

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

**Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра електронних комунікацій та інтернету речей**

«На правах рукопису»
УДК 621.391

До захисту допущено:
ВО завідувача кафедри
____ Анатолій МАКАРЕНКО
«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Системи електронних комунікацій та
Інтернету речей»**

зі спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

**на тему: «Дослідження шляхів впровадження регламентів та стандартів ЄС
у сфері інформаційно-комунікаційних технологій інтелектуальних
транспортних систем для підвищення ефективності транспортної
інфраструктури України»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЦС-41мп
Заїчко Святослав Михайлович _____

Науковий керівник:

Професор кафедри ЕКІР, д.т.н.,
професор,
Горицький Віктор Михайлович _____

Рецензент:

Старший викладач Спеціальної кафедри № 5, ІСЗЗІ
Мітін Сергій В'ячеславович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра електронних комунікацій та інтернету речей

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Системи електронних комунікацій та Інтернету речей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

ВО завідувача кафедри

____Анатолій МАКАРЕНКО

«____»_____2025 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську роботу студенту
Заїчку Святославу Михайловичу

Тема роботи «Дослідження шляхів впровадження регламентів та стандартів ЄС у сфері інформаційно-комунікаційних технологій інтелектуальних транспортних систем для підвищення ефективності транспортної інфраструктури України», керівник роботи Горицький Віктор Михайлович, професор кафедри ЕКІР, затверджені наказом по університету від «03» листопада 2025 р. №4777-с

Термін подання студентом роботи 08 грудня 2025

1. Вихідні дані до роботи: РЕГЛАМЕНТ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ І РАДИ (ЄС) № 165/2014, ДИРЕКТИВА 2010/40/ЄС ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ, ISO 21217:2020.
Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи

2.3міст роботи

1.Теоретичні основи впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у сфері інтелектуальних транспортних систем.

2.Аналіз стану та проблем впровадження регламентів і стандартів ЄС в Україні.

3.Напрями та шляхи імплементації європейських регламентів і стандартів у сфері УКТ в Україні

4.Практична реалізація та оцінка ефективності впровадження ІКТ ІТС з урахуванням стандартів ЄС

5.Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 1)Тема і мета дипломної роботи.2) Перелік питань розглянутих в роботі. 3)Загальний огляд ІТС.4)Стандартизація при впровадженні ІТС.5)Висновки

6.Дата видачі завдання 16 листопада 2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз отриманого завдання	16.11.2025	виконано
2	Визначення мети дипломної роботи. Розробка змісту	02.09.2025	виконано
3	Написання вступної частини, та першого розділу	10.10.2025	виконано
4	Написання другого розділу	25.10.2025	виконано
5	Написання третього розділу	03.11.2025	виконано
6	Збір інформації для четвертого розділу	15.11.2025	виконано
7	Написання четвертого розділу	20.11.2025	виконано
8	Написання висновків, та загального висновку дипломної роботи	28.11.2025	виконано

9	Оформлення дипломного проекту	07.12.2025	виконано
10	Підготовка презентації для захисту	10.12.2025	виконано

Студент

Святослав ЗАЇЧКО

Керівник роботи

Віктор ГОРИЦЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 107с., 9 рис., 16 джерел.

Метою роботи є дослідження міжнародних стандартів інтелектуальних транспортних систем, аналіз особливостей їх упровадження та шляхів удосконалення таких систем в Україні з урахуванням регламентів і вимог Європейського Союзу. У дипломній роботі розглянуто один із ключових стандартів ІТС — ISO 21217:2020 “Інтелектуальні транспортні системи — Станційна та телекомунікаційна архітектура”. Проаналізовано принципи побудови ІТС на основі сімейства стандартів ISO 21217, їхню роль у цифровізації дорожнього руху та підвищенні ефективності транспортних процесів. Досліджено можливості інтеграції європейських регламентів та стандартів у сфері інформаційно-комунікаційних технологій ІТС для адаптації української транспортної інфраструктури до вимог ЄС. Розглянуто практичні приклади впровадження ІКТ у функціональні підсистеми інтелектуальних транспортних систем, а також оцінено ефективність їх використання. Окрему увагу приділено питанням кібербезпеки та захисту інформації в ІТС, проблемам і перевагам імплементації міжнародних стандартів у реальні транспортні системи України, а також перспективам розвитку технологій підключених автомобілів та інтелектуального управління дорожнім рухом.

ПІДКЛЮЧЕНІ АВТОМОБІЛІ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ, ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ, ISO 21217:2020, СТАНЦІЙНА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА АРХІТЕКТУРА, ЦИФРОВІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ЄВРОПЕЙСЬКІ СТАНДАРТИ, ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА

ABSTRACT

The text part of the thesis : 107p., 9 pictures, 16 sources. The purpose of the work is to study international standards for intelligent transport systems, analyze the features of their implementation and ways to improve such systems in Ukraine, taking into account the regulations and requirements of the European Union. The thesis considers one of the key ITS standards - ISO 21217:2020 “Intelligent Transport Systems - Station and Telecommunications Architecture”. The principles of building ITS based on the ISO 21217 family of standards are analyzed, their role in the digitalization of road traffic and increasing the efficiency of transport processes. The possibilities of integrating European regulations and standards in the field of ITS information and communication technologies for adapting the Ukrainian transport infrastructure to EU requirements are investigated. Practical examples of ICT implementation in functional subsystems of intelligent transport systems are considered, and the effectiveness of their use is also assessed. Special attention is paid to the issues of cybersecurity and information protection in ITS, the problems and advantages of implementing international standards in real transport systems of Ukraine, as well as the prospects for the development of connected car technologies and intelligent road traffic management.

CONNECTED CARS, INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEMS,
INFORMATION PROTECTION, ISO 21217:2020, STATION AND
TELECOMMUNICATION ARCHITECTURE, DIGITIZATION OF ROAD
TRAFFIC, EUROPEAN STANDARDS, TRANSPORT INFRASTRUCTURE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ...	9
ВСТУП.....	11
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ.....	12
1.1 Поняття та структура інтелектуальних транспортних систем	12
1.2 Роль інформаційно-комунікаційних технологій у розвитку ІТС	13
1.3 Нормативно-правова база ЄС щодо запровадження ІКТ в транспортній галузі.....	15
1.4 Узагальнення міжнародного досвіду застосування ІКТ у транспортній інфраструктурі.....	18
1.5 Висновки до розділу 1	23
2 АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕГЛАМЕНТІВ І СТАНДАРТІВ ЄС В УКРАЇНІ Роль стандарту ISO 21217	25
2.1 Поточний стан транспортної інфраструктури України.....	25
2.2 Аналіз нормативно-правових актів України у сфері ІТС	34
2.3 Порівняльна характеристика українських та європейських стандартів у сфері ІКТ і транспорту.....	36
2.4 Висновки до розділу 2.....	42
3 НАПРЯМИ ТА ШЛЯХИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИХ РЕГЛАМЕНТІВ І СТАНДАРТІВ У СФЕРІ ІКТ ІТС В УКРАЇНІ.....	44
3.1 Технічні та організаційні аспекти впровадження ІКТ у транспортній інфраструктурі.....	44

3.2 Розроблення концепції поетапного впровадження стандартів ЄС у сфері ІТС	50
3.3 Механізми міжнародного співробітництва та залучення інвестицій для реалізації проєктів у сфері ІТС	63
3.4. Рекомендації щодо інтеграції європейських стандартів у національну нормативну базу	68
3.4 Висновки до розділу 3	70
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІКТ ІТС З УРАХУВАННЯМ СТАНДАРТИВ ЄС	72
4.1 Прикладні аспекти використання цифрових рішень (Big Data, IoT, AI) у транспортних системах.....	72
4.2 Оцінка витрат на впровадження ІТС	85
4.3 Соціальний ефект: підвищення безпеки, зменшення викидів CO ₂ , покращення мобільності населення	98
4.4 Висновки до розділу 4	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ISO	International Organization for Standardization
SAE	Society of Automotive Engineers
IOT	Internet of Things
WIFI	Wireless Fidelity
API	Application programming interface
BSM	Basic safety message
BSMD	Bounded secured managed domain
BTP	Basic Transport Protocol
CAM	Cooperative awareness message
CCH	Control Channel
CEN	European Committee for Standardization (Commission Européenne de Normalization)
C-ITS	Cooperative ITS
C-ITS-SU	Central ITS-SU
DCC	Distributed congestion control
DENM	Decentralized environmental notification message
DLL	Data link layer(OSI)
DSRC	Dedicated short range communication
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FA	Name of interface between ITS-S facilities layer and ITS-S application entity
FLOW ID	identifier, being unique within an ITS station unit, that identifies an ITS-S flow
FNTF	Fast Networking & Transport Layer Protocol
HMI	Human machine interface
HSM	Hardware security modules

IN	Name of interface between ITS-S access layer and ITS-S networking and transport layer
IP	Internet Protocol
Ipv6	Internet Protocol version 6
IR	Infrared
ITS-S	ITS station
ITS-S-AP	ITS-station application process
ITS-SU	ITS-S unit
IVI	In-vehicle information
LCH	Logical channel
LDM	local dynamic map
LTE	Long term evolution
MA	Name of the interface between the ITS-S management entity and ITS-S applications
MAE	Management adaptation entity
MAP	Name of an ITS message set used to carry information on digital maps covering the area of intersections
MF	Name of the interface between the ITS-S management entity and the ITS-S facilities layer signal request message. Name of an ITS message set
TCP	Transmission control protocol
TOPO	Name of an ITS message set used to carry information on digital maps covering the area of intersections
TPEG-	Transport Protocol Expert Group - Road Traffic Messages
RTM	

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій транспортна галузь трансформується, що зумовлює перехід до інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Саме вони формують нові підходи до забезпечення ефективності, безпеки та комфорту пересування. В основі функціонування ІТС лежать інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), які є основою всієї транспортної діяльності — від збору, передачі та аналізу даних до координації транспортних потоків і взаємодії з користувачами.

У межах даного дослідження розглядаються ключові принципи побудови та функціонування інформаційних систем у транспортній сфері, підходи до використання ІКТ для підвищення ефективності транспортних процесів, а також їхній вплив на безпеку дорожнього руху й екологічну складову транспорту. Актуальність теми зумовлена зростанням інтенсивності транспортних потоків, потребою у зменшенні рівня аварійності та впровадженні екологічно сталих технологій. Ці чинники вимагають постійного вдосконалення механізмів управління транспортом шляхом інтеграції інноваційних інформаційних рішень.

Особливу увагу в роботі приділено аналізу міжнародних нормативів та стандартів, які регламентують впровадження ІКТ у транспортну інфраструктуру. Одним із ключових документів, на який спирається дослідження, є стандарт ISO 21217:2020, що визначає архітектуру комунікаційних систем для інтелектуальних транспортних середовищ. Його адаптація та гармонізація з національними нормами мають важливе значення для подальшої інтеграції України до європейського транспортного простору.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

1.1 Поняття та структура інтелектуальних транспортних систем

Інтелектуальні транспортні системи (ITS) [6] — це вдосконалені програми, які, не втілюючи інтелекту як такого, спрямовані на надання інноваційних послуг, пов'язаних з різними видами транспорту та керування дорожнім рухом, і дозволяють різним користувачам бути краще поінформованими та безпечніше, більш скоординовано та «розумніше» використовувати транспорт мережі. Визначення інтелектуальної транспортної системи

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) пропонують сучасний, заснований на даних підхід до підвищення безпеки, ефективності та сталості транспортних мереж. Завдяки інтеграції передових технологій, таких як датчики, комунікаційні мережі, аналіз даних та моніторинг у режимі реального часу, ініціативи ІТС дозволяють розумніше керувати транспортною інфраструктурою та транспортними засобами. Ці системи спрямовані на оптимізацію потоку транспорту, зменшення заторів, підвищення безпеки та покращення загального досвіду користувача як для водіїв, так і для пішоходів.

По суті, інтелектуальна транспортна система поєднує апаратне та програмне забезпечення для збору, обробки та аналізу даних з різних джерел, таких як світлофори, камери спостереження та датчики транспортних засобів. Зібрані дані використовуються для прийняття рішень у режимі реального часу або надання дієвої інформації, яка покращує управління дорожнім рухом та планування транспорту. Це може включати керування світлофорами для зменшення заторів, попередження водіїв про небезпеки на дорозі або навіть зміну маршруту руху, щоб уникнути аварій або вузьких місць. Технологія, що лежить в основі ІТС, використовує зв'язок між транспортними засобами та

інфраструктурою, який може варіюватися від простого зв'язку між світлофорами та централізованими системами управління до складніших мереж, що включають автономні транспортні засоби.

Розгортання ІТС пропонує численні переваги, включаючи скорочення часу подорожі, зниження викидів, підвищення безпеки дорожнього руху та підвищення загальної ефективності транспорту. Завдяки можливості моніторингу та прийняття рішень у режимі реального часу ці системи дозволяють швидко реагувати на зміни дорожніх умов або надзвичайні ситуації. Інтелектуальні транспортні системи також можуть оптимізувати громадський транспорт, зменшити кількість аварій завдяки прогнозній аналітиці та надавати цінні дані містобудівникам для створення більш стійкої транспортної інфраструктури.

Однією з головних переваг інтелектуальних транспортних систем є їхня масштабованість. Ці системи можна впроваджувати на різних рівнях, від окремих перехресть до великих мегаполісів, і масштабувати за потреби, щоб врахувати зростання населення або розширення інфраструктури. Оскільки міста стають розумнішими та більш пов'язаними, ІТС-системи відіграватимуть дедалі важливішу роль в управлінні складними транспортними мережами, забезпечуючи безпечніші та ефективніші подорожі для всіх.

1.2 Роль інформаційно-комунікаційних технологій у розвитку ІТС

Інформаційно-комунікаційні технології відіграють важливу роль у розвитку ІТС. Однією з головних функцій ІКТ у складі інтелектуальних транспортних систем є збір, передача та зберігання даних про стан дорожньої мережі, інтенсивність руху, погодні умови, екологічні показники тощо. Ця функція реалізується за допомогою розгалуженої інфраструктури сенсорів, відеокамер, детекторів руху, GPS-трекерів та інших пристроїв, які формують

потоки інформації у реальному часі. Зібрані дані передаються через бездротові канали зв'язку до серверів або хмарних платформ, де вони накопичуються та обробляються. Саме на основі цих даних будуються подальші аналітичні та керуючі процеси, що дозволяє отримати повну картину транспортної ситуації в режимі реального часу.

Наступною ключовою функцією ІКТ є аналітика та прогнозування транспортних процесів, яка базується на використанні технологій Big Data [6], штучного інтелекту та машинного навчання. Ці технології дають змогу здійснювати глибокий аналіз великих обсягів інформації, виявляти закономірності у транспортних потоках, прогнозувати виникнення заторів або аварійних ситуацій, визначати оптимальні маршрути руху. Завдяки аналітичним алгоритмам формуються рекомендації для операторів дорожнього руху, диспетчерів громадського транспорту та водіїв, що підвищує ефективність функціонування транспортної системи в цілому.

Важливою складовою є автоматизація управління дорожнім рухом, яка реалізується за допомогою інтелектуальних систем керування світлофорними об'єктами, дорожніми знаками та змінними інформаційними табло. Такі системи здатні автоматично змінювати фази сигналів світлофорів відповідно до реальної інтенсивності руху, координувати транспортні потоки в межах великих міських агломерацій і навіть оперативно реагувати на виникнення надзвичайних ситуацій чи дорожніх робіт. Центри управління рухом, що функціонують на основі ІКТ, дозволяють забезпечити комплексний моніторинг транспортної мережі та здійснювати регулювання у режимі реального часу.

Сучасні системи зв'язку типу Vehicle-to-Everything (V2X) [6] дозволяють транспортним засобам обмінюватися даними між собою, із дорожньою інфраструктурою та пішоходами, що сприяє запобіганню зіткненням і підвищенню рівня координації між усіма учасниками дорожнього руху. На основі ІКТ функціонують системи допомоги водієві (ADAS) [7], які

забезпечують автоматичне гальмування, утримання автомобіля в смузі руху, адаптивне регулювання швидкості. Крім того, технології відеоспостереження та розпізнавання номерних знаків сприяють контролю за дотриманням правил дорожнього руху та оперативному реагуванню на порушення.

За допомогою мобільних застосунків, навігаційних сервісів, електронних табло та систем сповіщення користувачі отримують актуальні відомості про дорожню ситуацію, затори, аварії, погодні умови чи графіки руху громадського транспорту. Це дозволяє оптимізувати поїздки, раціонально планувати маршрути та підвищувати рівень задоволеності транспортними послугами.

Використання інтелектуальних алгоритмів оптимізації маршрутів і швидкісних режимів дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин та споживання пального. Системи моніторингу навколишнього середовища фіксують рівень забруднення повітря поблизу автомагістралей, а технології електронного управління зарядними станціями забезпечують ефективне використання електротранспорту.

Оскільки ІТС оперують великою кількістю інформації, то ІКТ забезпечують шифрування даних, автентифікацію користувачів, контроль доступу, резервне копіювання та моніторинг кіберзагроз. Упровадження міжнародних стандартів, таких як ISO 21217:2020, ETSI ITS-G5 та ISO/IEC 27001, гарантує сумісність систем, цілісність інформації та захист критичної транспортної інфраструктури.

1.3 Нормативно-правова база ЄС щодо запровадження ІКТ в транспортній галузі

Основними документами ,які регулюють впровадження ІКТ в ІТС є

- ISO 21217:2020[2]

- ISO 21217:2014[4]

- Директива 2010/40/ЄС[3]

Директива 2010/40/ЄС встановлює спільні рамки для скоординованого та узгодженого розгортання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) по всьому Європейському Союзу в галузі автомобільного транспорту та його взаємодії з іншими видами транспорту. Її головною метою є підвищення ефективності, безпеки, екологічних показників та інтеграції транспортних систем шляхом застосування інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ).

Директива визнає, що зростання обсягів дорожнього руху в ЄС призводить до заторів, енергоефективності та екологічних проблем. Традиційні заходи, такі як розширення інфраструктури, більше не є достатніми; натомість інновації через ІТС пропонують більш стійкі та ефективні рішення. ІТС визначаються як передові програми, що інтегрують телекомунікації, електроніку та інформаційні технології з транспортною інженерією для покращення управління дорожнім рухом, безпеки та мобільності.

Для забезпечення узгодженості та сумісності ІТС у державах-членах Директива встановлює рамки для розробки специфікацій та стандартів на рівні ЄС. Вони розроблені для сприяння сумісності та безперервності послуг ІТС по всьому Союзу, уникаючи фрагментованих національних підходів.

Визначено чотири пріоритетні напрямки для розробки та впровадження ІТС: Оптимальне використання даних про дороги, дорожній рух та подорожі; Безперервність послуг з управління дорожнім рухом та вантажними перевезеннями; Застосунки ІТС для безпеки дорожнього руху; Зв'язок транспортних засобів з транспортною інфраструктурою.

У цих напрямках визначено шість пріоритетних дій: Загальноєвропейські мультимодальні туристичні інформаційні послуги; Загальноєвропейські інформаційні послуги про дорожній рух у режимі реального часу; Безкоштовне надання мінімальної інформації про дорожній рух, пов'язаної з безпекою дорожнього руху;

Інтероперабельна загальноєвропейська система екстреного виклику (eCall); Інформаційні послуги для безпечного паркування вантажівок та комерційних транспортних засобів; Послуги бронювання для безпечного паркування вантажівок та комерційних транспортних засобів.

Директива також окреслює принципи розробки та впровадження ІТС, такі як ефективність, економічна ефективність, інтероперабельність, пропорційність, безперервність послуг та рівний доступ. У ній наголошується на необхідності захисту даних, конфіденційності та кібербезпеки відповідно до законодавства ЄС (Директиви 95/46/ЄС та 2002/58/ЄС). Крім того, вона заохочує використання анонімних даних, сприяє стандартизації та вимагає від держав-членів вирішувати питання відповідальності та повторного використання даних відповідно до законодавства Союзу.

Держави-члени зобов'язані вживати національних заходів для дотримання Директиви, співпрацювати з Європейською Комісією та іншими державами-членами, а також регулярно звітувати про прогрес у розгортанні ІТС.

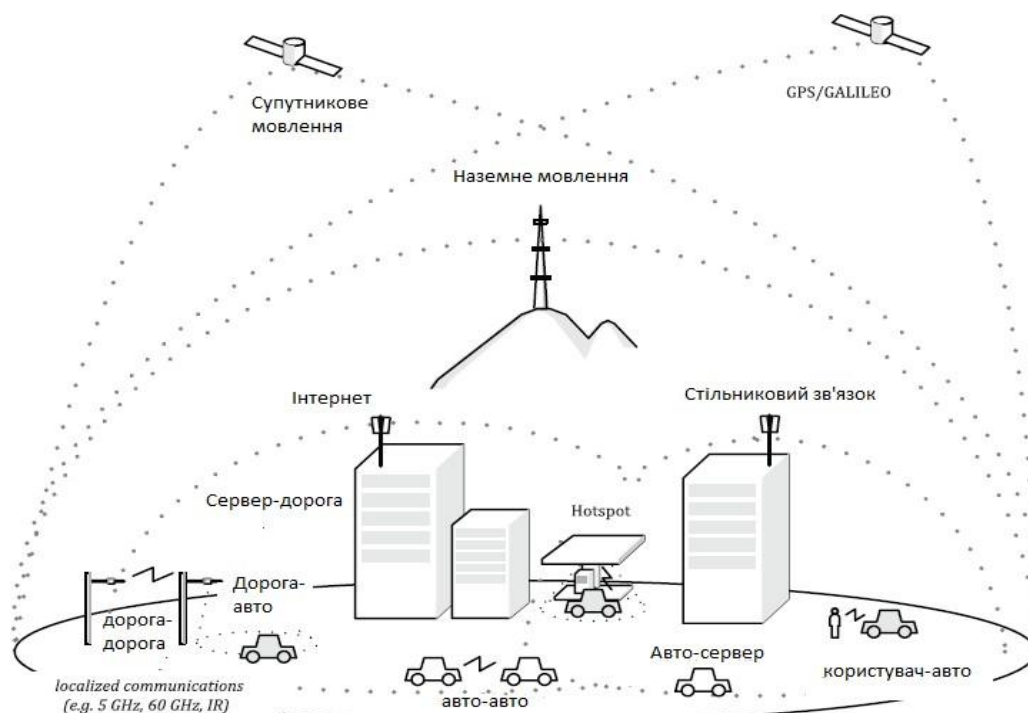


Рисунок 1.1– Приклади комунікацій ІТС

Європейський комітет з ІТС (EIC) та Європейська консультативна група з ІТС створені для надання технічних рекомендацій та внеску зацікавлених сторін, забезпечення узгодженого впровадження та постійної оцінки.

