Update. US Department of Transportation.
<https://www.transportation.gov/data/secure/sdc-projects/spotlight-cvp>
63. USDOT. (1991). Intermodal Surface Transportation Efficiency Act. US Department of Transportation.
64. Várhelyi, A., et al. (2004). Effects of an active accelerator pedal on driver behaviour and traffic safety after long-term use in urban areas. *Accident Analysis & Prevention*, 36(5), 729-737.
65. VICS Center. (2024). Vehicle Information and Communication System: Annual Report 2024. Japan.
66. Vovk, I., Tson, O., Vovk, Y., Vovk, Y., & Rozhko, N. (2024). Mobility as a Service for tourism: Challenges and opportunities for meeting the needs of tourists in urban environments. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 9(2), 137–149. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2024.9-2.10>
67. Vovk, Y. (2016). Resource-efficient intelligent transportation systems as a basis for sustainable development. Overview of initiatives and strategies. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 1(1), 6–10. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2016.1-1.1>
68. Vovk, Y., Aulin, V., Vovk, I., Romaniuk, S., Syhlovyi, M., Vovk, O., Palianytsia,

- V., & Zabytivskyi, V. (2025). Electric vehicle charging infrastructure optimization on international transport corridors: Economic analysis and EU regulatory alignment in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(2), 6–28. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2025.10-2.1>
69. Vovk, Y., Vovk, I., Plekan, U., Tson, O., & Oleksyuk, V. (2025). Sustainable and smart logistics centers: Challenges and opportunities for Ukraine's transport system. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(1), 116–124. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2025.10-1.8>
70. WHO. (2023). *Global Status Report on Road Safety 2023*. World Health Organization.
71. Wijnen, W., et al. (2019). An analysis of official road crash cost estimates in European countries. *Safety Science*, 113, 318–327.
72. Wikipedia. (2024). Advanced driver-assistance systems. https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_driver-assistance_system
73. Wikipedia. (2025). Vehicle-to-everything. <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything>
74. Wyoming DOT. (2023). *Connected Vehicle Pilot: Weather Data Integration Final Report*. Wyoming Department of Transportation.
75. Zhang, Y., et al. (2020). Deep learning for incident detection using multimodal data. *Transportation Research Part C*, 116, 102641.
76. Zhytomyr SUMP. (2022). *Sustainable Urban Mobility Plan Zhytomyr*. <https://www.mobiliseyourcity.net>
77. Zielińska, A., Dąbrowska, M., Vovk, I., & Drozda, M. (2023). Addressing food waste: An analysis of causes, impacts, and solutions in modern societies. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 8(2), 284–297. <https://doi.org/10.14254/jsdtl.2023.8-2.22>
78. Білошицький, М. (2025). З початку року на дорогах загинуло більше 800 українців. UNN. <https://www.unn.com.ua/uk/news/road-accidents-2024-statistics>
79. Кабінет Міністрів України. (2024). Постанова № 1550 "Про затвердження

Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року".

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-п>

80.Київпастрас. (2023). Звіт про роботу за 2023 рік. Київ.

81.КМДА. (2022). Звіт про впровадження адаптивних світлофорів у Києві.

Київська міська державна адміністрація.

82.Міністерство інфраструктури України. (2024). Національна транспортна стратегія: Стан виконання. Київ.

83.Патрульна поліція України. (2024). Статистика ДТП за 2024 рік.

<https://patrol.police.gov.ua>

84.Укравтодор. (2024). Статистика руху на автомобільних дорогах України.

Державне агентство автомобільних доріг України.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Глосарій термінів та скорочень

ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) – розширені системи допомоги водієві, електронні системи, що допомагають водієві в процесі керування транспортним засобом або автоматизують окремі функції водіння.

АЕВ (Automatic Emergency Braking) – автоматичне екстрене гальмування, система, що виявляє ризик зіткнення та автоматично активує гальма.

ВТР (Basic Transport Protocol) – базовий транспортний протокол для ІТС, що забезпечує передачу даних між вузлами мережі.

C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) – кооперативні інтелектуальні транспортні системи, що дозволяють транспортним засобам та інфраструктурі обмінюватися інформацією.