Підсумовуючи, Директива 2010/40/ЄС забезпечує правову та стратегічну основу для гармонізованого розвитку інтелектуальних транспортних систем у Європі. Вона спрямована на сприяння взаємодії, інтеграції та інноваціям у транспортних послугах, підвищення загальної продуктивності та сталості транспортної мережі ЄС, одночасно сприяючи транскордонному співробітництву та технологічному прогресу.

1.4 Узагальнення міжнародного досвіду застосування ІКТ у транспортній інфраструктурі

Транспортний сектор є однією з галузей економіки, на які найбільше вплинула цифровізація. Цей вплив можна розділити на дві категорії: видимі, поверхневі трансформації та глибші зміни в самій транспортній інфраструктурі. Перша категорія включає впровадження технологій, які вже довели свою ефективність в інших галузях, таких як великі дані, платформи IoT, цифрові двійники, системи ERP та додатки C-ITS[5].

Використання цифрових технологій в транспорті дає численні можливості, такі як: розвиток інтелектуальних транспортних систем — впровадження інтелектуальних технологій управління для оптимізованої маршрутизації та ефективного використання ресурсів; підвищення безпеки дорожнього руху — використання сучасних інструментів моніторингу, датчиків та штучного інтелекту для зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод; вдосконалені системи інформування пасажирів — створення та модернізація платформ, які надають пасажирам доступ до розкладів, маршрутів

та послуг у режимі реального часу;розширена аналітика — застосування аналітичних інструментів та масштабного аналізу даних для прийняття управлінських рішень та прогнозування тенденцій у транспортній галузі;побудова інтегрованих транспортних екосистем — об'єднання різних видів транспорту та послуг в єдину, зручну для користувача інфраструктуру.

Цифрова трансформація транспорту залишається предметом дискусій, оскільки в суспільстві немає чіткого консенсусу. Потенційні ризики та виклики включають:скорочення робочої сили, коли деякі працівники можуть мати труднощі з пошуком роботи за фахом;невизначеність у визначенні відповідальності у разі страхового випадку;можливість збоїв програмного забезпечення або неточних результатів;відмову обладнання через відключення електроенергії або збої в мережі.Загалом, інтеграція цифрових технологій у транспортну галузь охоплює багато аспектів, що призводить до суттєвого покращення ефективності, безпеки та управління системами.Розумні транспортні системи передбачають впровадження передових технологій, що використовують датчики, камери та комунікаційні мережі для оптимізації транспортного потоку, зменшення заторів та підвищення загальної ефективності транспортування.До прикладу у період з 2017 по 2022 рік щоденний попит на поїздки в Сінгапурі зріс вдвічі — з 9 мільйонів до приблизно 16 мільйонів поїздок.. Завдяки впровадженню розумних транспортних систем Сінгапур успішно зменшив затори, покращив ефективність свого громадського транспорту та посилив безпеку дорожнього руху. Зараз місто служить моделлю для інших міських центрів, які шукають стійких та ефективних рішень для мобільності

Автоматична система підрахунку пасажирів [7] вирішує проблему низької прибутковості, з якою стикаються багато транспортних компаній, особливо муніципальних в Україні, де фінансові втрати є поширеним явищем. Часто дохід від наданих послуг не надходить на рахунки компаній через неефективне

стягнення або внутрішнє неправильне використання. Збираючи точні дані про пасажирів, транспортні компанії можуть оптимізувати маршрути для підвищення ефективності та керувати заповнюваністю транспортних засобів у режимі реального часу. У 2023 році електробус у Вінниці був оснащений обчислювальним блоком, який використовує камеру, мікрокомп'ютер та датчики для автоматичного підрахунку пасажирів, що сідають в автобус

Автономні транспортні засоби є ключовим напрямком сучасної мобільності, спираючись на передові технології, такі як штучний інтелект, машинне навчання та складні сенсорні системи, для навігації без контролю людини. Сполучені Штати стали одним зі світових лідерів у розробці та тестуванні таких транспортних засобів. Такі компанії, як Waymo, Cruise, Zoox та Argo AI[6], активно проводять випробування своїх автономних транспортних засобів на дорогах загального користування в таких штатах, як Каліфорнія та Аризона

Підключення та Інтернет речей (IoT) забезпечують безперебійний зв'язок між транспортними засобами, інфраструктурою та різними пристроями, що дозволяє обмінюватися даними в режимі реального часу, що покращує управління дорожнім рухом та безпеку. У Барселоні датчики IoT використовуються для моніторингу наявності паркувальних місць, керування світлофорами та збору даних про транспортні потоки. Цей підхід демонструє, як технології Інтернету речей можуть бути ефективно впроваджені для покращення міських транспортних систем у всьому світі

Цифрова інфраструктура зосереджена на модернізації транспортних мереж за допомогою цифрових технологій, таких як розумні світлофори, електронні вивіски та інші інтелектуальні компоненти, що покращують моніторинг та управління дорожнім рухом. Наприклад, у Львові, коли трамвай наближається до перехрестя, розумні світлофори автоматично перемикаються на зелене світло, забезпечуючи безперебійний рух. Ці системи вже

використовуються на трамвайних лініях для маршрутів шість, вісім та два.

Аналітика великих даних відіграє вирішальну роль в обробці та інтерпретації величезних обсягів даних, що генеруються транспортними системами. Вона допомагає виявляти тенденції, оптимізувати маршрути, передбачати потреби в послугах та покращувати процеси прийняття рішень. У Дубаї інтеграція штучного інтелекту з аналітикою великих даних значно покращила можливості реагування на надзвичайні ситуації, надаючи прогностичні дані, які дозволяють швидше направляти рятувальні служби. Інструменти прогнозування дорожнього руху виявляють зони високого ризику аварій та визначають найшвидші маршрути для транспортних засобів екстреної допомоги, щоб дістатися до них (The Swiss Quality Consulting, 2022).

Електромобільність та електромобілі зосереджені на просуванні впровадження електромобілів та створенні необхідної інфраструктури, такої як зарядні мережі. Цифрові технології відіграють вирішальну роль в управлінні цими зарядними системами та оптимізації розподілу та споживання енергії.

Мобільні додатки та рішення для цифрового продажу квитків трансформують громадський транспорт та послуги спільного використання автомобілів, надаючи інформацію в режимі реального часу, підвищуючи зручність для користувачів та спрощуючи процеси оплати проїзду.

Технологія блокчейн активно інтегрується в логістику та управління ланцюгами поставок для підвищення прозорості, відстежуваності та безпеки переміщення товарів. Наприклад, українська компанія «Нова Пошта» застосовує блокчейн-системи для відстеження посилок та забезпечення надійності транзакцій.

Доповнена реальність все частіше використовується в навігаційних системах, щоб надавати водіям та пішоходам інформацію в режимі реального часу про їхнє оточення, маршрути та потенційні небезпеки. Шанхайський метрополітен, одна з найзавантаженіших транспортних систем світу,

використовує технологію доповненої реальності, щоб допомогти пасажирам орієнтуватися в його складній мережі, накладаючи цифрову інформацію на реальне середовище (Хоптон С., 2024).

Кібербезпека стала життєво важливим компонентом сучасних транспортних систем, оскільки вона захищає дані, канали зв'язку та інформацію про пасажирів від кіберзагроз. Надійні механізми цифрового захисту є важливими для запобігання несанкціонованому доступу та зловживанню конфіденційною інформацією.

Безпілотні технології, такі як дрони, використовуються для моніторингу дорожнього руху, інспекції інфраструктури та доставки посилок. Ці пристрої пропонують новий погляд на управління транспортними процесами та підвищують ефективність контрольних та логістичних операцій.

Цифрові двійники зараз використовуються в плануванні інфраструктури, дозволяючи інженерам створювати віртуальні моделі транспортних систем для моделювання, оптимізації та модернізації перед впровадженням фізичних змін.

Впровадження технології 5G [5] забезпечує високошвидкісний зв'язок з низькою затримкою між транспортними засобами та інфраструктурою, що дозволяє обмін даними в режимі реального часу та підвищує надійність мережі. У Барселоні 5G вже використовується для покращення управління громадським транспортом, моніторингу наявності паркувальних місць та оптимізації транспортних потоків.

Загалом, роль цифрових технологій у транспортному секторі є одночасно трансформаційною та складною. З одного боку, їхня інтеграція підвищує ефективність, безпеку та екологічну стійкість, допомагаючи зменшити затори, покращити якість послуг та мінімізувати екологічний слід транспортних мереж. Пасажири отримують вигоду від таких інновацій, як оновлення в режимі реального часу, мобільні додатки та безконтактні платежі, що роблять подорожі зручнішими та доступнішими. Крім того, системи, що базуються на даних,

дозволяють транспортним операторам краще передбачати та задовольняти потреби користувачів, що змінюються. З іншого боку, цифровізація транспорту також створює нові виклики, включаючи ризики кібербезпеки, проблеми конфіденційності даних, потенційні втрати робочих місць через автоматизацію та нерівний доступ до цифрових інструментів серед різних соціальних груп.

1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто теоретичні засади впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у сфері інтелектуальних транспортних систем. Проаналізовано поняття та структуру ІТС, їхній функціональний склад та ключові технології, що забезпечують збір, передачу та обробку даних у режимі реального часу. Визначено, що сучасні ІТС базуються на інтеграції сенсорних систем, аналітики Big Data, штучного інтелекту, технологій V2X та автоматизованих систем керування транспортними потоками.

Розглянуто роль ІКТ у підвищенні ефективності транспортної інфраструктури, забезпеченні безпеки дорожнього руху, зменшенні заторів, оптимізації маршрутів та мінімізації негативного впливу транспорту на довкілля. Особливу увагу приділено нормативно-правовій базі ЄС, яка формує стандартизоване середовище для розвитку ІТС. Зокрема, проаналізовано положення Директиви 2010/40/ЄС і стандарти ISO 21217, що визначають архітектуру та вимоги до телекомунікаційної інфраструктури транспортних систем.

Узагальнення міжнародного досвіду показало, що цифровізація транспорту є глобальною тенденцією, а країни з розвиненими ІТС досягають суттєвих результатів у зменшенні аварійності, прискоренні перевезень, підвищенні мобільності населення та ефективності міської логістики. Це

підкреслює важливість адаптації міжнародних стандартів та впровадження передових ІКТ у транспортну систему України.

2. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕГЛАМЕНТІВ І СТАНДАРТІВ ЄС В УКРАЇНІ РОЛЬ СТАНДАРТУ ISO 21217

2.1 Поточний стан транспортної інфраструктури України

Сектор міжнародних автомобільних вантажних перевезень України відіграє важливу роль у забезпеченні вільного руху товарів між Україною та її зовнішніми партнерами, зокрема країнами Європейського Союзу (ЄС), та сприяє розвитку торгівлі та економічному зростанню держави. У грудні 2024 року Кабінет Міністрів України схвалив Національну транспортну стратегію України [1] на період до 2030 року та затвердив операційний план заходів щодо її реалізації на 2025–2027 роки. Стратегія визначає такі чотири основні цілі:

- Відновлення та розвиток конкурентоспроможної та ефективної транспортної системи, інтегрованої в трансєвропейську транспортну мережу, відповідно до політики та стандартів ЄС.
- Забезпечення високоякісних пасажирських перевезень та безперебійної мобільності.
- Безпечний, орієнтований на людину, екологічно чистий та енергоефективний транспорт з акцентом на декарбонізацію.
- Досягнення інституційного потенціалу, розвиток людського капіталу та забезпечення ефективного управління в транспортному секторі.

Для кожної мети детально описано проблеми, сформульовано завдання та зазначено очікувані результати. Перевагами транспортної інфраструктури України є зручне географічне розташування країни: Україна розташована між Європейським Союзом, Азією та Чорним морем, що робить її важливим транзитним пунктом. Розгалужена мережа доріг, особливо автомагістралей, що з'єднують великі міста та кордони. Досвідчені перевізники: наявність компаній з досвідом міжнародних перевезень та кваліфікованих водіїв. Конкурентна

вартість послуг: відносно низькі витрати на заробітну плату водіїв та експлуатацію транспорту. Доступ до європейських ринків: спрощення митного контролю в рамках Угоди про асоціацію з ЄС [1].

Значна частина доріг знаходиться в поганому стані, що збільшує вартість утримання транспорту. Дефіцит кваліфікованих водіїв: часткова еміграція водіїв до країн ЄС через вищу заробітну плату. Бюрократія: труднощі з оформленням документів та отриманням дозволів на міжнародні перевезення. Технічний стан автопарку: велика частка застарілих транспортних засобів, які не відповідають екологічним стандартам ЄС (наприклад, Євро-6). Низький рівень цифровізації: недостатня інтеграція сучасних ІТ-рішень для логістики та відстеження перевезень. Корупція.

Розширення співпраці з ЄС: розвиток коридорів TEN-T [1] та покращення прикордонної інфраструктури надає можливості розвитку транспортної інфраструктури України. Інвестування в модернізацію: залучення фінансування для ремонту доріг та оновлення автопарку. Зростання попиту на перевезення: збільшення торгівлі між Україною та ЄС, Азією та Туреччиною. Інтеграція з новими ринками: вихід на ринки Центральної Азії, Кавказу та Близького Сходу. Впровадження інновацій: використання альтернативних видів палива (електромобілі, водень) та технологій автоматизації перевезень.

Розглянемо детальніше сильні сторони сектору міжнародних вантажних автомобільних перевезень в Україні.

Стратегічно вигідне географічне розташування країни. Україна може виступати ключовим транзитним коридором для міжнародних вантажних перевезень, оскільки розташована на перетині основних транспортних шляхів між ЄС, Азією та Чорним морем. Транзитний потенціал України є досить великим, оскільки через її територію проходять чотири мультимодальні європейські транспортні коридори загальною протяжністю 3335 кілометрів: Північне море – Балтійське, Балтійське море – Чорне море – Егейське,

Середземне, Рейн – Дунай . Це забезпечує ефективне сполучення між ЄС та Азією. За оцінками британського Інституту Рендалла, Україна має найвищий транзитний рейтинг у Європі (3,75 у 2018 році), що свідчить про її значний потенціал у сфері транзитних перевезень[1] .

Слід також зазначити, що Україна має спільні сухопутні кордони з чотирма країнами ЄС (Польщею, Румунією, Словаччиною, Угорщиною), що сприяє розвитку транскордонного співробітництва та інтеграції до європейської транспортної мережі. Таким чином, вигідне географічне розташування України створює значні можливості для розвитку транзитного потенціалу та інтеграції до міжнародних транспортних мереж.

Україна має розгалужену мережу автомобільних доріг, яка забезпечує сполучення між великими містами та державними кордонами. Національна мережа автомобільних доріг загального користування становить 166,3 тис. км, з яких 47,7 тис. км – це автомагістралі державного значення та 118,6 тис. км – автомагістралі місцевого значення .Україна має значний потенціал у сфері міжнародних автомобільних перевезень завдяки наявності досвідчених перевізників та кваліфікованих водіїв. Багато українських транспортних компаній успішно здійснюють міжнародні перевезення, забезпечуючи високу якість послуг та дотримання міжнародних стандартів.В Україні діє система підготовки водіїв для міжнародних перевезень, яка включає навчання, сертифікацію та регулярні медичні огляди. Згідно з українським законодавством, водії, які здійснюють міжнародні перевезення, повинні проходити передрейсові та післярейсові медичні огляди,що забезпечує безпеку дорожнього руху.

Вартість заробітної плати водіїв в Україні нижча, ніж у багатьох європейських країнах. Це пов'язано з економічними умовами та рівнем середньої заробітної плати в країні.Експлуатаційні витрати на транспорт в Україні включають витрати на паливо, технічне обслуговування, амортизацію

та інші супутні витрати. Витрати на утримання, обслуговування та експлуатацію автомобільного транспорту складають значну частину загальних витрат підприємств, але залишаються конкурентоспроможними на міжнародному ринку. Значна частина конкурентних переваг у транспортній галузі, як і в інших секторах економіки, була здобута Україною завдяки дешевій робочій силі.

Угода про асоціацію між Україною та ЄС, підписана у 2014 році [1], стала важливим кроком до інтеграції України до Європейського економічного простору. Одним з ключових аспектів цієї угоди є спрощення митних процедур, що значно полегшує доступ українських товарів до ринків ЄС. Очікується, що Україна запровадить інститут уповноважених економічних операторів та приєднається до спільної транзитної системи ЄС (Нова комп'ютеризована транзитна система – NCTS) [1]. Ці заходи спрямовані на зменшення кількості митних процедур, скорочення часу митного контролю та зменшення витрат для підприємств під час здійснення міжнародних торговельних операцій.

Інститут уповноважених економічних операторів дозволяє надійним компаніям отримати спрощений доступ до митних процедур. Це підвищує конкурентоспроможність українських підприємств на зовнішніх ринках, забезпечує прозорість та передбачуваність процедур, а також економить ресурси. Участь України у спільній транзитній системі ЄС (NCTS) створює переваги, зокрема швидше та дешевше переміщення товарів для експортерів, перевізників та імпортерів. Вона також усуває необхідність декларувати експортні товари на кордоні ЄС, що спрощує процес торгівлі.

Далі ми розглянемо слабкі сторони сектору міжнародних автомобільних вантажних перевезень в Україні. Стан доріг в Україні є критичним фактором, що впливає на ефективність перевезень та загальний економічний розвиток країни. Значна частина доріг знаходиться в незадовільному стані, що призводить до збільшення витрат на утримання транспорту та негативно

впливає на безпеку дорожнього руху. Дорожня мережа України характеризується високим ступенем зносу та недостатнім фінансуванням їхнього утримання та ремонту. Це призводить до погіршення транспортно-експлуатаційних показників доріг та збільшення рівня аварійності. Дефіцит кваліфікованих водіїв у сфері міжнародних перевезень є актуальною проблемою, яка впливає на ефективність логістичних процесів та розвиток транспортної галузі. Однією з ключових причин цього дефіциту є часткова еміграція водіїв до країн ЄС. Можна виділити такі фактори міграції водіїв до ЄС:

- економічні: розрив у заробітній платі між країнами ЄС та Східної Європи може сягати від 30 до 70%. Для водіїв це означає можливість заробляти більше за той самий обсяг роботи. Наприклад, середній дохід водія в Польщі коштує близько 1500 євро на місяць, тоді як у Німеччині він сягає 2500–3000 євро;

- соціальні: кращі соціальні гарантії, зокрема медичне страхування, пенсійні виплати та законодавчий захист прав працівників, є додатковими стимулами для трудової міграції;

- умови праці: роботодавці в країнах Західної Європи забезпечують водіїв новими автопарками, регулярним навчанням з техніки безпеки та додатковими бонусами за додаткові години роботи, що забезпечує якість роботи.

Така міграція призводить до зменшення внутрішнього ринку праці: дефіцит водіїв може сприяти розвитку місцевої транспортної інфраструктури, оскільки низка транспортних компаній змушена підвищувати тарифи або зменшувати обсяги перевезень. Також відтік працездатного населення призводить до зменшення податкової бази, що впливає на фінансування соціальних програм та стабільність бюджету.

Бюрократичні перешкоди є одним з ключових факторів, що ускладнюють роботу транспортних компаній та водіїв у сфері міжнародних перевезень.

Незважаючи на зусилля регуляторних органів щодо спрощення процедур, багато аспектів залишаються надто складними, що впливає на ефективність та результативність перевезень.

Можна виділити такі основні бюрократичні труднощі:

1) отримання дозволів на перевезення: отримання дозволів на міжнародні перевезення часто супроводжується значними витратами часу та ресурсів. У країнах, що не входять до ЄС, це питання ще більше ускладнюється необхідністю додаткових документів, таких як транзитні дозволи або сертифікати відповідності;

2) дотримання митних процедур: митні процедури часто непередбачувані. Це пов'язано з різними підходами до оформлення товарів, необхідністю багаторазових перевірок документів та можливими затримками на митних пунктах;

3) відсутність єдиних стандартів: країни мають власні стандарти технічного стану транспортних засобів, систем оподаткування та страхування. Це змушує компанії адаптуватися до різних вимог, що створює додаткове навантаження на адміністративний персонал.

Проблема технічного стану автопарку є однією з найважливіших для міжнародних перевезень. Значна частка застарілих транспортних засобів, які не відповідають сучасним екологічним стандартам, таким як Євро-6, суттєво обмежує можливості компаній працювати на європейських ринках. Це створює не лише економічні, а й екологічні проблеми, які потребують комплексного вирішення.

У сучасному світі цифрові технології відіграють ключову роль у підвищенні ефективності логістичних та транспортних послуг. Однак в Україні рівень цифровізації транспортної галузі залишається недостатнім, що обмежує конкурентоспроможність на міжнародному ринку перевезень. Низька інтеграція ІТ-рішень призводить до зниження продуктивності, ускладнення управління

перевезеннями та збільшення витрат.

Виділяємо такі причини низького рівня цифровізації:

1) недостатнє фінансування: значна частина українських транспортних компаній не має достатніх фінансових ресурсів для впровадження сучасних ІТ-рішень. Це включає витрати на програмне забезпечення, обладнання та навчання персоналу;

2) відсутність стимулів для модернізації: держава недостатньо стимулює розвиток цифрових технологій у логістичному секторі. Зокрема, бракує податкових пільг або державних грантів на впровадження інноваційних рішень;

3) брак кваліфікованого персоналу: багато компаній стикаються з проблемою пошуку спеціалістів, які володіють сучасними технологіями для управління логістичними та транспортними процесами;

4) опір змінам: багато компаній, особливо малий та середній бізнес, мають традиційний підхід до роботи. Це пов'язано з небажанням ризикувати та інвестувати в нові технології, побоюючись значних витрат та невизначених результатів. Все це призводить до зниження ефективності управління перевезеннями, зростання витрат, втрати конкурентоспроможності, а також недостатньої прозорості логістичних процесів.

Корупція є одним з найбільших бар'єрів для розвитку міжнародних автомобільних перевезень в Україні. Вона створює нерівні умови для учасників ринку, збільшує витрати компаній, знижує інвестиційну привабливість галузі та перешкоджає інтеграції України в європейську логістичну систему.

Інтеграція України в європейський транспортний простір є важливим аспектом розвитку міжнародного транспорту. У рамках співпраці з ЄС особлива увага приділяється розвитку транспортної мережі TEN-T (Трансєвропейська транспортна мережа) [1], коридори та покращення прикордонної інфраструктури. Ці заходи сприяють не лише покращенню логістичних можливостей країни, але й підвищенню її економічного та геополітичного

значення. Коридори TEN-T – це ключові маршрути, що забезпечують зв'язок між основними транспортними вузлами ЄС та сусідніми країнами. Україна є частиною розширеної мережі TEN-T, яка передбачає розвиток інфраструктури для сприяння швидким, безпечним та екологічно чистим перевезенням. Модернізація автомобільних та залізничних шляхів у рамках TEN-T дозволяє значно скоротити час перевезень вантажів та знизити транспортні витрати. Це особливо важливо для інтеграції України у світові ланцюги поставок. Розвиток транспортних коридорів робить українські компанії більш конкурентоспроможними на європейському ринку, оскільки доступ до основних ринків ЄС забезпечується завдяки швидким та ефективним маршрутам. Розширення участі України в TEN-T створює привабливі умови для іноземних інвесторів, які готові інвестувати в модернізацію інфраструктури. Інвестиції сприяють економічному зростанню та створенню нових робочих місць. Участь України в TEN-T також призведе до покращення прикордонної інфраструктури, що скоротить час перетину кордону та покращить умови для водіїв і транспортних компаній.

Інвестиції в модернізацію транспортної інфраструктури та оновлення автопарку є ключовими факторами для забезпечення сталого економічного розвитку України. Розвинена транспортна система сприяє підвищенню конкурентоспроможності національної економіки та покращенню якості життя населення.

Україна має вигідне географічне розташування на перетині основних транзитних шляхів між Європою та Азією, що створює передумови для збільшення обсягів транзиту вантажів.

Однак, сучасний стан транспортної галузі не відповідає зростаючим потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг. Існуюча структура управління транспортно-дорожнім комплексом, стан виробничо-технічної бази та технологічний рівень організації перевезень

потребують реформування та модернізації .

Зростання торгівлі між Україною та ЄС, Азією та Туреччиною сприятиме збільшенню попиту на перевезення, що вимагає розвитку відповідної інфраструктури та логістичних рішень. Слід зазначити, що у першому півріччі 2023 року було зафіксовано зниження вартості експорту до ЄС на 10%, що пов'язано з проблемами з транзитом сільськогосподарської продукції та заборонаю на імпорт зернових та олійних культур окремими державами-членами ЄС .Азіатські країни посідають третє місце за питомою вагою у зовнішньоторговельному обороті України після країн ЄСП та ЄС [1]. У торгівлі з країнами ЄСП та ЄС Україна має негативне сальдо, тоді як у торгівлі з країнами Азії воно позитивне. У 2021 році двосторонній товарообіг між Україною та Туреччиною досяг понад 7,4 млрд доларів США, що становило 5,3% зовнішньоторговельного обороту України. Торговельний оборот між раїнами зріс на 52,5% порівняно з 2020 роком, демонструючи тенденцію до зростання після спаду у 2014–2016 та 2020 роках .

Зростання торговельного обороту з цими регіонами підвищує попит на перевезення,особливо мультимодальні, що поєднують різні види транспорту.Інтеграція українського автомобільного транспорту з ринками Центральної Азії, Кавказу та Близького Сходу є стратегічно важливим напрямком розвитку національного транспортна система. Розширення співпраці з цими регіонами сприятиме диверсифікації торговельних шляхів, підвищенню економічної стабільності та зміцненню геополітичних позицій України.

Ринки Центральної Азії, Кавказу та Близького Сходу характеризуються швидким економічним зростанням та зростанням попиту на якісні транспортні послуги. Інтеграція з цими регіонами відкриває для України можливості для збільшення експорту та імпорту, а також транзитних перевезень.

Для ефективної інтеграції необхідно розвивати міжнародні транспортні коридори, що з'єднують Україну із зазначеними регіонами.

Військові дії в Україні спричинили значні руйнування інфраструктури та ускладнення логістичних процесів, що суттєво вплинуло на економіку країни. Повномасштабне вторгнення призвело до руйнування та пошкодження транспортних магістралей, мостів, залізниць та логістичних складів. Логістична галузь в Україні зазнала швидких негативних змін через порушення логістичних ланцюгів та руйнування інфраструктури. Зруйнована інфраструктура, заблоковані порти та постійні загрози безпеці стали новими реаліями для бізнесу. Війна суттєво змінила функціонування логістичних процесів у країні, створюючи численні виклики для перевізників та експедиторів. Зростання конкуренції з боку перевізників із сусідніх країн, таких як Польща, Угорщина та Туреччина, чинить значний тиск на українських транспортних операторів. Це явище зумовлене низкою факторів, включаючи географічне розташування, економічні умови та інтеграційні процеси в регіоні. Польські та угорські перевізники, як члени ЄС, мають доступ до єдиного ринку та користуються спрощеними митними процедурами, що дозволяє їм пропонувати більш конкурентні тарифи та швидші терміни доставки. Це створює додаткові виклики для українських компаній, які змушені адаптуватися до жорсткішої конкуренції.

2.2 Аналіз нормативно-правових актів України у сфері ІТС

Нормативно-правова база України щодо інтелектуальних транспортних систем (ІТС) розробляється в рамках Національної транспортної стратегії до 2030 [1] року, метою якої є узгодження зі стандартами Європейського Союзу та інтеграція з Трансєвропейською транспортною мережею (TEN-T). Ключові ініціативи включають впровадження цифрової системи DREAM, прийняття законів ЄС про доступ до ринку автомобільного транспорту до 2026 року, покращення контролю ваги та габаритів транспортних засобів, а також

впровадження змінних обмежень швидкості та систем моніторингу дорожнього руху. Уряд також вирішує проблему фрагментації чинної правової бази, щоб створити більш систематичний та ефективний підхід до впровадження ІТС та економічної безпеки в транспортному секторі.

Стратегічне узгодження та інтеграція з ЄС [3]. Гармонізація зі стандартами ЄС: Національна транспортна стратегія надає пріоритет узгодженню законодавства України із законодавством Європейського Союзу, що має вирішальне значення для інтеграції з мережею TEN-T. Правова гармонізація: Україна планує прийняти приблизно 400 правових актів ЄС, деякі з яких вимагатимуть нових законів, а інші будуть впроваджені через накази міністерств.

Доступ до ринку: До 2026 року уряд має на меті прийняти закони ЄС щодо доступу до ринку автомобільного транспорту, щоб забезпечити чесну конкуренцію та соціальні гарантії для водіїв. Ключові регуляторні та впроваджувальні ініціативи. Цифрові системи: Цифрова система DREAM була впроваджена для підтримки принципу «відбудувати краще» у післявоєнній відбудові. Інші цифрові ініціативи включають сучасні платіжні та навігаційні системи для громадського транспорту та мобільні додатки для відстеження в режимі реального часу.

Контроль ваги та габаритів: Посилюються правила, щоб запобігти перевантаженню транспортних засобів перевізниками. Плани включають збільшення кількості комплексів для контролю ваги в русі з 34 до 112 одиниць у короткостроковій перспективі.

Змінні обмеження швидкості та управління дорожнім рухом: Стратегія включає впровадження знаків зі змінною швидкістю, контрольованих центральною системою, яка регулює швидкість на основі даних у режимі реального часу з датчиків, камер відеоспостереження та умов навколишнього середовища. Пасажирські перевезення: Стратегія спрямована на створення

конкурентного ринку пасажирських перевезень зі зниженням корупції та покращеним контролем якості послуг з будівництва та обслуговування доріг.

Децентралізація:[3] Спостерігається зсув у бік децентралізації управління дорогами до регіональних органів влади, які потім несуть більшу відповідальність за стан доріг. Законодавча фрагментація: Поточна регуляторна та правова база для економічної безпеки транспорту є фрагментованою та застарілою, що вимагає комплексної реформи. Потреба в системному підході: Поточна система не має комплексного підходу, що призводить до невідповідностей між різними державними органами та неефективного використання ресурсів. Модернізація: Необхідно перейти від радянського мислення до орієнтованого на людину підходу, який надає пріоритет інклюзивності та комфорту для всіх громадян, включаючи людей з обмеженою мобільністю. Майбутні дослідження: Необхідні дослідження для розробки комплексної концепції правового регулювання, аналізу механізмів адаптації до європейських стандартів та дослідження правових аспектів цифровізації транспорту та кібербезпеки.

2.3 Порівняльна характеристика українських та європейських стандартів у сфері ІКТ і транспорту

Принципи функціонування телекомунікаційної сфери передбачають: забезпечення споживачам доступу до загальнодоступних телекомунікаційних сервісів, необхідних як для задоволення особистих потреб, так і для участі у суспільних, політичних та економічних процесах; гарантування взаємної сумісності та інтегрованості телекомунікаційних мереж, що дозволяє користувачам різних систем вільно спілкуватися між собою; підтримання стабільної роботи телекомунікаційної інфраструктури та управління нею з урахуванням технічних особливостей відповідно до єдиних стандартів і норм;

державне стимулювання розвитку національного виробництва телекомунікаційного обладнання; створення умов для розвитку конкуренції на користь споживача; розширення спектра та обсягів телекомунікаційних послуг і сприяння створенню нових робочих місць; упровадження світових технологічних напрацювань у галузі, а також залучення внутрішніх і зовнішніх інвестицій, сучасних технологій та управлінських рішень; підтримка міжнародної кооперації та розвитку глобальних телекомунікаційних систем; відкритість інформації для споживачів щодо процедур отримання послуг та їхньої якості; прозорість регуляторної діяльності; формування сприятливих умов для розвитку телекомунікаційного ринку з урахуванням технологічних і ринкових особливостей.

Основні напрями модернізації мереж загального користування визначені Концепцією розвитку телекомунікацій України. Кабінет Міністрів,[1] відповідні органи виконавчої влади та регуляторні структури забезпечують реалізацію цієї Концепції шляхом проведення тарифної політики, розвитку конкурентного середовища й формування позитивного інвестиційного клімату.

Правові засади діяльності операторів і провайдерів включають: рівноправний доступ усіх учасників ринку до діяльності у сфері телекомунікацій; пріоритет інтересів користувачів; розвиток конкуренції між суб'єктами різних форм власності; запобігання дискримінаційним діям з боку монопольних учасників ринку.

Обов'язки телекомунікаційних операторів охоплюють: роботу на основі відповідних ліцензій; забезпечення вільного виклику екстрених служб; надання послуг відповідно до встановлених критеріїв якості; інформування користувачів щодо умов договору та характеристик послуг; ведення достовірного обліку сервісів; правильне застосування тарифів; збереження відомостей про надані послуги протягом строків, визначених законом; надання необхідної інформації у встановленому порядку; дотримання чесної конкуренції; першочергове

обслуговування силових та спеціальних державних структур; забезпечення готовності мереж до функціонування в умовах надзвичайних ситуацій та особливих періодів; надання даних для мобілізаційного планування; ведення документації, передбаченої законодавством; надання звітності регуляторним органам; завчасне інформування про зміну тарифів; використання номерного ресурсу в строки, визначені регулятором; повідомлення споживачів про можливі обмеження у наданні послуг; запобігання несанкціонованому доступу до мереж та інформації.

Ліцензування [5] у сфері телекомунікацій базується на принципах відкритості, прозорості й недискримінаційності, сприяє ефективному розвитку ринку шляхом урівноваження інтересів держави й бізнесу, гарантує рівність учасників, раціональне використання обмежених ресурсів, підтримує впровадження нових технологій та залучення інвестицій. Ліцензування не повинно застосовуватись як інструмент обмеження конкуренції.

Висновки. Огляд національної нормативної бази у сфері телекомунікацій демонструє високий рівень її узгодженості з правом ЄС та основними положеннями *acquis*. Водночас окремі норми, зокрема частина друга статті 6 Закону України «Про телекомунікації»[1], не повністю відповідають вимогам Директиви Комісії 2002/77/ЄС[6], яка передбачає, що будь-який суб'єкт господарювання має право надавати електронні комунікаційні послуги або будувати й експлуатувати електронні комунікаційні мережі, причому держави-члени не повинні встановлювати чи зберігати обмеження щодо таких видів діяльності чи щодо інфраструктури, яка може належати третіми сторонам. Стандарти є невід'ємним елементом будь-якої діяльності людини та настільки глибоко інтегровані в повсякденні процеси, що більшість користувачів навіть не усвідомлює їхнього значення. Їх роль полягає у встановленні спільних технічних підходів, норм і процедур, завдяки чому забезпечується сумісність систем, оптимізація витрат та ефективне використання технологій. Окрім цього,

стандарти сприяють виходу нових продуктів на ринок і формують основу для появи інноваційних секторів, включаючи інтелектуальні транспортні системи (ІТС).

Оскільки розробка стандартів відбувається на основі досягнення консенсусу між залученими сторонами, цей процес потребує значного часу. В умовах стрімкого технологічного прогресу виникає потреба у прискореній стандартизації. Традиційні стандарти надалі залишаються важливими в таких сферах, як будівництво чи машинобудування, проте для динамічних галузей – інформаційних, телекомунікаційних та транспортних технологій – формується необхідність у нових гнучких підходах. Особливої актуальності це набуває у випадку новітніх технологій, таких як нанотехнології, біотехнології та ІТС, де стандартизація має сприяти переходу від наукових розробок до практичних рішень.

У країнах ЄС стандартизацію розглядають як стратегічний елемент економічного розвитку. Вона є фундаментом для конкурентоспроможності, інноваційності, зменшення бар'єрів у торгівлі, забезпечення екологічної безпеки та підвищення ефективності державних закупівель. У поєднанні з вимогами щодо охорони здоров'я, праці та довкілля, стандарти виконують також функцію підтримки ефективного державного регулювання.

Члени Євросоюзу зобов'язані підтримувати систему стандартизації, яка відповідає Європейській політиці у цій сфері. Вихід за межі таких вимог може викликати негативну реакцію інших країн-учасниць. Частина цих нормативних обов'язків закріплена у правових актах ЄС, включаючи Директиву 98/34/ЄС[6] щодо інформування стосовно технічних стандартів і правил.

На міжнародній арені питання усунення технічних бар'єрів вирішується через діяльність ISO та ІЕС, а також шляхом механізмів СОТ. Організація економічного співробітництва та розвитку також бере участь у формуванні підходів до стандартизації.

З метою задоволення потреб ринку інформаційно-телекомунікаційних технологій, у Європі створено CEN/ISSS [6]– структуру, що розробляє стандарти у сфері інформаційного суспільства. Паралельно CENELEC[6] здійснює координацію електротехнічної стандартизації, а ETSI відповідає за стандарти у телекомунікаціях та цифровому мовленні, охоплюючи значну кількість зацікавлених сторін. Спільно ці інституції формують нормативну основу, що впливає на розвиток сучасних транспортних технологій, включно з ІТС, які залежать від телекомунікаційних та інформаційних стандартів.

Директива 98/34/ЄС встановлює процедуру повідомлення щодо запровадження або модернізації технічних регламентів, завдяки чому унеможливорюється створення нових бар'єрів у торгівлі та забезпечується прозорість. Повідомлення здійснюється національними органами стандартизації, які зобов'язані інформувати європейські структури про будь-які зміни у сфері стандартів.

Держави-члени ЄС також працюють над удосконаленням системи оцінки відповідності, що сприяє взаємному визнанню сертифікації. Зокрема, широко впроваджено стандарти серії ISO 9000 (модель EN ISO 9001:2000) та EN ISO/IEC [4] 17000, що регулюють діяльність лабораторій, органів сертифікації та інспекції.

У контексті використання радіочастот, важливе значення має політика радіоспектра. Рішення Європарламенту № 676/2002/ЄС [6] визначає правові механізми управління спектром із урахуванням технічних, соціальних, економічних та безпекових факторів. Радіочастотний ресурс важливий і для ІТС, оскільки бездротові комунікації є основою таких функцій, як V2X-взаємодія, системи управління рухом та інтелектуальна інфраструктура.

Національні регулятори мають право видавати декларації про відповідність, визначати умови використання радіочастот та накладати технічні вимоги, спрямовані на запобігання перешкодам. Крім того, регуляторні органи

ЄС запровадили комплекс заходів щодо захисту персональних даних та конфіденційності у сфері електронних комунікацій. Ці вимоги значною мірою впливають на системи обробки даних, які використовуються в ІТС, зокрема у телематичних сервісах і транспортній аналітиці.

Директива 1999/5/ЄС[4] встановлює нормативні правила щодо введення в обіг радіообладнання та телекомунікаційного термінального обладнання. Вона визначає базові поняття, вимоги до конструкції, електромагнітної сумісності, захисту персональних даних, доступності та безпеки. Обладнання, що відповідає європейським вимогам, маркується знаком СЕ. Держави-члени мають право усувати з ринку продукцію, яка не відповідає нормативам.

Якщо технічні стандарти або їх відсутність перешкоджають досягненню гармонізації, Європейська Комісія може зробити їх обов'язковими. Стандарти можуть скасовуватись, якщо вони застаріли або гальмують розвиток технологій.

Система стандартизації ЄС, діяльність міжнародних організацій, норми щодо радіочастот, безпеки, конфіденційності, технічної сумісності та оцінки відповідності формують широку нормативну платформу, яка є ключовою для розвитку інтелектуальних транспортних систем. Оскільки ІТС інтегрують телекомунікаційні, інформаційні, навігаційні та транспортні технології, відповідність таким стандартам є необхідною умовою їх ефективного функціонування, взаємодії та безпеки в єдиному європейському просторі.

Аналіз чинної нормативної бази України, що регулює технічні стандарти у сфері комунікацій, показує, що її узгодженість із законодавством Європейського Союзу залишається частковою. Попри наявність низки позитивних елементів, окремі положення національного законодавства все ще не відповідають вимогам *acquis* ЄС або враховують їх лише частково. Зокрема можна виділити такі розбіжності:

1. У статті 2 Закону України «Про радіочастотний ресурс України» № 1770-III (від 1 червня 2000 року) відсутні положення, передбачені підпунктом а)

пункту 2 статті 1 Рішення № 676/2002/ЕС Європейського Парламенту та Ради (7 березня 2002 року), яке формує засади радіочастотної політики в ЄС. Мова йде про аспекти, пов'язані із захистом здоров'я населення, які в українському законі не відображені.

2. Визначення терміна «радіозавади», наведене в статті 1 того ж Закону № 1770-III, істотно звужує зміст поняття у порівнянні з категорією «неприпустима перешкода», сформульованою у пункті (i) статті 2 Директиви 1999/5/ЄС. Український підхід охоплює лише електромагнітні випромінювання, що ускладнюють приймання сигналу, тоді як європейський стандарт передбачає ширше трактування впливів, здатних завдати шкоди або погіршити функціонування обладнання.

3. Частина третя статті 65 Закону України «Про телекомунікації» № 1280-IV (від 18 листопада 2003 року) не враховує норми пункту 5 статті 7 Директиви 1999/5/ЄС щодо можливості негайного відключення обладнання у разі загрози мережі. Європейське законодавство допускає оперативне відключення пристрою оператором та вимагає забезпечення користувачу безкоштовної та негайної альтернативи — ці положення наразі не відображені у вітчизняному праві.

4. Стаття 6 Закону України «Про підтвердження відповідності» № 2406-III (від 17 травня 2001 року) також не відповідає вимогам пункту 1 статті 9 Директиви 1999/5/ЄС, яка регламентує механізми вилучення, обмеження або заборони використання обладнання, що не відповідає технічним нормам. Українське законодавство не повною мірою охоплює ці процедури.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено аналіз сучасного стану транспортної інфраструктури України та визначено ключові проблеми, що стримують

імплементацію регламентів і стандартів ЄС у сфері ІТС. Розглянуто сильні сторони галузі — вигідне географічне розташування країни, розвинену мережу магістралей, наявність досвідчених перевізників і потенціал інтеграції до TEN-T. Водночас визначено критичні недоліки: незадовільний стан доріг, дефіцит кваліфікованих водіїв, застарілий автопарк, низький рівень цифровізації та значний вплив корупційних і бюрократичних бар'єрів.

Аналіз нормативно-правової бази України показав, що її розвиток орієнтується на гармонізацію з європейськими вимогами, однак законодавство залишається фрагментованим, а темпи впровадження регламентів ЄС — недостатніми. Визначено потребу в модернізації нормативів, посиленні контролю транспортних процесів, розвитку цифрових систем та узгодженні українських стандартів із міжнародними.

Загалом, результати аналізу свідчать, що попри значний потенціал, ефективне впровадження ІТС в Україні потребує комплексних реформ — оновлення інфраструктури, цифрової трансформації, посилення інституційної спроможності та системної інтеграції з європейським транспортним середовищем.