CAM (Cooperative Awareness Message) – повідомлення кооперативної обізнаності, що містить базову інформацію про транспортний засіб (положення, швидкість, напрямок).

C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) – технологія комунікації на базі стільникових мереж 4G/5G для V2X застосувань.

DENM (Decentralized Environmental Notification Message) – децентралізоване повідомлення про події довкілля, що інформує про небезпеки та інциденти.

DSRC (Dedicated Short-Range Communications) – спеціалізований короткодистанційний зв'язок у діапазоні 5,9 ГГц для V2X комунікацій.

eCall – система автоматичного екстреного виклику при ДТП, обов'язкова в ЄС з 2018 року.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – Європейський інститут телекомунікаційних стандартів.

GLOSA (Green Light Optimal Speed Advisory) – рекомендація оптимальної швидкості для проїзду світлофорів на зеленому сигналі.

GPS (Global Positioning System) – глобальна система позиціонування.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки.

ISA (Intelligent Speed Assistance) – інтелектуальна система контролю швидкості.

ISO (International Organization for Standardization) – Міжнародна організація зі стандартизації.

ITS (Intelligent Transport Systems) – інтелектуальні транспортні системи.

ITS-G5 – європейський стандарт бездротового зв'язку для ІТС на базі IEEE 802.11p.

LDM (Local Dynamic Map) – локальна динамічна карта, база даних про об'єкти та події в околицях транспортного засобу.

LKA (Lane Keeping Assist) – система утримання в смузі руху.

OBU (On-Board Unit) – бортовий пристрій у транспортному засобі для V2X комунікацій.

RSU (Roadside Unit) – придорожній пристрій для V2I комунікацій.

SAE (Society of Automotive Engineers) – Товариство автомобільних інженерів.

TMC (Traffic Management Center) – центр управління дорожнім рухом.

TSR (Traffic Sign Recognition) – розпізнавання дорожніх знаків.

V2I (Vehicle-to-Infrastructure) – комунікація транспортного засобу з інфраструктурою.

V2N (Vehicle-to-Network) – комунікація транспортного засобу з мережею.

V2P (Vehicle-to-Pedestrian) – комунікація транспортного засобу з пішоходом.

V2V (Vehicle-to-Vehicle) – комунікація між транспортними засобами.

V2X (Vehicle-to-Everything) – комунікація транспортного засобу з усіма об'єктами довкілля.

VICS (Vehicle Information and Communication System) – японська система інформації та комунікації для транспортних засобів.

VMS (Variable Message Signs) – змінні інформаційні табло.

ВВП – валовий внутрішній продукт.

ДТП – дорожньо-транспортна пригода.

ІТС – інтелектуальні транспортні системи.

ДОДАТОК Б

Детальна специфікація обладнання пілотного проєкту

1. Комплекси автоматичної фіксації швидкості (15 одиниць)

Технічні характеристики:

- Дальність вимірювання: до 50 метрів
- Точність вимірювання швидкості: ± 2 км/год
- Діапазон швидкостей: 20-250 км/год
- Розпізнавання номерних знаків: денний/нічний режим
- Роздільна здатність камери: мінімум 5 Мп
- Протокол зв'язку: Ethernet, 4G LTE
- Живлення: 220V AC або сонячні панелі з акумуляторами
- Робочий температурний діапазон: -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$
- Захист від вологи: IP67

Функціональні можливості:

- Одночасне вимірювання швидкості до 4 смуг руху
- Автоматична передача даних до центральної бази
- Архівація фотоматеріалів на 90 днів
- Інтеграція з базою даних реєстрації транспортних засобів
- Система самодіагностики та повідомлення про несправності

Рекомендовані виробники: Vitronic (Німеччина), Jenoptik (Німеччина), Vysionics (Австралія)

2. Змінні інформаційні табло (6 одиниць)

Технічні характеристики:

- Розмір дисплея: 4,8 м $\times$ 2,4 м
- Тип дисплею: LED full color
- Роздільна здатність: 256 $\times$ 128 пікселів
- Яскравість: авто-регулювання 2000-8000 кд/м²
- Кут огляду: 140° горизонтально, 50° вертикально