З НАПРЯМИ ТА ШЛЯХИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИХ РЕГЛАМЕНТІВ І СТАНДАРТІВ У СФЕРІ ІКТ ІТС В УКРАЇНІ

3.1 Технічні та організаційні аспекти впровадження ІКТ у транспортній інфраструктурі

При плануванні впровадження інтелектуальних транспортних систем у транспортну систему опираємося на стандарт ISO 21217[4] та інші стандарти ЄС щодо інтелектуальних транспортних систем. ISO 21217 2020 р є базовим документом, що визначає архітектуру станції інтелектуальних транспортних систем (ITS Station Architecture). Він формує концептуальну модель взаємодії компонентів у кооперативних транспортних середовищах, забезпечуючи уніфіковану структуру для інтеграції сервісів, мережових функцій, механізмів безпеки та управління ресурсами. Метою цього підрозділу є аналіз ключових змін, що з'явилися у версії стандарту 2020 року порівняно з редакцією 2014 року, з акцентом на архітектурні модифікації, сумісність, безпекові механізми та підходи до управління ресурсами.

ISO 21217 2014р окреслила фундаментальну модель ITS-станції, яка включала базові функціональні рівні, інтерфейси та принципи взаємодії між вузлами інформаційно-комунікаційної інфраструктури. Стандарт визначав відокремлені рівні доступу, мережовий та транспортний рівні, прикладний рівень, а також базові механізми міжрівневої координації. Така структура забезпечувала сумісність обладнання і сервісів різних виробників, формувала основу для інтеграції елементів дорожньої інфраструктури, транспортних засобів і центрів керування. Оновлення 2020 року суттєво розширили функціональні можливості архітектури. Зокрема, було інтегровано підтримку сучасних комунікаційних технологій, включно з мережами п'ятого покоління та масовими підключеннями IoT-пристроїв, що є критично важливим для C-ITS[6].

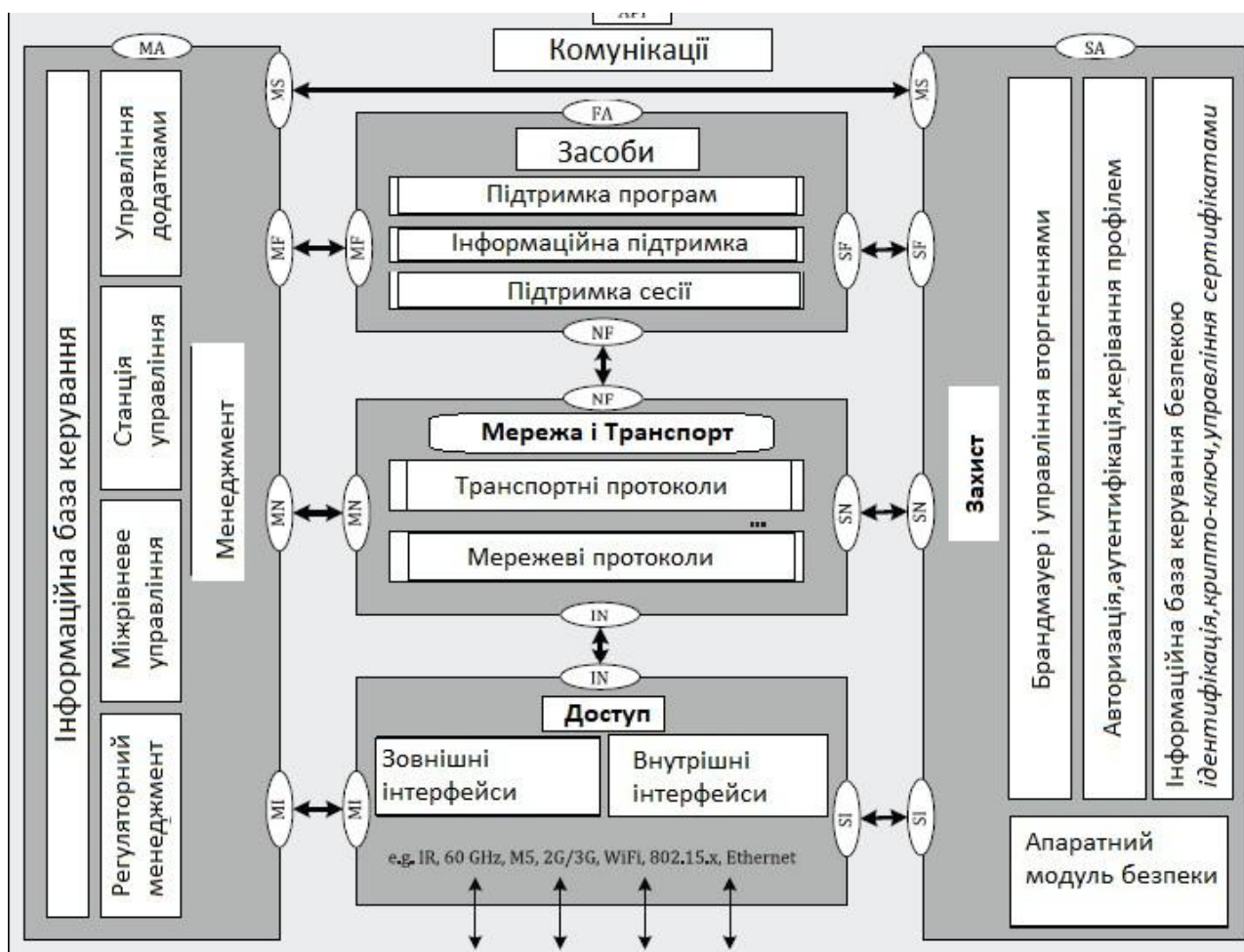


Рисунок 3.1 – Еталонна архітектура C-ITS[4]

Стандарт уточнив моделі взаємодії між стаціонарними та мобільними ITS-станціями, доповнив архітектуру можливістю використання віртуалізованих компонентів, а також облачних платформ для реалізації мережевих функцій. Такий підхід підвищує гнучкість і масштабованість інфраструктури, дозволяючи адаптувати її до зростання обсягів даних та кількості підключених об'єктів.

У контексті забезпечення сумісності редакція 2014 року пропонувала базові інтерфейси між архітектурними елементами, що давало можливість різним виробникам розробляти сумісні пристрої та програмні рішення. Версія 2020 року значно розширила ці можливості завдяки включенню механізмів інтеграції гетерогенних мережевих технологій і сервісів, а також визначенню

принципів взаємодії віртуалізованих мережесих функцій. Це забезпечує стабільну роботу транспортної інфраструктури в умовах використання різних типів каналів зв'язку, динамічного перерозподілу навантажень та взаємодії автономних мобільних систем.

Положення безпеки також зазнали суттєвого вдосконалення. Стандарт 2014 року містив базові механізми аутентифікації, шифрування та контролю доступу, що забезпечувало мінімально необхідний рівень захисту інформації. У редакції 2020 року було враховано нові моделі загроз, характерні для сучасних мережесих середовищ та IoT-сегменту. Оновлена версія включає посилені криптографічні алгоритми, механізми захисту взаємодії між віртуалізованими функціями, а також окремі вимоги до безпеки великої кількості низькопотужних пристроїв, що працюють у транспортній інфраструктурі. Зміни торкнулися й механізмів управління ресурсами. Якщо у 2014 році стандарт описував загальні принципи оптимізації використання радіоресурсів і продуктивності станції, то у 2020 році було представлено розширені методи адаптивного керування спектром, енергоспоживанням та мережесими функціями. Це дозволяє підвищити ефективність обслуговування при значному збільшенні кількості підключень, характерному для C-ITS та мереж з інтенсивним інформаційним обміном.

Узагальнюючи, оновлення ISO 21217 у 2020 році значно розширили функціональність та гнучкість архітектури ITS-станцій. Вони забезпечили підтримку нових комунікаційних технологій, сприяли підвищенню сумісності та інтероперабельності систем, посилили механізми кіберзахисту та оптимізували управління мережесими ресурсами. Усі ці зміни спрямовані на забезпечення стабільної та ефективної роботи кооперативних інтелектуальних транспортних систем у сучасних умовах швидкої цифрової трансформації транспортної галузі.

Інші активні сторони у сфері C-ITS. Також актуальним є CEN/TC 278: Електронний збір плати (EFC); дані про дорожній рух; інформація про дорожній рух та пасажирів (TTI). Оскільки мандат Європейського Союзу M/456 щодо C-ITS від 6 жовтня 2009 року [6] був прийнятий CEN/TC 278 та ETSI TC ITS, CEN та ETSI мали офіційно співпрацювати та узгоджувати свій внесок, наприклад, ETSI мав зосередитися на своєму традиційному досвіді в галузі зв'язку, а CEN — на своєму традиційному досвіді в галузі послуг та додатків. Однак, фактично, ETSI розробив специфікації даних та повідомлень, а також додатки ITS у своїй робочій групі WG1, а CEN/ISO також продовжували розробляти стандарти зв'язку.

ITU здійснює певну діяльність щодо ITS загалом. Подальші SDO, тобто вторинні SDO щодо стандартизації ITS, надають загальні специфікації, що застосовуються до C-ITS та на які посилаються у стандартах C-ITS, наприклад:

- Робоча група з інтернет-інженерії (IETF): розробка запитів на коментарі (RFC), що надають специфікації, пов'язані з Інтернет-протоколом;

- Національний інститут стандартів і технологій (NIST) Сполучених Штатів Америки: що надає Федеральні стандарти обробки інформації (FIPS) з кібербезпеки. Діяльність зі стандартизації можна згрупувати в галузі стандартизації, як представлено в CEN/TR 21186-1 [3]. Це групування значною мірою відповідає архітектурі станції ITS, визначеній у ISO 21217 та проілюстрованій на рисунку 3.2

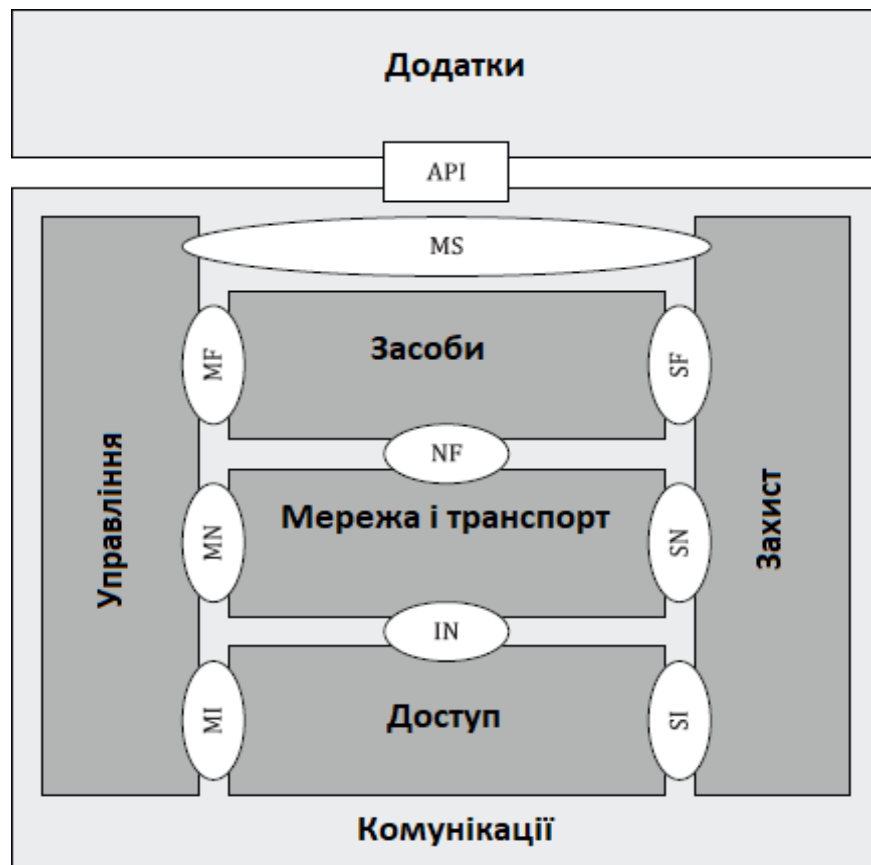


Рисунок 3.2 - Спрощенна еталонна архітектура ITS-S [4]

Наступні області стандартизації визначені та пояснені в CEN/TR 21186-1

:— A-1: Проблеми системного рівня

— A-2: Архітектура станції

— A-3: ITS-додатки, повідомлення, дані

— A-4: Керування станцією

— A-5: Безпека

— A-6: Технології рівня доступу

— A-7: Технології мережевого та транспортного рівнів

— A-8: Технології рівня об'єктів

— A-9: Стек протоколів

У кожній області стандартизації можливі предмети результатів SDO розрізняються за допомогою категорій результатів SDO;

Специфікації інтелектуальних транспортних систем здебільшого створюються для окремих сфер надання послуг, таких як громадський транспорт, безпека дорожнього руху, логістика та вантажні перевезення, реагування на надзвичайні ситуації чи електронні системи справляння плати. Для забезпечення взаємодії між системами у межах одного сервісного домену, а також для підтримки міждоменного обміну інформацією, було розроблено спеціалізовані специфікації C-ITS, орієнтовані на стандартизований інформаційний обмін між відповідними додатками. Сервіси C-ITS функціонують на основі постійної передачі даних між транспортними засобами різних категорій (легковими, вантажними, автобусами, аварійними та спеціальними автомобілями), елементами дорожньої й міської інфраструктури (світлофорними об'єктами, пунктами справляння плати за проїзд, змінними інформаційними табло тощо), центрами управління та обслуговування (центрами керування дорожнім рухом, провайдерами інформаційних і картографічних послуг), а також іншими учасниками дорожнього руху, включно з пішоходами та велосипедистами. Частина ІТС-сервісів передбачає безпосередню взаємодію транспортних засобів із навколишнім середовищем — іншими транспортними засобами, елементами інфраструктури та учасниками руху. Інші ж сервіси потребують підключення до віддалених платформ оброблення інформації, зокрема центрів керування рухом, постачальників картографічних даних, операторів сервісів, менеджерів автопарків чи виробників обладнання. З огляду на:

- значну різноманітність C-ITS-послуг із різними технічними вимогами;
- необхідність ефективного обміну інформацією, яка генерується окремими додатками, виникає потреба у поєднанні різних технологій множинного доступу та комунікаційних протоколів, що відрізняються за показниками дальності зв'язку, пропускну здатності, затримки передачі, рівня якості обслуговування та вимог до безпеки. Це дозволяє забезпечити надійну та

масштабовану взаємодію між усіма елементами кооперативного транспортного середовища.

3.2 Розроблення концепції поетапного впровадження стандартів ЄС у сфері ІТС

Сучасна транспортна політика Європейського Союзу базується на широкомасштабному впровадженні інтелектуальних транспортних систем (ІТС), що забезпечують цифровізацію, підвищення безпеки, ефективність та екологічність дорожнього руху. Оновлена Директива ЄС 2023 року, що модернізує положення Директиви 2010/40/ЄС[2], встановлює нові вимоги щодо цифрової доступності даних, сумісності сервісів, обов'язкового впровадження окремих послуг та гармонізованих стандартів для ІТС у країнах-членах Союзу. Саме ці положення формують основу для розроблення концепції поетапного впровадження стандартів ЄС у сфері ІТС в Україні, з урахуванням вимог до цифрового формату даних, архітектурної сумісності та інтеграції сервісів C-ITS.

Ключові положення Директиви ЄС 2023 року, релевантні для формування національної концепції.Пріоритетність обов'язкового надання ІТС-даних у цифровому машинозчитуваному форматі

Директива зобов'язує держави забезпечити доступність ключових видів дорожньої інформації у цифровому форматі, що дає змогу автоматизованим і кооперативним системам обробляти дані та приймати рішення у реальному часі. У документі зазначено, що обов'язкове надання певних типів даних не вимагає додаткових інвестицій у придорожнє обладнання, оскільки базова інформація вже існує у традиційних каналах: попередження про погані погодні умови, інформаційні оголошення тощо .

Важливо, що Директива передбачає поступовий і пропорційний підхід до переходу від нецифрової інформації до цифрової, враховуючи різні технічні

можливості зацікавлених сторін та великий обсяг даних. На першому етапі цифровізації охоплюється інформація, створена після визначеної дати, а на другому — усі історичні дані відповідних категорій .

Оновлення також уточнює, що кооперативні інтелектуальні транспортні системи (C-ITS) — це системи, що забезпечують обмін захищеними та довіреними повідомленнями між користувачами ІТС без попереднього знання один одного та на недискримінаційних умовах . Директива також вводить визначення сервісів C-ITS, національної точки доступу (NAP) та вимог до цифрової доступності даних, що є критично важливим для побудови відкритої та інтероперабельної архітектури.

Відповідно до документа, ефективна робота C-ITS потребує створення єдиної європейської моделі довіри, яка забезпечує автентичність, цілісність і захищеність усіх обмінюваних повідомлень між станціями C-ITS. Для цього ЄС підтримує діяльність Кореневого центру сертифікації та органу політики сертифікації C-ITS, що відповідають за управління РКІ-інфраструктурою та списками довіри ECTL .

Директива визначає обов’язок держав використовувати специфікації ЄС та гармонізовані стандарти під час розгортання програм ІТС. Також наголошується на необхідності міждержавної співпраці щодо операційних аспектів, стандартизації, якості даних, сумісності архітектур NAP і транскордонного обміну інформацією .

На першому етапі необхідно адаптувати положення Директиви ЄС до національного законодавства, включаючи:

- закріплення визначень C-ITS, NAP[7], доступності даних (як у Директиві 2023 р.) ;
- визначення обов’язкових категорій даних, що підлягають цифровізації;

- створення юридичної основи для впровадження національної точки доступу (NAP) та функціонування сервісів C-ITS.

Відповідно до документа, країни мають здійснити профілювання стандартів та підготовчу роботу для забезпечення узгоджених підходів до впровадження специфікацій, прийнятих Європейською Комісією . На цьому етапі слід:

- обрати пріоритетні стандарти CEN, ISO, ETSI для адаптації;
- сформулювати технічні профілі повідомлень;
- створити протоколи обміну даними для різних сервісів C-ITS;
- визначити формати метаданих, вимоги до якості даних і правила взаємодії з NAP.

На основі вимог Директиви цифровізації підлягає:

- статична дорожня інформація,
- динамічні дорожні події,
- інформація про безпеку,
- дані щодо інфраструктури альтернативних видів палива, відповідно до Регламенту ЄС 2023/1804[4] .

Створення NAP забезпечить єдину точку для обміну та доступу до всіх типів даних, визначених європейськими специфікаціями.

З урахуванням рекомендацій ЄС, першочергово впроваджуються сервіси:

- попередження про небезпеки,
- інформація про дорожні роботи,
- динамічні обмеження швидкості,
- інформування про погодні умови,
- інтелектуальні транспортні повідомлення.

Пілоти дозволяють оцінити ефективність, забезпечити тестування технологій у реальних дорожніх умовах, як зазначено в Директиві .

Масштабування та інтеграція з моделлю довіри C-ITS

Наступний етап передбачає:

- підключення українських C-ITS-станцій до європейської моделі довіри,
- забезпечення функцій PKI,
- інтеграцію з транскордонними послугами та інфраструктурою.

Це критично для гарантування автентичності та цілісності повідомлень між транспортними засобами й інфраструктурою в різних країнах ЄС.

Згідно з Директивою, держави повинні взаємодіяти у межах проєктів ЄС для забезпечення сумісності архітектур, метаданих і процедур, а також створювати механізми оцінки відповідності постачальників даних та сервісів ITS.

Поетапне впровадження стандартів ЄС у сфері ITS дасть змогу:

- забезпечити сумісність українських транспортних систем з європейськими;
- інтегрувати українську дорожню інфраструктуру в єдиний цифровий простір мобільності;
- підвищити рівень безпеки та ефективності транспортних процесів;
- створити передумови для розвитку автоматизованої та кооперативної мобільності міжнародного рівня.

Більшість дій згідно з Директивою 2010/40/ЄС, за винятком eCall, зосереджені на прийнятті специфікацій для забезпечення сумісності та доступності даних, які вже доступні в цифровому машинозчитуваному форматі, та на розгортанні послуг ITS, але для відповідних зацікавлених сторін ніколи не було жодних зобов'язань створювати та надавати такі дані в цьому форматі або розгортати конкретні послуги. Використання низки послуг ITS стало поширеним: наприклад, виявлення інцидентів, що дозволяє надавати інформаційні послуги щодо дорожнього руху, пов'язані з безпекою до руху; так само використання важливих даних в інших пріоритетних сферах,

визначених у цій Директиві, наприклад, правил дорожнього руху, які підтримують важливі послуги, такі як обмеження швидкості, для підтримки транспортних засобів, оснащених інтелектуальною системою допомоги у визначенні швидкості, згідно з Регламентом (ЄС) 2019/2144 Європейського Парламенту та Ради (14). Обов'язкове надання певних послуг ITS та важливих даних у машинозчитуваному форматі вважається необхідним для забезпечення як постійної доступності таких даних, так і постійного надання таких послуг по всьому Союзу. Це означає, що базова інформація, яка має бути відображена в машинозчитуваних даних, вже існує, незалежно від формату чи носія, на якому вона представлена. Наприклад, базова інформація існує лише тоді, коли компетентні органи видають попередження про несприятливі погодні умови для дорожнього руху (наприклад, по радіо або на мостовому порталі).

Ця Директива не визначає, чи потрібно створювати конкретну інформацію про дорожній рух (наприклад, створювати плани руху транспорту), а також за яких обставин слід видавати попередження, пов'язане з безпекою (наприклад, чи снігопад ініціює попередження для водіїв), або яке значення має нести правило дорожнього руху (наприклад, рівень обмеження швидкості). Все це залишається на розсуд компетентних органів, що означає, що на практиці застосовуються відмінності (наприклад, той самий снігопад може ініціювати рішення про видачу попередження для дорожнього руху в одних регіонах, але не в інших). Крім того, обов'язкове надання певних послуг ITS та важливих даних у цифровому машинозчитуваному форматі не вимагає інвестицій у придорожнє обладнання мережі для збору додаткової інформації. Типи даних та послуги, надання яких має бути обов'язковим згідно з цією Директивою, слід визначати на основі специфікацій, прийнятих Комісією шляхом делегованих актів, що доповнюють Директиву 2010/40/ЄС, зокрема Делегованих регламентів (ЄС) № 885/2013, (ЄС) № 886/2013, (ЄС) 2017/1926 та (ЄС) 2022/670[4], та відображати типи даних та послуги, встановлені в них. Специфікації, вже прийняті Комісією,

включаючи стандарти, на які в них посилаються, залишають простір для вибору щодо цифрового вмісту елемента інформації, який має бути доступним у машинозчитуваному форматі. Підготовка Підготовча робота, така як профілювання стандартів, може знадобитися для забезпечення спільного підходу до впровадження. У таких випадках робоча програма ITS повинна описувати підготовчу роботу, яку необхідно виконати, а відповідні дати надання цих типів даних та пов'язаних з ними послуг повинні враховувати цю додаткову роботу.

Необхідне перетворення з нецифрової інформації в цифровий машинозчитуваний формат вимагає поступового та пропорційного підходу, враховуючи велику кількість залучених зацікавлених сторін та їхні нерівномірні технічні можливості, а також великий обсяг інформації. Тому обов'язкове надання певних даних у цифровому машинозчитуваному форматі на першому етапі має стосуватися інформації, створеної або оновленої після певної дати початку; на другому етапі також під це зобов'язання має підпадати інформація, створена раніше. Для інших даних, щодо яких інформація швидко застаріває, може бути достатньо надання лише нової або оновленої інформації.

В інтересах забезпечення безперервності типи даних та послуги, надання яких є обов'язковим згідно з цією Директивою, повинні бути доступні в межах конкретної географічної області застосування. Ця область застосування також повинна бути визначена на основі поступового та пропорційного підходу. Щодо даних про регулювання дорожнього руху в міських вузлах, щоб забезпечити пропорційність відповідних зобов'язань, а зокрема, щоб забезпечити розумне співвідношення витрат і вигод, держави-члени повинні мати можливість обмежити охоплення певними дорогами, застосовуючи поріг потоку транспорту, визначений у цій Директиві.

В інтересах безпеки дорожнього руху державам-членам рекомендується якомога швидше зробити доступними дані через NAR[6] (наприклад, обмеження

швидкості або динамічні дані для безпечних і надійних паркувальних зон), а також для частин дорожньої мережі, які не входять до географічного охоплення, визначеного в Додатку III (наприклад, автомагістралі, що не входять до трансєвропейської дорожньої мережі).

Дослідження 2020 року «Картування доступного транспорту для осіб з обмеженою мобільністю» показує, що відсутність достатніх даних щодо функцій доступності наразі перешкоджає надійному плануванню подорожей при використанні аспектів доступності як змінних пошуку. Воно також показує, що встановлення мінімальних вимог і стандартів щодо інформації для осіб з інвалідністю та обмеженою мобільністю слід вважати надзвичайно важливим на рівні Союзу та держав-членів. Для подальшого покращення доступності транспортної системи та полегшення подорожей для людей з інвалідністю та людей з обмеженою мобільністю, мультимодальні цифрові послуги мобільності повинні мати дані про вузли доступу та їхні функції доступності у доступних форматах.

Відповідно до відповідної заяви у Стратегії сталого та розумного забезпечення мобільності, Комісії пропонується розглянути, які коригування необхідні до чинної правової бази у відповідь на нові технології електронного зв'язку та як на пункти прийому викликів громадської безпеки (PSAP) eCall впливає можливе поширення eCall на інші категорії транспортних засобів, такі як важкі вантажні автомобілі, автобуси, двоколісні транспортні засоби з двигуном та сільськогосподарські трактори. Крім того, поза рамками цієї Директиви, Комісії пропонується оцінити можливі варіанти вирішення проблеми застарілості систем eCall у транспортних засобах з обладнанням, що відповідає чинним специфікаціям eCall, після вимкнення мереж зв'язку з комутацією каналів (2G та 3G). Зростаюча інтеграція ІТС та вдосконалених систем допомоги водієві, або систем транспортних засобів та інфраструктури загалом, означає, що такі системи дедалі більше покладатимуться на

інформацію, яку вони надають одна одній. Це особливо стосується C-ITS. Така залежність зростатиме з вищим рівнем автоматизації. Очікується, що ці вищі рівні автоматизації використовуватимуть зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою безпечним способом для організації маневрів та згладжування потоків транспорту, сприяючи також більш сталому розвитку транспорту. Цей зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою повинен підтримувати надійність, точність та доступність даних. Таким чином, порушення цілісності послуг ІТС може мати серйозний вплив на безпеку дорожнього руху, наприклад, коли навмисно неправдива інформація спонукає транспортні засоби до маневрів, які наражають учасників дорожнього руху на небезпеку, і може мати побічний ефект на транспортну систему Союзу. Для забезпечення єдиних умов імплементації цієї Директиви Комісії слід надати імплементаційні повноваження в ситуаціях, коли цілісність послуг ІТС порушена, і терміново необхідне втручання на рівні Союзу для забезпечення безпечного та належного функціонування транспортної системи Союзу або безпеки дорожнього руху, для вжиття контрзаходів для усунення причин та наслідків такої ситуації. Ці контрзаходи слід вживати якомога швидше та негайно застосовувати. Проте, перед прийняттям таких контрзаходів, Комісія повинна докласти всіх можливих зусиль для консультацій з експертами держав-членів. Більше того, враховуючи, що можуть існувати плани управління надзвичайними ситуаціями на різних рівнях втручання для вирішення низки можливих системних збоїв, Комісія повинна вживати такі контрзаходи лише в надзвичайних ситуаціях, коли коригувальні заходи, вжиті компетентними національними органами, не забезпечать своєчасного та ефективного реагування. Ці повноваження слід здійснювати відповідно до Регламенту (ЄС) № 182/2011 Європейського Парламенту та Ради (15). З огляду на необхідність забезпечення безперервності транспортування, доцільно застосовувати продовження терміну дії таких контрзаходів понад шість місяців,

використовуючи можливість, передбачену статтею 8(2) Регламенту (ЄС) № 182/2011. Такі контрзаходи повинні припинитися, як тільки буде впроваджено альтернативне рішення або надзвичайна ситуація буде вирішена.

Будь-яка обробка персональних даних відповідно до цієї Директиви, така як обробка даних про місцезнаходження, коли це дозволяє прямо чи опосередковано ідентифікувати особу, повинна здійснюватися відповідно до законодавства Союзу про захист персональних даних та конфіденційності, як це викладено, зокрема, у Регламенті (ЄС) 2016/679 Європейського Парламенту та Ради (16) та у Директиві 2002/58/ЄС Європейського Парламенту та Ради (17). Відповідно до статті 6 Регламенту (ЄС) 2016/679, ця Директива повинна визначати мету, для якої персональні дані можуть оброблятися відповідно до цієї Директиви. Якщо вони передбачають обробку персональних даних, специфікації, що мають бути розроблені відповідно до цієї Директиви, повинні передбачати належні та належні гарантії захисту персональних даних відповідно до вимог Регламенту (ЄС) 2016/679 та Директиви 2002/58/ЄС, зокрема щодо максимального терміну зберігання даних, анонімізації або псевдонімізації даних. Зокрема, без шкоди для будь-яких конкретних вимог, встановлених законодавством Союзу щодо використання анонімних або псевдонімізованих даних, коли це можливо для досягнення цілей, що переслідуються шляхом обробки персональних даних, і де це технічно можливо, слід використовувати анонімізовані дані. В інших випадках слід заохочувати використання псевдонімізованих даних, наприклад, через систему управління обліковими даними безпеки ЄС C-ITS, з метою посилення конфіденційності осіб відповідно до принципу захисту даних за проектом. Використання персональних даних, отриманих в результаті моделей мобільності або розпізнавання облич, не повинно призводити до будь-якої форми соціальної дискримінації. Крім того, у цих специфікаціях або в національному законодавстві, залежно від обставин, слід встановити запобіжні заходи, зокрема,

проти зловживання, включаючи незаконний доступ, зміну або втрату, відповідно до вимог Регламенту (ЄС) 2016/679 та Директиви 2002/58/ЄС. Директива 2001/95/ЄС Європейського Парламенту та Ради (18) застосовується до продуктів, для яких галузеве законодавство не містить більш конкретних положень з такою ж метою безпеки, а також коли вимоги безпеки, встановлені галузевим законодавством, не охоплюють аспекти та ризики або категорію ризиків, що охоплюються зазначеною Директивою (також відомою як «мережа безпеки»).

Якщо необхідно провести оцінку відповідності, специфікації повинні містити детальні положення, що визначають процедуру, що регулює оцінку відповідності або придатності до використання складових. Щодо певних послуг ITS, і зокрема послуг C-ITS, постійне дотримання певних вимог та сумісність є важливими для забезпечення безпеки та належного функціонування системи. Тому, за необхідності, специфікації, що визначають вимоги до продуктів, також повинні встановлювати процедури, пов'язані з наглядом за ринком, включаючи запобіжне застереження. Ці положення повинні базуватися на Рішенні Європейського Парламенту та Ради № 768/2008/ЄС (19), зокрема, щодо модулів для різних етапів процедур оцінки відповідності та нагляду за ринком. Регламент Європейського Парламенту та Ради (ЄС) 2018/858 (20) встановлює рамки для затвердження типу та ринкового нагляду за моторними транспортними засобами та їх частинами або пов'язаним з ними обладнанням, а Регламенти (ЄС) № 167/2013 (21) та (ЄС) № 168/2013 (22) Європейського Парламенту та Ради встановлюють правила щодо затвердження типу дво- або триколісних транспортних засобів та квадрициклів, а також сільськогосподарських або лісових транспортних засобів та їх частин або пов'язаного з ними обладнання. Таким чином, забезпечення оцінки відповідності обладнання та застосувань, що підпадають під сферу дії цих законодавчих актів, було б дублюванням роботи. Однак ці законодавчі акти щодо затвердження

транспортних засобів застосовуються до обладнання, пов'язаного з ІТС, встановленого в транспортних засобах, але не до обладнання та програмного забезпечення ІТС для зовнішньої дорожньої інфраструктури, які повинні підпадати під дію цієї Директиви. В останньому випадку специфікації можуть передбачати процедури оцінки відповідності та ринкового нагляду. Такі процедури повинні обмежуватися тим, що буде необхідним у кожному окремому випадку, та, де це доречно, бути спрямовані на систематичний підхід до правил призначення органів оцінки відповідності та застосовних процедур, зокрема, стосовно транскордонних застосувань та послуг.

Коли розгортання та використання обладнання та програмного забезпечення ІТС включає системи штучного інтелекту, слід враховувати відповідні положення Регламенту Європейського Парламенту та Ради, що встановлює гармонізовані правила щодо штучного інтелекту (закон про штучний інтелект). Для застосувань та послуг ІТС, для яких потрібні точні та гарантовані послуги визначення часу та позиціонування, слід використовувати супутникові інфраструктури або будь-які технології, що забезпечують еквівалентний рівень точності. Синергію між транспортним та космічним секторами Союзу слід використовувати для сприяння ширшому використанню нових технологій, які відповідають потребам точних та гарантованих послуг визначення часу та позиціонування. Космічна програма Союзу, створена відповідно до Регламенту (ЄС) 2021/696 Європейського Парламенту та Ради (23), забезпечує високоякісні, актуальні та безпечні дані, інформацію та послуги, пов'язані з космосом, через системи Galileo, Європейської геостационарної навігаційної служби покриття (EGNOS) та Copernicus. Надання безпечних та надійних послуг визначення часу та позиціонування є важливим елементом ефективної роботи програм та послуг ІТС. Тому доцільно забезпечити їх сумісність з механізмом автентифікації, що надається програмою Galileo, щоб пом'якшити атаки підробки сигналів глобальної навігаційної

спутникової системи (ГНСС). Це не виключає використання інших перевірених механізмів, що забезпечують такий самий рівень впевненості, для гарантування достовірності інформації щодо місцезнаходження та часу.

Держави-члени та інші відповідні зацікавлені сторони, включаючи інші експертні групи Комісії, зокрема Європейську консультативну групу з ІТС, та комітети, що займаються цифровими аспектами транспорту, повинні консультуватися під час розробки робочих програм, прийнятих Комісією відповідно до Директиви 2010/40/ЄС.

Правила звітності слід спростити та краще дозволити порівняльний аналіз. Тому один звіт держави-члена кожні три роки, що охоплює виконання цієї Директиви та всіх делегованих та імплементаційних актів, повинен замінити різні існуючі зобов'язання щодо звітності, а також слід встановити спільний шаблон, що включає певні ключові показники ефективності. Ґрунтуючись на досвіді використання добровільних ключових показників ефективності у звітах, Комісія повинна мати можливість вибрати певні з цих показників для включення до гармонізованого шаблону.

Комісії та державам-членам рекомендується сприяти співпраці з третіми країнами, особливо з кандидатами на членство в Союзі та тими третіми країнами, в яких розташовані транзитні коридори, що з'єднують держави-члени. Комісію також рекомендується сприяти співпраці на міжнародному рівні.

Для забезпечення єдиних умов імплементації цієї Директиви Комісії слід надати імплементаційні повноваження щодо прийняття та оновлення робочих програм і прийняття шаблону для звітів, які мають надаватися державами-членами. Ці повноваження слід здійснювати відповідно до Регламенту (ЄС) № 182/2011.

Для досягнення цілей цієї Директиви Комісії слід делегувати повноваження приймати акти відповідно до статті 290 Договору про функціонування Європейського Союзу для внесення змін до переліку типів

даних, для яких держави-члени повинні забезпечити доступність даних, протягом п'яти років, починаючи з набрання чинності цією Директивою. Цей період слід автоматично продовжувати на періоди такої ж тривалості, якщо Європейський Парламент або Рада не заперечують проти такого продовження. Особливо важливо, щоб Комісія проводила відповідні консультації під час своєї підготовчої роботи, зокрема на експертному рівні та із зацікавленими сторонами, що представляють усі типи учасників дорожнього руху та інші зацікавлені сторони, і щоб ці консультації проводилися відповідно до принципів, викладених у Міжінституційній угоді від 13 квітня 2016 року про кращу законотворчість (24). Зокрема, для забезпечення рівної участі у підготовці делегованих актів Європейський Парламент і Рада отримують усі документи одночасно з експертами держав-членів, а їхні експерти систематично мають доступ до засідань експертних груп Комісії, що займаються підготовкою делегованих актів.

Для гарантування скоординованого підходу Комісія повинна забезпечити узгодженість між діяльністю Комітету, створеного цією Директивою, та Комітетів, створених Регламентами (ЄС) № 165/2014 (25), (ЄС) 2019/1239 (26), (ЄС) 2020/1056 та (ЄС) 2018/858 Європейського Парламенту та Ради, а також Директивами 2007/2/ЄС (27) та (ЄС) 2019/520 (28) [4] Європейського Парламенту та Ради. Оскільки мета цієї Директиви, а саме забезпечення скоординованого та узгодженого розгортання сумісних ІТС по всьому Союзу, не може бути досягнута в достатній мірі державами-членами та/або приватним сектором, а радше, через її масштаб та наслідки, може бути краще досягнута на рівні Союзу, Союз може вживати заходів відповідно до принципу субсидіарності, викладеного у статті 5 Договору про Європейський Союз. Відповідно до принципу пропорційності, викладеного у цій статті, ця Директива не виходить за межі того, що необхідно для досягнення цієї мети.

Відповідно до Спільної політичної декларації держав-членів та Комісії від

28 вересня 2011 року щодо пояснювальних документів (29), держави-члени зобов'язалися супроводжувати, у обґрунтованих випадках, повідомлення про свої заходи щодо транспозиції одним або кількома документами, що пояснюють зв'язок між компонентами директиви та відповідними частинами національних документів щодо транспозиції. Щодо цієї Директиви, законодавець вважає передачу таких документів виправданою.

З Європейським інспектором із захисту даних було проведено консультації відповідно до статті 42(1) Регламенту (ЄС) 2018/1725 Європейського Парламенту та Ради (30), і він надав висновок 2 березня 2022 року,

3.3 Механізми міжнародного співробітництва та залучення інвестицій для реалізації проєктів у сфері ІТС

Сфера інтелектуальних транспортних систем (ІТС) сьогодні є однією з ключових складових глобальної транспортної трансформації. Швидкий розвиток цифрових технологій, поява автономних транспортних засобів, розвиток комунікацій за принципом V2X (vehicle-to-everything)[6], поширення систем управління трафіком на основі штучного інтелекту та цифровізація логістичних процесів формують нові вимоги до інфраструктури та моделей управління.

Міжнародне співробітництво виступає ключовим фактором успішного впровадження ІТС. Воно забезпечує інтеграцію національних транспортних систем у світові, підвищує їх безпеку та інтероперабельність, а також надає країнам можливість брати участь у глобальних інфраструктурних проєктах.

Для України питання розвитку ІТС є критично важливим. Сучасні виклики пов'язані з відновленням транспортної інфраструктури, необхідністю інтеграції в європейський транспортний простір TEN-T, цифровою

трансформацією державного сектору, реформами у сфері транспорту та залученням інвестицій.

Міжнародне співробітництво у сфері інтелектуальних транспортних систем є однією з ключових передумов залучення зовнішнього фінансування для розвитку національної транспортної інфраструктури. Для України особливе значення має взаємодія з Європейським Союзом, оскільки саме ЄС є найбільшим донором, інвестиційним партнером та стратегічним орієнтиром модернізації транспортного сектору. Європейські програми та інституції забезпечують як фінансову підтримку, так і методичні, регуляторні та технологічні інструменти, які спрямовані на системне перетворення української транспортної мережі відповідно до європейських стандартів.

Залучення інвестицій ЄС відбувається у тісному зв'язку з інтеграцією України до транс'європейської транспортної мережі TEN-T[5]. Механізм інтеграції передбачає гармонізацію транспортної політики, стандартизацію технічних вимог, адаптацію національного законодавства до права ЄС та запровадження сучасних цифрових рішень у сфері управління транспортними потоками. Саме вимога інтероперабельності та цифровізації транспортної інфраструктури робить розвиток ІТС одним із ключових напрямів європейського фінансування. Участь України у програмах TEN-T створює підґрунтя для отримання фінансування з інструментів ЄС, серед яких найбільш важливими є Connecting Europe Facility (CEF), European Investment Bank (EIB) та European Bank for Reconstruction and Development (EBRD)[5], а також допоміжні інструменти технічної підтримки.

Фундаментальною формою співробітництва є нормативно-правова інтеграція. ЄС виділяє інвестиції лише за умови, що національні стандарти України відповідають європейським вимогам у сфері ІТС, зокрема положенням Директиви 2010/40/ЄС, стандартам CEN, ETSI[4] та технічним протоколам C-ITS. Це стосується систем управління дорожнім рухом, цифрових платформ для

обміну даними, систем кооперативної взаємодії між транспортними засобами та інфраструктурою, а також засобів кіберзахисту транспортних мереж. Гармонізація стандартів робить українські інфраструктурні проекти сумісними з європейськими, що знижує інвестиційні ризики, підвищує прогнозованість модернізації та відкриває доступ до фінансування з боку ЄС.

Важливим напрямом є інституційна співпраця з європейськими організаціями та фінансовими установами. Європейський інвестиційний банк надає кредити для модернізації транспортних коридорів, розвитку інтелектуальних систем управління рухом, розбудови цифрової інфраструктури та підвищення безпеки дорожньої мережі. ЄБРР активно фінансує проекти цифровізації логістики, впровадження електронних сервісів у сфері перевезень та удосконалення систем моніторингу трафіку. Фінансування супроводжується вимогою застосовувати європейські стандарти управління проектами, оцінки ризиків, екологічних норм та цифрової сумісності. За рахунок цього реалізуються рішення, орієнтовані не лише на будівництво об'єктів, а на підвищення ефективності транспортної системи загалом.

Окрему роль відіграє модель проектного співробітництва, коли українські органи влади, наукові установи та підприємства беруть участь у спільних європейських ініціативах, дослідницьких програмах та пілотних проектах. Участь у програмах Horizon Europe або Digital Europe[5] дозволяє Україні отримувати гранти на розроблення та тестування інноваційних рішень у сфері ІТС, включно з цифровими платформами для управління транспортними потоками, інтелектуальними логістичними сервісами, системами V2X та смарт-інфраструктурою. Пілотні проекти створюють можливість для апробації рішень, які надалі можуть бути масштабовані в межах національної транспортної мережі за підтримки фінансових інструментів ЄС.

Однією з найдинамічніших форм співпраці є участь України у європейських транспортних коридорах та інтегрованих транскордонних

проєктах. Такі проєкти передбачають модернізацію дорожньої інфраструктури, розвиток систем управління рухом на ділянках, що межують з країнами ЄС, встановлення обладнання для збору даних у реальному часі та інтеграцію національних інформаційних систем у європейські транспортні платформи. Це безпосередньо пов'язано із залученням інвестицій, оскільки транскордонні коридори розглядаються ЄС як інфраструктура критичної важливості, що потребує сучасних цифрових рішень для забезпечення безпеки, пропускну здатності та ефективності логістики.

Значну роль у залученні інвестицій відіграє публічно-приватне партнерство, яке особливо актуальне для проєктів впровадження ІТС. Європейські компанії мають високий інтерес до участі в таких проєктах, оскільки вони володіють технологічними рішеннями та досвідом реалізації аналогічних систем у країнах ЄС. Партнерства у форматі PPP[5] дозволяють поєднувати державне фінансування, кредити міжнародних фінансових інституцій та приватні інвестиції європейських технологічних компаній, що забезпечує стійку модель фінансування довгострокових інфраструктурних проєктів.

Таким чином, форми і моделі міжнародного співробітництва з Європейським Союзом у сфері інтелектуальних транспортних систем створюють комплексний механізм залучення інвестицій у транспортну інфраструктуру України. Вони забезпечують доступ до фінансових ресурсів, підвищують технологічний рівень інфраструктурних проєктів, сприяють впровадженню інновацій, дозволяють гармонізувати національні стандарти з європейськими та забезпечують інтеграцію України до сучасного європейського транспортного простору. У результаті співпраці з ЄС стає фундаментом для системної модернізації транспортної мережі України та розвитку інтелектуальних рішень, необхідних для забезпечення безпечної, ефективної та цифрової мобільності.

C-Roads France – це пілотний проект розгортання C-ITS, метою якого є розробка та експериментування інноваційних рішень C-ITS для дорожнього руху.