- Протокол зв'язку: Fiber optic, 4G LTE резервний
- Живлення: 380V AC
- Потужність: макс. 8 кВт
- Захист: IP65, вітростійкість до 160 км/год

Функціональні можливості:

- Відображення багаторядкових текстових повідомлень українською та англійською мовами
- Графічні піктограми та анімація
- Дистанційне керування контентом через центр управління
- Попередньо налаштовані сценарії для типових ситуацій
- Датчики освітлення для автоматичного регулювання яскравості

Рекомендовані виробники: Swarco (Австрія), Econolite (США), Peek Traffic (UK)

3. Метеорологічні станції та дорожні сенсори (5 комплектів)

Компоненти станції:

- Датчик температури повітря: діапазон -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$, точність $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
- Датчик відносної вологості: діапазон 0-100%, точність $\pm 2\%$
- Датчик швидкості вітру: діапазон 0-70 м/с, точність $\pm 0,3$ м/с
- Датчик інтенсивності опадів: тип оптичний, точність $\pm 5\%$
- Датчик видимості: діапазон 10-2000 м
- Датчик температури дорожнього покриття: інфрачервоний, діапазон -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$
- Датчик стану покриття: розпізнавання сухе/вологе/лід/сніг
- Датчик товщини водяної плівки: діапазон 0-10 мм

Система передачі даних:

- Інтервал передачі: кожні 5 хвилин у нормальному режимі, кожну хвилину при критичних умовах
- Протокол: HTTPS REST API
- Резервне живлення: акумулятор на 48 годин автономної роботи

Рекомендовані виробники: Vaisala (Фінляндія), Campbell Scientific (США), Lufft (Німеччина)

ДОДАТОК В

Календарний план реалізації пілотного проєкту

Етап	Назва робіт	Тривалість	Термін
1	Підготовча фаза	3 місяці	Місяці 1-3
1.1	Підготовка технічного завдання	1 міс.	Місяць 1
1.2	Проведення тендерних процедур	2 міс.	Місяці 2-3
1.3	Підписання контрактів з постачальниками	0,5 міс.	Місяць 3
2	Фаза проєктування та узгодження	2 місяці	Місяці 4-5
2.1	Розробка детального проєкту розміщення обладнання	1 міс.	Місяць 4
2.2	Погодження проєкту з Укравтодор та місцевими органами	1 міс.	Місяць 5
2.3	Отримання дозволів на виконання робіт	0,5 міс.	Місяць 5
3	Фаза постачання обладнання	3 місяці	Місяці 6-8
3.1	Виробництво обладнання згідно специфікацій	2 міс.	Місяці 6-7
3.2	Транспортування та митне оформлення	1 міс.	Місяць 8
3.3	Попереднє тестування на складі	0,5 міс.	Місяць 8
4	Фаза встановлення	2 місяці	Місяці 9-10
4.1	Підготовка місць встановлення (фундаменти, кабельні траси)	1 міс.	Місяць 9
4.2	Монтаж обладнання	1 міс.	Місяць 10
4.3	Підключення до систем живлення та комунікацій	0,5 міс.	Місяць 10
5	Фаза тестування та налагодження	1 місяць	Місяць 11
5.1	Тестування окремих компонентів	0,5 міс.	Місяць 11
5.2	Інтеграційне тестування системи	0,5 міс.	Місяць 11
5.3	Усунення виявлених недоліків	0,5 міс.	Місяць 11
6	Фаза пілотної експлуатації	12 місяців	Місяці 12-23
6.1	Запуск системи в експлуатацію	-	Місяць 12
6.2	Моніторинг роботи та збір даних	12 міс.	Місяці 12-23
6.3	Щомісячні звіти про функціонування	12 міс.	Місяці 12-23
7	Фаза оцінки результатів	1 місяць	Місяць 24
7.1	Аналіз зібраних даних про аварійність	0,5 міс.	Місяць 24
7.2	Економічна оцінка ефективності	0,5 міс.	Місяць 24
7.3	Підготовка підсумкового звіту та рекомендацій	0,5 міс.	Місяць 24
ЗАГАЛЬНА ТРИВАЛІСТЬ		24 місяці	

ДОДАТОК Г

Анкета опитування водіїв щодо сприйняття ІТС-технологій

Шановний респонденте!