C-Roads France створено 13 французькими бенефіціарами, які охоплюють весь функціональний ланцюг систем та послуг C-ITS, включаючи більшість партнерів SCOOP@F,[4] а також міста, нових операторів доріг та академічних партнерів. C-Roads France базується переважно на проекті SCOOP@F для експериментування та оцінки високорівневих послуг C-ITS.

Окрім послуг, розроблених у SCOOP@F, будуть розроблені нові послуги для кінцевих користувачів двох типів: послуги в міському середовищі та на міському/міжміському інтерфейсі (такі як GLOSA[7], оптимізація світлофорів, мультимодальна інформація, інформація про паркування та поїздки тощо), а також послуги дорожньої інформації, що підвищують комфорт на транзитних ділянках (такі як розумне маршрутизування, інформація про місця для паркування вантажівок, послуги на зонах відпочинку тощо). Отже, C-Roads France забезпечить узгоджене рішення для розгортання майже всіх послуг Day-1 та деяких послуг Day-1,5, як визначено платформою C-ITS. Одна з цілей проекту — досягти безперебійної безперервності послуг на міському/міжміському інтерфейсі.

Пілотна діяльність забезпечить розширені та розширені тестові поля, включаючи стратегічні ділянки основної мережі TEN-T, ключові вузькі місця та чорні точки, а також інтерфейси з міськими вузлами, для досягнення критичної маси. Цей процес буде здійснюватися у співпраці з двома виробниками автомобілів, щоб гарантувати, що розгорнута інфраструктура також відповідатиме потребам майбутнього розгортання.

Не чекаючи цього розгортання, C-Roads має прагматичний та орієнтований на користувача підхід: для підвищення рівня проникнення розробила мобільний додаток C-ITS, що підтримує раннє розгортання послуг

I2V та подальше масштабування. Послуги підтримуються гібридною технологією, що дозволяє безперешкодно перемикатися між ITS G5 та стільниковим зв'язком для застосувань, що не є критично важливими для безпеки.

C-Roads France готова наполягати на якнайшвидшому впровадженні гнучких, сумісних та масштабованих рішень C-ITS, таким чином передбачаючи комерціалізацію обладнаних транспортних засобів. Її участь у платформі C-Roads має на меті сприяти гармонізації C-ITS на європейському рівні, зокрема, зі стратегічних питань, таких як безпека.

3.4 Рекомендації щодо інтеграції європейських стандартів у національну нормативну базу

Шляхи та механізми інтеграції європейських стандартів у нормативне забезпечення України у сфері інтелектуальних транспортних систем становлять багаторівневий процес, спрямований на гармонізацію технічних, організаційних та правових підходів із тими, що діють у Європейському Союзі. Ключовим напрямом такої інтеграції є адаптація національної системи стандартизації до вимог, визначених рамковою директивою ЄС щодо розгортання ITS та відповідними делегованими регламентами, які встановлюють параметри інтероперабельності, структуру даних, інформаційні протоколи та вимоги до функціональної безпеки транспортних телематичних систем. В українському контексті цей процес передбачає системне впровадження гармонізованих ДСТУ на основі стандартів ISO, CEN, CENELEC і ETSI,[3] що забезпечує уніфікацію технічних рішень та можливість інтеграції національних ITS у європейський транспортний простір.

Водночас адаптація стандартів не обмежується лише формальною трансформацією міжнародних документів у національні. Одним зі стратегічних

механізмів є впровадження європейських методологічних підходів до побудови ІТС, зокрема архітектури FRAME.[3] Її застосування дозволяє структурувати функціональні області ІТС, визначити потоки інформації між підсистемами та забезпечити узгодженість між технічними засобами різних рівнів інфраструктури. Це особливо важливо в умовах необхідності забезпечення інтероперабельності між регіональними та відомчими системами, які в Україні історично розвивалися фрагментарно та без єдиної архітектурної концепції.

Істотним елементом інтеграції є також модернізація національної нормативно-правової бази у сфері проєктування та експлуатації транспортної інфраструктури. Технічні регламенти, державні будівельні норми та галузеві стандарти повинні бути узгоджені з вимогами ЄС щодо розміщення інтелектуальних компонентів інфраструктури, специфікацій зв'язку, механізмів забезпечення технічної та кібернетичної безпеки, а також процедур оцінки відповідності обладнання. Такі зміни мають передбачати не лише технічні характеристики, а й правила експлуатації комплексних систем управління рухом, вимоги до надійності й безперервності передачі даних та стандартизовані вимоги до телекомунікаційних технологій, включно з V2X-комунікаціями [6].

Суттєве значення в процесі інтеграції має формування інституційної спроможності держави. Для цього необхідним є створення спеціалізованого центрального органу або координаційної структури, відповідальної за впровадження єдиної архітектури ІТС, розроблення методичних положень, актуалізацію стандартів, координацію проєктів та взаємодію з міжнародними організаціями у сфері телематики й цифрової мобільності. Такі функції включають також запровадження процедур сертифікації, проведення аудиту відповідності та систематичний моніторинг дотримання стандартів на різних рівнях використання ІТС.

Нарешті, важливим механізмом інтеграції є розширення міжнародної співпраці — участь у програмах ЄС, консорціумах, спільних технічних комітетах та наукових проєктах у сфері смарт-мобільності. Це сприяє оперативному доступу до сучасних технічних рішень, методичних рекомендацій та найкращих практик, забезпечуючи високу якість нормативного середовища та здатність України інтегруватися в загальноєвропейську систему транспорту і цифрової інфраструктури.

У сукупності наведені шляхи та механізми формують комплексну модель нормативного зближення, що створює умови для технологічної сумісності, підвищення безпеки, оптимізації управління транспортними потоками та формування інтегрованого транспортного простору, здатного до взаємодії з інтелектуальними інфраструктурами ЄС.

3.5 Висновки до розділу 3

Узагальнюючи проведений аналіз, можна дійти висновку, що інтеграція європейських стандартів у нормативне забезпечення України у сфері інтелектуальних транспортних систем є стратегічно необхідним та системно складним процесом, який охоплює одночасно технічний, правовий, інституційний і технологічний виміри. Впровадження сучасних стандартів ISO, CEN, ETSI та адаптація положень оновленої Директиви ЄС щодо ІТС забезпечують формування нормативної бази, здатної підтримувати високий рівень інтероперабельності, кіберзахисту та якості транспортних даних. Особливо важливим є запровадження архітектурних підходів, таких як ISO 21217 та FRAME [6], що дозволяють створити єдиний структурно-функціональний каркас для розбудови національної C-ITS екосистеми.

Процес нормативної інтеграції потребує суттєвого інституційного підсилення: створення системи координації, національної моделі довіри для C-

ITS, удосконалення процедур сертифікації, а також узгодження із законодавством ЄС у сферах цифрових сервісів, штучного інтелекту та захисту персональних даних. Комплексність цих завдань визначає необхідність поетапного та методично узгодженого підходу, що передбачає модернізацію технічних регламентів, ДСТУ, будівельних норм, електронних комунікаційних правил і вимог до критичної інфраструктури.

Інтеграція європейських стандартів створює умови для переходу до сучасної моделі транспортної мобільності, де ключову роль відіграють кооперативні технології, високоточні навігаційні системи, цифрові сервіси та автономізація транспортних процесів. У довгостроковій перспективі це забезпечує підвищення безпеки дорожнього руху, ефективності управління транспортними потоками, оптимізацію логістичних процесів і технологічну сумісність української транспортної інфраструктури з європейською. Отже, гармонізація національного законодавства зі стандартами ЄС є не лише вимогою інтеграційної політики, а й ключовим чинником сталого розвитку транспортної системи України та її повноцінної інтеграції в європейський цифровий транспортний простір.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІКТ ІТС З УРАХУВАННЯМ СТАНДАРТІВ ЄС

4.1 Прикладні аспекти використання цифрових рішень (Big Data, IoT, AI) у транспортних системах

Сьогодні швидкий розвиток інформаційних, комунікаційних та комп'ютерних технологій призвів до появи цифрових та розумних міст [1]. Під впливом цих технологій відбулися значні зміни, що включають покращення транспортного потоку, зменшення заторів та підвищення безпеки транспорту в транспортних сферах, що сприяє розвитку інтелектуальних транспортних систем. Крім того, алгоритми великих даних в ІТС широко застосовуються для розпізнавання сигналів, виявлення об'єктів, прогнозування транспортного потоку, планування часу подорожі, планування маршрутів подорожей, безпеки транспортних засобів та доріг, а також інших застосувань міського транспорту [2]. У більшості розвинених міст генерується велика кількість великих даних про дорожній рух, що вказує на те, що алгоритми великих даних відіграють вирішальну роль у прискоренні розвитку ІТС. Аналізуючи величезні обсяги даних, такі алгоритми можуть надати цінну інформацію для прийняття рішень у міських ІТС. Більше того, оскільки дані є основою ІТС, дуже важливо проводити поглиблений аналіз алгоритмів великих даних, уточнювати основні концепції, обговорювати проблеми, що виникають у зв'язку із застосуванням великих даних про дорожній рух, та розуміти методи математичного моделювання, що керуються великими даними. У цьому дослідженні буде проаналізовано кілька визнаних алгоритмів великих даних та їх застосування в ІТС, описано відповідні моделі даних та інтегровано їх для отримання результату для перспективи міських ІТС. Використовуючи методи контрзаходів поточної ситуації, ми можемо виявити розвиток ІТС та потенційні проблеми,

спричинені сучасними алгоритмами, проаналізувати можливі рішення та внести покращення.

Великі транспортні дані стосуються великих обсягів інформації, зібраної з різних транспортних систем, включаючи потоки транспортних засобів, роботу громадського транспорту та рух пішоходів[12]. Вони охоплюють дані про такі об'єкти, як схеми руху, рівень заторів, кількість аварій та поведінка під час подорожей. Ці дані характеризуються своїм обсягом, швидкістю та різноманітністю, що часто називають 3V великих даних [1]. Дослідники показали, що великі дані були включені в дослідження транспорту з багатьох тем, включаючи надання послуг, дорожній рух, навколишнє середовище, інфраструктуру, розвиток маршрутів та поведінку як послуг, так і окремих осіб [6]. Існують різноманітні основні алгоритми, які часто використовуються у великих транспортних даних, такі як кластеризація, глибоке навчання та регресійний аналіз.

Кластерний алгоритм – це різновид алгоритму навчання без учителя, який автоматично класифікує подібні вибірки в категорію[12]. Його метою є визначення структур у даних, де подібні точки даних класифікуються разом на основі їхніх атрибутів або ознак. Існують різні типи кластерних алгоритмів, включаючи методи розділення, ієрархічні методи, методи на основі щільності та методи на основі центроїдів. Візьмемо K-середніх як типовий приклад. Дослідники ітеративно ділять дані на k кластерів, щоб точки даних були якомога ближче до їхнього центру. Згідно з рисунком 1, вибірка випадковим чином поділяється на k точок як початковий центроїд кластерів. Кожна точка призначається найближчому центроїду, створюючи 4 кластери. Потім обчислюється новий центроїд кожного кластера, взявши середнє значення всіх точок, призначених цьому кластеру. Зрештою, повторюйте попередні кроки, доки центроїди не перестануть суттєво змінюватися. Весь процес корисний для зменшення обсягу даних та аналізу структури даних.

У міських транспортних системах алгоритми кластеризації часто використовуються для виявлення аномальних подій, таких як дорожньо-транспортні пригоди або затори, з великої кількості даних про дорожній рух. Одним з основних прикладів є планування та прогнозування міського руху за допомогою кластеризації за методом K-means та інших методів машинного навчання. Як показано на рисунку 4.1, використовуючи такі інструменти, як RSU та мобільні датчики, поліція може передбачити фактичну щільність. Потім вони можуть отримати інформацію про те, скільки поліцейських потрібно в різних регіонах, де відбуваються перехрестя, використовуючи кластеризацію за методом K-means або глибокі нейронні мережі. Водночас вони повідомлять про наступне місце, яке може спричинити перехрестя[7]. За допомогою методів кластеризації дослідники можуть досягти як точності, так і ефективності у виявленні дорожньо-транспортних пригод або перехрестя.

Алгоритм глибокого навчання – це складний тип методу машинного навчання, який включає нейронні мережі з численними шарами. Багатошарові мережеві структури керують цими алгоритмами, класифікуючи або регресуючи невідомі дані для моделювання складних шаблонів у великих наборах даних, що дозволяє системі виконувати точні прогнози або приймати рішення без явного програмування. Поширені типи алгоритмів глибокого навчання включають згорткові нейронні мережі (CNN) для розпізнавання зображень та відео, рекурентні нейронні мережі (RNN) для обробки послідовностей та розуміння природної мови, а також генеративно-змагальні мережі (GAN) для генерації нових даних.

Враховуючи складність процесу глибокого навчання, ми можемо концептуалізувати його як систему потоку води, як показано на рисунку 3. Мережа глибокого навчання для обробки даних являє собою величезну мережу водопроводів, що складається з труб та клапанів. Вхід мережі - це кілька отворів трубопроводів, а вихід також - кілька отворів трубопроводів. У цій мережі

водопроводів є значні шари, кожен шар містить численні регулювальні клапани, які можуть контролювати напрямок та потік води. Залежно від потреб різних завдань, кількість шарів у мережі водопроводів та кількість регулювальних клапанів у кожному шарі можуть мати різні комбінації змін. Для складніших завдань загальна кількість регулювальних клапанів може сягати тисяч або навіть більше. У мережі водопроводів кожен регулювальний клапан кожного шару з'єднаний з усіма регулювальними клапанами наступного шару через водопровідні труби, утворюючи повністю зв'язану систему потоку води спереду назад, шар за шаром [8]. Застосування прикладів з повсякденного життя полегшує розуміння застосування глибокого навчання.



Рисунок 4.1 – Процес глибокого навчання

Дослідники часто використовують методи глибокого навчання, щоб забезпечити високу точність розпізнавання транспортних засобів, дорожніх знаків та номерних знаків. Аналізуючи виявлення потоку транспорту, дослідники виявили, що хоча точність виявлення алгоритму демонструє тенденцію до зниження, середня точність перевищує 92,0% на всіх масштабах. Середня точність усіх тестових відео та всіх масштабів нормалізації вхідного зображення детектора транспортних засобів YOLO становить 94,6% [9]. Здається, що такі алгоритми приносять більше ефективності, ніж труднощів у виявленні.

Регресійний аналіз - це статистичний метод, який використовується для вивчення зв'язку між залежною змінною та однією або кількома незалежними змінними. Він використовується для прогнозування вихідного значення безперервного значення на основі одного або кількох вхідних даних, щоб зрозуміти силу зв'язку та визначити незалежні змінні. Поширені методи включають лінійну регресію та логістичну регресію.

Дослідники переважно використовують алгоритми регресії для прогнозування потоку транспорту та планування оптимальних маршрутів. Рекомендований показник можна розширити, забезпечивши мобільну систему або додаток для наведення маршруту, який може автоматично збирати інформацію та додатково враховувати її.

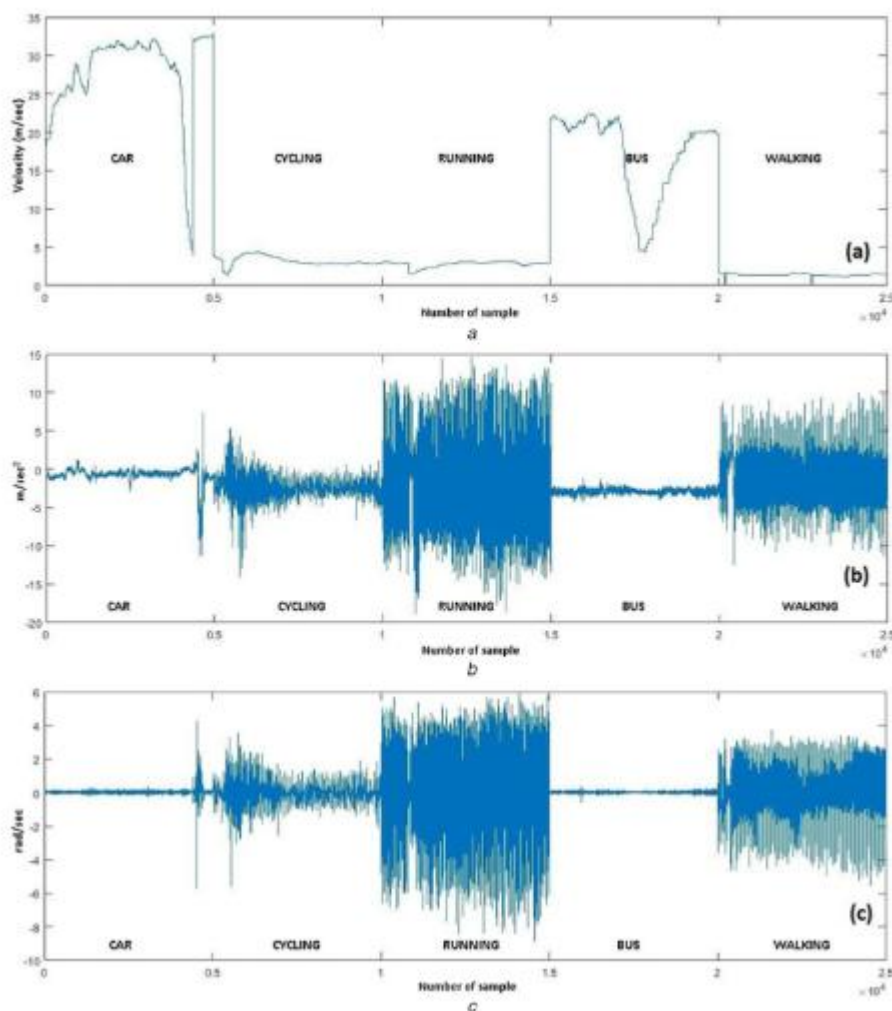


Рисунок 4.2 - Зразок даних датчика (а) Швидкості видів транспорту, (b) Зміна амплітуди акселерометра по осі X, (c) Зміна амплітуди гіроскопа по осі Y [11]

Співпраця та виклики алгоритмів у міській інтелектуальній транспортній системі. Аналізуючи вищезазначені алгоритми та їх застосування, дослідження показує, що різні алгоритми допомагають один одному у вирішенні проблем дорожнього руху. Кластер K-середніх, у поєднанні[13] з RNN, може допомогти краще прогнозувати потік транспорту. Для виконання одного завдання потрібні різноманітні алгоритми, і всі вони є значними та необхідними. Крім того, за допомогою алгоритмів великих даних збір даних в ITS стає все більш ефективним та точним. Завдяки інтеграції методів машинного навчання ITS

значно покращилися. Сьогодні виявлення заторів на дорогах легше, ніж у минулому. Хоча ефективність підвищується, точність результатів також покращується. Порівняно з традиційним збором даних, сучасні моделі даних мають більш інтенсивну конструкцію датчиків дорожнього руху та стабільне об'єднання даних з кількох джерел[1]. Це доводить, що ці алгоритми можуть зменшити обробку та збільшити швидкість збору даних. Збір, який використовується в ITS, зараз має більше мотивації для сприяння інноваціям та розвитку міських ITS.

Однак, хоча алгоритми великих даних надають численні можливості для інформаційно-комунікаційних технологій (ITS), вони також створюють різні проблеми. Перш за все, в аспекті безпеки даних, оскільки обсяг та різноманітність даних про дорожній рух продовжують зростати, починають виникати проблеми конфіденційності даних, безпеки та сумісності. Збір та зберігання великих обсягів особистої інформації та інформації про транспортні засоби може призвести до порушень конфіденційності та проблем безпеки даних. Великі транспортні дані можуть містити дані національної безпеки, такі як дані, що передаються через мережу громадської безпеки, та особисту конфіденційність, такі як дані про траєкторію руху транспортних засобів, виявлені системами контрольно-пропускних пунктів[1]. Аналогічно, безпека та конфіденційність мережі VFC також є дуже критичними проблемами. VFC доведено, що є більш вразливою до загроз безпеці та конфіденційності через свою тимчасову власність[12]. Витік цих даних призведе до величезних втрат.

По-друге, з точки зору якості та повноти, ефективність великих даних значною мірою залежить від якості та повноти даних. В ITS дані можуть надходити з різних джерел, включаючи датчики, камери та GPS, всі з яких потенційно можуть містити помилки, пропуски або невідповідні формати. Наприклад, платні ділянки однієї й тієї ж автомагістралі надаються різним операторам, що призводить до різних схем звітності про дані про дорожній рух

на автомагістралях[13]. Об'єднання та гармонізація великих обсягів даних з різних джерел одночасно може призвести до зниження якості та повноти даних.

Нарешті, зберігання даних створює значну проблему. Зі постійним зростанням обсягів даних, ефективне зберігання, управління та підтримка цих даних стає проблемою для ІТС. Наразі обсяг даних збільшився з рівня ТБ до рівня ПБ, тоді як зростання ємності зберігання даних значно відстає від зростання даних [14]. Це вимагає ефективних рішень для зберігання даних та ефективних стратегій управління даними.

Підсумовуючи, алгоритми великих даних революціонізували міські ІТС, надаючи цінну інформацію для прийняття рішень та підвищення ефективності системи. З постійним розвитком технологій очікується, що ці алгоритми, особливо кластеризація, глибоке навчання та регресія, відіграватимуть ще більш значну роль в управлінні міським транспортом. Це есе довело, що всі ці алгоритми спрощують та спрощують ефективне та точне регулювання міських ІТС. Крім того, дослідники виявили, що між цими алгоритмами існує глибока кореляція. Різні алгоритми здатні підтримувати один одного у вирішенні проблем дорожнього руху. Тим не менш, вкрай важливо зосередитися більше на проблемах, які передові великі дані принесли міським ІТС. Незважаючи на передовий розвиток алгоритмів та методів, сучасні дослідження все ще недостатньо враховують безпеку, якість та зберігання даних. Щодо цих питань слід запропонувати певні заходи. Щодо проблем конфіденційності, уряд повинен запровадити більше правил захисту даних, а також рекомендується анонімізація обробки. Крім того, вкрай важливо активізувати перевірку та просування об'єктів для забезпечення якості та повноти. Більше того, можна покращити зберігання даних за допомогою хмарних сервісів або розподіленого сховища.

Виходячи з можливостей та викликів, що виникають через алгоритми в міських ІТС, майбутні дослідження повинні зосередитися на просуванні

існуючої системи даних, зміцненні інструментів захисту безпеки та розробці більш складних алгоритмів для вирішення проблем, що виникають через постійно зростаючий обсяг та складність транспортних даних. Тим часом, просування та вдосконалення доступних ресурсів ІТС, інтеграція різноманітних методів машинного навчання та впровадження нових алгоритмів мають вирішальне значення. У багатьох випадках важко повністю зрозуміти взаємозв'язки між характеристиками транспортної системи; тому методи штучного інтелекту можуть бути представлені як розумне рішення для таких складних систем, якими неможливо керувати за допомогою традиційних методів. Багато дослідників продемонстрували переваги штучного інтелекту в транспорті. Прикладом цього є перетворення датчиків дорожнього руху на дорозі на розумного агента, який автоматично виявляє аварії та прогнозує майбутні дорожні умови [10]. Також існує багато методів штучного інтелекту, що використовуються в транспорті, таких як штучні нейронні мережі (ШНМ). ШНМ можуть використовуватися для планування доріг [11], громадського транспорту [10], виявлення дорожньо-транспортних пригод [4]; та прогнозування дорожніх умов [6]. Вони класифікуються на методи навчання з учителем та без учителя. Методи з учителем включають метод опорних векторів (SVM), ймовірнісну нейронну мережу (PNN), радіально-базисну мережу (RBN), метод К-найближчих сусідів та дерево рішень тощо, тоді як нейронні мережі без учителя включають жадібний пошаровий та кластерний аналіз.

Багато транспортних проблем призводять до проблеми оптимізації, яка потребує спеціалізованих алгоритмів, щоб зробити обчислювальну аналітику легкою для вирішення. Це високорозвинені обчислювальні алгоритми, які називаються растровими алгоритмами. Генетичний алгоритм (GA) є прикладом таких алгоритмів. Він базується на еволюційно-біологічній концепції. Він вирішує складні проблеми оптимізації на основі концепції «виживання придатності» та є гарним інструментом для використання в мережах міського

проектування [3]. Іншим алгоритмом є імітація відпалу (SA), яка отримується шляхом імітації процесу відпалу металу [4]. Оптимізатор колонії мурах (ACO) також є алгоритмом штучного інтелекту, розробленим на основі поведінки групи реальних мурах, які прямують від гнізда до джерела їжі [2]. Штучна імунна система (AIS), змодельована на основі імунної системи людини [5]. Оптимізація колонії бджіл (BCO), яка вирішує гібридну складну задачу оптимізації [4]. ACO та BCO є частиною систем ройового інтелекту [7]. Ройовий інтелект – це система штучного інтелекту, натхненна роботою мурах та бджіл як групи для досягнення оптимізованого рішення. Інтелектуальна обчислювальна аналітика цих систем здатна відображати невизначеність, неточність та розпливчасті поняття, тому ці методи використовуються для задач оптимізації маршрутів у транспорті [4]. Іншим методом оптимізації є модель нечіткої логіки (FLM). Вона застосовується для вирішення задач оптимізації найкоротшого шляху [7]. У роботі [3] порівнюється продуктивність FLM з моделлю логістичної регресії (LRM) при розробці моделі вибору маршруту, і FLM перевершила її. Тому інтелектуальні методи, такі як FLM, GA, ANN, ACO, підходять для прогнозування, міркування та адаптивності. Тому вони використовуються для вирішення задач оптимізації, які включають динамічні дорожні ситуації та події. Була представлена ще одна нова програмна парадигма, заснована на теоріях штучного інтелекту, яка називається агентно-орієнтованою програмною інженерією (ABSE). ABSE здатна забезпечити динамічний підхід до визначення найкоротшого шляху шляхом формування багатокритеріальних та багатосценаріїв [5].

Також нейронні мережі (НМ) були використані для інтеграції системи з вищезгаданими алгоритмами для досягнення кращих результатів [2]. Наприклад, у посиланнях [5] показано інший інструмент, що використовується для ШІ, як програмну та апаратну реалізацію для автоматизованих транспортних засобів та планування поїздок. Транспортним органам важливо

визначити, коли і як використовувати ці технології для швидкого покращення зменшення заторів, підвищення надійності часу подорожі для своїх клієнтів та підвищення економіки та продуктивності життєво важливих активів. III в плануванні, проектуванні та управлінні структурами транспортної мережі

Метою планування є визначення потреб громади та вибір найкращого підходу для задоволення цього попиту, використовуючи вплив соціальних, екологічних та економічних факторів у сфері транспорту. Проектування оптимального методу дорожнього руху для планування транспорту є частиною проблеми проектування мережі (ПММ) [56]. Це може бути безперервна проблема, коли змінюється пропускна здатність існуючої інфраструктури (розширення ширини смуги руху, роздільної зони та узбіччя), дискретна проблема визначається при додаванні більшої кількості інфраструктури, а також змішана проблема безперервності та дискретності. Попередні дослідження 90-х років були зосереджені на нейронних мережах (НМ) для планування, проектування та моделювання доріг. Наприклад, у роботі [11] було змодельовано просторовий зв'язок між транспортом та плануванням землекористування за допомогою паралельної нейронної мережі. Після цього дослідження більше зосередилися на растрових алгоритмах, які є більш переважними для міського планування, оскільки вони не вимагають існуючих зв'язків та вузлів для пошуку оптимального шляху [11]. Сьогодні величезна кількість даних, що з'являються, з використанням передових алгоритмів стає предметом інтересу більшості досліджень завдяки використанню машинного навчання для створення шаблонів серед даних. У роботі [10] розглядалася проблема неперервного НМР як нелінійна модель Ві з двома рівнями. Вони використовували алгоритми GA та SA та порівнювали їхню ефективність на змодельованій мережі. Коли попит низький, SA знаходить оптимальне значення з меншими обчислювальними зусиллями, ніж GA. Однак, коли GA виконує більше обчислень, він може досягти кращого оптимального рішення. Цей

результат суперечить [10], в якому автори стверджували, що GA забезпечує кращі результати, ніж SA, з меншим обчислювальним часом. Однак модель, розглянута в цій статті, була однорівневою лінійною моделлю для проблеми неперервного НМР.

В іншому дослідженні [10] було змодельовано план управління безпекою для міста Анкара в Туреччині за допомогою штучних нейронних мереж (ШНМ) та генетичних алгоритмів. Результати, отримані за допомогою моделі ШНМ, були кращими, ніж за GA, з меншою похибкою. У той же час, у [9] для проектування оптимального шляху руху транспортного засобу використовувався алгоритм колонії мурах. Більше того, у роботі [9] було поєднано клітинні автомати (СА), що є методом просторового моделювання, з методом оптимізації колонії мурах (АСО). Результати показали покращення планування міського розвитку на основі змодельованих моделей промислового землекористування протягом кількох років у Китаї. Крім того, у роботі [9] було зосереджено увагу на пошуку хорошого плану управління транспортною системою та безпеки для балансування транспортного попиту з належним розподілом автомобільних доріг, залізниць та повітряних шляхів. Автор використовував ШНМ для прогнозування аварій та травм на маршруті з високою завантаженістю від Стамбула до Анкари. Нарешті, у роботі [33] порівняно алгоритми GA, SA та AIS, щоб знайти найкращу модифікацію для існуючої структури мережі, розглядаючи її як задачу змішаного НДП у Польщі. Результати показали, що SA працює гірше, ніж GA та AIS, для цього класу задач.

Крім того, планування маршрутів для транспортних засобів є важливим для уникнення заторів та затримок у подорожах. Багато авторів дійшли висновку, що алгоритм мурашиної колонії є перспективним рішенням проблеми маршрутизації транспортних засобів [5]. У роботі [6] було зосереджено увагу на вирішенні проблеми маршрутизації та довжини хвилі за допомогою алгоритму

ВСО. Проблема полягає у виборі шляху в мережі та призначенні довжини хвилі цьому шляху для кожного підключеного вузла, щоб максимізувати кількість з'єднань, встановлених між вузлами в мережі. Крім того, нещодавні дослідження були зосереджені на використанні мікроскопічних даних про трафік для моделювання та виявлення порушень безпеки, а також для систем управління дорожнім рухом та планів управління дорогами [6]. Щодо пошуку найкращих шляхів для користувачів громадського транспорту, у роботі [6] пропонується вивчати та оновлювати систему генерації шляхів у реальному часі відповідно до уподобань мандрівників. Також використовувати підхід, заснований на корисності, який зосереджується на різних атрибутах шляхів та параметрах для кожного користувача громадського транспорту.

Галузь, де застосування штучного інтелекту також швидко розвивалися, - це інтелектуальні транспортні системи (ІТС). Ці системи спрямовані на зменшення заторів та покращення вражень від водіння за допомогою різноманітних технологій та систем зв'язку. Вони збирають важливі дані, які можна інтегрувати за допомогою технології машинного навчання. Наприклад, глибоке навчання з підкріпленням використовувалося для оптимізації політик управління дорожнім рухом у реальному часі, вбудованих у великомасштабні системи ITS [8]. Аналогічно, також була запропонована система глибокого навчання для розширення можливостей пристроїв ITS функціями обробки сигналів та швидкої обчислювальної аналітики [8]. У майбутньому складність даних зростатиме в міру розвитку ITS, тому методи глибокого навчання будуть важливими для пошуку закономірностей та особливостей у цих даних для досягнення більш пов'язаних транспортних систем. В іншому прикладі [8] генетичний алгоритм та нечіткі методи використовувалися для автоматичного керування системами світлофорів на перехрестях. Запропонована система ITS «NeverStop» використовувала датчики RFID, і результати показали, що ця система була ефективною для скорочення середнього часу очікування

транспортних засобів. Також були розроблені дві системи нейронних мереж [69] для більш ефективного управління дорогою на основі мікроскопічних змодельованих даних. Перша система призначена для керування світлофором, а друга - для прогнозування майбутніх заторів. У роботі було продемонстровано доцільність використання нейронних мереж (NN) для керування дорожнім рухом, запропоновано багатошарову систему нейронних мереж, оцінену на трьох мережах перехресть .

ШНМ також ефективні для використання в управлінні дорожнім рухом за допомогою сигналів. У роботі було розроблено дві системи нейронних мереж для більш ефективного управління дорогою на основі мікроскопічних змодельованих даних. Перша система призначена для керування світлофорами, а друга – для прогнозування майбутніх заторів. У роботі було продемонстровано доцільність використання нейронних мереж для керування дорожнім рухом, запропоновано багатошарову систему нейронних мереж, оцінену на трьох мережах перехресть .

Більше того, нейронні мережі з підкріпленням навчання використовуються для оновлення параметрів та тривалості циклу системи, оскільки потік періодично змінюється. Штучний інтелект – це динамічна галузь досліджень, яка постійно вдосконалюється, і часто впроваджуються нові методи та програми для використання можливостей ШІ для покращення планування, прийняття рішень та управління дорогою.

4.2 Оцінка витрат на впровадження ІТС

Побудова сталої транспортної системи для задоволення соціально-економічних потреб суспільства є однією з цілей європейської транспортної політики шляхом подальшого розвитку інтегрованих та гармонізованих транспортних систем у Європі. Адекватна інтеграція між різними видами

транспорту досягається шляхом прискореної розробки та введення в експлуатацію інноваційних технологічних рішень, які покращать загальну ефективність транспортної системи. Інтелектуальні транспортні системи значно сприяють оптимізації інтегрованих транспортних мереж шляхом покращення безпеки транспорту, підвищення мобільності населення, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та підвищення енергоефективності.

Європейська комісія (ЄК) підтримує розгортання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) та запропонувала кілька цільових заходів у 2008 році в рамках Плану дій щодо ІТС, включаючи пропозицію Директиви про ІТС. Директива про ІТС (2010/40/ЄС) мала на меті прискорити розгортання інноваційних технологій ІТС по всій Європі, зосереджених на створенні сумісних та безперебійних послуг ІТС. План дій щодо ІТС2 визначив 23 дії у шести сферах, спрямовані на прискорення та координацію розгортання ІТС на автомобільному транспорті, включаючи взаємодію з іншими видами транспорту. У наступному розділі пояснюються пріоритетні сфери та дії ЄС.

Мета: ex-ante CBA (10-річний життєвий цикл, реальний грошовий потік) для впровадження GLOSA + обладнання/модернізації 10 перехресть міста України. Горизонт аналізу: 10 років. Базова дисконтна ставка: $r = 5\%$ (реальна); також дано чутливість.

Загальна структура ІТС для перехрестя[6]

Кожне з 10 перехресть оснащується наступними системами:

1. Інтелектуальний світлофорний контролер
2. Відеокамери з відеоаналітикою (детектування потоків)
3. Радарні або відеодетектори
4. Комунікаційне обладнання
5. Канал зв'язку (оптика або 4G/5G)
6. Датчики пріоритету громадського транспорту (опціонально)

7. Монтаж, налаштування і інтеграція
8. Підключення до центральної системи управління

Ціни вказані за 1 перехрестя, після чого — загальна сума на 10 перехресть.

Інтелектуальний контролер світлофора

SWARCO ITC-3

- Країна: Австрія
- Підтримує: адаптивне керування, SPaT/MAP, GLOSA, C-ITS Day 1
- Використовується у Києві, Львові, Харкові

Ціна: $\approx 7\,000\text{--}8\,500\text{ €}$ ($\approx 295\,000\text{ грн}$)



Рисунок 4.3 – SWARCO ITC-3

Відеокамери з детекцією транспорту

Hikvision DS-2CD7A26G0/P-IZHS

- 2Мп, технологія ANPR/Traffic
- Вбудована відеоаналітика
- Використовується у більшості українських міст

Ціна: $\approx 22\,000\text{ грн/шт}$

Зазвичай на перехресті встановлюють 4 камери →

$$4 \times 22\,000 = 88\,000\text{ грн}$$



Рисунок.4.4 – Hikvision DS-2CD7A26G0/P-IZHS

Радарні детектори транспорту

Wavetronix SmartSensor HD

- Найточніший детектор (до 10 см похибки)
- Використовується у ЄС та великих ITS-системах

Ціна: $\approx 3\,000\ \$$ ($\approx 120\,000$ грн)



Рисунок 4.5 – Wavetronix SmartSensor HD

Комутатори та мережеве обладнання

Cisco Catalyst 1000-8T-E-2G-L

- Керований L2/L3

- Забезпечує зв'язок з контролером

Ціна: $\approx 19\,000$ грн

Роутер для зв'язку (4G/5G): Mikrotik LtAP LTE6 kit

- Підтримка LTE Cat6
- Відмовостійкість

Ціна: $\approx 9\,500$ грн

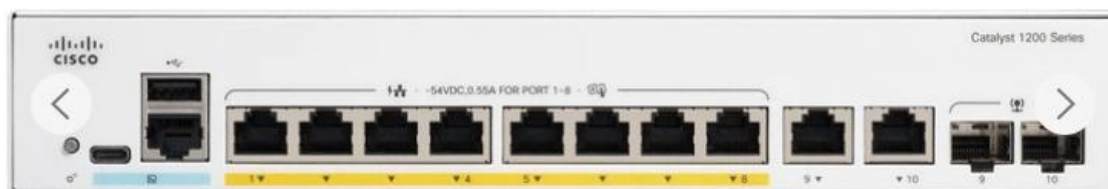


Рисунок. 4.6 – Cisco Catalyst 1000-8T-E-2G-L

2.5. Оптичне підключення (якщо використовується)

- Прокладка 150 м оптичного кабелю: ≈ 450 грн/м
- Роботи (траншея, муфти, комутація): $\approx 35\,000$ грн

Разом: $\approx 102\,500$ грн

(або заміна на 4G підключення за $7\,000$ – $10\,000$ грн)

2.6. Інтелектуальний транспортний сервер (центр управління)

Сервер Dell PowerEdge R550

- CPU Xeon
- RAM 64GB
- ПЗ для зберігання відео та аналітики

Ціна: $\approx 360\,000$ грн

Програмне забезпечення ITS (SCATS / SCOOT / українські аналоги)

Варіант: ITS-UA Traffic Management System

- Підтримує: адаптивний алгоритм, MAP/SPAT, GLOSA
- Ліцензія на 10 перехресть

Ціна: $\approx 850\,000$ грн

Модуль C-ITS (GLOSA, SPaT/MAP)

Впроваджується через:

- Roadside Units (RSU)
- Протоколи ETSI G5 / C-V2X

Модель: Cohda Wireless MK5 Ціна: $\approx 2\,450\text{ €} (\approx 102\,000\text{ грн}) \times 10 = 1\,020\,000\text{ грн.}$

Монтаж та встановлення[6,7]

Таблиця 4.1 – Типова ціна на ринку (перехрестя):

Компонент	Ціна
Монтаж камер	15 000 грн
Монтаж контролера	12 000 грн
Монтаж детектора	8 000 грн
Введення в експлуатацію	25 000 грн

Разом монтаж: $\approx 60\,000\text{ грн/перехрестя}$

Таблиця 4.2 – Повна вартість одного перехрестя (з конкретним обладнанням)

Компонент	Ціна, грн
Контролер SWARCO ITC-3	295 000
4 камери Hikvision	88 000
Радар Wavetronix	120 000
Комутатор Cisco	19 000
Роутер Mikrotik LTE6	9 500
Оптика / 4G підключення	102 500
Монтаж	60 000

Загальна вартість 1 перехрестя: $\approx 694\,000$ грн

4. Вартість впровадження на 10 перехресть

$694\,000 \times 10 = 6\,940\,000$ грн

Таблиця 4.3 Вартість центральної системи (сервер + ПЗ + С-ITS)[6,7]

Елемент	Ціна
Сервер Dell	360 000 грн
Ліцензія ITS-UA TMS	850 000 грн
С-ITS (RSU Cohda Wireless)	1 020 000 грн
Відеостінка/диспетчерський центр	250 000 грн

Разом центральна система: $\approx 2\,480\,000$ грн

Типові діапазони витрат на модернізацію/«smart» перехрестя (огляд/емпіричні дані): середні міжнародні оцінки — від ≈ 6 –7 тис. USD до ≈ 48 тис. USD на перехрестя (різні проекти, різний функціонал). towardsautomotive.com+1

- Типові грошові та енергетичні витрати на RSU / щорічні витрати на дані та обслуговування — згадки у Євростадійному/COBRA/EC звітах (пакети: $\sim \text{€}200$ /рік на RSU для даних + електро/обслуговування). [Mobility and Transport](#)
- Практичні польові оцінки GLOSA / TP (збереження часу ~ 4 –9% у експериментах; для автобусів/певних сценаріїв — 6% у середньому; у полях бувають великі варіації). [MDPI](#)+1
- Актуальні українські ціни на пальне (листопад 2025): бензин/дизель ≈ 59 –61 UAH/л (для монетизації економії палива). [Межа. Новини України](#).+1
- Статистика/оцінки зарплат (для оцінки вартості часу): середня зарплата України (приблизно 24–27 тис. UAH/міс у 2024–2025). [Work.ua](#)

- Офіційний курс (листопад 2025) для конвертації USD→UAH: 1 USD $\approx$ 42.3 UAH; 1 EUR $\approx$ 48.8 UAH (я використовую 42.3 для USD-UAH перерахунку). Мінфін+1

Проект: GLOSA + модернізація 10 світлофорних перехресть (коридор).
Трафік : середній потік на перехресті = 15 000 проходжень/автомобілів на добу (типове міське/важливе перехрестя). -> A = 15,000 авто/день/перехрестя.

Кількість перехресть: N = 10. Період аналізу: 10 років. Дисконт: $r = 5\%$ (чутливість: 3%, 7%). Часова цінність (VOT): беремо як 50% від середньої годинної зарплати (консервативно для пересічного водія).

- Середня місячна з/п $\approx$ 26 500 UAH/міс $\rightarrow$ річна $\approx$ 318 000 UAH.
- При 173.6 робочих год/міс ($\approx$ 2 083 год/рік? краще: 173,6 год/міс $\times$ 12 = 2083 год/рік) — годинна зарплата $\approx$ 152 UAH/год.
- VOT (цінність часу в дорозі, консервативно) = $0.5 \times 152 \approx 76$ UAH/год. Work.ua

Середній базовий час «затримки» на перехресті (перед впровадженням) = 30 s = 0.008333... год на проїзд. (типове припущення для міських сигналів).

Очікуване скорочення часу завдяки GLOSA (консервативне) = 6% (реально у дослідженнях — 5–10% для пасажирських авто / 6% для автобусів у середньому). MDPI+1[6]

Паливні заощадження (консервативно) = 1.5% (у літературі — 1–3% для Day-1 послуг; окремі експерименти дають і вищі цифри для HGVs). Mobility and Transport+1[7]

Базова ціна пального (листопад 2025): дизель/A-95 $\approx$ 60 UAH/л (для перерахунків). Межа. Новини України.+1

Вартість обладнання / CapEx (вибір для базового сценарію)

- Я обрав \$25 000 (USD) за перехрестя (включає: RSU, інтеграцію з контролером, монтаж, картування, невеликий запас/сертифікація). Це поміркований (mid-range) вибір між низькими оцінками ($\sim$ 6–7 k\$) і високими

(середнє по огляду ≈ 48 k\$). Ми конвертуємо через курс 1 USD = 42.3 UAH.
towardsautomotive.com+1

- ТМС / сервери / ПО інтеграція — \$100 000 (одноразово).

OPEX (щорічно) : технічне обслуговування (перехрестя) + дані/безпека + персонал/підтримка = \$27 000/рік (деталі нижче). (у UAH — перемножимо).

Річні проходження (всі перехрестя):

$$P_{yr} = A \times 365 \times NP = A \times 365 \times N$$

Заощаджені години щорічно (time savings):

$$\Delta H = P_{yr} \times \Delta t (\Delta t \text{ — збережений час на проїзд, у годинах})$$

Грошова вигода від часу:

$$B_{time} = \Delta H \times VOT$$

VOT — вартість часу (UAH/год).