Кафедра транспортних технологій проводить дослідження щодо впровадження інтелектуальних транспортних систем для підвищення безпеки дорожнього руху. Просимо Вас відповісти на наступні запитання. Опитування є анонімним, отримані дані використовуватимуться виключно в узагальненому вигляді для наукових цілей.

Розділ 1. Загальна інформація

1. Ваш вік: ☐ 18-25 ☐ 26-35 ☐ 36-45 ☐ 46-55 ☐ 56-65 ☐ 66+
2. Стаж водіння: ☐ до 3 років ☐ 3-10 років ☐ 11-20 років ☐ понад 20 років
3. Середній річний пробіг: ☐ до 10 тис. км ☐ 10-20 тис. км ☐ 20-40 тис. км
☐ понад 40 тис. км
4. Як часто Ви їздите трасою М-06? ☐ щодня ☐ кілька разів на тиждень ☐ кілька разів на місяць ☐ рідше

Розділ 2. Обізнаність про ІТС

5. Чи знаєте Ви, що таке інтелектуальні транспортні системи?
☐ Так, добре обізнаний ☐ Щось чув, але детально не знаю ☐ Ні, не знаю
6. Чи є у Вашому автомобілі системи допомоги водієві (ADAS)?
☐ Так ☐ Ні ☐ Не знаю
7. Якщо так, то які? (можливі кілька варіантів)
☐ Adaptive Cruise Control ☐ Lane Keeping Assist ☐ Automatic Emergency Braking
☐ Blind Spot Detection ☐ Traffic Sign Recognition ☐ Інше: _____

Розділ 3. Ставлення до систем автоматичного контролю

8. Як Ви ставитеся до камер автоматичної фіксації швидкості?
☐ Позитивно, вони підвищують безпеку

- ☐ Нейтрально
- ☐ Негативно, це спосіб заробити на штрафах
- ☐ Важко відповісти

9. Чи впливає наявність камер фіксації на Вашу манеру водіння?

- ☐ Так, завжди дотримуюсь обмежень швидкості
- ☐ Так, але тільки поблизу камер
- ☐ Ні, не впливає
- ☐ Не звертаю уваги на камери

10. Чи вважаєте Ви, що камери фіксації порушують право на приватність?

- ☐ Так ☐ Ні ☐ Важко відповісти

Розділ 4. Корисність інформаційних систем

11. Чи користуєтеся Ви навігаційними додатками (Google Maps, Waze тощо)?

- ☐ Так, постійно ☐ Так, іноді ☐ Рідко ☐ Ні, ніколи

12. Наскільки корисною Ви вважаєте інформацію про:

(1 - зовсім не корисна, 5 - дуже корисна)

Інформація	1	2	3	4	5
Затори попереду	☐	☐	☐	☐	☐
ДТП на маршруті	☐	☐	☐	☐	☐
Погодні умови	☐	☐	☐	☐	☐
Дорожні роботи	☐	☐	☐	☐	☐
Рекомендована швидкість	☐	☐	☐	☐	☐

13. Чи довіряєте Ви інформації на змінних дорожніх таблах?

- ☐ Так, повністю ☐ Скоріше так ☐ Скоріше ні ☐ Ні, не довіряю

Розділ 5. Готовність до змін

14. Чи підтримуєте Ви впровадження більшої кількості ІТС-технологій на українських дорогах?

- ☐ Так, повністю підтримую

- ☐ Скоріше так
- ☐ Скоріше ні
- ☐ Ні, не підтримую
- ☐ Важко відповісти

15. Чи готові Ви платити додаткову суму при купівлі автомобіля за системи безпеки?

- ☐ Так, до 10% від вартості авто
- ☐ Так, до 5% від вартості авто
- ☐ Так, але не більше 1000 євро
- ☐ Ні, не готовий

Дякуємо за участь в опитуванні!