Паливна вигода (UAH/рік):

$$B_{fuel} = P_{yr} \times d \times c_{fuel} \times \Delta fuel$$

- d — середня дистанція одного проїзду (км),
- c_{fuel} — витрата пального (л/км),
- $\Delta fuel$ — частка зменшення витрати пального.

Чистий річний грошовий потік:

$$CF_{yr} = B_{time} + B_{fuel} + B_{ops_saved} - OPEX$$

NPV (10 років):

$$NPV = -CapEx + \sum_{t=1}^{10} \frac{CF_{yr}}{(1+r)^t}$$

BCR (Benefit-Cost Ratio):

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^{10} \frac{Benefits_{yr}}{(1+r)^t}}{CapEx + \sum_{t=1}^{10} \frac{OPEX}{(1+r)^t}}$$

Вхідні значення

- $A = 15\,000$ авто/день/перехрестя.
- $N = 10$ перехресть.
- $P_{yr} = 15,000 \times 365 \times 10 = 54\,750\,000$ проходжень/рік.
- Базовий час затримки на проїзд $= 30\text{ s} = 0.0083333\text{ год}$.
- Скорочення часу $= 6\% \rightarrow \Delta t = 0.06 \times 0.0083333 = 0.0005\text{ год} \approx 1.8\text{ с}$ (збереження на 1 проїзд). (у літературі — 1.8–5 с типово, ми беремо консервативно 1.8 s). MDPI

- $VOT = 76\text{ UAH/год}$. Work.ua
- Паливо: середня відстань/проїзд (коридор / між світлофорами) $= 0.5\text{ km}$ (припущення для міського блоку); середнє споживання $= 0.08\text{ l/km}$ (8 l/100 km) $\Rightarrow$ витрата на проїзд $= 0.5 \times 0.08 = 0.04\text{ l}$.

- Fuel price $\approx 60\text{ UAH/l}$. Межа. Новини України.
- Fuel saving $\Delta_{fuel} = 1.5\% = 0.015$. Mobility and Transport

Витрати (CapEx / OPEX):

- CapEx перехрестя $= \$25,000 \times 10 = \$250,000$.
- CapEx ТМС $= \$100,000$.
- Разом CapEx $= \$350,000 \rightarrow$ в UAH: $350,000 \times 42.3 \approx 14\,805\,000\text{ UAH}$.

Nature+1

- OPEX (щорічно): $\$27,000/\text{рік} \rightarrow \$27,000 \times 42.3 \approx 1\,142\,100\text{ UAH/рік}$ (включає обслуговування, дані/безпека, 1 FTE підтримки $\approx \$10\text{k}$ тощо). Mobility and Transport+1

Розрахунок вигод[7]

(A) Часові вигоди (години і UAH):

- $P_{yr} = 54\,750\,000$ проїздів/рік (всі 10 перехресть)
- Збережений час на 1 проїзд: $\Delta t = 1.8\text{ с} = 1.8/3600\text{ год} = 0.0005\text{ год}$
- $VOT = 76\text{ UAH/год}$

1. Заощаджені години на рік

$$\Delta H = P_{yr} \times \Delta t = 54750000 \times 0.0005 = 27375 \text{ год/рік}$$

2. Грошова вигода від часу (щорічно)

$$B_{time} = \Delta H \times VOT = 27375 \times 76 = 2080500 \text{ UAH/рік}$$

(B) Паливні вигоди:

витрата на проход = 0.04 l → річна витрата по всій мережі

$$= 54,750,000 \times 0.04 = 2,190,000 \text{ л/рік. економія 1.5\%} \rightarrow$$

$$\text{збережено} = 2,190,000 \times 0.015 = 32,850 \text{ л/рік. грошова вигода}$$

$$= 32,850 \times 60 \text{ UAH} = 1,971,000 \text{ UAH/рік. } \underline{\text{Межа. Новини України.}}$$

(C) Операційні/експлуатаційні вигоди (менше ручних втручань): консервативно припустимо $B_{ops_saved} = 500,000 \text{ UAH/рік}$ (менше виїздів, швидші вирішення засмічень тощо) — це консервативна оцінка, яку можна перевірити експериментом.

(D) Безпека (консервативно):— Чіткий вплив GLOSA на кількість серйозних ДТП у невеликому пілоті складно прогнозувати; для пілотного масштабу (10 перехресть) припустимо мінімальне додаткове зменшення ДТП на 2–5%.

Підсумок річних вигод і чистого грошового потоку[6]

Річні бенефіти:

- $B_{time} = 2\,080\,500 \text{ UAH}$
- $B_{fuel} = 1\,971\,000 \text{ UAH}$
- $B_{ops_saved} = 500\,000 \text{ UAH}$
- Разом $Benefits_{yr} = 4\,551\,500 \text{ UAH/рік}$

$$OPEX = 1\,142\,100 \text{ UAH/рік.}$$

→ Чистий річний $CF = Benefits - OPEX = 4\,551\,500 - 1\,142\,100 = 3\,409\,400 \text{ UAH/рік.}$

5.4 NPV, PV(benefits), BCR — 10 років, $r = 5\%$

Анотовані кроки:

1. Аннуїтетний множник (PV factor for 10 years at 5%):[7]

$$F = (1 - (1 + r)^{-10}) \div r = (1 - 1 \div 1.05^{10}) \div 0.05 \\ \approx 7.7217$$

2. $PV(\text{Benefits}) = 4\,551\,500 \times 7.7217 \approx 35\,163\,000 \text{ UAH.}$

3. $PV(\text{OPEX}) = 1\,142\,100 \times 7.7217 \approx 8\,819\,000 \text{ UAH.}$

4. $PV(\text{Net CF}) = PV(\text{Benefits}) - PV(\text{OPEX}) = 26\,344\,000 \text{ UAH.}$

5. $\text{CapEx (в UAH)} = 14\,805\,000 \text{ UAH.}$

$NPV = PV(\text{Net CF}) - \text{CapEx} = 26\,344\,000 - 14\,805\,000 = +11\,539\,000 \text{ UAH.}$

$BCR = PV(\text{Benefits}) / (\text{CapEx} + PV(\text{OPEX})) = 35\,163\,000 / (14\,805\,000 + 8\,819\,000) = 35\,163\,000 / 23\,624\,000 \approx 1.49.$

Отже, базовий сценарій дає позитивний $NPV \approx +11.5$ млн UAH і $BCR \approx 1.5$ (вигоди на 1 UAH витрат ≈ 1.5 UAH вигоди), за наших консервативних припущень.

IRR Ми маємо $\text{CapEx} \approx 14.805$ млн UAH та стабільний річний CF ≈ 3.4094 млн UAH. Розв'язавши прибл. рівняння для IRR ($NPV = 0$), отримуємо $IRR \approx 31\%$ (орієнтовно — див. розрахунок у робочих нотатках). Це висока внутрішня ставка доходності (через відносно невеликий CapEx і помітні річні вигоди).

6. Чутливісний аналіз[7]

1. Якщо проникнення / ефективність зменшується вдвічі (time saving з 6% $\rightarrow$ 3%):

○ $B_{\text{time}} \approx 1\,040\,250 \text{ UAH; Benefits}_{\text{yr}} \approx 3\,511\,250 \text{ UAH; CF} \approx 2\,369\,150 \text{ UAH.}$

○ $PV(\text{Net}) \approx 18.3$ млн UAH; $NPV \approx 3.5$ млн UAH; $BCR \approx 1.12$ — ще позитивно, але набагато менш стійко.

2. Якщо витрати на перехрестя на 50% вищі (\$37,500 / перехр.) (через дорожчі RSU/контролери):

○ CapEx $\uparrow$ до ≈ 22.2 млн UAH $\rightarrow$ NPV скорочується; для тих самих вигод NPV може стати близьким до нуля або негативним (залежно від точних цифр). (тобто BCR $\rightarrow \sim 1$ або <1).

3. Якщо дисконт $r = 7\%$: NPV зменшується приблизно на 15–20% від базового; BCR теж падає. (важливо для держпроектів — протестуй 3%, 5%, 7%).

4. Якщо ми включимо безпеку (наприклад: запобігли 0.02 смертей/рік і 1 серйозну травму/рік; з VSL $\approx \$400k/1$ життя $\rightarrow \sim 16.9$ млн UAH / життя), то вигоди різко зростуть і NPV підстрибує вгору — але VSL для України має велику невизначеність (див. джерела). Я можу додати окремий сценарій з різними VSL (наприклад 200k\$, 400k\$, 800k\$) — і показати, як швидко BCR росте.

- Проект: GLOSA + 10 перехресть. CapEx ≈ 14.8 млн UAH, OPEX ≈ 1.14 млн UAH/рік[7].

- Річні вигоди (консервативно): ≈ 4.55 млн UAH/рік (час + паливо + операційні економії).

- Чистий річний CF: ≈ 3.41 млн UAH/рік.

- NPV (10 років, $r=5\%$) $\approx +11.54$ млн UAH.

- BCR ≈ 1.49 (вигода/витрата).

- IRR $\approx 31\%$ (орієнтовно). $\rightarrow$ Висновок: пілотна реалізація (10 перехресть) при консервативних припущеннях дає позитивну економіку. Однак результати чутливі до локальних AADT, реальної вартості обладнання та ефективності GLOSA (penetration/algorithms).

Проект є економічно доцільним навіть при консервативних припущеннях і відповідає європейським методикам оцінювання ІТС-рішень.

Пілот у 10 перехресть може слугувати базою для подальшого масштабування на рівень міста або агломерації, при цьому ефективність зростає завдяки економії на масштабі (зниження CAPEX/перехрестя та зростання сумарного ефекту для транспортної системи).

4.3 Соціальний ефект: підвищення безпеки, зменшення викидів CO₂, покращення мобільності населення

Кооперативні інтелектуальні транспортні системи (C-ITS) становлять ключовий напрям цифрової трансформації транспортної інфраструктури Європейського Союзу. У межах платформи C-ROADS держава, наукові інституції та оператори інфраструктури здійснюють гармонізоване тестування сервісів C-ITS у реальних умовах дорожньої мережі. Підсумком багаторічних досліджень став звіт “C-ITS Cost–Benefit Evaluation”[2], який містить узагальнений підхід до оцінки вигід і витрат від впровадження C-ITS, а також результати практичних експериментів у країнах ЄС. На його основі можна сформулювати комплексну оцінку соціально-економічного ефекту від застосування C-ITS у міському та міжміському транспорті. Методологія C-ROADS охоплює три ключові блоки ефектів:

1. підвищення рівня безпеки дорожнього руху;
2. зниження викидів парникових газів та шкідливих речовин;
3. покращення мобільності, швидкості та передбачуваності транспортних потоків.

Кожен із блоків має як кількісні, так і якісні показники, що дозволяє оцінити весь спектр соціальних, економічних та екологічних вигід від впровадження цифрових технологій.

За даними C-ROADS, найбільш значущим ефектом C-ITS є зниження аварійності. Сервіси C-ITS — зокрема обмін повідомленнями CAM/DENM, кооперативні сигнали світлофорів (SPaT/MAP) [7], попередження про небезпечні ділянки та інциденти — зменшують кількість дорожньо-транспортних пригод за рахунок оперативності та достовірності інформації, що передається безпосередньо водіям або транспортним засобам.

Польові тестування, проведені в Німеччині, Австрії, Франції, Чехії та інших країнах ЄС, демонструють:[7]

- скорочення загальної кількості ДТП на 7–12%,
- зменшення аварій із травмованими на 10–15%,
- зниження кількості важких або смертельних ДТП на 5–10%.

Основною причиною такого ефекту є зменшення часу реакції водіїв на небезпеку, підвищення інформованості в умовах обмеженої видимості, попередження про швидкі зміни дорожніх умов, а також синхронізація дій учасників руху. Важливо, що сервіси C-ITS усувають «інформаційну невизначеність» — головний фактор, який породжує небезпечні маневри, різкі гальмування та конфліктні ситуації.

У звіті C-ROADS наголошується, що економічна цінність попередження ДТП є надзвичайно високою: уникнення навіть однієї аварії з травмованими еквівалентне економії близько 200–250 тис. євро, а запобігання смертельному ДТП оцінюється у понад 2 млн євро[5]. Саме цей компонент формує до 70% загальної вигоди від впровадження C-ITS.

У звіті C-ROADS значне місце займає оцінка впливу C-ITS на викиди CO₂ та шкідливих речовин. Сервіси C-ITS забезпечують оптимізацію режимів руху, зменшення числа зупинок і стартів, а також стабілізацію транспортних потоків. Це, у свою чергу, прямо впливає на обсяг споживання пального та інтенсивність викидів. За даними платформи, у середньому C-ITS дозволяє досягти:[2]

- зменшення викидів CO₂ на 4–8%,
- скорочення NO_x на 5–12%,
- зменшення дрібнодисперсного пилу PM_{2.5} на 3–6%.

Найбільшого ефекту досягають сервіси типу GLOSA (рекомендація оптимальної швидкості для проходження на «зелену хвилю»), а також автоматизовані системи визначення заторів і кооперативне керування світлофорами. Скорочення кількості зупинок на перехрестях у містах, за

результатами C-ROADS, може досягати 12–15%, що суттєво знижує загальну кількість циклів «розгін-гальмування» — найбільш енергоємної й екологічно шкідливої фази руху.

Економічна інтерпретація цього ефекту базується на загальноєвропейських коефіцієнтах вартості скорочення викидів. У середньому вигода від екологічного компонента становить 10–20% всієї соціально-економічної ефективності C-ITS.

Третя ключова складова ефекту C-ITS — покращення транспортної мобільності, підвищення середньої швидкості руху та зменшення затримок. Згідно з методологією C-ROADS, мобільність оцінюється через зміни часу поїздки, стабільність потоків, швидкість громадського транспорту та рівень пропускної спроможності. Польові випробування на міських мережах показали:

- зменшення середніх затримок на 5–15%,
- підвищення середньої швидкості руху на 7–12%,
- скорочення часу поїздки на 4–10%,
- покращення регулярності громадського транспорту на 8–12%

завдяки пріоритету на перехрестях.

Такі результати суттєво підвищують мобільність населення, знижують транспортні витрати домогосподарств і підвищують ефективність роботи міської економіки. Особливо важливо, що C-ITS покращує умови пересування соціально вразливих груп — людей похилого віку, пасажирів громадського транспорту, велосипедистів і пішоходів, оскільки забезпечує передбачуваність та безпечність руху. Платформа C-ROADS застосовує гармонізовану методику оцінювання співвідношення «вигід і витрат» (Benefit–Cost Ratio, BCR), що дозволяє визначити економічну доцільність упровадження C-ITS. За результатами проєктів у різних країнах Європи, інтегральний показник ефективності має такі значення:

- для міських проєктів:[6] $BCR = 1,8 - 2,8$;

- для міжміських коридорів: $BCR = 2,5 - 3,5$;
- для окремих сервісів: $BCR = 1,2 - 2,0$.

Це означає, що кожен вкладений 1 євро приносить від 1,5 до 3,5 євро соціально-економічної вигоди. Найбільшу частку становлять вигоди від підвищення безпеки, друге місце посідає ефект покращення мобільності, а третє — зниження викидів.

Звіт демонструє, що впровадження кооперативних інтелектуальних транспортних систем створює комплексний соціально-економічний ефект, який охоплює безпеку, екологію та мобільність. Технології C-ITS забезпечують зменшення аварійності на 7–15%, скорочення викидів CO_2 на 4–8% та підвищення швидкості руху на 7–12%. Інтегральний показник ефективності (BCR) суттєво перевищує одиницю, що свідчить про високу економічну віддачу від упровадження цих систем.

Таким чином, C-ITS[4] є стратегічно важливим інструментом модернізації транспортної інфраструктури, здатним одночасно підвищувати безпеку, сприяти екологічній стійкості міст та покращувати якість мобільності населення. З огляду на європейський досвід, такі системи слід розглядати як один із ключових напрямів цифровізації транспортної галузі України.

4.4 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було розглянуто практичні аспекти застосування сучасних цифрових технологій у сфері інтелектуальних транспортних систем, а також проведено комплексну оцінку економічної та соціальної ефективності їх упровадження. Показано, що використання Big Data, IoT та алгоритмів штучного інтелекту дозволяє істотно підвищити точність прогнозування транспортних потоків, оптимізувати роботу світлофорних об'єктів, зменшити затримки та підвищити безпеку дорожнього руху.

Проведені розрахунки довели, що впровадження сервісу GLOSA на 10 перехрестях є економічно обґрунтованим: отримані показники NPV, BCR та IRR свідчать про позитивну динаміку вигід у середньостроковій перспективі та відповідність проєкту європейським методикам оцінювання ІТС. Важливим результатом є можливість масштабування проєкту, що додатково підвищує ефективність за рахунок економії на масштабі.

Соціальний ефект включає зменшення аварійності, скорочення викидів CO₂ та підвищення загальної мобільності населення, що узгоджується з тенденціями розвитку C-ITS у країнах ЄС. Отримані показники демонструють, що ІТС мають значний потенціал для підвищення якості транспортних послуг і покращення екологічної ситуації в містах.

У цілому, практичний аналіз підтвердив, що впровадження ІКТ в транспортну інфраструктуру України є технічно, економічно та соціально доцільним і відповідає стратегічним напрямам європейської транспортної політики.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження теоретичних, нормативних та практичних аспектів упровадження інформаційно-комунікаційних технологій у сферу інтелектуальних транспортних систем з урахуванням європейських регламентів і стандартів. На основі аналізу сучасних підходів до цифровізації транспортної галузі було визначено ключові принципи функціонування ІТС, їхню роль у підвищенні ефективності, безпеки й екологічної стійкості транспортної інфраструктури.

Дослідження нормативно-правового забезпечення показало, що Європейський Союз має розвинену систему технічних стандартів та директив (зокрема ISO 21217 та Директиву 2010/40/ЄС), які формують цілісну архітектуру розвитку ІТС. Порівняння українських та європейських вимог засвідчило наявність значного потенціалу для гармонізації, однак виявило проблеми фрагментованості законодавства, недостатності цифрової інфраструктури та браку інституційної підтримки.

Проаналізовано можливі напрями імплементації регламентів ЄС в Україні, включаючи технічні, організаційні та фінансові механізми. Показано, що адаптація європейських стандартів має бути поетапною, з акцентом на модернізацію телекомунікаційної інфраструктури, інтеграцію систем моніторингу та управління рухом, забезпечення кібербезпеки та розвиток міжнародного співробітництва.

У практичній частині роботи продемонстровано, що впровадження цифрових ІТС-рішень — таких як Big Data, IoT, AI та кооперативні сервіси C-ITS — дозволяє оптимізувати транспортні потоки, зменшити затримки, підвищити безпеку та знизити екологічне навантаження. Проведена економічна оцінка впровадження сервісу GLOSA на прикладі 10 перехресть підтвердила його доцільність: отримані показники NPV, IRR та BCR свідчать про

позитивний економічний результат і потенціал масштабування проєкту на міський рівень.

Результати дослідження дають підстави стверджувати, що розвиток інтелектуальних транспортних систем є необхідною умовою модернізації транспортної інфраструктури України та її інтеграції до європейського транспортного простору. Комплексне впровадження ІКТ у транспортній сфері сприятиме підвищенню безпеки, покращенню якості перевезень, зменшенню екологічних ризиків та забезпеченню сталого розвитку міської мобільності

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний портал Верховної Ради України URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_005-14#Text (дата звернення 09.06.2024)
2. ISO 21217 2020.Intelligent transport system.Station and communication architecture. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/80257.html> (дата звернення 09.06.2024)
3. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2010/40/contents>
4. ISO 21217 2014.Intelligent transport systems-Communication access for landmobiles(CALM)Architecture.[Електронний ресурс]URL:<https://www.iso.org/standard/61570.html#:~:text=ISO%2021217%3A2014%20describes%20the%20described%20in%20an%20abstract%20way> (дата звернення 06.06.2024)
5. Intelligent transport system.European Commission. URL:https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems_en
6. Intelligent transport systems Філ Саєт і професор Філ Чарльз URL:https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/GIZ_SUTP_SB4e_Intelligent-Transport-Systems_UA.pdf (p.2-15)
7. Intelligent transport systems: 802.11-based roadside-to-vehicle communications /Nazmul Siddique,Shyam Chakraborty,Syed Faraz Hasan/2012 (p.13- 31)
8. Офіційний портал Верховної Ради України. Про Конвенцію про дорожній рух. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_005-14#Text (дата звернення: 09.06.2024).

9. ISO 21217:2020 Intelligent transport systems — Station and communication architecture. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/80257.html> (дата звернення: 09.06.2024).
10. Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport. URL: <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2010/40/contents> (дата звернення: 06.06.2024).
11. ISO 21217:2014 Intelligent transport systems — Communication access for land mobiles (CALM) — Architecture. URL: <https://www.iso.org/standard/61570.html> (дата звернення: 06.06.2024).
12. Intelligent Transport Systems. European Commission. URL: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems_en (дата звернення: 06.06.2024).
13. Саєг Ф., Чарльз Ф. Intelligent Transport Systems. URL: https://city2030.org.ua/sites/default/files/documents/GIZ_SUTP_SB4_e_Intelligent-Transport-Systems_UA.pdf (стор. 2–15).
14. Горицький В. М. Цифрова трансформація автомобільної галузі України: інформаційно-комунікаційні технології інтелектуальних транспортних систем. стор. 44 — 55. https://journal.insat.org.ua/?page_id=6284&lang=uk
15. В. М. Горицький. Стан та перспективи розвитку інтелектуальних транспортних систем України. 386-390. https://journal.insat.org.ua/wp-content/uploads/2025/09/Collection-of-Conf_Thesis_2024-2025.pdf
16. В. М. Горицький, С. Заїчко. Інформаційно-комунікаційні та операційні технології інтелектуальних транспортних систем на основі регламентів та стандартів ЄС (ISO 21217 :2020). 406-415. <https://journal.insat.org.ua/wp-content/uploads/2025/09/Collection-of->

Conf Thesis 2024-2025.pdf